

ICS
CCS

中国石油和化工勘察设计协会团体标准

T/HGJ 13950-202X

超高压管式反应器和换热器系统设计规 范

Design Code for Ultra-High Pressure Tubular Reactor and Heat Exchanger

System

（征求意见稿）

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国石油和化工勘察设计协会发布

中国石油和化工勘察设计协会团体标准

超高压管式反应器和换热器系统设计规
范

Design Code for Ultra-High Pressure Tubular Reactor and Heat Exchanger
System

T /HG 13950 — 202X

主编单位： 中石化上海工程有限公司

批准部门： 中国石油和化工勘察设计协会

实施日期： 20XX 年 XX 月 XX 日

XXXX 出版社

。 XX 。

前 言

本规范根据中国石油和化工勘察设计协会《关于印发20XX年第X批协会团体标准制修订计划的通知》（中石化勘设协[20XX]XX号）的要求，设备专业委员会/全国化工设备设计技术中心站负责组织，由中石化上海工程有限公司会同有关单位组成标准编写组共同编制完成。

本规范规范已将发布文件和标准有关信息在全国团体标准信息平台（<http://www.ttbz.org.cn>）信息公开。

本规范在编制过程中，标准编写组经广泛调查研究，认真总结高压聚烯烃装置的运行经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，最后经审查定稿。

本规范共分为7章和5个附录，其主要内容包括高压聚烯烃装置的超高压管式反应器和换热器系统的通用要求、反应器材料、反应器系统的工艺和安全设计、布置设计、脉动、振动和应力分析设计、机械设计、钢结构设计、反应器制造检验和验收等要求。

本规范由中国石油和化工勘察设计协会负责管理，由设备专业委员会/全国化工设备设计技术中心中心站负责日常管理，由设备专业委员会负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送中石化上海工程有限公司（地址：上海市浦东新区花木路63号（锦康路50弄）中国石化浦东研发中心1号楼，邮编：200127，电子邮件：×××××），以便今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

主编单位： 中石化上海工程有限公司

参编单位： ×××××××

主要起草人：	×××	×××	×××	×××	
	×××	×××	×××	×××	×××
主要审查人：	×××	×××	×××	×××	×××
	×××	×××	×××	×××	×××

目 次

1	总则.....	1
2	术语	2
3	通用要求	3
4	设计一般要求	4
4.1	反应器系统设计.....	4
4.2	反应器设计	4
5	材料	5
6	设计	9
6.1	反应器系统工艺设计.....	9
6.2	反应器系统安全设计.....	9
6.3	反应器系统布置设计.....	10
6.4	反应器系统脉动、振动和应力分析设计	11
6.5	反应器机械设计计算.....	11
6.6	反应器系统钢结构设计.....	18
7	制造、检验和验收	19
7.1	通用要求	19
7.2	直管	19
7.3	热弯弯管	20
7.4	冷弯弯管	21
7.5	螺纹法兰和法兰盖	22
7.6	透镜垫	22
7.7	紧固件	22
7.8	热缩套	23
7.9	自增强处理	23
7.10	夹套管	24
7.11	反应器框架制造和组装	24
7.12	表面处理、涂敷与运输包装	25
7.13	现场安装	25

7.14 现场试验	26
附录 A 反应器超压泄放装置	28
附录 B 筒体上裂纹的合于使用评价	30
附录 C 钢材的补充规定	72
附录 D 超高压管系柔性分析	79
附录 E 反应器螺纹法兰系列	80
本规范用词说明	87
引用标准名录	88
附：条文说明	90

Contents

1 General provisions.....	1
2 Terms.....	2
3 General requirements	3
4 General requirements of design.....	4
4.1 design of reactor system.....	4
4.2 design of reactor	4
5 Material	5
6 Design.....	9
6.1 Process design of reactor system	9
6.2 Safety design of reactor system	9
6.3 Layout design of reactor system.....	10
6.4 Pulsation, vibration, and stress analysis design of reactor system	11
6.5 Mechanical design of reactor system	11
6.6 Steel structure design of reactor system	18
7 Manufacture, inspection, acceptance	19
7.1 General requirements.....	19
7.2 Straight pipe.....	19
7.3 Hot-bent elbow pipe	20
7.4 Cold-bent elbow pipe.....	21
7.5 Threaded flange, blind flange	22
7.6 Lens gasket	22
7.7 Fastener.....	22
7.8 Shrink ring	23
7.9 Autofrettage	23
7.10 Jacketed pipe.....	24
7.11 Fabrication and assembly of reactor frame.....	24
7.12 Surface treatment, coating, transportation and packaging	25
7.13 Field installation	25
7.14 Field testing	26

Appendix A Overpressure relief devices for reactor.....	28
Appendix B Fitness-for-service assessment of cracks in shell	30
Appendix C Supplementary provisions for steel materials	72
Appendix D Flexibility analysis of ultra-high pressure piping systems	79
Appendix E Series of reactor threaded flanges	80
Explanations of wording in this code	87
List of quoted standards	88
Addition: explanation of the provisions.....	90

1 总则

1.0.1 为规范超高压管式反应器和换热器系统的材料、设计、制造、检验和验收，特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于设计压力范围在 300MPa~350MPa、设计温度范围在-40℃~350℃的高压聚烯烃装置的超高压管式反应器和换热器系统。

1.0.3 超高压管式反应器和换热器系统的材料、设计、制造、检验和验收除应符合本规范的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 现行国家标准《超高压容器》GB/T 34019 确立的以及下列术语和定义适用于本规范。

2.0.2 超高压管式反应器及换热器系统 **ultra-high pressure tubular reactor and heat exchanger system**

高压聚烯烃装置中超高压管式反应器、预热器和后冷器，型式为套管式管系结构，单根套管由直管/弯管和夹套管组成，直管/弯管和夹套管在两端由热缩套连接，超高压管系分散支撑在钢结构框架上，由超高压管道相连为一个系统，以下简称“反应器系统”。其中，超高压管式反应器、预热器和后冷器简称“反应器”。

2.0.3 管道脉动分析 **pipeline pulsation analysis**

利用流体动力学和声学原理，对管道系统中由往复设备引发的周期性压力波动进行建模、仿真与评估的工程分析过程。

2.0.4 管道振动分析 **pipeline vibration analysis**

应用结构动力学原理，对管道系统在流体脉动或其他动态载荷作用下的振动特性进行建模、仿真或实测评估的过程。

2.0.5 管道应力分析 **pipeline stress analysis**

建立管道系统力学模型，计算其在压力、重力、热膨胀差、风和地震等载荷下的应力、应变与位移，评估管道系统强度、刚度、疲劳寿命及设备接口载荷，确保管道系统安全运行。

2.0.6 反应坝 **reaction dam**

将反应器系统、压缩机等超高压设备和管系包围在内的四面墙体，结构型式为四面围护、上部无顶的钢筋混凝土结构的防爆墙。

2.0.7 直管 **straight pipe**

反应器中承载超高压流体介质的直通道管道元件。

2.0.8 弯管 **elbow pipe**

反应器中连接直管之间的弯曲管道元件，按结构型式分为小半径热弯弯管和大半径冷弯弯管。

2.0.9 螺纹法兰 **threaded flange**

反应器中直管与直管、直管与弯管之间连接的一种法兰型式，法兰内螺纹与直管或弯管的外螺纹进行连接。

2.0.10 透镜垫 **lens gasket**

反应器中直管与直管、直管与弯管之间连接的一种密封垫片型式。垫片内径一般与直管/弯管内径一致，通过球形密封面与直管/弯管端部的锥形面形成线接触，在螺栓力的作用下，垫片压紧在被连接的直管/弯管端部锥形面上实现密封。

2.0.11 热缩套 **shrink ring**

反应器中，在夹套管两端采用过盈配合连接直管，并与夹套管焊接连接的元件，该元件是直管和夹套管的连接件。

2.0.12 夹套管 **jacketed pipe**

反应器中承载中、低压冷媒或热媒介质的管道元件。

3 通用要求

3.0.1 本规范适用范围内反应器的材料、设计、制造、检验和验收除应符合本规范规定外，还必须遵守国家颁布的相关法律、法规和安全技术规范。

3.0.2 反应器的设计、制造单位应建立健全的质量管理体系并有效运行。

3.0.3 反应器的制造单位应持有 A6 级特种设备生产许可证。

4 设计一般要求

4.1 反应器系统设计

- 4.1.1 接收用户或委托方提出的设计条件，并核对其完整性、规范性和可行性。
- 4.1.2 进行工艺计算、反应器选材，确定反应器初步规格、结构及管道布置。
- 4.1.3 进行超高压压缩机出口管道、反应器系统的预脉动分析和预热应力分析，确定反应器和管道规格及布置方案。
- 4.1.4 进行反应器系统和连接管道初步结构设计。
- 4.1.5 进行超高压压缩机出口管道、反应器系统振动分析和热应力分析，确定反应器系统支撑方案。

4.2 反应器设计

4.2.1 反应器设计，应至少包括以下内容：

- 1 确定反应器主要失效模式和相应的失效准则，并进行风险评估。
- 2 确认设计所依据的主要标准和规范，确定计算方法。
- 3 确认设计范围、介质组分及介质特性（爆炸危险性和毒性危害程度、腐蚀性等）、腐蚀类型和腐蚀裕量、循环使用次数和设计使用年限。
- 4 确定设计工况及设计条件的危险组合。
- 5 根据设计条件确定各元件的材质，并提出相应的材料技术要求。
- 6 确定受压元件连接型式，反应器支撑形式等。
- 7 确定所需考虑的载荷、载荷的组合原则等，应考虑以下载荷：
 - 1) 在相应温度下的压力；
 - 2) 反应器自重（包括内件等），以及正常工作条件下或耐压试验状态下内装介质的重力载荷；
 - 3) 由温度梯度或热膨胀量不同引起的作用力；
 - 4) 附属设备及隔热材料、衬里等的重力载荷；
 - 5) 连接管道和其他部件的作用力（由管道脉动分析、振动分析和热应力分析确定）；
 - 6) 冲击载荷，包括压力急剧波动引起的冲击载荷，以及超压泄放装置动作时引起的反力等；
 - 7) 各种工况下的压力波动与温度波动；
 - 8) 热缩套对直管的作用力；
 - 9) 自增强处理后直管的残余应力；
 - 10) 地震载荷、风载荷等。
- 8 超压泄放装置按本规范附录 A 的规定。
- 9 基于失效模式进行设计与计算，其中裂纹合于使用评价按本规范附录 B 进行评定。
- 10 提出反应器技术要求，应包括原材料、材料检验和复验、加工成形、热处理、焊接、组装、无损检测、自增强处理、耐压试验、泄漏试验等要求。
- 11 确定螺柱上紧力和上紧流程，以及螺纹法兰、透镜垫的安装程序。
- 12 编制反应器现场安装流程文件。

5 材料

5.0.1 一般规定

- 1 本规范对反应器系统所使用的材料做出了规定，包括直管、弯管、夹套管、螺纹法兰、紧固件、密封件以及钢结构用材料等。
- 2 反应器中超高压元件用材料见表 5.0.1-1。

表 5.0.1-1 超高压元件用材料表

牌号	适用元件
40CrMoV	螺母
21CrMoV	螺纹法兰
31Cr2Ni2Mo	螺柱
30Cr2Ni2Mo	直管、弯管、螺纹法兰、法兰盖、透镜垫
25Ni4CrMoV	直管、弯管、螺纹法兰、法兰盖、透镜垫、螺柱
05Cr16Ni5Mo	直管、弯管、螺纹法兰、法兰盖、透镜垫
35CrNi3MoVR	直管、弯管、螺纹法兰、法兰盖、透镜垫、螺柱
36CrNi3MoVR	螺纹法兰、法兰盖、螺柱

- 3 反应器中超高压元件选材对应可按表 5.0.1-2。

表 5.0.1-2 超高压元件选材对应表

直管/弯管、法兰盖	螺纹法兰	螺柱	透镜垫	螺母
25Ni4CrMoV	21CrMoV	25Ni4CrMoV	25Ni4CrMoV	40CrMoV
05Cr16Ni5Mo	21CrMoV	31Cr2Ni2Mo	05Cr16Ni5Mo	40CrMoV
30Cr2Ni2Mo	21CrMoV	31Cr2Ni2Mo	30Cr2Ni2Mo	40CrMoV
35CrNi3MoVR	21CrMoV	35CrNi3MoVR	35CrNi3MoVR	40CrMoV

- 4 反应器其余元件材料按如下选择：

- 1) 设计温度 $\geq -20^{\circ}\text{C}$ 时，夹套管用材料采用现行国家标准《石化和化工装置用无缝钢管》GB/T 9948 中的 Q355D，热缩套用材料采用现行行业标准《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》NB/T 47008 中的 16MnIII 或 20MnNiMoIII。
- 2) 当设计温度 $\geq -40^{\circ}\text{C}$ 且 $< -20^{\circ}\text{C}$ 时，夹套用材料采用现行国家标准《石化和化工装置用无缝钢管》GB/T 9948 中的 Q355E，热套管用材料采用现行行业标准《低温承压设备用低合金钢锻件》NB/T 47009 标准中的 16MnDIII 或 20MnMoDIII。
- 3) 设计温度 $\geq -20^{\circ}\text{C}$ 时，钢结构用材料采用现行国家标准《低合金高强钢》GB/T 1591 中的 Q355E。
- 4) 当设计温度 $\geq -40^{\circ}\text{C}$ 且 $< -20^{\circ}\text{C}$ 时，钢结构用材料采用现行国家标准《低合金高强钢》GB/T 1591 中的 Q355F。

5.0.2 超高压元件用锻件材料规定

- 1 锻件材料的技术要求、试验方法和检验规则应符合相应国家标准、行业标准及设计文件的规定，同时应满足本规范的要求。

- 2 锻件材料应附有钢材生产单位的钢材质量证明书原件，质量证明书的内容（应包括钢材交货状态的热处理工艺参数）应当齐全、清晰，并且印刷可以追溯的信息化标识，加盖锻件材料制造单位质量检验章。可追溯的信息包括钢材制造单位名称、钢材标准号、牌号、规格、炉批号、交货状态、热处理工艺参数、质量证明书签发日期等内容。可追溯的信息化标记包括二维码或条码等。
- 3 在每个锻件材料的指定部位或其它明显部位做出清晰、牢固的标志，标志包括元件代号、炉号、锭号和锻件号。
- 4 反应器制造单位应按锻件材料证明书和技术要求对锻件进行验收。
- 5 锻件材料采用锻造或挤压方法成型，锻件应保留足够的余量，锻件锻造比应不小于 3。采用钢锭、钢坯锻造锻管时，应采用镦粗拔长工艺，锻件主截面的锻造比应不得小于 6。
- 6 首次使用本规范制造的超高压元件（直管和弯管）用锻件钢材，应当经过国家市场监督管理总局核准的压力容器用材料（锻件）型式试验机构的试验验证，并且出具压力容器用材料型式试验报告后，向国家市场监督管理总局申报，由国家市场监督管理总局委托特种设备安全与节能技术委员会进行技术评审，评审结果经国家市场监督管理总局批准后，材料方可使用。
- 7 锻件材料应采用电炉冶炼或氧化转炉冶炼并经炉外精炼（含真空处理）及电渣重熔的细晶粒镇静钢。
- 8 锻件材料的化学成分除符合现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21、现行国家标准《超高压容器》GB/T 34019 和相关标准的规定外，还应符合本规范附录 C 的规定。
- 9 锻件
 - 1) 锻件应经消除应力热处理后进行粗加工，其形状和尺寸应符合毛坯图样要求。
 - 2) 锻件表面缺陷允许打磨，其打磨深度不得超过精加工余量的 1/3，打磨后，其表面不允许有肉眼可见的夹杂和裂纹等缺陷。
 - 3) 锻件粗加工后（最终性能热处理前）应逐件按现行行业标准《承压设备无损检测 第 4 部分：磁粉检测》NB/T 47013.4 的规定对外表面进行 100%磁粉检测。
- 10 热处理
 - 1) 锻件性能热处理应符合现行国家标准《超高压容器》GB/T 34019 或本规范附录 C 的规定。
 - 2) 锻件性能热处理后按现行行业标准《承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测》NB/T 47013.3 的规定进行 100%直探头和斜探头超声检测。
- 11 硬度
 - 1) 锻件性能热处理后，对于锻管件应逐支沿轴向每 2 米取截面，任何长度的单根锻管件均应至少取 5 个截面，每个截面取 2 点检测表面硬度。
 - 2) 单根锻管件的表面硬度差应不大于 30HBW，每批锻管件的表面硬度差值应不大于 40HBW。
- 12 低倍组织
 - 1) 低倍应按现行国家标准《钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法》GB/T 226 的冷酸腐蚀法进行，低倍组织缺陷评级按现行国家标准《结构钢低倍组织缺陷评级图》GB/T 1979 的规定。
 - 2) 锻件不允许存在裂纹、夹层、折叠、气孔、夹渣和白点等缺陷。一般疏松中心疏松应不超过 2.0 级，锭型偏析、点状偏析应不超过 2.0 级。

13 金相

- 1) 锻件性能热处理后, 应按现行国家标准《钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微检验法》GB/T 10561 规定进行非金属夹杂物检验, 其 A、B、C、D 各类夹杂物的粗系级别和细系级别应分别不大于 2.0 级, DS 类夹杂物应不大于 2.0 级; A、B、C、D 各类夹杂物的粗系级别之和应不大于 3.5 级, A、B、C、D 各类夹杂物的细系级别之和应不大于 3.5 级。
- 2) 锻件性能热处理后, 应按现行国家标准《金属平均晶粒度测定法》GB/T 6394 进行晶粒度检查, 应具有不粗于 6.0 级的实际晶粒度。
- 3) 高强度低合金钢锻件的显微组织应为均匀的回火索氏体。

14 直探头纵波检测按现行行业标准《承压设备无损检测 第 3 部分: 超声检测》NB/T 47013.3 规定执行。缺陷校准参考和验收准则如下:

- 1) 超声波检测灵敏度为 $\phi 2\text{mm}$ 当量直径, 底波降低量 $B_G/B_F \geq 6\text{dB}$ 。
- 2) 直管/弯管不允许有大于 $\phi 2\text{mm}$ 当量直径的单个缺陷, 或 $\phi 2\text{mm}$ 以及大于 $\phi 2\text{mm}$ 当量直径缺陷密集区。
- 3) 其他超高压元件不允许有大于 $\phi 3\text{mm}$ 当量直径的单个缺陷。

15 斜探头轴向和周向检测方法按现行行业标准《承压设备无损检测 第 3 部分: 超声检测》NB/T 47013.3 规定执行。缺陷校准参考和验收准则如下:

- 1) 超声波检测灵敏度为 $\phi 2\text{mm}$ 当量直径, 底波降低量 $B_G/B_F \geq 6\text{dB}$ 。
- 2) 直管/弯管不允许有大于 $\phi 2\text{mm}$ 当量直径的单个缺陷, 或 $\phi 2\text{mm}$ 以及大于 $\phi 2\text{mm}$ 当量直径缺陷密集区。

16 磁粉检测、渗透检测和涡流检测按现行行业标准《承压设备无损检测 第 4 部分: 磁粉检测》NB/T 47013.4、《承压设备无损检测 第 5 部分: 渗透检测》NB/T 47013.5 和《承压设备无损检测 第 13 部分: 脉冲涡流检测》NB/T 47013.13 的规定执行, 质量等级为 I 级。

17 性能试验

- 1) 锻件性能热处理后的力学性能应符合本规范附录 C 的规定。
- 2) 锻件生产单位提供的力学性能报告中力学性能试验项目、数量和方法应按表 5.0.2 的规定:

表 5.0.2 超高压元件检验项目、取样数量、取样方法及试验方法

序号	检验项目	直管/弯管用锻件取样数量	螺纹法兰、透镜垫和紧固件用锻件取样数量	试验方法
1	化学成分	每炉 1 个试样	每炉 1 个试样	GB/T 223 GB/T 4336 GB/T 20123 GB/T 20124 GB/T 11261
2	室温拉伸	两端分别取 1 个横向试样 (试样位于管子内径处)	1 个/批	GB/T 228.1
3	高温拉伸	两端分别取 1 个横向试样 (试样位于管子内径处)	1 个/批	GB/T 228.2

4	冲击(侧向膨胀量)	两端分别取 1 组 3 个横向试样 (试样位于管子内径处)	3 个/批	GB/T 229
5	硬度	逐件	逐件	NB/T 47008
6	断裂韧性 K_{IC}	同一冶炼、锻造和热处理工艺提供 1 份试验报告(试样位于管子内径处)	1 组/批	GB/T 21143
7	转变温度 ($T_{0.53}$)	同一冶炼、锻造和热处理工艺提供 1 份试验报告(试样位于管子内径处)	1 组/批	GB/T 229
8	低倍	毛坯冒口端取 1 个试样	1 个/批	GB/T 226 GB/T 1979
9	晶粒度	毛坯冒口端取 1 个试样	1 个/批	GB/T 6394
10	非金属夹杂物	毛坯冒口端取 1 个试样	1 个/批	GB/T 10561 A 法 评级
11	磁粉检测/渗透检测	逐件	逐件	NB/T 47013.4/ NB/T 47013.5
12	超声检测	逐件	逐件	NB/T 47013.3

3) 当改变冶炼、锻造或热处理工艺时,应当提供锻件的断裂韧性(K_{IC})和韧脆转变温度($T_{0.53}$)试验报告。

18 成品直管、弯管、螺纹法兰和法兰盖、透镜垫和紧固件的检验项目和时机按第 7 章的规定。

6 设计

6.1 反应器系统工艺设计

6.1.1 反应器系统的工艺设计范围包含管式反应器、预热器、后冷器、仪控阀、安全排放设施、仪表及管道、管件等，整体布置可采用管排式或环管式，布置应综合阀门、安全排放设施的设置及整个反应器系统的检修、安装要求确定。

6.1.2 管式反应器前应根据工艺需要设置预热器，预热器结构型式应采用套管式换热器，工艺介质走直管/弯管，加热介质走夹套管，加热介质宜根据换热需求选用不同等级的蒸汽。蒸汽走向宜为上进下出。预热器各管段夹套管间应根据蒸汽回路设联通跨接管，跨接管宜与夹套管底齐平。

6.1.3 管式反应器结构型式为套管式，工艺介质走直管/弯管，冷却介质走夹套管，冷却介质应采用加压工艺水。工艺水的进水温度及水量应综合换热效率与反应器的结垢曲线确定。反应器的工艺水与工艺介质宜逆流换热，如有特殊冷却需求，也可采用顺流换热。工艺水走向宜下进上出。

6.1.4 根据工艺需求，管式反应器可分为多个反应分区，各反应分区入口处应设置引发剂注入点。

6.1.5 管式反应器出料应设置出料阀，出料阀根据工艺需求采用脉冲或无脉冲出料。

6.1.6 由于逆 J-T 效应，管式反应器出料阀后应设置后冷器，后冷器结构型式应采用套管式换热器。后冷器的冷却介质应采用加压工艺水。工艺水的进水温度及水量应综合换热效率与后冷器的结垢曲线确定。后冷器的工艺水与工艺介质宜逆流换热，如有特殊冷却需求，也可采用顺流换热。工艺水走向宜下进上出。

6.1.7 管式反应器宜根据换热需求分段设置工艺水回路，单个回路的反应管/换热管不宜超过 150m。管式反应器/后冷器各管段套管间应根据工艺水回路设联通跨接管，跨接管宜与夹套管底齐平。

6.1.8 反应器系统的安全排放设施应采用爆破片，不得采用安全阀。

6.1.9 反应器系统应根据工艺需求设置爆破片或（和）紧急排放阀（仪控连锁阀）作为安全排放设施，安全泄放装置的排量及喉径应根据反应热分解工况确定。

6.1.10 当采用紧急排放阀作为安全排放设施之一时，应根据 SIL 分析结果确定紧急排放连锁的 SIL 等级。

6.1.11 超压泄放装置及设施下游排放管应根据排放时的负荷计算液力冲击。

6.1.12 反应器系统各段间或根据工艺需要设置仪表阀，仪表阀宜集中布置。反应区阀门布置应考虑阀门的吊装、检修需求。

6.1.13 反应器系统应设置温度测点，宜在透镜垫上设置插入式温度测点，管式反应器的温度测点位置及数量应根据工艺要求确定。反应器系统温度测点宜采用双支 K 型热电偶，接壳型；温度变送器应选用快速响应产品。

6.1.14 反应器系统如需设置压力测点，压力测点管口应使用超高压油持续冲洗。反应器系统压力测点应选用快速响应的压力变送器。

6.2 反应器系统安全设计

- 6.2.1 反应器系统均应布置在反应坝内。反应坝的高度应至少高于反应器系统的超高压管排最高点处 3m。
- 6.2.2 反应坝应能在泄漏蒸汽云爆炸、火灾、设备破裂碎片飞溅等多种事故情况下将危害控制在反应坝范围内，最不利情况下允许反应坝有一定的损坏，但不能倒塌或破碎。
- 6.2.3 反应坝内应设置可燃气体报警，可燃气体报警的探测范围应能覆盖所有高压/超高压法兰。
- 6.2.4 反应坝内的可燃气体检测器宜选用红外式仪表，检测信号应接入安全仪表系统。当检测到坝内可燃气体发生泄漏时，通过安全仪表系统联锁紧急停车。
- 6.2.5 反应器系统应设置超温联锁，超温时通过安全仪表系统联锁紧急排放阀进行紧急排放泄压。
- 6.2.6 反应器系统安全排放设施的排放可采用单点直排大气，也可设事故排放罐收集后集中排大气。
- 6.2.7 排大气口高度应根据排放时气体扩散浓度计算确定。
- 6.2.8 当周边装置采用空气作为原料，并对吸入空气中烃类浓度有要求时（如空压站等），应特别注意事故排放时周边范围的烃类落地浓度。
- 6.2.9 当设置事故排放罐时，安全排放设施至排放罐的管道应尽可能短且弯头尽可能少，并应确保事故排放罐内始终保持合适的水位，在环境温度较低的地区应考虑罐内水的防冻。
- 6.2.10 反应坝内应设置消防喷淋。消防喷淋的范围应能覆盖所有超高压设备及阀门，消防水喷淋的各集合管及支管宜布置在反应器系统的上方。

6.3 反应器系统布置设计

6.3.1 反应器系统布置原则

- 1 反应器系统的布置应符合工艺流程的要求，集中布置，合理用地。
- 2 反应器系统布置的防火间距应符合现行国家标准《石油化工企业设计防火标准》GB 50160 及设计文件的规定。
- 3 反应器系统应布置在反应坝内，并应满足操作、维护、检修、施工和消防的要求。
- 4 反应器系统宜布置在装置的一端或一侧，以减少可能发生事故对装置的波及范围，降低损失。
- 5 反应器上的温度测点应朝向检修侧布置。

6.3.2 超高压管道的配管

- 1 超高压管道的布置应满足工艺流程要求。
- 2 超高压管道的设计应综合考虑管道的脉动分析、振动分析与热应力分析。
- 3 超高压管道的布置应统筹规划，做到安全可靠、满足施工、操作和检维修等方面的要求。
- 4 超高压管道在任何一个方向都需要设置调整段，调整段的长度宜比实际长度长 100mm。
- 5 超高压管道的设计应满足预制和运输的要求。如有需要，管道之间增加可拆卸法兰。
- 6 超高压管道系统应在无应力的状态下进行安装。

6.3.3 引发剂注入

- 1 反应器设有多个分区，各反应分区设置引发剂注入点。通过引发剂注入泵将过氧化物溶液加压至高于其对应点的反应压力，分别注入反应器中。

- 2 引发剂系统管道应采用不锈钢 TUBING 管道，并减少连接接头。
- 3 引发剂注入至反应器的管道应尽量短。
- 6.3.4 反应坝开孔要求
 - 1 管线应尽量集中布置，减少反应坝的墙面开孔数量。
 - 2 墙面开孔完成后，宜对孔洞进行密封处理。
- 6.3.5 超高压泄放管道
 - 1 超压泄放装置至事故排放罐的管线应无袋型。
 - 2 超高压泄放管道应考虑由于泄压排放引起的反力，合理设置支架。
 - 3 除爆破片外，安全泄放装置上方需设置检维修用的电动葫芦。
 - 4 超高压泄放管道向大气排放时，放空高度应通过可燃气体排放扩散计算，同时满足高出 8m 范围内的平台或建筑物顶 3m 以上的要求。
 - 5 超高压泄放管道向大气排放时，应在低点设置泪孔。

6.4 反应器系统脉动、振动和应力分析设计

- 6.4.1 反应器系统脉动及振动分析
 - 1 反应器系统脉动和振动分析范围包含预热器及多个串/并联反应器，脉动边界至反应器下游出料阀。
 - 2 经脉动计算后，进行谐波振动响应计算，通过反应器支架的设置和调整，振动应力和振动速度应符合设计文件规定。
- 6.4.2 反应器系统柔性分析
 - 1 反应器系统的柔性分析应按本规范附录 D 执行。
 - 2 柔性分析应包含反应器系统开车、停车、正常操作、设计等工况。
- 6.4.3 反应器系统的泄放系统及应力计算
 - 1 反应器系统应设置超压泄放装置。
 - 2 泄放系统的放空管应设置能承受爆破片爆破反力的刚性支撑。
 - 3 泄放系统的应力计算、持续载荷与偶然性载荷组合工况的应力限制条件按本规范附录 D 执行。

6.5 反应器机械设计计算

- 6.5.1 反应器结构设计
 - 1 反应器高压部分一般由直管和弯管组成，直管和弯管之间由螺纹法兰、透镜垫和紧固件连接。典型管式反应器结构如图 6.5.1 所示。
 - 2 反应器内的超高压流体通道应连续、光滑，不应有台阶和死区，直管/弯管变径一般通过透镜垫实现。
 - 3 直管/弯管外表面根据夹套管内水质情况考虑设置覆铜。
 - 4 如弯管为大弯曲直径（弯曲半径大于等于 10 倍直管外径），成形方式为冷弯，弯管外部应

设置夹套管。

- 5 如弯管为小弯曲半径,成形方式为热弯,热弯弯管的弯曲半径应考虑弯管厂家的弯制能力。
- 6 反应器直管/弯管不允许开孔,仪表、放空阀和引发剂注入口应设置在透镜垫上。
- 7 反应器低压部分一般由夹套管、热缩套和跨接管组成。根据设计计算结果确定夹套管是否需设置膨胀节。
- 8 热缩套与直管连接的位置、弯管的直段长度应考虑螺栓拉伸器的安装空间。
- 9 沿直管长度范围,直管和夹套管之间设置多组定位柱。
- 10 直管/弯管与夹套管端部连接的热缩套位置,应充分考虑螺栓拉伸器的操作空间。
- 11 低压部分的跨接管可采用焊接或法兰连接。
- 12 反应器由一次支架固定在钢结构框架上。一次支架按类型分为固定支架和滑动支架。

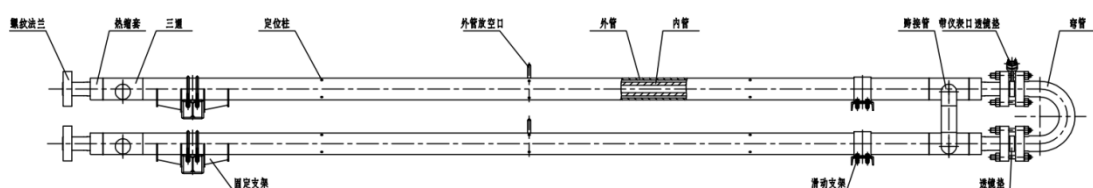


图 6.5.1 典型管式反应器结构

6.5.2 设计计算通用要求

- 1 针对脆性断裂失效、塑性断裂失效、局部过度应变失效、棘轮失效、疲劳失效、泄漏失效模式开展相关设计计算并评定。
- 2 除以上失效模式外,还应充分考虑反应器在运行过程中可能出现的其他失效模式,如介质腐蚀、磨蚀等,并在选材、设计和制造中考虑具体措施。
- 3 反应器超压泄放装置应满足本规范附录 A 和设计文件要求。

6.5.3 塑性垮塌失效评定

- 1 根据设计工况、直管/弯管材质和预设结构尺寸,按爆破压力法和弹塑性分析法分别进行评定。
- 2 爆破压力法:直管/弯管的爆破压力应按材料拉伸试验数据和现行国家标准《超高压容器》GB/T 34019 进行计算,安全系数应不低于 2.2。本方法仅适用于评定远离总体/局部结构不连续处的主体结构。
- 3 弹塑性分析法:直管/弯管的塑性垮塌按现行国家标准《超高压容器》GB/T 34019 进行评定,建立直管/弯管数值分析模型,进行各载荷组合下的弹塑性数值计算,当各载荷组合的数值计算均得到收敛解,评定通过;如结果不收敛,对模型进行调整,重新评定。

6.5.4 局部过度应变失效评定

- 1 按现行国家标准《超高压容器》GB/T 34019 进行评定。建立直管/弯管数值分析模型,进行各载荷组合下的弹塑性数值计算。
- 2 对于每种载荷工况,当直管/弯管任意部位的当量塑性应变不高于该点的三轴应变极限时,评定通过。
- 3 根据各载荷工况的加载顺序进行加载,计算累计损伤效应。当直管/弯管任意部位的累计应

变损伤系数均小于或等于 1.0 时, 评定通过。

- 4 如评定未通过, 对模型进行调整, 重新评定。

6.5.5 棘轮失效评定

- 1 分析反应器的循环载荷工况, 进行 n ($n \geq 3$) 次加-卸载弹塑性计算, 按现行国家标准《超高压容器》GB/T 34019 进行评定, 满足以下 3 项条件之一则评定通过。

- 1) 模型中只有弹性变形, 无塑性应变区;
- 2) 模型中存在弹性核心区域;
- 3) 模型无永久性塑性变形。

- 2 如评定未通过, 对模型进行调整, 重新评定。

6.5.6 疲劳失效评定 (疲劳分析法)

- 1 如反应器直管/弯管按本节判定为未爆先漏, 则按现行国家标准《超高压容器》GB/T 34019 的疲劳分析法或本规范中第 6.5.7 条的断裂力学法进行评定, 如不能判定为未爆先漏, 则按本规范中第 6.5.7 条的断裂力学法进行评定。

- 2 符号

下列符号适用于本节。

K_I —— 应力强度因子, $\text{MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$;

K_{IC} —— 材料的断裂韧性, $\text{MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$;

t —— 壁厚, mm;

$R_{p0.2}$ —— 常温下材料的屈服强度, MPa;

- 3 未爆先漏评定: 如直管/弯管表面的纵向表面裂纹尺寸 (设定初始深长比 $a/l=1/3$) 同时满足以下 2 项条件, 则判定为未爆先漏。

- 1) 裂纹尺寸扩展至 $0.8t$ 时, $K_I < K_{IC}$ 。

- 2) $0.2t < (K_{IC}/R_{p0.2})^2$

- 4 反应器直管/弯管应进行自增强处理, 自增强压力的设定宜使直管/弯管得到合理的超应变度, 推荐的超应变度范围为 20%~40%。

- 5 疲劳分析评定时应考虑自增强处理后残余应力的影响。

- 6 疲劳曲线可根据所选材质, 查取相应设计标准中提供的材料疲劳曲线/图表, 或按材料生产商提供的材料疲劳曲线。

6.5.7 疲劳分析评定 (断裂力学法)

- 1 如直管不能判定为未爆先漏, 疲劳失效应采用如下步骤进行断裂力学评定, 高强度低合金钢按图 6.5.7, 马氏体沉淀硬化钢参照图 6.5.7 时, 按式 6.5.7-2 和式 6.5.7-3 相应替换 $f(R_k)$ 。

- 2 符号

下列符号适用于本节。

a_0 —— 断裂力学分析评定时假设的初始裂纹深度, m;

a_c —— 临界裂纹深度, 取 $K_{I\max} = K_{IC}$ 对应的裂纹深度和 0.8 倍壁厚中的较小者, m;

Δa —— 裂纹扩展计算时假定的裂纹扩展深度, m;

C —— 裂纹扩展系数, 见表 6.5.7-2;

da/dN —— 裂纹扩展速率, m/次;
 H —— 计算裂纹扩展门槛值的系数, 见表 6.5.7-2;
 I —— 材料系数, 见表 6.5.7-2;
 G —— 材料系数, 见表 6.5.7-2;
 R_K —— 应力强度因子比;
 K_I —— 应力强度因子, $\text{MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$;
 K_{IC} —— 材料的断裂韧性, $\text{MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$;
 $K_{I\max}$ —— 除残余应力之外的所有循环载荷作用下的应力强度因子最大值, $\text{MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$;
 $K_{I\min}$ —— 除残余应力之外的所有循环载荷作用下的应力强度因子最小值, $\text{MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$;
 $K_{I\text{res}}$ —— 由自增强引起的残余应力得到的应力强度因子最小值, $\text{MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$;
 ΔK_{th} —— 裂纹扩展门槛值, $\text{MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$;
 t —— 壁厚, mm;
 m —— 裂纹扩展指数, 见表 6.5.7-2;
 n —— 预计循环次数;
 N_c —— 裂纹扩展至 $1/4a_c$ 所需的循环次数;
 N_p —— 裂纹扩展至临界裂纹深度 a_c 所需的循环次数;
 ΔN —— 裂纹扩展 Δa 所需的循环次数;

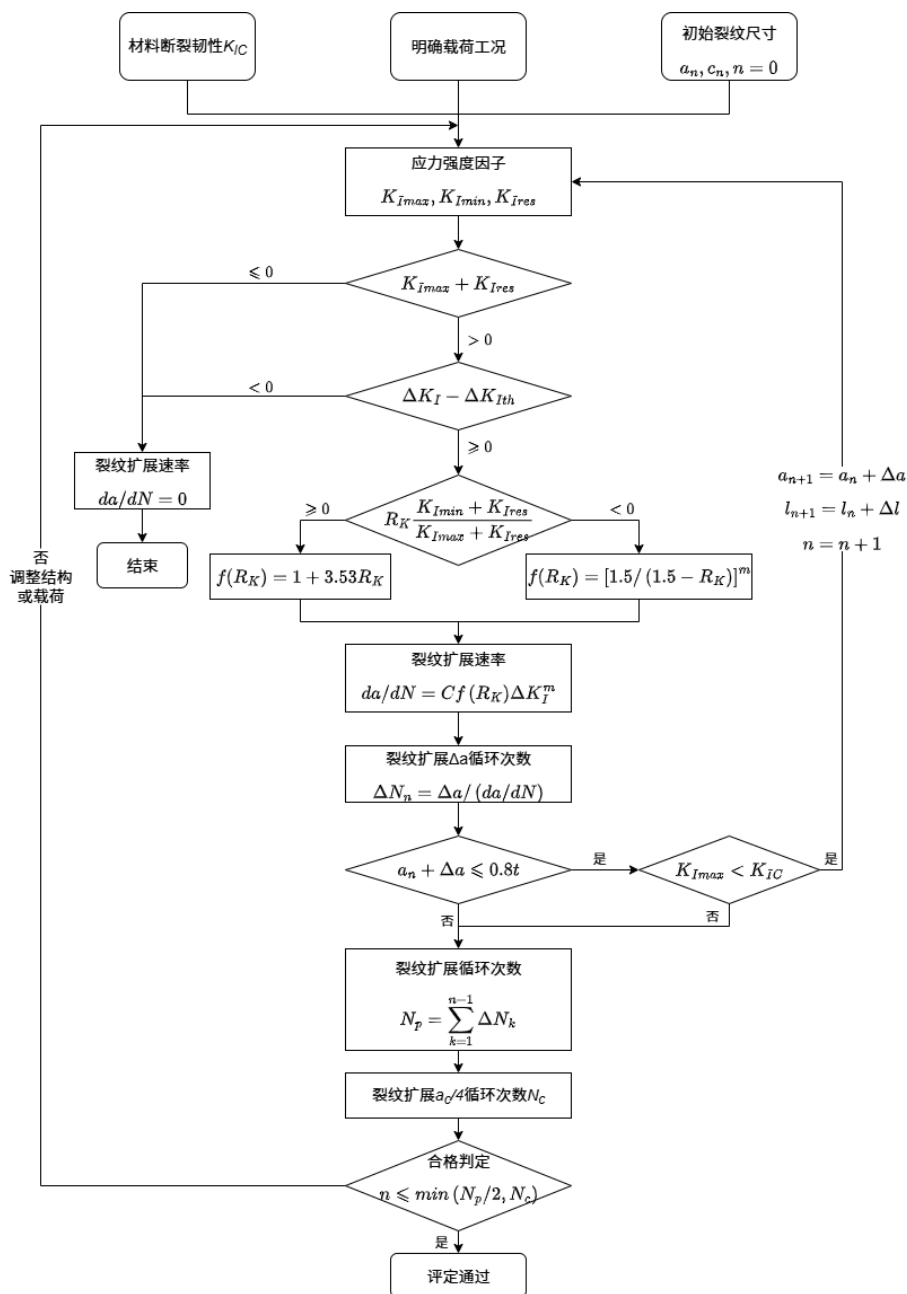


图 6.5.7 断裂力学评定步骤

3 初始裂纹尺寸

当无法确定裂纹实际测量尺寸时,采用断裂分析评定时,初始裂纹深度 a_0 可按表 6.5.7-1 取值。假设的裂纹尺寸应不小于实际最大无损检测显示,如初定了更小的尺寸,则必须证明无损检测可靠的测出该尺寸。

表 6.5.7-1 初始裂纹尺寸

壁厚 t/mm	初始裂纹深度 a_0/m
$t \leq 16$	0.0005
$16 < t \leq 50$	0.0011
$t > 50$	0.0016

4 应力强度因子

在直管/弯管典型危险部位假定裂纹存在,按现行国家标准《超高压容器》GB/T 34019 计算应力强度因子,获得在整个循环周期中最大应力强度因子 $K_{I\max}$ 、最小应力强度因子 $K_{I\min}$ 以及残余应力强度因子 $K_{I\text{res}}$ (如存在),计算时应考虑压应力、热应力、不连续应力和残余应力等在内的所有应力。

5 裂纹扩展速率

按下式计算裂纹扩展速率 da/dN , 相关系数取值按表 6.5.7-2:

$$\frac{da}{dN} = C \cdot [f(R_k)] \cdot \Delta K_I^m \quad 6.5.7-1$$

式中,

$$f(R_k) = \begin{cases} 1.0 + 3.53R_k & R_k \geq 0 \\ [1.5/(1.5 - R_k)]^m & R_k < 0 \end{cases} \quad (\text{高强度低合金钢}) \quad 6.5.7-2$$

$$f(R_k) = \begin{cases} 30.53R_k - 17.0 & R_k \geq 0.67 \\ 1.0 + 3.48R_k & 0 \leq R_k < 0.67 \\ [1.5/(1.5 - R_k)]^m & R_k < 0 \end{cases} \quad (\text{马氏体沉淀硬化钢}) \quad 6.5.7-3$$

$$R_k = \frac{K_{I\min} + K_{I\text{res}}}{K_{I\max} + K_{I\text{res}}} \quad 6.5.7-4$$

$$\Delta K_I = K_{I\max} - K_{I\min} \quad 6.5.7-5$$

表 6.5.7-2 裂纹扩展速率相关的系数

材料	$C, m/\text{次}$ ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) ^{-m}	m	G $\text{MPa} \cdot \sqrt{m}$	H	I $\text{MPa} \cdot \sqrt{m}$
高强度低合金钢	3.64×10^{-12}	3.26	7.0	0.85	6.0
马氏体沉淀硬化钢	4.49×10^{-12}	3.15	7.0	0.85	6.0

必要时,设计人员应考虑环境对裂纹扩展速率的影响,如腐蚀疲劳等。

若 ΔK_I 小于门槛值 ΔK_{th} 或 $K_{I\max} + K_{I\text{res}} \leq 0$, da/dN 值可设为零。其中, ΔK_{th} 按下式计算,但应不小于 $2.2 \text{ MPa} \cdot \sqrt{m}$ 。

$$\Delta K_{th} = \min\{G(1 - HR_k), I\} \quad 6.5.7-6$$

6 临界裂纹深度

按下式计算裂纹扩展 Δa 所需的循环次数 ΔN , 更新裂纹尺寸, 重复上述步骤直至达到临界裂纹深度 a_c :

$$\Delta N = \Delta a / (da/dN) \quad 6.5.7-7$$

其中,临界裂纹深度 a_c 应取 $K_{I\max} = K_{IC}$ 对应的裂纹深度和 0.8 倍壁厚中的较小者。

7 裂纹扩展循环次数

获得裂纹扩展至临界裂纹深度 a_c 的总循环次数 N_p 和裂纹扩展至 $1/4 a_c$ 的总循环次数 N_c , 并应采用减少 Δa 的方法反复进行试算, 直至 N_p 和 N_c 无明显变化。

8 合格判定

若反应器的预计循环次数 n 满足下式, 评定通过; 否则应采用改变操作条件、反应器结构尺寸等措施, 重复本条中之前的操作步骤, 直到满足本条要求为止。

$$n \leq \min\{N_p/2, N_c\} \quad 6.5.7-7$$

6.5.8 裂纹的合于使用评价

- 1 将按第 6.5.7 条计算的临界裂纹深度 a_c 作为评定点，进行合于使用评价。
 - 2 合于使用评价按本规范附录 B 的方法，评定通过，即评定点满足裂纹的合于使用评价；否则应按本规范附录 B 的方法计算失效评定图（FAD）的临界裂纹评价点，代替第 6.5.7 条计算的临界裂纹深度 a_c 重新进行断裂力学评定。
 - 3 在役设备可根据实际测得的裂纹尺寸和位置，按本规范附录 B 的方法进行剩余寿命预测。
- 6.5.9 螺纹法兰
- 1 螺纹法兰、法兰盖、透镜垫、螺柱尺寸可按本规范附录 E 选取后核算尺寸。
 - 2 螺纹法兰可按现行行业标准《钢制化工容器强度计算规范》HG/T 20582 的方法设计计算。
 - 3 螺纹法兰的设计应包括以下内容：
 - 1) 透镜垫材料及尺寸的确定；
 - 2) 螺柱材料、规格和数量的确定；
 - 3) 螺柱上紧力的确定；
 - 4) 螺纹法兰、法兰盖材料、结构及尺寸的确定；
 - 5) 螺纹法兰、法兰盖许用外载荷（轴向力、弯矩）的确定；
 - 6) 螺纹法兰和紧固件的应力校核。
 - 4 螺纹法兰和螺柱的配套尺寸链应考虑螺栓拉伸器操作空间。
 - 5 宜与螺栓拉伸器厂家共同确定最终实施的螺栓上紧力。
- 6.5.10 热缩套
- 1 热缩套过盈量设计计算应至少考虑以下载荷和因素：
 - 1) 直管操作压力；
 - 2) 夹套管操作压力；
 - 3) 自增强处理的环向残余应变；
 - 4) 直管液压试验压力；
 - 5) 直管和夹套管的热膨胀差（如未设置膨胀节时）。
 - 2 热缩套过盈量设计计算应考虑以下工况：
 - 1) 热缩套安装工况；
 - 2) 反应器直管液压试验工况；
 - 3) 反应器操作工况。
 - 3 热缩套的理论过盈量可按现行国家标准《极限与配合 过盈配合的计算和选用》GB/T 5371 进行计算。
 - 4 实际过盈量的选取应考虑直管外表面和热缩套内表面的粗糙度。
 - 5 宜用有限元分析方法对实际过盈量进行复核。
 - 6 根据实际过盈量，计算热缩套推荐的加热温度。
- 6.5.11 夹套管的失效模式和设计计算应符合现行国家标准《压力容器》GB/T 150 的规定。
- 6.5.12 一次支架
- 1 固定支架与反应器的连接方式宜为焊接。
 - 2 滑动支架与反应器的连接方式宜为 U 形螺栓或 U 形板。
 - 3 一次支架的结构设计应考虑反应器系统柔性分析的载荷和位移量。

6.5.13 反应器安装文件

- 1 确定法兰螺栓上紧力和上紧扭矩，编制螺纹法兰上紧流程文件。
- 2 编制完整的螺栓拉伸紧固程序，注明每个接头处所用的全部设备（含零件号）、润滑剂、伸长量、液压油压力等信息。
- 3 编制反应器安装说明文件。

6.6 反应器系统钢结构设计

6.6.1 反应器框架一般采用钢框架结构。

6.6.2 反应坝采用钢筋混凝土抗震墙结构。

6.6.3 结构设计采用以概率论为基础的极限状态设计法。

6.6.4 承重结构或构件应按承载力极限状态和正常使用极限状态设计。

6.6.5 结构及构件分析计算要求如下：

- 1 钢框架结构及构件的强度及稳定计算应按照现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 进行。水平及竖向位移应满足现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 相关限值要求，还应满足振动分析的限值要求。
- 2 反应坝应按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的规定进行强度和配筋计算。
- 3 结构及构件应按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 及现行国家标准《构筑物抗震设计规范》GB 50191 进行抗震分析，并满足相应抗震等级的构造要求。

6.6.6 荷载及荷载组合按如下规定：

- 1 荷载的基本工况和组合应满足现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 及现行国家标准《石油化工建（构）筑物结构荷载规范》GB 51006 的相关要求。
- 2 荷载的偶然工况包括爆炸冲击波荷载（等效静荷载）及超高压系统泄压时的反力（爆破力），其组合应满足现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 及现行国家标准《石油化工建（构）筑物结构荷载规范》GB 51006 的相关要求。

6.6.7 地基基础应满足如下规定：

- 1 反应框架及反应坝基础宜采用现浇钢筋混凝土结构。混凝土强度等级宜不低于 C30。
- 2 基础宜设置在均匀的中、低压缩性的地基土上，当地基下卧层有不良地质现象时，应对地基采取有效的处理措施。
- 3 当地基的受力层范围内存在易发生振动液化的饱和砂土或粉土时，宜采用桩基、换土夯实或其他地基加固方案。
- 4 爆破工况下，地基基础设计应符合现行国家标准《石油化工建筑物抗爆设计标准》GB/T 50779 的规定。

7 制造、检验和验收

7.1 通用要求

- 7.1.1 反应器制造、检验和验收除应符合本规范和设计文件的规定外，还应符合现行法规《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21 的规定。
- 7.1.2 对于外购的超高压元件，应逐批（同一炉号、同一热处理制度）复验化学成分、常规力学性能和金相组织，逐件复验晶粒度。
- 7.1.3 加工前，应在超高压元件上标记锻件编号和炉号，不应使用硬印标记。
- 7.1.4 直管/弯管内表面不允许有裂纹及其他缺陷存在，外表面不允许有深度大于 0.25mm 的缺陷。
- 7.1.5 超高压元件及密封件的密封面不应有碰伤、划伤、毛刺和其他影响密封性能的缺陷存在。
- 7.1.6 根据反应器结构型式，明确超高压元件的机加工、硬度检测、无损检测时机和方法、热处理和自增强处理等要求。
- 7.1.7 超高压元件的检验和检测应满足第 5.0.2 条的要求。
- 7.1.8 反应器系统用超高压管道的制造、检验和验收要求可参照本章节规定。

7.2 直管

7.2.1 机械加工

- 1 直管应采用锻件经机械加工方法制造。
- 2 内径允许偏差为 $(-0.5/+0.5)$ mm，外径允许偏差为 $(-1.0/+1.0)$ mm，直管长度允许偏差为 ± 2.0 mm。
- 3 直管加工后，内表面粗糙度 R_a 应小于或等于 $0.2 \mu\text{m}$ ，外表面粗糙度 R_a 应小于或等于 $1.6 \mu\text{m}$ 。
- 4 机械加工后应进行直线度检查，每 1000mm 不大于 1.0mm，全长直线度允许偏差为直管长度的 1%，且不大于 10mm。

7.2.2 管端加工

- 1 直管端部第一次加工前应采用相同材料进行试加工，试加工的螺纹经检测合格后才能正式生产。
- 2 直管端部热缩套处外表面粗糙度 R_a 应不大于 $0.8 \mu\text{m}$ 。
- 3 螺纹加工前，应将管端加工至设计文件规定的尺寸。
- 4 管端螺纹可采用滚制或车削加工。
- 5 螺纹成型后，不允许进行热处理。
- 6 螺纹加工表面粗糙度和管端密封面粗糙度 R_a 应不大于 $0.8 \mu\text{m}$ 。
- 7 螺纹表面不应有裂纹、凹陷等缺陷。
- 8 螺纹基本尺寸按现行国家标准《普通螺纹 基本尺寸》GB/T 196 的规定，公差按现行国家标准《普通螺纹 公差》GB/T 197 的 6g 级精度。

7.2.3 检验和检测

- 1 直管加工后应逐件进行 100%直探头纵波和斜探头横波/纵波超声检测。

- 2 直管最后一道精加工前，应逐件进行硬度检测，每个环线上均布取 4 点，环线间各点硬度差应不大于 30HBW，同一环线上各点硬度差应不大于 20HBW。
- 3 直管钻孔和珩磨加工后，内表面应逐件进行检查，不应有裂纹、结疤、折叠、划伤、压痕、锈蚀等缺陷，并逐件进行 100%涡流检测。
- 4 外表面应逐件进行目视检查，较小缺陷允许修磨清除，并逐件进行 100%磁粉检测。

7.3 热弯弯管

7.3.1 直管加工和弯制

- 1 弯管弯制前，弯管生产厂家按成品弯管的尺寸和粗糙度要求确定所需的直管加工尺寸，并按第 7.2.1 条的方法加工直管。
- 2 弯制前应进行弯制工艺验证，沿垂直于试弯件纵向轴线方向，在 3~4 个位置（至少应包括直段、起弯点和弯曲最大点）截取试样测量，合格后方可正式生产。
- 3 弯管试样在弯曲过程中成型速度、成型温度、冷却剂类型、冷却剂流量等，以及在恢复性能热处理过程中加热炉、温度、热电偶位置、加热时长等，均应与正式弯制过程相同。
- 4 热弯加热温度不应超过材料的正火温度。
- 5 热弯过程中应对内壁进行保护。
- 6 弯管直段部分椭圆度允许偏差为 2%，弯管弯曲部分内径流通量应大于或等于公称流通量的 95%，壁厚减薄量应小于或等于 5%（每隔 22.5°测一次）。
- 7 弯管直段部分外径的允许偏差为公称外径的 1.5%，弯曲部分外径的允许偏差为公称外径的 3%；弯管内径的允许偏差为公称内径的 3%。
- 8 180°弯管两端直段段的中心距允许偏差应为±2.0mm。
- 9 180°弯管两端直管段在弯曲平面内平行度允许公差为±3.0mm，垂直于弯曲平面的平行度允许公差为±3.0mm。
- 10 加工后，弯管端部应光滑、无毛刺，无有害缺陷。

7.3.2 热处理

- 1 热弯弯管弯曲成型后，应进行恢复性能热处理，热处理时应做好内表面保护，不得破坏内表面的粗糙度。
- 2 弯管热处理后，不得进行再弯曲。
- 3 热处理时，热电偶应安装在弯管上，热电偶的数量和安装位置应确保记录的温度-时间曲线准确反映弯管的温度情况。

7.3.3 管端加工

- 1 管端螺纹加工和管端密封面加工应符合第 7.2.2 条的规定。
- 2 弯管外螺纹可采用滚制或车削加工。

7.3.4 检验与检测

- 1 经热处理后的弯管试样应进行金相检验和晶粒度检验。并应进行硬度检测，在弯管外弧侧沿长度方向选取三个等距测点（1/4、1/2、3/4 处），环线间各点硬度差应不大于 30HBW，同一环线上各点硬度差应不大于 20HBW。

- 2 弯管热处理后，内表面应逐件进行检查，不应有裂纹、结疤、折叠、划伤、压痕、锈蚀等缺陷，并逐件进行 100%涡流检测；外表面应逐件进行目视检查，较小缺陷允许修磨清除，并逐件进行 100%磁粉检测。
- 3 弯管热处理后，应逐件进行 100%直探头纵波和斜探头横波/纵波超声检测。
- 4 弯管热处理后，内表面粗糙度 Ra 应小于或等于 $0.4\mu m$ ，外表面粗糙度 Ra 应小于或等于 $1.6\mu m$ 。
- 5 弯管热处理后，管端螺纹、管端和管端密封面应逐件进行 100%磁粉或渗透检测。

7.4 冷弯弯管

7.4.1 直管加工和弯制

- 1 弯管弯制前，弯管生产厂家按成品弯管的尺寸和粗糙度要求确定所需的直管加工尺寸，并按第 7.2.1 条的方法加工直管。
- 2 弯制前应进行弯制工艺验证，沿垂直于试弯件纵向轴线方向，在 6 个位置（至少应包括直段、起弯点和弯曲最大点）截取试样测量，合格后方可正式生产。
- 3 弯管试样在弯曲过程中成型速度、成型温度、冷却剂类型、冷却剂流量等，以及在应力消除过程中加热炉、温度、热电偶位置、加热时长等，均应与正式弯制过程相同。
- 4 冷弯宜多次成型，多次成形的次数不宜小于 20 次，如弯曲角度不够可以修正但不得回弯。
- 5 弯管椭圆度允许偏差为直管段公称外径的 2%，壁厚减薄量应不大于 5%（间隔 22.5° 测量一次），内径流量应大于或等于公称流量的 95%。
- 6 弯管的角度允许偏差为 $\pm 0.5^\circ$ 。
- 7 弯管任何位置处外径允许偏差为公称外径的 1.5%，内径允许偏差为公称内径的 3%。
- 8 弯曲半径允许偏差为 $\pm 5.0mm$ 。
- 9 180° 弯管两端直管段在弯曲平面内平行度允许公差为 $\pm 3.0mm$ ，垂直于弯曲平面的平行度允许公差为 $\pm 3.0mm$ 。
- 10 180° 弯管两端直管段的中心距允许偏差为 $\pm 3.0mm$ 。

7.4.2 热处理

- 1 弯管进行消应力热处理后，不允许通过再弯曲来修正弯曲角度。
- 2 弯管进行热处理时，应做好内表面保护，不得破坏内表面粗糙度。
- 3 弯管进行热处理时，按弯管壁厚计算保温时间；热处理温度比材料合格证明书中注明的最低回火温度低 $30^\circ C$ 。
- 4 弯管热处理需在加热炉中进行，应精确设定并控制炉温，炉内温度偏差不得超过 $\pm 5^\circ C$ ，火焰不得直接接触弯管。

7.4.3 管端加工

- 1 管端螺纹加工和管端密封面加工应符合第 7.2.2 条的规定。
- 2 弯管外螺纹可采用滚制或车削加工。

7.4.4 检验与检测

- 1 弯管试样在热处理前后均应逐件进行硬度检测，同一位置硬度差应小于或等于 10HBW。弯

管试样热处理后的硬度检测时,在弯管外弧侧沿长度方向选取三个等距测点(1/4、1/2、3/4处),环线间各点硬度差应不大于 30HBW,同一环线上各点硬度差应不大于 20HBW。

- 2 弯管热处理后,内表面应逐件进行检查,不应有裂纹、结疤、折叠、划伤、压痕、锈蚀等缺陷,并应逐件进行 100%涡流检测;外表面应逐件进行目视检查,较小缺陷允许珩磨清除,并应逐件进行 100%磁粉检测。
- 3 弯管热处理后,应逐件进行 100%直探头纵波和斜探头横波/纵波超声检测。
- 4 弯管热处理后,内表面粗糙度 R_a 应小于或等于 $0.4\mu\text{m}$,外表面粗糙度 R_a 应小于或等于 $1.6\mu\text{m}$ 。
- 5 弯管热处理后,管端螺纹、管端和管端密封面应逐件进行 100%磁粉或渗透检测。

7.5 螺纹法兰和法兰盖

- 7.5.1 螺纹法兰的螺纹采用车削加工。
- 7.5.2 螺纹加工成型后,不允许进行热处理。
- 7.5.3 螺纹表面粗糙度 R_a 应不大于 $0.8\mu\text{m}$ 。
- 7.5.4 螺纹表面不应有裂纹、凹陷等缺陷。
- 7.5.5 螺纹基本尺寸按现行国家标准《普通螺纹 基本尺寸》GB/T 196 的规定,公差按现行国家标准《普通螺纹 公差》GB/T 197 的 6H 级精度。
- 7.5.6 精加工后螺纹应逐件进行 100%磁粉或渗透检测。
- 7.5.7 法兰相邻两螺孔弦长以及螺栓中心圆直径的允差为 $\pm 0.6\text{mm}$,任意两螺孔弦长允差为 $\pm 1.0\text{mm}$ 。
- 7.5.8 未注明的机械加工尺寸公差按现行国家标准《一般公差 未注公差的线性尺寸和角度尺寸的公差》GB/T 1804 规定的 m 级。

7.6 透镜垫

- 7.6.1 透镜垫密封面研磨或加工后粗糙度 R_a 应不大于 $0.4\mu\text{m}$,透镜垫内孔表面粗糙度 R_a 应不大于 $0.8\mu\text{m}$ 。
- 7.6.2 密封面的球面半径允许偏差为 $\pm 0.4\text{mm}$ 。
- 7.6.3 密封面不应有划痕、刮伤、裂纹、凹陷等缺陷。
- 7.6.4 未注明的机械加工尺寸公差按现行国家标准《一般公差 未注公差的线性尺寸和角度尺寸的公差》GB/T 1804 规定的 m 级。
- 7.6.5 精加工后透镜垫密封面应逐件进行 100%磁粉检测或渗透检测。
- 7.6.6 透镜垫硬度应比直管/弯管密封面至少低 30HBW。

7.7 紧固件

- 7.7.1 螺柱螺纹应采用滚制加工,不允许车制,不得进行二次滚轧。

- 7.7.2 螺柱螺纹滚制成型后，不允许进行热处理。
- 7.7.3 螺纹表面粗糙度 R_a 应小于或等于 $1.6\mu\text{m}$ 。
- 7.7.4 螺纹表面不应有裂纹、凹陷等缺陷。
- 7.7.5 螺纹基本尺寸按现行国家标准《普通螺纹 基本尺寸》GB/T 196 的规定，公差按现行国家标准《普通螺纹 公差》GB/T 197 的 6g/6H 级精度。
- 7.7.6 未注明的机械加工尺寸公差按现行国家标准《一般公差 未注公差的线性尺寸和角度尺寸的公差》GB/T 1804 的 m 级。
- 7.7.7 加工螺纹后的螺柱应逐根按现行行业标准《承压设备无损检测 第 4 部分：磁粉检测》NB/T 47013.4 进行 100%磁粉检测。
- 7.7.8 紧固件制作完成后表面涂特氟龙。
- 7.7.9 使用带螺纹的金属或厚壁塑料保护盖对成品紧固件的螺纹进行防护。

7.8 热缩套

- 7.8.1 热缩套应在直管自增强处理及机加工热缩套处直管外表面后安装。
- 7.8.2 安装热缩套前，热缩套处直管外表面应彻底清除油污、油脂、水分及其他污染物。
- 7.8.3 不得采用冷却内管的方式安装热缩套。
- 7.8.4 安装热缩套处直管沿圆周多个点位测量外径，外径允许偏差按设计文件要求。
- 7.8.5 热缩套加热时应确保受热均匀。
- 7.8.6 热缩套装配时最高温度应比直管回火温度至少低 60°C 。
- 7.8.7 热缩套达到预定加热温度后，应立即套合在直管预定位置。
- 7.8.8 热缩套装配中，应避免划伤直管外表面。
- 7.8.9 热缩套冷却至室温前不应移动直管。

7.9 自增强处理

- 7.9.1 直管/弯管应进行自增强处理。
- 7.9.2 直管应在管端加工后、夹套管组装前进行自增强处理。
- 7.9.3 弯管应在弯制并热处理及管端螺纹及密封面全部加工完成后、夹套管组装前进行自增强处理。
- 7.9.4 直管自增强时，应变片宜布置在以下位置：
 - 1 最小壁厚处；
 - 2 最大壁厚处；
 - 3 距自增强泵最远的管子端部 1m 处。
- 7.9.5 若无法确定直管上最大与最小壁厚的位置，则应变片宜布置在以下位置：
 - 1 距自增强泵最近的管子端部 2m 处；
 - 2 管子长度的中点处；
 - 3 距自增强泵最远的管子端部 1m 处。

- 7.9.6 弯管自增强时,应变片宜布置在以下位置:
- 1 弯管区域起始端(靠近自增强泵的弯管区域部分);对于Z形弯管,应为距自增强泵最远的弯管处;
 - 2 弯管中点处;对于Z形弯管,应为距自增强泵最远的弯管处;
 - 3 距自增强泵最远的管子端部1m处。
- 7.9.7 完整的自增强循环应包括升压、保压及降压过程。自增强作业程序应确保以准静态方式升压。
- 7.9.8 升压至自增强压力的时间应不少于15分钟,达到自增强压力后,需保持压力恒定不低于1分钟。
- 7.9.9 自增强后应检查尺寸变化,应由相同人员使用相同测量设备,在测试前记录的相同位置进行检查。直管/弯管的金属温度与第一次尺寸检查时记录的温度应不超过5℃。
- 7.9.10 自增强后成品直管/弯管形状公差应满足设计文件的要求。
- 7.9.11 直管/弯管自增强处理后应进行100%直探头纵波和斜探头横波/纵波超声检测,外表面应进行100%磁粉检测。
- 7.9.12 自增强处理后,管端密封面应进行100%磁粉检测或渗透检测。
- 7.9.13 自增强处理后,管端螺纹应进行100%磁粉检测。
- 7.9.14 应提供自增强处理的压力-应变曲线。
- 7.9.15 自增强处理后实测内壁永久环向应变(或由外径测量的转化值)不得超过2%,且与理论计算值的偏差不得超过10%。
- 7.9.16 经过自增强处理的直管/弯管可不再单独进行耐压试验,可在系统组装完成后进行氮气泄漏试验,或现场进行全系统气密试验。

7.10 夹套管

- 7.10.1 夹套管的制造应符合现行国家标准《压力容器》GB/T 150的相关规定。
- 7.10.2 热缩套与夹套管、夹套管之间焊接时,根部焊道应采用钨极惰性气体保护焊。
- 7.10.3 热缩套与夹套管、三通、夹套管之间焊接接头应进行100%射线或超声检测,及100%磁粉检测。
- 7.10.4 定位柱于夹套管焊缝应进行100%磁粉检测。
- 7.10.5 夹套管的耐压试验应符合现行国家标准《压力容器》GB/T 150的相关规定,液压试验用水的氯离子含量不超过10 mg/L。

7.11 反应器框架制造和组装

- 7.11.1 钢结构的制作与安装应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的规定。焊接钢柱、钢梁、支撑等杆件均应在工厂采用埋弧自动焊焊接成型;施焊前应进行焊接工艺评定,施焊工艺应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661的有关规定。

7.11.2 钢结构连接宜采用高强螺栓连接。高强度螺栓的施工和验收应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 和现行国家标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的规定。当采用高强螺栓连接不能满足设计要求时，可采用焊接连接。

7.11.3 钢结构防火应执行现行国家标准《建筑防火通用规范》GB 55037、现行国家标准《石油化工企业设计防火标准》GB 50160、现行行业标准《石油化工钢结构防火保护技术规范》SH 3137、现行行业标准《石油化工建（构）筑物防腐设计规范》SH/T 3233、现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016、现行国家标准《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 等的规定。

7.11.4 钢结构防腐应符合现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046、现行行业标准《石油化工建（构）筑物防腐设计规范》SH/T 3233、现行行业标准《石油化工钢结构防腐蚀涂料应用技术规程》SH/T 3603 和现行行业标准《石油化工设备和管道涂料防腐蚀设计规范》SH/T 3022 的规定。防腐涂料应选用能防止大气及盐雾腐蚀的涂料，钢结构防腐设计使用年限应不低于 15 年。

7.11.5 钢结构框架组装要求。

- 1 构件准备。组装前应检查钢构件的型号、尺寸、表面质量（如无锈蚀、变形），并清理连接部位的杂物、浮锈。
- 2 定位找平。使用全站仪、水平仪等设备精准定位构件，保证柱、梁的轴线、标高符合设计要求，临时固定后应复核找平。
- 3 螺栓连接。高强螺栓应按要求预紧、终拧，扭矩值应符合设计标准，不得漏拧、错拧；普通螺栓需拧紧至贴合同无间隙。
- 4 焊接连接。焊缝高度、长度应达标，避免出现气孔、裂纹等缺陷，焊后应清理焊渣，关键焊缝应按相关标准进行无损检测（如超声检测、磁粉检测）。
- 5 变形控制。组装过程中应采取措施（如设置临时支撑）防止构件焊接或吊装变形，组装完成后应检查整体垂直度、平面弯曲度，如有超差应及时调整。

7.12 表面处理、涂敷与运输包装

7.12.1 螺纹、机加工表面及无外保护套管子表面，应采用适宜溶剂清洗，宜涂刷防锈涂层（如凡士林）。

7.12.2 管子内表面应保持清洁、无水分。

7.12.3 管子端部应采用金属或厚壁塑料螺纹保护套密封，端面与螺纹保护套间应放置软木或氯丁橡胶垫片。

7.12.4 成品直管及弯管内应涂防锈油，外表面应按设计文件的要求涂漆。

7.12.5 涂层后，管孔应在两端用塑料、木塞或螺纹帽封住。

7.12.6 超高压元件应用防水纸包好装在木箱里，或者用板条箱包装，板条箱用防水纸保护。

7.12.7 超高压元件应进行标识，管段编号应采用染料喷印在管子外侧或外护套上，将印有编号的金属标牌用金属丝固定在管段或元件一端附近。

7.13 现场安装

- 7.13.1 安装前应对所有部件进行检查和确认。
- 7.13.2 将管段吊装于安装位置的钢结构上，用 U 形螺栓临时固定。
- 7.13.3 管端密封面用洗涤液清洗，经检查确认无缺陷和异物后，用蘸丙酮绸布擦拭密封表面。
- 7.13.4 在管端螺纹部位涂上防咬剂，旋入法兰，使管端凸出法兰面不少于 1 个螺距；法兰拧入时应轻松、均匀，不可强行拧入。
- 7.13.5 测量两法兰间距、平行度、同轴度，进行必要调整，满足设计文件要求。
- 7.13.6 检查螺栓，测量螺栓长度，在螺纹部位涂防咬剂。
- 7.13.7 检查透镜垫，在密封表面涂白凡士林，将透镜垫装入两法兰中，用测隙规（或游标卡尺）测量透镜垫与法兰的平行度，进行必要的调整。
- 7.13.8 将两螺栓穿入法兰下部螺孔内，旋上螺母，边旋紧、边测量，边调整法兰；穿入其余螺栓，同时旋紧到同一状态，螺栓伸出螺母的长度应保持一致。
- 7.13.9 M24 及以上螺栓应采用液压拉伸器紧固，不得采用扭矩扳手紧固。
- 7.13.10 安装液压拉伸器（或液压扳手），按上紧力/力矩的 30%进行紧固，测量间隙并调整；按上紧力/力矩的 60%和 100%重复上述内容，达到设计上紧值。
- 7.13.11 记录反应器各段直管安装时上紧力/力矩、螺栓伸长量、法兰与透镜垫的平行度、管道间的同轴度。
- 7.13.12 反应器直管与弯管的安装，两法兰间隙应控制在设计文件规定范围内，弯管两侧密封面连接应同时安装。
- 7.13.13 安装管道一次支架，对管道支架、基础等紧固件进行紧固。
- 7.13.14 立柱倾斜度应不大于立柱高度的 1/2500。
- 7.13.15 相邻支腿间距离允许偏差为 2mm，支腿垂直度允许偏差为 1mm。
- 7.13.16 底标高处，每列两端立柱的距离允许偏差如下：
- 1 两端立柱间距小于或等于 30m 时，允许偏差为±16mm；
 - 2 两端立柱间距小于 250m 时，允许偏差为±0.2（L 立柱间距+50）mm；
 - 3 两端立柱间距大于或等于 250m 时，允许偏差为±0.2（L 立柱间距+350）mm。
- 7.13.17 底标高处，相邻立柱距离允许偏差如下：
- 1 立柱间距小于或等于 5m 时，允许偏差为±5mm；
 - 2 立柱间距大于 5m 时，允许偏差为±0.15（立柱间距+30）mm。

7.14 现场试验

- 7.14.1 反应器在现场安装完毕后应进行耐压试验，耐压试验可采用液压试验或系统气密试验。
- 7.14.2 液压试验
- 1 试压介质应按照设计文件的规定，对超高压元件无腐蚀作用，且不参与任何化学反应。
 - 2 试验压力按照设计文件的规定或选取最高工作压力的 1.1~1.25 倍。
 - 3 试验时，按 50MPa 为一档逐级升压，保压 5 分钟~10 分钟进行检查，无异常继续升压；达到设计压力后升压为 30MPa 一档，保压 15 分钟，达到试验压力后保压 30 分钟。
 - 4 试验中检查内容

- 1) 试压中每档保压应检查压力表有无降压，各密封点有无泄漏；
- 2) 达到设计压力及试验压力时检查各处密封及稳压情况；
- 3) 升压过程中若发现异常情况，应立即停止升压，对系统进行检查确认、处理后才能继续升压；
- 4) 升压至规定试验压力后，保压 30 分钟内应无泄漏等异常情况，则降压至设计压力对系统进行全面检查；
- 5) 检查结束，系统应缓慢降压；
- 6) 试验后用空气将系统吹干，恢复试压所拆卸的零件、部件；
- 7) 如试压后较长时间放置，则应使用干燥氮气对反应器保压防锈。

7.14.3 综合气密试验

1 气密试验方法与要求

- 1) 气密试验应制定详尽的试压方案；
- 2) 试验介质应为合格的原料气；
- 3) 综合气密试验压力应为实际工艺生产的最高操作压力。

2 检查内容与合格标准

- 1) 试验压力达到正常操作压力 1/3 时，应对全系统密封部位进行检查，检查方法用肥皂水或不干胶纸带检查泄漏；
- 2) 无异常则继续分 3 次升压至最高操作压力，每次升压后均进行上述检查，无异常则为合格。

附录 A 反应器超压泄放装置

A.1 选型

A.1.1 反应器系统的超压往往具有较高的升压速率，泄放装置宜选用爆破片安全装置，可实现快速泄压。

A.2 定义

A.2.1 设计爆破压力

在设计爆破温度下爆破片的爆破压力值。爆破片的设计爆破温度不低于反应器的设计温度。

A.2.2 积聚压力

反应器在超压泄放过程中设备内允许达到的相对于设计压力（或最高允许工作压力）的超压，通常用设计压力（或最高允许工作压力）的百分数表示。

A.2.3 最大泄放压力

超压泄放装置泄压过程中，反应器承受的最大压力。

A.2.4 安全泄放量

指超压时能够保障反应器安全所需的最小泄放量，通常以质量流量或体积流量来表示。

A.2.5 标定爆破压力

标注在爆破片铭牌上的，在规定的设计（或许可试验）爆破温度下，同一批次爆破片抽样爆破试验时，实测爆破压力的算术平均值。

A.2.6 制造范围

一个批次爆破片标定爆破压力相对于设计爆破压力差值的允许分布范围。当爆破片取零制造范围时，标定的爆破压力为设计爆破压力。

A.2.7 最低标定爆破压力

设计爆破压力与制造范围下偏差的代数和。

A.3 一般规定

A.3.1 反应器应安装爆破片安全装置。

A.3.2 爆破片的动作压力应不大于反应器的设计压力，总泄放能力满足容器的安全泄放量的要求，通过合理地确定爆破片的动作压力及泄放面积，使得反应器的最大泄放压力不大于反应器的设计压力（或 MAWP）的 1.1 倍。

A.3.3 应在泄放装置的排出口做好安全防护，避免泄放的高温高压介质及破碎的爆破片对人员及设备造成伤害。

A.4 结构型式

A. 4. 1 爆破片安全装置主要由爆破片和夹持器组成,结构如图 A.4.1 所示。爆破片采用正拱普通型爆破片。

A. 4. 2 为保证密封性,爆破片采用焊接方式焊接在支撑环上。

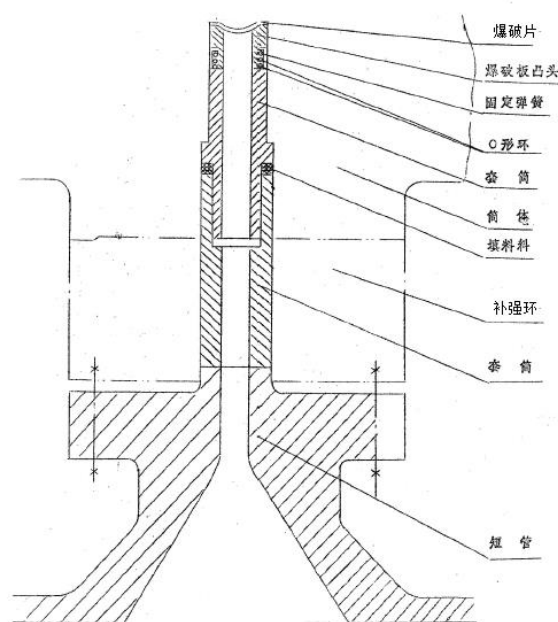


图 A.4.1 爆破片装置示意图

A.5 材料

A. 5. 1 爆破片的材料应与介质相容，且考虑到高温，一般选镍基合金 Inconel 600 或 Inconel 690。

A. 5. 2 夹持器材料也应与介质相容，可在与介质接触部分进行电镀、喷涂或衬膜等防腐措施。

A.6 泄放装置的设置

A. 6. 1 爆破片安全装置应设置在反应器本体上，且应尽可能接近聚爆的地方，进行安装、检查、维护的部位。

A. 6. 2 反应器与爆破片安全装置之间的所有管道、管件的截面积应不小于泄放装置的泄放面积，其接管应尽可能短而直，以免产生过大的压力损失。

A. 6. 3 反应器与爆破片安全装置之间一般不宜设置中间截断阀。

A. 6. 4 爆破片安全装置的支撑结构应有足够的强度（或刚度），以保证能承受该泄放装置泄放时所产生的反力。

附录 B 筒体上裂纹的合于使用评价

B.1 一般规定

B.1.1 本附录基于失效评定图（FAD）方法，适用于评估含裂纹型缺陷的超高压筒体，亦可使用本方法确定筒体临界裂纹尺寸或进行剩余寿命评估。

B.1.2 本附录适用条件应满足以下条件：

- 1 裂纹型缺陷方向沿筒体轴向，裂纹位置在筒体表面，裂纹至筒体端部的距离 $W \geq 1.8\sqrt{D_i t}$ (D_i 为筒体内直径， t 为筒体厚度)；
- 2 被评价的筒体如进行液压试验、自增强处理，试验后应重新检测裂纹尺寸；
- 3 被评价的筒体未经历火灾、热分解等降低断裂韧性的工况。

B.2 符号

下列符号适用于本附录。

a —— 裂纹型缺陷的深度，mm；

a_{eff} —— 裂纹型缺陷的有效深度，mm；

A_{ij} —— 应力强度因子的参数，见表 B.3.9-1 和表 B.3.9-2；

c —— 裂纹型缺陷长度的一半，mm；

$2c$ —— 裂纹型缺陷的总长度，mm；

g —— 参考应力的弯曲参数；

$G_0 \sim G_4$ —— 应力强度因子的影响系数；

K_{IC} —— 材料断裂韧性，优先取实测值，也可按本规范规定的下限值， $\text{MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$ ；

K_I^P —— 一次应力的应力强度因子；

K_I^{SR} —— 二次应力和残余应力的应力强度因子；

K_J^{SR} —— 经塑性修正的二次应力和残余应力的应力强度因子；

K_r —— 韧性比，在绘制 FAD 时表示曲线的纵坐标；

L_r^P —— 基于一次应力的载荷比，在绘制 FAD 时表示曲线的横坐标；

$L_{r(max)}^P$ —— FAD 横坐标 L_r^P 的最大允许值；

$M_1 \sim M_3$ —— 应力强度因子的权重函数系数；

M_s —— 表面裂纹的表面修正系数；

M_t —— 穿墙裂纹的修正系数；

$N_1 \sim N_3$ —— 应力强度因子的权重函数系数；

P_C —— 裂纹表面作用的内压力，如压力未作用在裂纹表面上，取 $P_C=0$ ，MPa；

P_b —— 评定点的一次弯曲应力，MPa；

P_m —— 评定点的一次局部薄膜应力，MPa；

Q —— 应力强度因子的参数；

R_i —— 筒体内半径，mm；

R_m^t —— 评定温度下材料的抗拉强度, 优先选取实测值, 也可按本规范规定的下限值, MPa;
 $R_{p0.2}^t$ —— 评定温度下材料的屈服强度, 优先选取实测值, 也可按本规范规定的下限值, MPa;
 t —— 筒体计算厚度, mm;
 x —— 源自筒体内表面的径向局部坐标系, mm;
 X —— 计算塑性修正系数的参数;
 α —— 参考应力参数;
 β —— 应力强度因子参数, 分裂纹最深点 ($\varphi=\pi/2$) 和裂纹的表面点 ($\varphi=0$);
 σ_0 —— 多项式应力分布的均匀系数;
 σ_1 —— 多项式应力分布的线性系数;
 σ_2 —— 多项式应力分布的二次系数;
 σ_3 —— 多项式应力分布的三阶系数;
 σ_4 —— 多项式应力分布的四阶系数;
 σ_f^t —— 评定温度下材料的流动应力, MPa;
 σ^P —— 评定工况下裂纹型缺陷处的一次应力, MPa;
 σ^S —— 评定工况下裂纹型缺陷处的二次应力, MPa;
 σ^R —— 评定工况下裂纹型缺陷处的残余应力, MPa;
 σ_{ref}^P —— 基于一次应力的参考应力, MPa;
 λ_a —— 计算表面修正因子时使用的壳体系数;
 Φ —— 塑性修正系数;
 Φ_0 —— 参数;
 ξ —— 计算塑性修正系数的参数;

B.3 评定流程

B.3.1 采用如下步骤评定裂纹的可接受性, 见图 B.3.1。

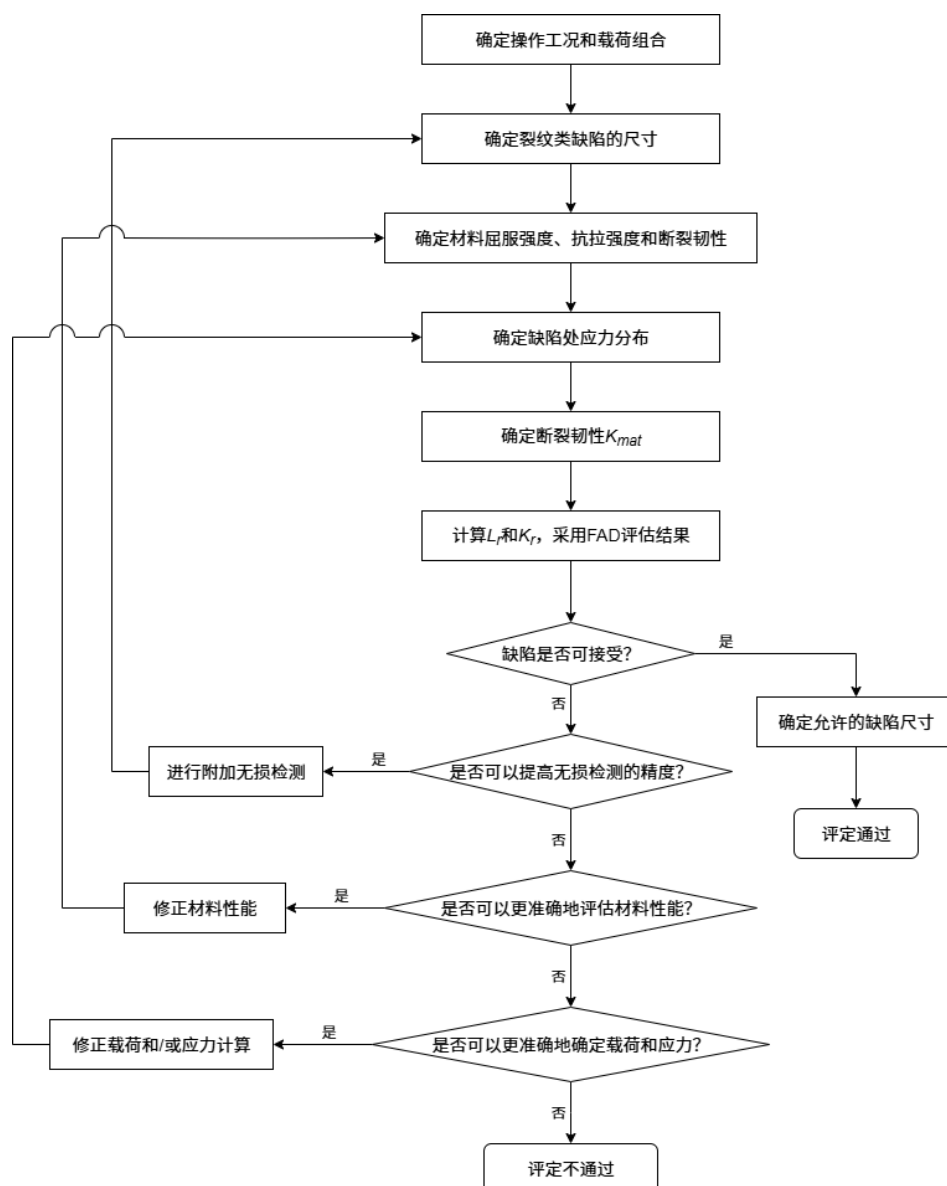


图 B.3.1 评定流程

B. 3. 2 确定设备的操作压力、操作温度和需要评定的载荷组合工况。

B. 3. 3 确定缺陷处在各载荷组合工况作用下的应力分布, 并将应力划分为一次应力 σ^P 、二次应力 σ^S 、残余应力 σ^R 。

B. 3. 4 确定材料在评定工况下的屈服强度 $R_{p0.2}^t$ 、拉伸强度 R_m^t 。

B. 3. 5 确定材料断裂韧性 K_{IC} 。

B. 3. 6 根据无损检测数据确定裂纹类缺陷位置和尺寸, 并将实际缺陷简化为评定形状, 得到裂纹表征尺寸 a 和 $2c$, 详见图 B.3.6。



图 B.3.6 表面缺陷的实际形状和评定形状

B. 3. 7 按下式计算一次应力的参考应力 σ_{ref}^P 。

$$\sigma_{ref}^P = \frac{gP_b + [(gP_b)^2 + 9(M_s \cdot P_m \cdot (1-\alpha)^2)^2]^{0.5}}{3(1-\alpha)^2} \quad B.3.7-1$$

式中，

$$g = 1 - 20 \left(\frac{a}{2c} \right)^{0.75} \cdot \alpha^3 \quad B.3.7-2$$

$$\alpha = \frac{\frac{a}{t}}{1 + \frac{t}{c}} \quad B.3.7-3$$

按下式计算表面裂纹的表面修正系数 M_s ：

$$M_s = \frac{1}{1 - \frac{a}{t} + \frac{a}{t} \left[\frac{1}{M_t} \right]} \quad B.3.7-4$$

其中，

$$M_t = \left[\frac{1.02 + 0.4411\lambda_a^2 + 0.006124\lambda_a^4}{1.0 + 0.02642\lambda_a^2 + 1.533(10^{-6})\lambda_a^4} \right]^{0.5} \quad B.3.7-5$$

$$\lambda_a = \frac{1.818c}{\sqrt{R_i a}} \quad B.3.7-6$$

B. 3. 8 按下式计算 FAD 评定点的载荷比 L_r^P 。

$$L_r^P = \frac{\sigma_{ref}^P}{R_{p0.2}^t} \quad B.3.8$$

B. 3. 9 按式 B.3.9-1 计算一次应力的应力强度因子 K_I^P ，如 $K_I^P < 0$ ，取 $K_I^P = 0$ 。

$$K_I^P = \left[G_0(\sigma_0 + p_c) + G_1\sigma_1 \left(\frac{a}{t} \right) + G_2\sigma_2 \left(\frac{a}{t} \right)^2 + G_3\sigma_3 \left(\frac{a}{t} \right)^3 + G_4\sigma_4 \left(\frac{a}{t} \right)^4 \right] \sqrt{\frac{\pi a}{Q}} \quad B.3.9-1$$

式中，

$$G_0 = A_{0,0} + A_{0,1}\beta + A_{0,2}\beta^2 + A_{0,3}\beta^3 + A_{0,4}\beta^4 + A_{0,5}\beta^5 + A_{0,6}\beta^6 \quad B.3.9-2$$

$$G_1 = A_{1,0} + A_{1,1}\beta + A_{1,2}\beta^2 + A_{1,3}\beta^3 + A_{1,4}\beta^4 + A_{1,5}\beta^5 + A_{1,6}\beta^6 \quad B.3.9-3$$

$$\beta = \frac{2\varphi}{\pi} \quad B.3.9-4$$

$$Q = 1.0 + 1.464 \left(\frac{a}{c} \right)^{1.65}, \quad \text{当 } a/c \leq 1.0 \text{ 时;} \quad B.3.9-5$$

$$Q = 1.0 + 1.464 \left(\frac{c}{a} \right)^{1.65}, \quad \text{当 } a/c > 1.0 \text{ 时;} \quad B.3.9-6$$

按下式拟合垂直于裂纹所在平面的一次应力分布， x 坐标系方向见图 B.3.9-1。

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 \left(\frac{x}{t} \right) + \sigma_2 \left(\frac{x}{t} \right)^2 + \sigma_3 \left(\frac{x}{t} \right)^3 + \sigma_4 \left(\frac{x}{t} \right)^4 \quad B.3.9-7$$

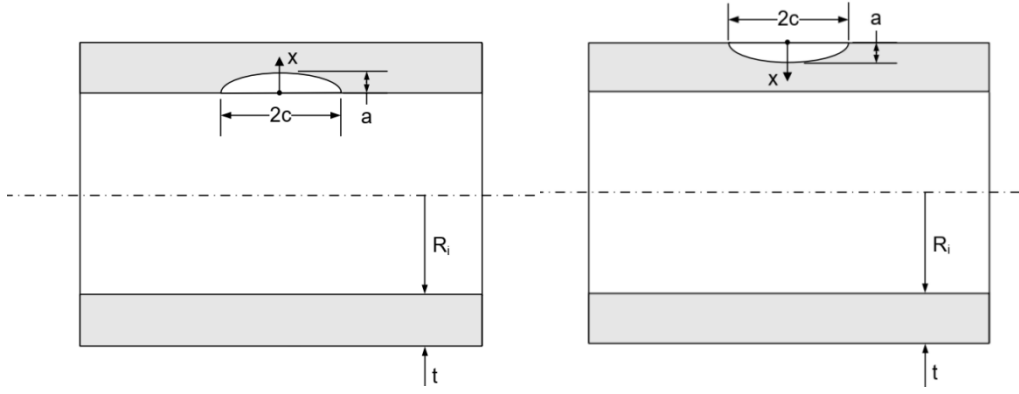


图 B.3.9-1 筒体内/外表面的裂纹坐标系

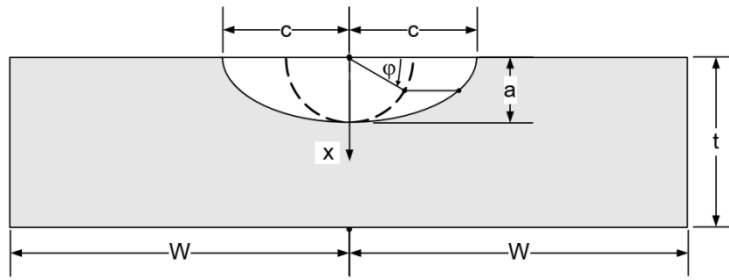


图 B.3.9-2 裂纹评定点 φ 角度

在裂纹最深点 ($\varphi=\pi/2$) :

$$G_2 = \frac{\sqrt{2Q}}{\pi} \left(\frac{16}{15} + \frac{1}{3} M_1 + \frac{16}{105} M_2 + \frac{1}{12} M_3 \right) \quad \text{B.3.9-8}$$

$$G_3 = \frac{\sqrt{2Q}}{\pi} \left(\frac{32}{35} + \frac{1}{4} M_1 + \frac{32}{315} M_2 + \frac{1}{20} M_3 \right) \quad \text{B.3.9-9}$$

$$G_4 = \frac{\sqrt{2Q}}{\pi} \left(\frac{256}{315} + \frac{1}{5} M_1 + \frac{256}{3465} M_2 + \frac{1}{30} M_3 \right) \quad \text{B.3.9-10}$$

$$M_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{2Q}} (3G_1 - G_0) - \frac{24}{5} \quad \text{B.3.9-11}$$

$$M_2 = 3 \quad \text{B.3.9-12}$$

$$M_3 = \frac{6\pi}{\sqrt{2Q}} (G_0 - 2G_1) + \frac{8}{5} \quad \text{B.3.9-13}$$

在裂纹的表面点 ($\varphi=0$) :

$$G_2 = \frac{\sqrt{Q}}{\pi} \left(\frac{4}{5} + \frac{2}{3} N_1 + \frac{4}{7} N_2 + \frac{1}{2} N_3 \right) \quad \text{B.3.9-14}$$

$$G_3 = \frac{\sqrt{Q}}{\pi} \left(\frac{4}{7} + \frac{1}{2} N_1 + \frac{4}{9} N_2 + \frac{2}{5} N_3 \right) \quad \text{B.3.9-15}$$

$$G_4 = \frac{\sqrt{Q}}{\pi} \left(\frac{4}{9} + \frac{2}{5} N_1 + \frac{4}{11} N_2 + \frac{1}{3} N_3 \right) \quad \text{B.3.9-16}$$

$$N_1 = \frac{3\pi}{\sqrt{Q}} (2G_0 - 5G_1) - 8 \quad \text{B.3.9-17}$$

$$N_2 = \frac{15\pi}{\sqrt{Q}} (3G_1 - G_0) + 15 \quad \text{B.3.9-18}$$

$$N_3 = \frac{3\pi}{\sqrt{Q}}(3G_0 - 10G_1) - 8 \quad \text{B.3.9-19}$$

B. 3. 10 按下式拟合垂直于裂纹所在平面的二次应力和残余应力分布，计算二次应力和残余应力的应力强度因子 K_I^{SR} ，计算方法和流程同 B.3.9，如 $K_I^{SR} < 0$ ，取 $K_I^{SR} = 0$ 。

B. 3. 11 按下式计算塑性修正系数 Φ 。如 $K_I^P = 0$ ，取 $\Phi = \Phi_0$ 。

$$\Phi = \Phi_0 \cdot \xi \quad \text{B.3.11-1}$$

其中， Φ_0 按下式计算：

$$\Phi_0 = \left(\frac{a_{eff}}{a}\right)^{0.5} \quad \text{B.3.11-2}$$

$$a_{eff} = a + \left(\frac{1}{6\pi}\right) \cdot \left(\frac{K_I^{SR}}{R_{p0.2}^t}\right)^2 \quad (\text{平面应变状态时}) \quad \text{B.3.11-3}$$

ξ 根据 L_r^P 和 X ，按表 B.3.11 查取， X 按下式计算，

$$X = K_J^{SR} \cdot \left(\frac{L_r^P}{K_I^P}\right) \quad \text{B.3.11-4}$$

$$K_J^{SR} = \Phi_0 \cdot K_I^{SR} \quad \text{B.3.11-5}$$

B. 3. 12 按下式计算 FAD 评定点的韧性比 K_r 。

$$K_r = \frac{K_I^P + \Phi K_I^{SR}}{K_{IC}} \quad \text{B.3.12}$$

B. 3. 13 绘制材料的失效评定图（FAD），见图 B.3.13。

1 横坐标 L_r^P 的最大允许值 $L_{r(max)}^P$ 按以下原则确定， $L_{r(max)}^P$ 即材料在 FAD 中的截止线。

1) 当材料有屈服平台时（应变硬化指数 >15 ）， $L_{r(max)}^P = 1.00$ ；

2) 碳锰钢材料的 $L_{r(max)}^P = 1.25$ ；

3) 奥氏体不锈钢材料的 $L_{r(max)}^P = 1.80$ ；

4) 其他材料， $L_{r(max)}^P = \frac{\sigma_f^t}{R_{p0.2}^t}$ ；

2 纵坐标 K_r 按-B.3.13-1 或式-B.3.13-2 计算。

$$K_r = (1 - 0.14(L_r^P)^2)\{0.3 + 0.7\exp[-0.65(L_r^P)^6]\} \quad \text{B.3.13-1}$$

$$\text{当 } L_{r(max)}^P = 1.00 \text{ 时, } K_r = [1.0 - (L_r^P)^{2.5}]^{0.2} \quad \text{B.3.13-2}$$

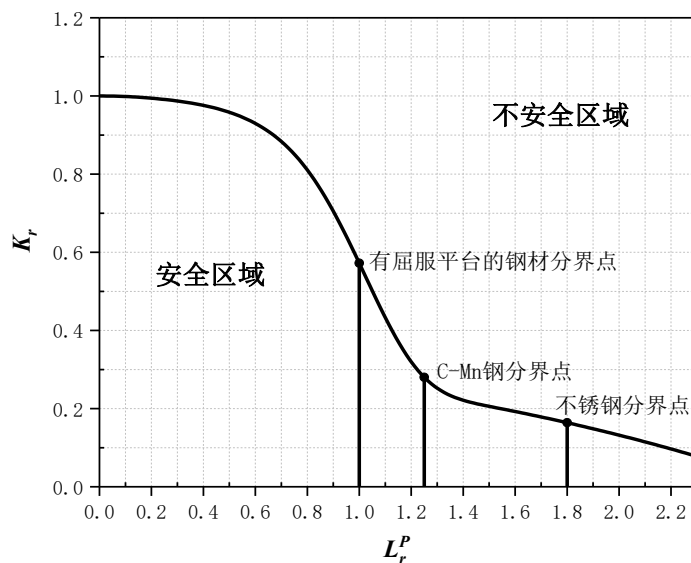


图 B.3.13 失效评定图 (FAD)

B. 3. 14 将评定点按第 B.3.8 条计算的 L_r^P 和第 B.3.12 条计算的 K_r 在图 B.3.13 失效评定图 (FAD) 中标出评定点,如落在 FAD 曲线和截止线以内(下方或左方),则结构满足合于使用评价要求,如评价点落在曲线和截止线外侧(上方或右方),则结构不满足合于使用评价要求,应采用改变操作条件、容器结构尺寸等措施,重复本节中之前的步骤,直到满足本条要求为止。

B. 3. 15 可用 B.3.16~B.3.21 条确定临界裂纹尺寸,当初始裂纹尺寸增量至计算的评定点位于 FAD 曲线上时,得出的缺陷尺寸为临界裂纹尺寸。

B. 3. 16 按下式计算裂纹扩展速率

$$\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta K)^n \quad (\Delta K > \Delta K_{th}) \quad (\text{B. 3. 16-1})$$

$$\frac{da}{dN} = 0 \quad (\Delta K \leq \Delta K_{th}) \quad (\text{B. 3. 16-2})$$

B. 3. 17 按下式计算最大载荷和最小载荷对应的应力强度因子

$$K_{max} = K_{I,max}^P + K_{I,max}^{SR} \quad (\text{B. 3. 17-1})$$

$$K_{min} = K_{I,min}^P + K_{I,min}^{SR} \quad (\text{B. 3. 17-2})$$

$$\Delta K = K_{max} - K_{min} \quad (\text{B. 3. 17-3})$$

B. 3. 18 检查裂纹是否在扩展,若 $\Delta K > \Delta K_{th}$,则表明裂纹沿厚度方向在扩展。

B. 3. 19 每个增量的循环次数必须足够小,以便将整个增量的应力强度因子视为常数。这一点在迭代过程中应使用两个方面来检查。一是检查循环次数 Δa 是否不大于 $0.5\% \cdot a$,二是检查应力强度因子 $\Delta K(\text{对应增量}k+1) - \Delta K(\text{对应增量}k)$ 不大于 $1\% \cdot \Delta K(\text{对应增量}k)$ 。若其中一项不符合要求,则应减小原先设定的 ΔN 重复计算,直至满足两个要求。

$$\Delta a = \Delta N \cdot C \cdot (\Delta K)^n \quad (\text{B. 3. 19-1})$$

B. 3. 20 增加裂纹扩展尺寸

$$a_{k+1} = a_k + (\Delta a)_k \quad (\text{B. 3. 20-1})$$

$$N_{k+1} = N_k + \Delta N \quad (\text{B. 3. 20-2})$$

B. 3. 21 重复以上步骤,直至达到 FAD 曲线边界,得到剩余寿命允许的循环次数。建议在实操

过程中，在此得到的循环次数上增加一个安全系数。

表 B.3.9-1 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-内表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0.0	0.03125	0	G_0	0.1965046	2.9373464	-5.2582823	7.4889153	-6.9282667	3.3673349	-0.6677966
			G_1	0.0051780	0.1750280	2.7718680	-4.6457154	4.6780502	-3.2768090	0.9840994
		0.2	G_0	0.2080760	3.0112422	-5.1048701	7.6348715	-6.8347547	2.7940766	-0.3882688
			G_1	0.0084834	0.2406767	2.4574292	-3.6452421	3.6142837	-2.8451814	0.9270638
		0.4	G_0	0.2357940	3.0822400	-3.5792100	3.9476890	1.9131590	-6.8872200	3.1896800
			G_1	0.0145140	0.4038000	1.6422700	-0.3906100	-0.6480700	-0.2940300	0.2514900
		0.6	G_0	0.2902240	3.6892050	-4.5739100	11.709890	-6.3750000	-5.8894100	4.2452400
			G_1	0.0208890	0.7016780	0.1631840	5.7072160	-8.2075800	3.4561120	-0.4454700
		0.8	G_0	0.5163550	2.5310830	14.712900	-43.621800	101.065700	-116.081000	46.190900
			G_1	0.0825460	0.4971770	4.6064810	-7.3326700	21.148620	-29.345100	12.491400
0.0	0.0625	0	G_0	0.2695332	2.1626001	-1.6551569	-1.2970208	4.5604304	-4.3163876	1.4010655
			G_1	0.0138667	0.1827458	2.5749608	-3.9044679	3.3556301	-2.1772209	0.6420134
		0.2	G_0	0.2845892	2.2264055	-1.4546190	-1.5760719	5.1131083	-4.9485443	1.6207574
			G_1	0.0199077	0.2210874	2.4642047	-3.5898625	3.1624039	-2.2403780	0.6965751
		0.4	G_0	0.3261480	2.5200870	-1.8847000	2.1798740	-1.4597100	-0.1886500	0.2393400
			G_1	0.0294120	0.3699370	1.9220850	-1.2071500	-0.4394000	0.2737550	-0.0395200
		0.6	G_0	0.4166330	3.1566470	-2.6248900	7.7325910	-9.6927800	3.6428700	-0.0892000
			G_1	0.0598460	0.4340740	2.6811560	-3.1936600	4.0753720	-4.6940200	1.8285500
		0.8	G_0	0.6540140	3.4231920	3.8158050	-4.1586900	3.4715330	-10.310400	6.6280000
			G_1	0.1214780	0.6975490	2.9718330	-1.3036500	-0.0754900	-3.0465100	2.1670000
0.0	0.125	0	G_0	0.4065238	0.7772483	3.8861644	-12.573943	16.760207	-11.014593	2.8706957
			G_1	0.0320270	0.1825342	2.2670449	-2.7076615	1.2088194	-0.3777430	0.0763155
		0.2	G_0	0.4242116	1.0089302	3.2973815	-12.159726	17.873386	-12.868668	3.6281712
			G_1	0.0429859	0.2033811	2.2563818	-2.8752160	1.8152558	-1.0512327	0.3181077
		0.4	G_0	0.4917770	1.6592320	-0.1080400	0.1793240	-2.7076100	3.3680620	-1.3489700
			G_1	0.0634270	0.3722500	1.6231670	-0.5306500	-2.0007400	1.8943780	-0.5880300
		0.6	G_0	0.6591820	1.8759140	1.0212600	-1.7698000	-0.5653600	1.2479960	-0.4376600
			G_1	0.1116040	0.4714500	1.7940590	-0.7557600	-1.4901700	1.0852180	-0.2113700
		0.8	G_0	0.9809330	1.8846320	4.8020780	-8.0580200	0.4447850	3.4772660	-1.0567500
			G_1	0.2039950	0.4800150	2.8822430	-2.5890100	-0.9683000	1.5372370	-0.3750200
0.0	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.6385889	-0.3095132	6.5329787	-16.622882	21.056641	-13.850120	3.6988146
			G_1	0.0840059	0.1999367	1.8218113	-1.7756899	0.3757186	-0.0785358	0.0643386
		0.4	G_0	0.7390420	0.0548160	4.0842620	-7.5883100	5.4047530	-1.0146100	-0.3483400
			G_1	0.1164500	0.2479880	1.8282520	-1.7169900	0.1912120	0.1165770	-0.0186100
		0.6	G_0	0.9461210	-0.1858800	5.5867460	-9.8634900	5.9596870	0.1296440	-1.0026100
			G_1	0.1778050	0.2056680	2.0979210	-1.8039500	-0.5558700	1.1461400	-0.4206600
		0.8	G_0	1.2452110	-0.6921900	8.3260620	-14.948000	8.6936910	0.4755790	-1.3926600
			G_1	0.2585640	0.1548890	2.1170240	-0.4910000	-4.6146100	5.4550750	-1.9663300
0.0	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.9003948	-0.8850488	5.2743239	-11.267523	13.890755	-9.6373584	2.8183906
			G_1	0.1404409	0.3215397	1.1010666	-1.0257556	0.6943940	-1.0793186	0.5410929
		0.4	G_0	1.0058060	-0.7322600	2.9951940	-1.9459200	-3.2613500	5.1424570	-2.0306200
			G_1	0.1740870	0.3051630	1.2070310	-0.6720500	-1.0651300	1.1445590	-0.3644800
		0.6	G_0	1.1826010	-1.1072500	3.9623640	-2.7781300	-4.3097300	7.2727250	-2.9648200
			G_1	0.2277120	0.1701170	1.5499470	-1.1051200	-0.8333700	1.1717060	-0.4194500
		0.8	G_0	1.3833380	-1.3900300	4.3755780	-3.7372600	-2.5403200	5.3036000	-2.0932400
			G_1	0.2820110	0.0839230	1.7258580	-1.5358100	-0.0635600	0.5006780	-0.1982200

续表 B.3.9-1 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-内表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0.01 (1/100)	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.6241551	-0.2465111	7.0309527	-20.022042	27.911625	-19.682762	5.5162697
			G_1	0.0907721	0.1638762	2.5396012	-5.0799147	6.3011931	-4.8260624	1.4910341
		0.4	G_0	0.7353150	0.0335380	4.1529840	-7.8035600	5.7330000	-1.2513900	-0.2813800
			G_1	0.1163980	0.2222910	1.9859130	-2.2466100	1.0747840	-0.5982800	0.2057500
		0.6	G_0	0.9324150	-0.2341500	5.7957890	-10.643200	7.3266510	-0.9708400	-0.6676100
			G_1	0.1737550	0.1916590	2.1300350	-1.8831100	-0.4807900	1.1395430	-0.4345700
		0.8	G_0	1.2219490	-1.1415500	11.712920	-27.080700	29.834180	-16.937700	4.0600500
			G_1	0.2500840	0.0580650	2.8199190	-3.0313700	-0.1601400	1.7951480	-0.8296700
0.01 (1/100)	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.9015490	-1.1113733	6.8843421	-16.342574	21.585452	-15.202444	4.3660359
			G_1	0.1484299	0.1541815	2.2768151	-4.5991695	5.8149262	-4.5777434	1.4654106
		0.4	G_0	0.9995660	-0.7280200	2.9776730	-1.9277500	-3.2709000	5.1505490	-2.0350400
			G_1	0.1726160	0.3087790	1.1425500	-0.3862200	-1.6344200	1.6645600	-0.5412700
		0.6	G_0	1.1705130	-1.1242900	4.0543560	-2.9851600	-4.1166400	7.2299430	-2.9791800
			G_1	0.2234860	0.1766680	1.5051550	-0.9863000	-0.9867500	1.2669540	-0.4418100
		0.8	G_0	1.3565360	-1.3769500	4.3964180	-3.8814500	-2.2095000	5.0187600	-2.0135800
			G_1	0.2754490	0.0635260	1.8760200	-1.9807100	0.6070780	0.0190700	-0.0683400
0.01 (1/100)	1.0	0	G_0	1.1977992	-0.5244870	0.1498299	2.3284866	-5.1058499	4.3469049	-1.3487980
			G_1	0.1870117	0.6987352	0.1316900	0.7269255	-2.5259384	2.1756251	-0.6540458
		0.2	G_0	1.2108906	-1.2118250	5.0003862	-13.525257	21.096357	-16.993711	5.4692793
			G_1	0.2135613	0.1822719	3.2508209	-9.1159303	13.526088	-10.816272	3.4876265
		0.4	G_0	1.2915440	-0.9860000	1.9198180	-1.2048700	-1.6920600	3.0190640	-1.2778100
			G_1	0.2335267	0.1351331	3.4108405	-9.6049414	14.454580	-11.727329	3.8372073
		0.6	G_0	1.3879210	-1.1637000	2.0681660	-1.2956400	-1.4973800	2.7147660	-1.1246500
			G_1	0.2442110	0.4839940	0.9407500	-1.1541500	-0.1848200	0.7462030	-0.3202300
		0.8	G_0	1.4955530	-1.3298700	1.9626990	-0.8242400	-1.7468100	2.4129690	-0.8712900
			G_1	0.2671290	0.4953350	0.6445810	-0.2740900	-1.3088000	1.4517080	-0.5006200
0.01 (1/100)	2.0	0	G_0	0.8150546	-0.5623828	1.4465771	-4.6778133	8.4192164	-7.9025932	2.9866351
			G_1	0.1359146	0.0702340	3.5558581	-11.034445	16.967724	-14.126991	4.8706612
		0.2	G_0	0.8108427	-0.9469615	4.0418669	-12.589699	20.713465	-17.423042	5.9097427
			G_1	0.1318838	0.0532545	3.3674428	-10.236137	15.430205	-12.636393	4.3051116
		0.4	G_0	0.8250898	-0.2999988	-0.8021829	3.4774334	-6.2776890	4.9519567	-1.3622968
			G_1	0.1346594	0.0300881	3.4841930	-10.598201	15.982963	-13.033343	4.4132933
		0.6	G_0	0.8505718	-0.3504564	-0.7638086	3.5152228	-6.4354105	5.1178036	-1.4187607
			G_1	0.1449083	0.0226142	3.4683252	-10.495830	15.799002	-12.901367	4.3816709
		0.8	G_0	0.9038677	-0.9803128	3.0688019	-8.3574085	12.791955	-10.493661	3.5981987
			G_1	0.1478039	0.0204313	3.4187237	-10.183273	14.776072	-11.479762	3.7099585
0.01667 (1/60)	0.03125	0	G_0	0.1965046	2.9373464	-5.2582823	7.4889153	-6.9282667	3.3673349	-0.6677966
			G_1	0.0051780	0.1750280	2.7718680	-4.6457154	4.6780502	-3.2768090	0.9840994
		0.2	G_0	0.2148671	2.4723189	-1.2180211	-4.1126757	10.496724	-9.6740573	3.1211775
			G_1	0.0080961	0.2401938	2.4502326	-3.6573824	3.5940475	-2.7881220	0.9010264
		0.4	G_0	0.2372950	3.0566010	-3.3944000	3.1477730	3.1530230	-7.7865200	3.4576600
			G_1	0.0106590	0.4095900	1.6083470	-0.3260900	-0.8035100	-0.1463900	0.2110000
		0.6	G_0	0.2937680	3.5870040	-3.8424000	8.4442010	-1.4600300	-8.9339200	4.9119300
			G_1	0.0220570	0.6740750	0.3474810	4.9629310	-7.3508700	3.1732170	-0.4659300
		0.8	G_0	0.4838350	3.1566150	8.8031170	-27.164800	69.601910	-82.479600	32.682600
			G_1	0.0716700	0.7084130	2.6085960	-1.4257400	9.3653570	-16.640500	7.3940300

续表 B.3.9-1 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-内表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0.01667 (1/60)	0.0625	0	G_0	0.2695332	2.1626001	-1.6551569	-1.2970208	4.5604304	-4.3163876	1.4010655
			G_1	0.0138667	0.1827458	2.5749608	-3.9044679	3.3556301	-2.1772209	0.6420134
		0.2	G_0	0.2857109	2.0654488	-0.9893799	-1.3807471	2.8006402	-2.0206042	0.4892659
			G_1	0.0194914	0.2150005	2.5598171	-4.1817299	4.4576257	-3.4587288	1.1159282
		0.4	G_0	0.3287840	2.5921570	-2.4132600	3.0634190	-1.9525300	-0.3333000	0.4144600
			G_1	0.0280780	0.4276920	1.4973510	0.0288440	-2.3497300	1.7402640	-0.4758200
		0.6	G_0	0.4176850	3.4074150	-4.6753500	13.078590	-17.041300	8.7888280	-1.5084600
			G_1	0.0574660	0.5499100	1.7774590	-0.5099100	-0.1282100	-1.4365500	0.8552000
		0.8	G_0	0.6582530	3.5128870	2.2828230	-1.9924300	2.2310040	-8.6681700	5.4793000
			G_1	0.1225420	0.7046220	2.7569290	-1.4438200	0.6196850	-3.1640900	1.9357000
0.01667 (1/60)	0.125	0	G_0	0.4065238	0.7772483	3.8861644	-12.573943	16.760207	-11.014593	2.8706957
			G_1	0.0320270	0.1825342	2.2670449	-2.7076615	1.2088194	-0.3777430	0.0763155
		0.2	G_0	0.4141982	1.1344888	1.7439464	-6.2232541	7.7907137	-4.9072442	1.2389750
			G_1	0.0486813	0.0152024	3.9061790	-9.0327670	12.510777	-9.7464081	3.0006990
		0.4	G_0	0.4948480	1.4794440	1.1185270	-4.0444100	4.3282860	-2.2595600	0.3903500
			G_1	0.0625520	0.3656340	1.6407500	-0.6554600	-1.7474400	1.6670140	-0.5089000
		0.6	G_0	0.6409930	1.9652950	-0.1642100	2.2005520	-7.4218400	7.0583030	-2.3230500
			G_1	0.1083560	0.4453160	1.8399940	-0.9086700	-1.3774300	1.1373530	-0.2654300
		0.8	G_0	0.9356790	1.8738760	3.8946700	-6.0693900	-1.9444100	5.6896490	-2.0106100
			G_1	0.1916520	0.4524760	2.8002690	-2.6288800	-0.7144600	1.5221540	-0.4838500
0.01667 (1/60)	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.6254105	-0.2756845	7.2372917	-20.717372	29.086839	-20.644329	5.8190829
			G_1	0.0900509	0.1754701	2.4653292	-4.8609065	5.9734789	-4.5843798	1.4212799
		0.4	G_0	0.7330250	0.0541030	4.0064310	-7.3694700	5.0627260	-0.7345100	-0.4373600
			G_1	0.1161040	0.2203390	2.0004310	-2.3056000	1.1713600	-0.6681400	0.2244900
		0.6	G_0	0.9210290	-0.0465700	4.4521870	-6.3769100	0.5403590	4.3048320	-2.2613700
			G_1	0.1702480	0.2497180	1.7270540	-0.6420800	-2.4041500	2.6026300	-0.8686500
		0.8	G_0	1.2047330	-0.7847600	8.9533120	-17.715200	14.218040	-4.3196500	0.1157300
			G_1	0.2472570	0.1171600	2.3652370	-1.4978600	-2.7028500	3.8489740	-1.4739500
0.01667 (1/60)	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.8987625	-1.0615830	6.5352105	-15.173572	19.607233	-13.575646	3.8503478
			G_1	0.1492382	0.1399206	2.3632147	-4.8462524	6.1772411	-4.8415701	1.5410021
		0.4	G_0	0.9959920	-0.6970000	2.8073570	-1.4883600	-3.8580500	5.5420790	-2.1380800
			G_1	0.1731960	0.2880460	1.2897340	-0.8838700	-0.7861600	0.9618990	-0.3169700
		0.6	G_0	1.1640340	-1.0701100	3.7508010	-2.1976100	-5.1415900	7.8804140	-3.1390700
			G_1	0.2222510	0.1801650	1.4936230	-0.9830600	-0.9475900	1.2090310	-0.4178500
		0.8	G_0	1.3532210	-1.4106800	4.6621530	-4.7297600	-0.8479500	3.9686690	-1.7045800
			G_1	0.2729800	0.0878270	1.7214050	-1.5086900	-0.1139000	0.5633750	-0.2302700
0.01667 (1/60)	1.0	0	G_0	1.1977992	-0.5244870	0.1498299	2.3284866	-5.1058499	4.3469049	-1.3487980
			G_1	0.1870117	0.6987352	0.1316900	0.7269255	-2.5259384	2.1756251	-0.6540458
		0.2	G_0	1.2106055	-1.2105643	4.9943941	-13.508283	21.072293	-16.977692	5.4653669
			G_1	0.2138344	0.1777026	3.2716297	-9.1531646	13.549492	-10.812840	3.4815135
		0.4	G_0	1.2891190	-0.9709000	1.8325120	-0.9414100	-2.1003700	3.3316080	-1.3719500
			G_1	0.2133960	0.5774660	0.6071350	-0.1664100	-1.8486500	2.1386670	-0.7727600
		0.6	G_0	1.3851610	-1.1646000	2.1025010	-1.4262200	-1.2663500	2.5193910	-1.0614400
			G_1	0.2421130	0.5102400	0.7555890	-0.5305800	-1.2337100	1.5984880	-0.5866900
		0.8	G_0	1.4915010	-1.3274700	1.9683410	-0.7813900	-1.8938700	2.5733450	-0.9310100
			G_1	0.2653560	0.5038220	0.6296470	-0.3034500	-1.1613700	1.2707090	-0.4290900

续表 B.3.9-1 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-内表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0.01667 (1/60)	2.0	0	G_0	0.8150546	-0.5623828	1.4465771	-4.6778133	8.4192164	-7.9025932	2.9866351
			G_1	0.1359146	0.0702340	3.5558581	-11.034445	16.967724	-14.126991	4.8706612
		0.2	G_0	0.8101916	-0.9412593	4.0126414	-12.507285	20.589007	-17.329107	5.8820015
			G_1	0.1322100	0.0467146	3.4045450	-10.328106	15.540798	-12.698847	4.3180540
		0.4	G_0	0.8245651	-0.3028365	-0.7600170	3.3001602	-5.9433064	4.6607966	-1.2672554
			G_1	0.1339511	0.0389739	3.4338823	-10.459900	15.789207	-12.900150	4.3776714
		0.6	G_0	0.8499410	-0.3556093	-0.7320158	3.4590456	-6.4089179	5.1364574	-1.4338641
			G_1	0.1450687	0.0152402	3.5174526	-10.643316	16.026897	-13.077077	4.4350680
		0.8	G_0	0.9019647	-0.9728613	3.0540609	-8.3490973	12.822350	-10.547233	3.6224835
			G_1	0.1471513	0.0263638	3.3848213	-10.079855	14.616140	-11.359881	3.6753008
0.05 (1/20)	0.03125	0	G_0	0.1965046	2.9373464	-5.2582823	7.4889153	-6.9282667	3.3673349	-0.6677966
			G_1	0.0051780	0.1750280	2.7718680	-4.6457154	4.6780502	-3.2768090	0.9840994
		0.2	G_0	0.2147553	2.4733297	-1.2474542	-4.0148844	10.325431	-9.5295230	3.0755621
			G_1	0.0081488	0.2377645	2.4723890	-3.7475362	3.7575353	-2.9323550	0.9509310
		0.4	G_0	0.2360970	3.0572780	-3.4936200	3.2721920	3.0580130	-7.6615500	3.3859300
			G_1	0.0102200	0.4124020	1.5384150	-0.0617800	-1.3675500	0.4323350	-0.0065400
		0.6	G_0	0.2861060	3.5905940	-4.3735000	9.6484880	-3.3065400	-7.0688300	4.1532600
			G_1	0.0198400	0.6562220	0.3810810	4.5714070	-6.6677400	2.8306200	-0.4505100
		0.8	G_0	0.4596930	2.6805760	10.718030	-36.889800	86.523190	-93.759400	35.081500
			G_1	0.0617560	0.6089050	2.8527370	-3.2715300	12.274680	-17.735900	7.2096800
0.05 (1/20)	0.0625	0	G_0	0.2695332	2.1626001	-1.6551569	-1.2970208	4.5604304	-4.3163876	1.4010655
			G_1	0.0138667	0.1827458	2.5749608	-3.9044679	3.3556301	-2.1772209	0.6420134
		0.2	G_0	0.2859329	2.0653053	-0.9905563	-1.4150031	2.8652343	-2.0661068	0.5016295
			G_1	0.0196037	0.2151084	2.5626289	-4.2011550	4.4798485	-3.4669351	1.1166928
		0.4	G_0	0.3300790	2.5687830	-2.2730100	2.4482290	-0.9061800	-1.1152300	0.6336900
			G_1	0.0272960	0.4545140	1.2940000	0.6585910	-3.3745900	2.5567530	-0.7249800
		0.6	G_0	0.4134110	3.3905790	-4.8820500	13.351920	-17.160600	9.1488940	-1.8015900
			G_1	0.0575670	0.5056840	2.0319140	-1.4822100	1.4954900	-2.5583400	1.1145400
		0.8	G_0	0.6264970	3.5543640	0.7919210	0.3194370	2.0824790	-8.6748200	4.8836700
			G_1	0.1126460	0.7058050	2.3784990	-0.9484300	0.6832120	-2.9086500	1.5439800
0.05 (1/20)	0.125	0	G_0	0.4065238	0.7772483	3.8861644	-12.573943	16.760207	-11.014593	2.8706957
			G_1	0.0320270	0.1825342	2.2670449	-2.7076615	1.2088194	-0.3777430	0.0763155
		0.2	G_0	0.4141745	1.1275356	1.7988949	-6.4537497	8.1885840	-5.2215937	1.3338255
			G_1	0.0487792	0.0133782	3.9204009	-9.0880489	12.590390	-9.7977291	3.0135889
		0.4	G_0	0.4917700	1.5480530	0.5402050	-2.1834600	1.2196150	0.2889000	-0.4136700
			G_1	0.0618810	0.3879900	1.4515410	-0.0167500	-2.8752400	2.6301310	-0.8213900
		0.6	G_0	0.6460050	1.8351450	0.8285700	-1.6608000	-0.4877600	1.3380790	-0.5504100
			G_1	0.1093030	0.4366540	1.9181290	-1.3212300	-0.5731700	0.4753220	-0.0675600
		0.8	G_0	0.9327440	1.9648060	3.1532800	-4.8291100	-1.9134300	5.1126320	-1.9475400
			G_1	0.1921390	0.4872100	2.5183370	-1.9746200	-1.3273800	2.0002740	-0.7177100
0.05 (1/20)	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.6229529	-0.2485784	7.0430049	-20.131994	28.206025	-19.995012	5.6320877
			G_1	0.0905859	0.1617121	2.5472316	-5.1142004	6.3762462	-4.8989319	1.5167184
		0.4	G_0	0.7303090	0.0326040	4.1332170	-7.8985600	6.0159640	-1.5217600	-0.1897900
			G_1	0.1142170	0.2418060	1.8297700	-1.7682600	0.3018070	0.0205930	0.0144400
		0.6	G_0	0.9202510	-0.1540100	5.1619380	-8.8082400	4.5807010	1.1262150	-1.3066500
			G_1	0.1702680	0.2235180	1.8974360	-1.2399100	-1.4028300	1.8129880	-0.6307900
		0.8	G_0	1.2322960	-1.4426500	14.003620	-35.237500	44.199690	-28.746600	7.7018200
			G_1	0.2497100	0.1097790	2.4079700	-1.7073400	-2.2186700	3.4494480	-1.3726200

续表 B.3.9-1 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-内表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0.05 (1/20)	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.8998006	-1.1008716	6.7949974	-16.008148	20.985635	-14.692497	4.2008852
			G_1	0.1482707	0.1526809	2.2809119	-4.6071223	5.8286426	-4.5922291	1.4712639
		0.4	G_0	0.9875950	-0.6604200	2.5904420	-0.9060400	-4.6843400	6.1350420	-2.3065200
			G_1	0.1703150	0.3037660	1.2129670	-0.7351300	-0.9145500	0.9993630	-0.3136400
		0.6	G_0	1.1535210	-1.0846600	3.8853140	-2.6803400	-4.3200500	7.2246270	-2.9406900
			G_1	0.2189650	0.1820740	1.4974930	-1.0467100	-0.7825700	1.0459000	-0.3613100
		0.8	G_0	1.3387940	-1.3846800	4.5947460	-4.6182500	-0.8155300	3.8499650	-1.6650000
			G_1	0.2704200	0.0863940	1.7356660	-1.5215400	-0.1070200	0.5843010	-0.2509500
0.05 (1/20)	1.0	0	G_0	1.1977992	-0.5244870	0.1498299	2.3284866	-5.1058499	4.3469049	-1.3487980
			G_1	0.1870117	0.6987352	0.1316900	0.7269255	-2.5259384	2.1756251	-0.6540458
		0.2	G_0	1.2091906	-1.2119075	5.0112782	-13.553361	21.141961	-17.036849	5.4856225
			G_1	0.2131357	0.1842366	3.2319216	-9.0396511	13.389696	-10.704130	3.4528991
		0.4	G_0	1.2822600	-0.9719500	1.8928700	-1.1442300	-1.7968400	3.1176240	-1.3148300
			G_1	0.2313746	0.1294187	3.4578251	-9.7497871	14.680574	-11.902752	3.8908182
		0.6	G_0	1.3703740	-1.1028000	1.7930470	-0.4916100	-2.7326500	3.6494690	-1.4011700
			G_1	0.2379550	0.5278330	0.6693230	-0.2931400	-1.5654000	1.8255750	-0.6476900
		0.8	G_0	1.4740600	-1.2903000	1.9333060	-0.7538900	-1.8525600	2.4833110	-0.8912300
			G_1	0.2620950	0.4999820	0.6688010	-0.3352900	-1.2212800	1.3834660	-0.4801300
0.05 (1/20)	2.0	0	G_0	0.8150546	-0.5623828	1.4465771	-4.6778133	8.4192164	-7.9025932	2.9866351
			G_1	0.1359146	0.0702340	3.5558581	-11.034445	16.967724	-14.126991	4.8706612
		0.2	G_0	0.8405900	-0.9828964	3.9783944	-11.929139	19.232361	-16.107076	5.4985318
			G_1	0.1401448	0.0460755	3.3846820	-10.137821	15.107048	-12.328596	4.2110577
		0.4	G_0	0.8204618	-0.2806825	-0.8637066	3.6013842	-6.4111767	5.0203080	-1.3749797
			G_1	0.1422434	0.0527995	3.3104268	-9.9190612	14.794871	-12.107982	4.1496887
		0.6	G_0	0.8457322	-0.3595145	-0.6426755	3.1612151	-5.9385710	4.7719679	-1.3235536
			G_1	0.1488396	0.0406125	3.3249114	-9.9017635	14.712096	-12.020216	4.1204818
		0.8	G_0	0.8946607	-0.9436510	2.9530039	-8.0365810	12.297855	-10.128340	3.4958489
			G_1	0.1434305	0.2331398	2.0104442	-5.6212616	7.5252202	-5.9911091	2.1206547
0.1 (1/10)	0.03125	0	G_0	0.1965046	2.9373464	-5.2582823	7.4889153	-6.9282667	3.3673349	-0.6677966
			G_1	0.0051780	0.1750280	2.7718680	-4.6457154	4.6780502	-3.2768090	0.9840994
		0.2	G_0	0.2144509	2.4711734	-1.2860169	-3.9437101	10.258246	-9.4874515	3.0628400
			G_1	0.0080221	0.2380830	2.4576921	-3.7039504	3.6653669	-2.8375154	0.9161589
		0.4	G_0	0.2362020	3.0232830	-3.3746300	2.6514220	4.2691070	-8.6980100	3.7198100
			G_1	0.0103150	0.3971020	1.6371740	-0.4826500	-0.6416000	-0.1376700	0.1653300
		0.6	G_0	0.2803270	3.5106810	-4.3633000	9.2831770	-2.7203100	-7.4474300	4.2735200
			G_1	0.0176640	0.6383120	0.3362480	4.6736560	-7.0299900	3.3065000	-0.6400000
		0.8	G_0	0.4108450	2.7858000	7.1999900	-24.966400	63.838540	-72.490500	27.635600
			G_1	0.0459140	0.6441140	1.8109850	0.1500500	5.6303710	-11.329200	4.9191600
0.1 (1/10)	0.0625	0	G_0	0.2695332	2.1626001	-1.6551569	-1.2970208	4.5604304	-4.3163876	1.4010655
			G_1	0.0138667	0.1827458	2.5749608	-3.9044679	3.3556301	-2.1772209	0.6420134
		0.2	G_0	0.2852601	2.0623971	-0.9452314	-1.7155871	3.4690201	-2.5845388	0.6675616
			G_1	0.0195666	0.2161881	2.5579251	-4.2119758	4.4960423	-3.4714625	1.1164625
		0.4	G_0	0.3294820	2.5547280	-2.2095000	1.8316820	0.5378940	-2.4428800	1.0694100
			G_1	0.0290130	0.4029930	1.6912760	-0.7784700	-0.9590600	0.6513490	-0.1510800
		0.6	G_0	0.4058800	3.3662220	-5.1482900	13.513450	-16.655100	8.6671530	-1.7293500
			G_1	0.0569260	0.4451650	2.3945360	-2.9719000	4.1328030	-4.5775200	1.6727700
		0.8	G_0	0.5908720	3.5314460	-0.6929200	3.3140250	-0.2495400	-7.1101300	4.1118800
			G_1	0.1004430	0.7134420	1.8363740	0.1930190	-0.5388500	-1.7508700	0.9917100

续表 B.3.9-1 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-内表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0.1 (1/10)	0.125	0	G_0	0.4065238	0.7772483	3.8861644	-12.573943	16.760207	-11.014593	2.8706957
			G_1	0.0320270	0.1825342	2.2670449	-2.7076615	1.2088194	-0.3777430	0.0763155
		0.2	G_0	0.4138525	1.1243780	1.7964950	-6.5013714	8.2843111	-5.2897626	1.3521056
			G_1	0.0488254	0.0124168	3.9238498	-9.1173502	12.630693	-9.8176804	3.0170051
		0.4	G_0	0.4900830	1.5797060	0.2456910	-1.4169300	0.1330550	1.0979610	-0.6544400
			G_1	0.0625190	0.3795970	1.5007820	-0.2215400	-2.5534400	2.4056210	-0.7613400
		0.6	G_0	0.6383460	1.8896790	0.1654880	0.1405470	-2.8887800	3.1374330	-1.1431800
			G_1	0.1078790	0.4418060	1.8093490	-1.0600900	-0.9104200	0.7835470	-0.1968000
		0.8	G_0	0.9106040	1.6778320	4.1741310	-7.6274100	2.6957210	2.3283330	-1.6172500
			G_1	0.1827830	0.5316620	2.0011150	-0.7238700	-2.5544000	2.7998200	-1.0318900
0.1 (1/10)	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.6221458	-0.2652412	7.1236921	-20.415683	28.691172	-20.391119	5.7567350
			G_1	0.0893032	0.1771452	2.4437349	-4.8273884	5.9604631	-4.5972261	1.4308564
		0.4	G_0	0.7269240	0.0331400	4.0541080	-7.6758800	5.6254770	-1.1588100	-0.3180200
			G_1	0.1141390	0.2282720	1.9094300	-2.0571800	0.7745000	-0.3425200	0.1223300
		0.6	G_0	0.9136940	-0.1128200	4.7770370	-7.7684000	3.1756140	2.1324410	-1.6080500
			G_1	0.1690410	0.2367980	1.7775820	-0.9219600	-1.8420100	2.1429690	-0.7348800
		0.8	G_0	1.2285610	-1.3887200	13.423440	-33.608900	42.330360	-27.500000	7.2734400
			G_1	0.2605760	-0.1180300	4.1243640	-7.6919700	8.0993900	-4.9636300	1.2276300
0.1	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.8939439	-1.0523498	6.4920812	-15.138217	19.688676	-13.725026	3.9161703
			G_1	0.1471464	0.1576874	2.2477033	-4.5209327	5.7119515	-4.5121924	1.4494557
		0.4	G_0	0.9797560	-0.6583400	2.5905960	-0.9807000	-4.5022900	5.9676820	-2.2512600
			G_1	0.1683280	0.3025050	1.2065640	-0.7030600	-0.9925300	1.0836790	-0.3460700
		0.6	G_0	1.1399170	-1.0507000	3.7096220	-2.2768200	-4.7650200	7.4625310	-2.9908600
			G_1	0.2156530	0.1890000	1.4447400	-0.8854600	-1.0301700	1.2393260	-0.4219600
		0.8	G_0	1.3104950	-1.0667900	2.8675320	-0.6020200	-5.1697700	6.1071010	-2.1308200
			G_1	0.2673520	0.1194700	1.5170160	-0.8642000	-1.0371700	1.2474400	-0.4452900
0.1 (1/10)	1.0	0	G_0	1.1977992	-0.5244870	0.1498299	2.3284866	-5.1058499	4.3469049	-1.3487980
			G_1	0.1870117	0.6987352	0.1316900	0.7269255	-2.5259384	2.1756251	-0.6540458
		0.2	G_0	1.2047909	-1.2012348	4.9676187	-13.426779	20.945504	-16.887172	5.4412264
			G_1	0.2119663	0.1873102	3.2105329	-8.9636386	13.261943	-10.603790	3.4231621
		0.4	G_0	1.2697440	-0.9183700	1.6384390	-0.4675200	-2.7367600	3.7616560	-1.4871500
			G_1	0.2313746	0.1294187	3.4578251	-9.7497871	14.680574	-11.902752	3.8908182
		0.6	G_0	1.3563790	-1.1020000	1.8638360	-0.5992700	-2.7466300	3.7780850	-1.4700900
			G_1	0.2338370	0.5347500	0.6371980	-0.1619900	-1.8137100	2.0426640	-0.7195100
		0.8	G_0	1.4582970	-1.3079100	2.2328620	-1.6002400	-0.6409600	1.6167600	-0.6502600
			G_1	0.2583450	0.5028090	0.6746630	-0.2815000	-1.3831100	1.5504100	-0.5408600
0.1 (1/10)	2.0	0	G_0	0.8150546	-0.5623828	1.4465771	-4.6778133	8.4192164	-7.9025932	2.9866351
			G_1	0.1359146	0.0702340	3.5558581	-11.034445	16.967724	-14.126991	4.8706612
		0.2	G_0	0.8389023	-0.9910627	4.0593253	-12.185366	19.630219	-16.411826	5.5902596
			G_1	0.1391760	0.0538372	3.3380006	-9.9908862	14.871100	-12.143930	4.1552336
		0.4	G_0	0.8168007	-0.2921048	-0.7346646	3.2014916	-5.8126583	4.5798416	-1.2477748
			G_1	0.1412816	0.0503888	3.3380869	-10.010705	14.949170	-12.238855	4.1935739
		0.6	G_0	0.8387058	-0.3482355	-0.6184382	3.0476208	-5.7528210	4.6253567	-1.2780857
			G_1	0.1473521	0.0388746	3.3532681	-9.9888648	14.848958	-12.132523	4.1580679
		0.8	G_0	0.8878357	-0.9627154	3.2133021	-8.8604927	13.568698	-11.103565	3.7915359
			G_1	0.1419379	0.2284659	2.0631482	-5.7641990	7.7262423	-6.1414207	2.1673189

续表 B.3.9-1 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-内表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0.2 (1/5)	0.03125	0	G_0	0.1965046	2.9373464	-5.2582823	7.4889153	-6.9282667	3.3673349	-0.6677966
			G_1	0.0051780	0.1750280	2.7718680	-4.6457154	4.6780502	-3.2768090	0.9840994
		0.2	G_0	0.2190748	2.5203290	-2.0236870	-1.2734559	5.7568175	-5.8748904	1.9521817
			G_1	0.0082274	0.2471615	2.3678007	-3.4287724	3.2025223	-2.4520746	0.7939694
		0.4	G_0	0.2316580	3.0174340	-3.6739100	3.3486960	3.4951970	-8.3582900	3.7094000
			G_1	0.0132894	0.2678595	2.5665870	-4.0109437	5.6693993	-5.4751609	1.8921069
		0.6	G_0	0.2637180	3.3055520	-4.3385500	9.7328450	-4.9409500	-4.6514100	3.2218700
			G_1	0.0181909	0.3817362	2.1420212	-2.1977697	5.2001900	-7.0131972	2.7040967
		0.8	G_0	0.3497230	2.1192140	8.0739030	-27.587500	62.883920	-66.409000	24.306100
			G_1	0.0235580	0.5103500	1.5026960	1.4467780	1.4312900	-6.0350600	2.7698500
0.2 (1/5)	0.0625	0	G_0	0.2695332	2.1626001	-1.6551569	-1.2970208	4.5604304	-4.3163876	1.4010655
			G_1	0.0138667	0.1827458	2.5749608	-3.9044679	3.3556301	-2.1772209	0.6420134
		0.2	G_0	0.2852936	2.0689704	-1.0554851	-1.4836567	3.1890944	-2.3859114	0.6080571
			G_1	0.0197715	0.2169234	2.5536862	-4.2430898	4.5441255	-3.4924585	1.1187813
		0.4	G_0	0.3285480	2.4958610	-2.0243000	0.8619950	2.4744750	-4.0617200	1.5606500
			G_1	0.0361263	0.3182238	2.4231181	-3.6890071	4.2893407	-3.7603314	1.2600158
		0.6	G_0	0.3915700	3.2250850	-4.9945400	12.185590	-13.428900	5.6813190	-0.7529300
			G_1	0.0514191	0.4402715	2.1487271	-2.5959155	4.1080561	-4.8381973	1.8044669
		0.8	G_0	0.5261450	3.2405970	-1.3815100	4.1519310	0.5109400	-8.1414300	4.3185000
			G_1	0.0814479	0.6559984	1.5337156	0.4475435	0.0534894	-2.5096346	1.2137430
0.2 (1/5)	0.125	0	G_0	0.4065238	0.7772483	3.8861644	-12.573943	16.760207	-11.014593	2.8706957
			G_1	0.0320270	0.1825342	2.2670449	-2.7076615	1.2088194	-0.3777430	0.0763155
		0.2	G_0	0.4136013	1.1220276	1.7642454	-6.5135424	8.3634912	-5.3510304	1.3676362
			G_1	0.0490163	0.0123967	3.9211133	-9.1581812	12.709183	-9.8748627	3.0337707
		0.4	G_0	0.4909940	1.5098770	0.5876890	-2.8587400	2.8113040	-1.1202600	0.0293200
			G_1	0.0747677	0.0749203	3.9389068	-9.1864777	12.998452	-10.295081	3.1890105
		0.6	G_0	0.6249600	1.8325900	0.0013210	-0.0015000	-1.5020700	1.6414400	-0.6878100
			G_1	0.1105969	0.2637050	2.9884892	-5.4654500	6.9950075	-5.7793135	1.8496103
		0.8	G_0	0.8500710	1.9490000	1.0758800	-0.8402600	-2.2385800	3.1877320	-1.4499300
			G_1	0.1789668	0.2399490	3.8931390	-7.7610872	10.294824	-7.8565698	2.2277937
0.2 (1/5)	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.6159056	-0.2050937	6.6909872	-19.186699	26.862981	-19.027126	5.3580488
			G_1	0.0891128	0.1702221	2.4720008	-4.9324186	6.1223136	-4.7123917	1.4632694
		0.4	G_0	0.7215670	0.0374900	3.9226910	-7.4222400	5.3541510	-0.9786100	-0.3710800
			G_1	0.1202781	0.1074802	2.4970523	-3.7079504	3.0213692	-1.8021829	0.4930615
		0.6	G_0	0.9048380	-0.1315600	4.6654820	-7.6840900	3.5404410	1.6663190	-1.4658800
			G_1	0.1803830	-0.0541023	3.7023114	-7.2913373	8.5546816	-5.9999118	1.7212304
		0.8	G_0	1.1866530	-0.8342800	8.7205780	-18.257500	18.406930	-8.8685700	1.4645500
			G_1	0.2633540	-0.1901259	4.3785426	-8.5606515	9.8591518	-6.4535782	1.6581104
0.2 (1/5)	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.8858151	-1.0197403	6.2776913	-14.516668	18.732182	-12.986246	3.6925414
			G_1	0.1453215	0.1594771	2.2306775	-4.4869243	5.6738656	-4.4885955	1.4435985
		0.4	G_0	0.9688850	-0.6841400	2.7358770	-1.4201300	-3.8776500	5.5502200	-2.1443700
			G_1	0.1705287	0.1690974	1.9564466	-3.3798091	3.7905011	-3.0373612	1.0275733
		0.6	G_0	1.1240870	-1.0768400	3.8703920	-2.7987600	-3.8803000	6.7635310	-2.7860400
			G_1	0.2171748	0.0842974	2.2072273	-3.7731258	4.0998144	-3.1122546	1.0079677
		0.8	G_0	1.3125100	-1.3603100	4.4157580	-3.9151500	-1.6021800	4.3666690	-1.8710900
			G_1	0.2804807	-0.0036237	2.1078754	-2.5482535	1.5280380	-0.6890973	0.1306713

续表 B.3.9-1 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-内表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0.2 (1/5)	1.0	0	G_0	1.1977992	-0.5244870	0.1498299	2.3284866	-5.1058499	4.3469049	-1.3487980
			G_1	0.1870117	0.6987352	0.1316900	0.7269255	-2.5259384	2.1756251	-0.6540458
		0.2	G_0	1.1957780	-1.1928788	4.9690673	-13.450328	20.984072	-16.917257	5.4506179
			G_1	0.2081893	0.2110738	3.0727215	-8.5670342	12.675874	-10.175528	3.3005282
		0.4	G_0	1.2499210	-0.8835300	1.5685020	-0.3587800	-2.8201600	3.7710640	-1.4756300
			G_1	0.2261821	0.1336704	3.4220588	-9.5448451	14.293730	-11.605247	3.8105474
		0.6	G_0	1.3280790	-1.0422100	1.7783590	-0.6033200	-2.4505600	3.3606510	-1.2970500
			G_1	0.2465393	0.1720577	2.9234104	-7.7004235	11.016864	-8.7581419	2.8432632
		0.8	G_0	1.4295430	-1.2362900	2.0609680	-0.9573800	-1.8135900	2.6148850	-0.9777200
			G_1	0.2736792	0.1461663	2.8913901	-7.2809390	10.022374	-7.6326797	2.3534796
0.2 (1/5)	2.0	0	G_0	0.8150546	-0.5623828	1.4465771	-4.6778133	8.4192164	-7.9025932	2.9866351
			G_1	0.1359146	0.0702340	3.5558581	-11.034445	16.967724	-14.126991	4.8706612
		0.2	G_0	0.8351796	-0.9975558	4.1493278	-12.445145	19.981918	-16.646781	5.6530002
			G_1	0.1380096	0.0562824	3.3282021	-9.9530116	14.806340	-12.097815	4.1444930
		0.4	G_0	0.8306994	-1.0237591	4.3698748	-13.269111	21.479545	-17.921928	6.0620530
			G_1	0.1376183	0.0406712	3.4210114	-10.313146	15.494157	-12.701908	4.3425313
		0.6	G_0	0.8558483	-1.0505654	4.3124794	-12.845362	20.558401	-17.096036	5.8004744
			G_1	0.1446670	0.0167777	3.5323058	-10.571235	15.816043	-12.923783	4.4101264
		0.8	G_0	0.8664408	-0.8724913	2.8280384	-7.6269457	11.393145	-9.2221390	3.1640805
			G_1	0.1390668	0.1865317	2.4237595	-7.0178287	9.8903995	-7.9357249	2.7360663
0.3333 (1/3)	0.03125	0	G_0	0.1965046	2.9373464	-5.2582823	7.4889153	-6.9282667	3.3673349	-0.6677966
			G_1	0.0051780	0.1750280	2.7718680	-4.6457154	4.6780502	-3.2768090	0.9840994
		0.2	G_0	0.2172042	2.5042847	-2.1152523	-1.0663053	5.5897238	-5.8369981	1.9620413
			G_1	0.0076407	0.2402259	2.3741989	-3.4818023	3.2921834	-2.5081221	0.8062819
		0.4	G_0	0.2213040	3.0865230	-5.3162800	10.104880	-9.4190500	3.0782450	-0.0751300
			G_1	0.0109040	0.2379070	2.7257150	-4.5589100	6.4148690	-5.9564800	2.0227340
		0.6	G_0	0.2326720	3.4536430	-7.5171600	21.602680	-27.456600	15.285850	-3.3080200
			G_1	0.0124870	0.2833310	2.5113570	-3.3810700	6.2551880	-7.1855300	2.6289150
		0.8	G_0	0.2431510	3.7925040	-9.4367000	34.625530	-49.585800	30.877910	-7.4781600
			G_1	0.0129250	0.3526240	1.9977450	-0.5838300	3.0764080	-5.7180400	2.2847340
0.3333 (1/3)	0.0625	0	G_0	0.2695332	2.1626001	-1.6551569	-1.2970208	4.5604304	-4.3163876	1.4010655
			G_1	0.0138667	0.1827458	2.5749608	-3.9044679	3.3556301	-2.1772209	0.6420134
		0.2	G_0	0.2844799	2.0640002	-1.1370689	-1.3784733	3.1901236	-2.4501643	0.6364234
			G_1	0.0196105	0.2162750	2.5422614	-4.2578287	4.5779897	-3.5058747	1.1186308
		0.4	G_0	0.3220940	2.4382140	-1.9837600	0.2441520	4.2246520	-5.9119800	2.2494420
			G_1	0.0302700	0.2690970	2.6242350	-4.3253900	5.2447410	-4.4149200	1.4273430
		0.6	G_0	0.3690150	2.8657790	-3.6714400	7.4894220	-5.1881800	-1.1502800	1.4278360
			G_1	0.0421480	0.3508870	2.4986830	-3.8769000	6.1282230	-6.2831600	2.2006960
		0.8	G_0	0.4274530	3.1943180	-5.0036400	17.183440	-22.134100	11.331200	-2.1369500
			G_1	0.0540340	0.4419180	2.1304980	-1.7669500	3.5006620	-4.6673800	1.6550060
0.3333 (1/3)	0.125	0	G_0	0.4065238	0.7772483	3.8861644	-12.573943	16.760207	-11.014593	2.8706957
			G_1	0.0320270	0.1825342	2.2670449	-2.7076615	1.2088194	-0.3777430	0.0763155
		0.2	G_0	0.4128225	1.1171748	1.7294667	-6.5703783	8.5967302	-5.5789250	1.4430231
			G_1	0.0491457	0.0109153	3.9207133	-9.2000295	12.768245	-9.8975712	3.0345710
		0.4	G_0	0.4999770	1.1122800	3.4080100	-12.831300	19.956770	-15.131900	4.4070790
			G_1	0.0655360	0.2653370	2.2964190	-3.1937600	2.6225790	-1.8132600	0.5497690
		0.6	G_0	0.6175010	1.2257330	4.0319720	-14.566200	24.320440	-19.886800	6.1066340
			G_1	0.0998390	0.2849510	2.6838120	-4.6127100	5.8013200	-4.8420000	1.5330940
		0.8	G_0	0.7920490	1.0127770	6.8668830	-21.954100	36.429260	-29.710200	9.0101920
			G_1	0.1476580	0.2244550	3.5532850	-7.2068400	10.474170	-8.3895400	2.3883100

续表 B.3.9-1 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-内表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0.3333 (1/3)	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.6151200	-0.2559286	6.9419508	-19.977395	28.061835	-19.892262	5.6000832
			G_1	0.0890045	0.1593445	2.5204791	-5.1000189	6.3764694	-4.8919376	1.5129735
		0.4	G_0	0.7305130	-0.3220800	6.3427310	-15.390600	18.411260	-11.349700	2.8193980
			G_1	0.1265635	0.1445088	2.2324974	-3.0386458	2.2662085	-1.4535727	0.4548018
		0.6	G_0	0.9124330	-0.7665200	9.1561340	-23.081300	29.896950	-19.945600	5.3119440
			G_1	0.1687760	0.1014170	2.6091130	-3.8884800	3.4192270	-2.2010400	0.6120270
		0.8	G_0	1.1626120	-1.3970900	12.596200	-31.856200	42.732810	-29.146600	7.7681640
			G_1	0.2450710	-0.1281000	3.9424300	-7.5372100	9.0064480	-6.0816100	1.5366290
0.3333 (1/3)	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.8818313	-1.0917996	6.7441757	-15.991176	21.054792	-14.772037	4.2281725
			G_1	0.1441557	0.1424866	2.3284045	-4.7895448	6.1386818	-4.8362727	1.5452935
		0.4	G_0	0.9407980	-0.4985400	1.9170250	-0.0192500	-4.6370600	5.2166830	-1.8075400
			G_1	0.1711202	0.1668531	1.9267560	-3.2630245	3.5831509	-2.8636537	0.9729171
		0.6	G_0	1.1152890	-1.3442300	5.9458650	-10.097200	8.9327530	-4.0621300	0.7185930
			G_1	0.2163543	0.1549463	1.5248691	-1.5230688	0.7692177	-0.7731253	0.3699490
		0.8	G_0	1.2910080	-1.3463700	4.3601980	-3.7608100	-1.3364900	3.8436030	-1.6693300
			G_1	0.2617850	0.1512610	1.1793570	0.3568580	-2.8439400	2.6019470	-0.8740000
0.3333 (1/3)	1.0	0	G_0	1.1977992	-0.5244870	0.1498299	2.3284866	-5.1058499	4.3469049	-1.3487980
			G_1	0.1870117	0.6987352	0.1316900	0.7269255	-2.5259384	2.1756251	-0.6540458
		0.2	G_0	1.1843664	-1.1847612	4.9902280	-13.538735	21.119771	-17.017414	5.4794601
			G_1	0.2064638	0.1880635	3.2277985	-9.0382566	13.410536	-10.743271	3.4724686
		0.4	G_0	1.2310867	-1.2996546	5.3458402	-14.297856	22.283375	-18.132719	5.9308732
			G_1	0.2232606	0.1330441	3.4286845	-9.5400946	14.273538	-11.599332	3.8156481
		0.6	G_0	1.3016702	-1.3329884	4.6823879	-11.389326	16.885721	-13.394792	4.3283933
			G_1	0.2440755	0.1533295	3.0387623	-7.9723882	11.374712	-9.0179366	2.9233036
		0.8	G_0	1.4059990	-1.4844400	4.6015830	-9.7191000	12.979170	-9.5963900	2.9604700
			G_1	0.2547770	0.3338937	2.0367399	-5.9096868	9.5170399	-8.2252015	2.7607498
0.3333 (1/3)	2.0	0	G_0	0.8150546	-0.5623828	1.4465771	-4.6778133	8.4192164	-7.9025932	2.9866351
			G_1	0.1359146	0.0702340	3.5558581	-11.034445	16.967724	-14.126991	4.8706612
		0.2	G_0	0.8291377	-0.9895481	4.1798664	-12.600881	20.280744	-16.914774	5.7445745
			G_1	0.1367171	0.0546432	3.3517976	-10.030368	14.931862	-12.199484	4.1771813
		0.4	G_0	0.8281292	-1.0079708	4.3560940	-13.170690	21.184349	-17.624770	5.9654552
			G_1	0.1383911	0.0271839	3.5221879	-10.559706	15.796147	-12.905023	4.4038513
		0.6	G_0	0.8416824	-1.0386714	4.4633302	-13.408838	21.463769	-17.808130	6.0224184
			G_1	0.1432074	0.0086329	3.6113710	-10.774368	16.083937	-13.122391	4.4757876
		0.8	G_0	0.8492888	-0.8700518	3.1479406	-8.7543723	13.222524	-10.685678	3.6241547
			G_1	0.1360843	0.2203399	2.2144388	-6.1874959	8.3319395	-6.6071612	2.3172922
1.0 (1/1)	0.03125	0	G_0	0.1965046	2.9373464	-5.2582823	7.4889153	-6.9282667	3.3673349	-0.6677966
			G_1	0.0051780	0.1750280	2.7718680	-4.6457154	4.6780502	-3.2768090	0.9840994
		0.2	G_0	0.1887770	3.2460130	-7.9657120	15.803931	-18.601108	11.257414	-2.7708890
			G_1	0.0035310	0.2557830	2.2488600	-3.4182260	3.3729340	-2.6095290	0.8448730
		0.4	G_0	0.1936060	3.3256100	-9.3285050	23.269704	-32.015841	21.747820	-5.8692540
			G_1	0.0031910	0.2949310	1.8484630	-1.8812440	1.5093650	-1.6986400	0.6868650
		0.6	G_0	0.2027590	3.1972320	-8.5528700	24.163644	-35.834420	25.596244	-7.2230670
			G_1	0.0035920	0.3018150	1.6868040	-0.8209740	0.1147120	-0.9134420	0.4831660
		0.8	G_0	0.2144420	2.9332390	-6.2402450	19.707775	-31.405095	24.506206	-7.7838990
			G_1	0.0054130	0.2577100	1.9623290	-1.0564620	0.1832180	-0.0823050	-0.2325620

续表 B.3.9-1 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-内表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
1.0 (1/1)	0.0625	0	G_0	0.2695332	2.1626001	-1.6551569	-1.2970208	4.5604304	-4.3163876	1.4010655
			G_1	0.0138667	0.1827458	2.5749608	-3.9044679	3.3556301	-2.1772209	0.6420134
		0.2	G_0	0.2602710	2.5072370	-4.0196340	4.8604960	-3.1614410	0.5262740	0.1626390
			G_1	0.0140680	0.2618010	2.2080180	-3.3491570	3.0477360	-2.1577470	0.6622560
		0.4	G_0	0.2688020	2.6734540	-5.6446960	11.354033	-12.533332	6.4776680	-1.2817270
			G_1	0.0159260	0.2906450	2.0141960	-2.8616550	3.2482670	-2.9880670	1.0375950
		0.6	G_0	0.2798250	2.7173870	-6.5196150	17.301630	-23.167511	14.548473	-3.6124180
			G_1	0.0167090	0.3099060	1.7874040	-1.8952340	2.5146820	-3.0341200	1.1541790
		0.8	G_0	0.2958390	2.5709320	-5.8064300	18.880265	-28.546652	20.789752	-6.2493280
			G_1	0.0184130	0.2878740	1.8559320	-1.5905150	2.1014180	-2.1364600	0.5009230
1.0 (1/1)	0.125	0	G_0	0.4065238	0.7772483	3.8861644	-12.573943	16.760207	-11.014593	2.8706957
			G_1	0.0320270	0.1825342	2.2670449	-2.7076615	1.2088194	-0.3777430	0.0763155
		0.2	G_0	0.3892020	1.3031240	1.2426210	-7.6430130	12.601404	-9.5919880	2.7882590
			G_1	0.0357210	0.2481460	2.0826440	-2.9432810	2.2213120	-1.3865100	0.4111960
		0.4	G_0	0.4215680	1.3823700	0.7862470	-6.2768270	12.088434	-10.408977	3.2683420
			G_1	0.0469710	0.2600750	2.1211230	-3.2793580	3.4497760	-2.7324570	0.8673790
		0.6	G_0	0.4537450	1.3478430	0.7380390	-4.8590140	11.111854	-11.058568	3.7768470
			G_1	0.0546110	0.2388750	2.2799670	-3.8546110	5.4142280	-4.9049200	1.6068860
		0.8	G_0	0.4920000	1.1255500	1.6609330	-5.0325820	11.027984	-10.717680	3.3578350
			G_1	0.0614110	0.1664210	2.7612530	-5.2823370	8.4684220	-7.1584750	2.0083830
1.0 (1/1)	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.5852570	-0.1000030	5.3861730	-14.481721	18.705926	-12.309007	3.2534580
			G_1	0.0724540	0.2056560	1.8919480	-2.3229410	1.2648190	-0.6502480	0.1954770
		0.4	G_0	0.6496920	-0.1878520	5.8413390	-15.672861	20.881370	-14.208984	3.8455090
			G_1	0.0973280	0.1668610	2.1152140	-2.9592280	2.3504650	-1.5298980	0.4550750
		0.6	G_0	0.7423520	-0.4978600	7.4225290	-19.524846	27.422578	-19.756959	5.5604290
			G_1	0.1265830	0.0720860	2.6494880	-4.4508230	5.0966590	-3.8637400	1.1526210
		0.8	G_0	0.8482320	-1.0301430	10.273454	-26.715328	39.521921	-29.403936	8.2660770
			G_1	0.1566560	-0.1005730	3.7205800	-7.6368800	10.814633	-8.2353200	2.2447720
1.0 (1/1)	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.8223780	-0.6926820	4.1749310	-7.9388620	8.1437880	-4.5936300	1.0929220
			G_1	0.1187890	0.3291500	1.0684300	-0.6475430	-0.5247600	0.3663070	-0.0425330
		0.4	G_0	0.8714610	-0.7985800	4.4456080	-8.3111450	8.4837340	-4.7818110	1.1366370
			G_1	0.1400050	0.2762620	1.2050610	-0.8546340	-0.3238000	0.2554730	-0.0173390
		0.6	G_0	0.9849310	-1.1212490	5.6192930	-10.551055	11.336911	-6.7824610	1.6843950
			G_1	0.1799850	0.1599500	1.6390710	-1.7128890	0.8272690	-0.5646380	0.2024140
		0.8	G_0	1.1420050	-1.6597170	7.9007850	-15.439726	18.287019	-11.728046	2.9430680
			G_1	0.2328010	-0.0467300	2.6611540	-4.2325050	4.6610900	-3.2414360	0.8282060
1.0 (1/1)	1.0	0	G_0	1.1977992	-0.5244870	0.1498299	2.3284866	-5.1058499	4.3469049	-1.3487980
			G_1	0.1870117	0.6987352	0.1316900	0.7269255	-2.5259384	2.1756251	-0.6540458
		0.2	G_0	1.1185400	-0.7466120	2.2569970	-4.2923660	4.9732460	-3.1499340	0.8291370
			G_1	0.1679140	0.5576320	1.0788590	-2.1361180	1.8024530	-1.0315420	0.2739990
		0.4	G_0	1.1145190	-0.7542990	2.4059640	-4.7032890	5.5327610	-3.5380910	0.9367770
			G_1	0.1728850	0.5161020	1.2596510	-2.5441810	2.3216530	-1.3790280	0.3681920
		0.6	G_0	1.1735530	-0.9107720	3.0009520	-5.8521850	6.8037420	-4.2974970	1.1245860
			G_1	0.1962470	0.4424370	1.5387950	-3.0679190	2.9034670	-1.7325770	0.4560140
		0.8	G_0	1.2769660	-1.1593170	4.1356500	-8.2343020	9.8243940	-6.2987670	1.6318920
			G_1	0.2316340	0.3596110	1.9624090	-3.9342220	4.0485700	-2.4698850	0.6113770

续表 B.3.9-1 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-内表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
1.0 (1/1)	2.0	0	G_0	0.8150546	-0.5623828	1.4465771	-4.6778133	8.4192164	-7.9025932	2.9866351
			G_1	0.1359146	0.0702340	3.5558581	-11.034445	16.967724	-14.126991	4.8706612
		0.2	G_0	0.775542	-0.462170	0.928967	-1.913770	1.756740	-0.962982	0.359284
			G_1	0.097384	0.526486	0.559915	-1.023006	-0.438924	0.826732	-0.155968
		0.4	G_0	0.753133	-0.388979	0.888974	-2.082603	2.124123	-1.268587	0.454809
			G_1	0.094510	0.518909	0.656501	-1.304464	-0.040356	0.536911	-0.070183
		0.6	G_0	0.751738	-0.363300	0.947217	-2.348033	2.476364	-1.474385	0.500571
			G_1	0.097080	0.506094	0.751534	-1.522757	0.199706	0.411354	-0.045982
		0.8	G_0	0.763114	-0.328201	0.959728	-2.379355	2.427215	-1.397584	0.475059
			G_1	0.101836	0.514054	0.783355	-1.546819	0.186296	0.436725	-0.058225
1.5 (1.5/1)	0.03125	0	G_0	0.1965046	2.9373464	-5.2582823	7.4889153	-6.9282667	3.3673349	-0.6677966
			G_1	0.0051780	0.1750280	2.7718680	-4.6457154	4.6780502	-3.2768090	0.9840994
		0.2	G_0	0.1871480	3.2193230	-8.3547450	17.175306	-20.942694	13.168039	-3.3548220
			G_1	0.0030060	0.2554000	2.1744700	-3.2742650	3.1219380	-2.3757300	0.7702860
		0.4	G_0	0.1924970	3.1602870	-8.9552060	22.107565	-30.882925	21.558580	-5.9853310
			G_1	0.0026230	0.2827920	1.8022500	-1.8010740	1.0600520	-1.0743140	0.4426720
		0.6	G_0	0.2007990	2.9147360	-7.2825220	18.926376	-27.284947	19.422515	-5.5344220
			G_1	0.0034150	0.2633370	1.8589210	-1.6624560	1.1142900	-1.2854220	0.4955650
		0.8	G_0	0.2089150	2.6241930	-4.7336880	12.144243	-17.294853	13.150126	-4.3895340
			G_1	0.0054520	0.1974550	2.3605180	-3.0386650	3.3497840	-2.2295120	0.3139110
1.5 (1.5/1)	0.0625	0	G_0	0.2695332	2.1626001	-1.6551569	-1.2970208	4.5604304	-4.3163876	1.4010655
			G_1	0.0138667	0.1827458	2.5749608	-3.9044679	3.3556301	-2.1772209	0.6420134
		0.2	G_0	0.2559070	2.4769840	-4.3504330	5.8919370	-4.6070500	1.5228170	-0.1047370
			G_1	0.0130010	0.2543090	2.1712300	-3.3466990	3.1120910	-2.2150440	0.6794480
		0.4	G_0	0.2586610	2.5614580	-5.9014180	12.721828	-15.470208	9.1926230	-2.1678900
			G_1	0.0131400	0.2763000	1.9058070	-2.5549240	2.6325260	-2.4133820	0.8543080
		0.6	G_0	0.2656720	2.4734090	-5.9895820	16.084085	-22.645940	15.272607	-4.0948890
			G_1	0.0131630	0.2815210	1.7286740	-1.7149820	1.8204460	-2.1722910	0.8321520
		0.8	G_0	0.2775890	2.1933630	-4.1758210	13.096895	-20.086267	15.385136	-4.9778980
			G_1	0.0146580	0.2349820	1.9972960	-2.2158140	2.6615280	-2.1107110	0.3788710
1.5 (1.5/1)	0.125	0	G_0	0.4065238	0.7772483	3.8861644	-12.573943	16.760207	-11.014593	2.8706957
			G_1	0.0320270	0.1825342	2.2670449	-2.7076615	1.2088194	-0.3777430	0.0763155
		0.2	G_0	0.3818750	1.2835930	0.9980180	-7.0046230	11.895439	-9.2062130	2.7029670
			G_1	0.0343590	0.2418040	2.0501980	-2.9386520	2.2914760	-1.4565460	0.4323500
		0.4	G_0	0.3961210	1.3071730	0.4368370	-4.8889030	9.9277220	-8.8438190	2.8392680
			G_1	0.0399630	0.2368410	2.0641370	-3.1463250	3.3191750	-2.6636500	0.8534920
		0.6	G_0	0.4089220	1.2335480	0.3636820	-2.9736600	7.4102250	-7.8636990	2.7818630
			G_1	0.0421260	0.2101410	2.1800740	-3.5350670	4.8602020	-4.4375870	1.4650570
		0.8	G_0	0.4293380	0.9818900	1.4865920	-3.8063930	7.8389670	-7.3871220	2.1730080
			G_1	0.0448040	0.1401910	2.6357250	-4.9068160	7.7001560	-6.3988210	1.7452910
1.5 (1.5/1)	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.5731260	-0.1026810	5.2348720	-14.166926	18.420386	-12.180789	3.2304300
			G_1	0.0702990	0.2007070	1.8692950	-2.3096600	1.2845320	-0.6705890	0.2010140
		0.4	G_0	0.6143650	-0.1925600	5.5595540	-14.837736	19.889910	-13.651961	3.7192640
			G_1	0.0883690	0.1573760	2.0664490	-2.8387660	2.2611150	-1.5113030	0.4566990
		0.6	G_0	0.6654280	-0.4603320	6.8976520	-17.926593	25.344704	-18.475562	5.2470810
			G_1	0.1046570	0.0712920	2.5490420	-4.1933050	4.8755320	-3.7949470	1.1474390
		0.8	G_0	0.7187580	-0.8684550	9.2364690	-23.834746	35.661603	-26.827229	7.5695330
			G_1	0.1188290	-0.0679130	3.4958570	-7.1384710	10.357177	-8.0270040	2.1959690

续表 B.3.9-1 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-内表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
1.5 (1.5/1)	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.7999930	-0.6702080	4.0707980	-7.7423870	7.9267570	-4.4569440	1.0563660
			G_1	0.1136940	0.3275140	1.0561050	-0.6222870	-0.5586150	0.3946890	-0.0518860
		0.4	G_0	0.8340580	-0.7679320	4.3748960	-8.1995680	8.4148900	-4.7809860	1.1445190
			G_1	0.1316730	0.2685230	1.2319970	-0.9143400	-0.2371870	0.1907400	0.0010370
		0.6	G_0	0.9190840	-1.0556130	5.5921840	-10.647658	11.703544	-7.1783650	1.8163490
			G_1	0.1639280	0.1541250	1.7179280	-1.9278680	1.1814200	-0.8498530	0.2861980
		0.8	G_0	1.0300390	-1.4949880	7.8105150	-15.760033	19.464498	-12.940902	3.3317500
			G_1	0.2037050	-0.0326220	2.7728460	-4.6625480	5.5019510	-3.9548810	1.0376330
1.5 (1.5/1)	1.0	0	G_0	1.1977992	-0.5244870	0.1498299	2.3284866	-5.1058499	4.3469049	-1.3487980
			G_1	0.1870117	0.6987352	0.1316900	0.7269255	-2.5259384	2.1756251	-0.6540458
		0.2	G_0	1.0852720	-0.6957660	2.2172950	-4.3020260	5.0100220	-3.1731610	0.8335180
			G_1	0.1600320	0.5559860	1.1197960	-2.2372850	1.9209480	-1.1018790	0.2908130
		0.4	G_0	1.0677690	-0.6700770	2.3607410	-4.7941460	5.7101090	-3.6616170	0.9679420
			G_1	0.1628640	0.5114670	1.3435660	-2.7549090	2.5750130	-1.5331680	0.4059190
		0.6	G_0	1.1157850	-0.7876990	2.9678970	-6.1066660	7.2828380	-4.6617040	1.2265270
			G_1	0.1848650	0.4375840	1.6751360	-3.4351040	3.3829850	-2.0495000	0.5394720
		0.8	G_0	1.2068900	-0.9826140	4.1585140	-8.9187160	11.176646	-7.4049870	1.9577020
			G_1	0.2193180	0.3545180	2.1920070	-4.6216420	5.0632350	-3.2080740	0.8183490
1.5 (1.5/1)	2.0	0	G_0	0.8150546	-0.5623828	1.4465771	-4.6778133	8.4192164	-7.9025932	2.9866351
			G_1	0.1359146	0.0702340	3.5558581	-11.034445	16.967724	-14.126991	4.8706612
		0.2	G_0	0.7561570	-0.4113330	0.8922740	-1.9773740	1.9110700	-1.0892160	0.3972130
			G_1	0.0933630	0.5272230	0.5996590	-1.1437300	-0.2725070	0.7095340	-0.1221990
		0.4	G_0	0.7241860	-0.2955140	0.7740270	-2.0760430	2.2576180	-1.4080850	0.5016070
			G_1	0.0889820	0.5219580	0.7110940	-1.4830380	0.2133090	0.3549500	-0.0169870
		0.6	G_0	0.7176280	-0.2320270	0.7455130	-2.2314070	2.5330490	-1.5910440	0.5471650
			G_1	0.0911710	0.5123440	0.8122800	-1.7386130	0.5168220	0.1796240	0.0224790
		0.8	G_0	0.7269650	-0.1654350	0.7081360	-2.2629510	2.5901790	-1.6414820	0.5684870
			G_1	0.0967150	0.5207350	0.8694050	-1.8598470	0.6663950	0.0745500	0.0504730
2.0 (2/1)	0.03125	0	G_0	0.1965046	2.9373464	-5.2582823	7.4889153	-6.9282667	3.3673349	-0.6677966
			G_1	0.0051780	0.1750280	2.7718680	-4.6457154	4.6780502	-3.2768090	0.9840994
		0.2	G_0	0.1862430	3.1871860	-8.6163530	18.188665	-22.753444	14.696910	-3.8372360
			G_1	0.0026780	0.2562520	2.1051900	-3.1202060	2.8543730	-2.1321370	0.6915120
		0.4	G_0	0.1920990	3.0177060	-8.4884490	20.536080	-28.583790	20.061801	-5.6174020
			G_1	0.0024620	0.2700700	1.8131980	-1.9284640	1.1256460	-0.9743760	0.3773470
		0.6	G_0	0.1983990	2.7409340	-6.5746110	15.935994	-22.025830	15.297020	-4.3115820
			G_1	0.0033390	0.2394840	1.9724830	-2.2727940	2.0391010	-1.8617660	0.6305280
		0.8	G_0	0.2031130	2.4822360	-4.3202910	9.5883850	-12.002039	8.5599520	-2.9241860
			G_1	0.0051810	0.1730480	2.4959560	-3.8858380	4.8318130	-3.3353400	0.6305460
2.0 (2/1)	0.0625	0	G_0	0.2695332	2.1626001	-1.6551569	-1.2970208	4.5604304	-4.3163876	1.4010655
			G_1	0.0138667	0.1827458	2.5749608	-3.9044679	3.3556301	-2.1772209	0.6420134
		0.2	G_0	0.2524140	2.4488960	-4.6242740	6.8553650	-6.0831040	2.6044290	-0.4081730
			G_1	0.0121860	0.2500220	2.1254660	-3.2829480	3.0633290	-2.1881450	0.6736950
		0.4	G_0	0.2523970	2.4567070	-5.8696010	13.093788	-16.722829	10.577435	-2.6677870
			G_1	0.0115850	0.2671310	1.8321990	-2.3246290	2.1480750	-1.9489500	0.7009540
		0.6	G_0	0.2574010	2.2797210	-5.2623580	13.916127	-19.878743	13.753039	-3.8012160
			G_1	0.0114600	0.2599110	1.7415830	-1.7738130	1.6746070	-1.8524330	0.6909070
		0.8	G_0	0.2662910	1.9548690	-2.9564910	8.5694090	-12.795188	10.027274	-3.4753810
			G_1	0.0129120	0.2013170	2.1300020	-2.7866260	3.3951280	-2.4748490	0.4395870

续表 B.3.9-1 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-内表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
2.0 (2/1)	0.125	0	G_0	0.4065238	0.7772483	3.8861644	-12.573943	16.760207	-11.014593	2.8706957
			G_1	0.0320270	0.1825342	2.2670449	-2.7076615	1.2088194	-0.3777430	0.0763155
		0.2	G_0	0.3748730	1.2639710	0.7904890	-6.3714270	11.089171	-8.7055790	2.5790240
			G_1	0.0329740	0.2360890	2.0180140	-2.9029810	2.3012840	-1.4844670	0.4429370
		0.4	G_0	0.3781490	1.2493180	0.2447500	-3.9438800	8.2401310	-7.5012660	2.4462910
			G_1	0.0353370	0.2224590	2.0169060	-3.0046970	3.1104170	-2.5089710	0.8111170
		0.6	G_0	0.3821620	1.1526580	0.2952920	-2.2430110	5.5382370	-6.0193430	2.1625070
			G_1	0.0354260	0.1956370	2.1152900	-3.2992810	4.3790020	-3.9992790	1.3266410
		0.8	G_0	0.3949370	0.8871000	1.6486390	-4.0245560	7.3083980	-6.3274340	1.7120200
			G_1	0.0367850	0.1283150	2.5684690	-4.6806090	7.1443220	-5.8258650	1.5492980
2.0 (2/1)	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.5618030	-0.1035380	5.0988920	-13.834804	18.062486	-11.989127	3.1886810
			G_1	0.0682240	0.1965170	1.8484400	-2.2815960	1.2768050	-0.6746000	0.2031190
		0.4	G_0	0.5849530	-0.1911790	5.3612680	-14.203101	19.045805	-13.116775	3.5843860
			G_1	0.0809390	0.1507230	2.0342940	-2.7447430	2.1665520	-1.4682140	0.4486100
		0.6	G_0	0.6118160	-0.4181520	6.5505680	-16.905352	23.894430	-17.478417	4.9807840
			G_1	0.0897990	0.0742610	2.4830030	-4.0277420	4.6950610	-3.6982770	1.1258740
		0.8	G_0	0.6407850	-0.7394080	8.5521120	-22.048286	33.082069	-24.941765	7.0306120
			G_1	0.0969020	-0.0414100	3.3411540	-6.8014460	9.9580220	-7.7663000	2.1232630
2.0 (2/1)	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.7808210	-0.6481470	3.9820570	-7.5717910	7.7384130	-4.3424810	1.0271110
			G_1	0.1095090	0.3258980	1.0495910	-0.6078650	-0.5777140	0.4102660	-0.0569150
		0.4	G_0	0.8022710	-0.7320990	4.3103750	-8.1130780	8.3654180	-4.7826990	1.1512240
			G_1	0.1246280	0.2635460	1.2599510	-0.9801290	-0.1461210	0.1252090	0.0193550
		0.6	G_0	0.8642590	-0.9718420	5.4912950	-10.618665	11.869872	-7.3968370	1.8927400
			G_1	0.1502850	0.1572540	1.7654850	-2.0835480	1.4396750	-1.0536880	0.3453860
		0.8	G_0	0.9418280	-1.3072530	7.4965060	-15.531974	19.712631	-13.377824	3.4898520
			G_1	0.1800930	-0.0042500	2.7921390	-4.8612680	5.9465140	-4.3417630	1.1518700
2.0 (2/1)	1.0	0	G_0	1.1977992	-0.5244870	0.1498299	2.3284866	-5.1058499	4.3469049	-1.3487980
			G_1	0.1870117	0.6987352	0.1316900	0.7269255	-2.5259384	2.1756251	-0.6540458
		0.2	G_0	1.0569230	-0.6476300	2.1807510	-4.3311330	5.0910220	-3.2362090	0.8507590
			G_1	0.1536110	0.5538190	1.1636010	-2.3534050	2.0684520	-1.1965100	0.3151600
		0.4	G_0	1.0300060	-0.5858380	2.2773530	-4.8060360	5.8149950	-3.7533950	0.9942170
			G_1	0.1551260	0.5094730	1.4113730	-2.9400080	2.8110450	-1.6838480	0.4444420
		0.6	G_0	1.0683100	-0.6542190	2.8004260	-6.0398120	7.3697750	-4.7773480	1.2651390
			G_1	0.1753800	0.4426450	1.7504300	-3.6668490	3.6981780	-2.2615850	0.5960840
		0.8	G_0	1.1462360	-0.7799090	3.8903050	-8.8544090	11.517275	-7.8168230	2.0976050
			G_1	0.2074120	0.3687620	2.2982000	-5.0131860	5.6805960	-3.6723940	0.9519940
2.0 (2/1)	2.0	0	G_0	0.8150546	-0.5623828	1.4465771	-4.6778133	8.4192164	-7.9025932	2.9866351
			G_1	0.1359146	0.0702340	3.5558581	-11.034445	16.967724	-14.126991	4.8706612
		0.2	G_0	0.7389400	-0.3615380	0.8437490	-2.0110780	2.0338130	-1.1993770	0.4319790
			G_1	0.0899090	0.5283040	0.6347000	-1.2557710	-0.1127030	0.5943560	-0.0885320
		0.4	G_0	0.7002730	-0.2059430	0.6251970	-1.9668570	2.2617300	-1.4675680	0.5286020
			G_1	0.0846030	0.5263610	0.7486360	-1.6211710	0.4208860	0.1999990	0.0296600
		0.6	G_0	0.6904180	-0.1082490	0.4854150	-1.9171500	2.3152310	-1.5215830	0.5434940
			G_1	0.0865440	0.5217030	0.8372840	-1.8583160	0.7058700	0.0352600	0.0667980
		0.8	G_0	0.6981280	-0.0115610	0.3542570	-1.7803210	2.1994870	-1.4790330	0.5446590
			G_1	0.0924170	0.5337330	0.8900720	-1.9809530	0.8625850	-0.0758770	0.0966550

续表 B.3.9-1 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-内表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
2.5 (2.5/1)	0.03125	0	G_0	0.1965046	2.9373464	-5.2582823	7.4889153	-6.9282667	3.3673349	-0.6677966
			G_1	0.0051780	0.1750280	2.7718680	-4.6457154	4.6780502	-3.2768090	0.9840994
		0.2	G_0	0.1857440	3.1501810	-8.7718700	18.876054	-24.037777	15.813047	-4.1981080
			G_1	0.0024620	0.2567150	2.0482580	-2.9895930	2.6304520	-1.9284850	0.6245480
		0.4	G_0	0.1916320	2.9006620	-8.0688860	19.143584	-26.415141	18.500732	-5.1859770
			G_1	0.0024050	0.2591330	1.8351520	-2.0837920	1.3196860	-1.0439440	0.3779080
		0.6	G_0	0.1958000	2.6238780	-6.1523100	14.204867	-18.929996	12.806378	-3.5533230
			G_1	0.0032240	0.2249400	2.0323530	-2.6352560	2.6260590	-2.2581540	0.7333810
		0.8	G_0	0.1979980	2.3968770	-4.1796250	8.5687590	-9.7672150	6.5450920	-2.2549340
			G_1	0.0048620	0.1615050	2.5373410	-4.2541430	5.4940800	-3.8389940	0.7815340
2.5 (2.5/1)	0.0625	0	G_0	0.2695332	2.1626001	-1.6551569	-1.2970208	4.5604304	-4.3163876	1.4010655
			G_1	0.0138667	0.1827458	2.5749608	-3.9044679	3.3556301	-2.1772209	0.6420134
		0.2	G_0	0.2495760	2.4204110	-4.8308930	7.6716770	-7.4160590	3.6219260	-0.7024470
			G_1	0.0115540	0.2473680	2.0788480	-3.1902760	2.9538090	-2.1133250	0.6540410
		0.4	G_0	0.2479520	2.3584350	-5.6706510	12.829855	-16.820683	10.992456	-2.8676950
			G_1	0.0106020	0.2588410	1.7928860	-2.1927230	1.8414400	-1.6365650	0.5933490
		0.6	G_0	0.2512790	2.1304710	-4.5821940	11.752906	-16.756127	11.671124	-3.2684300
			G_1	0.0104480	0.2425830	1.7792800	-1.9172370	1.7559810	-1.7823800	0.6399450
		0.8	G_0	0.2575120	1.8032230	-2.1279290	5.3915830	-7.4871980	5.9449580	-2.2717190
			G_1	0.0118410	0.1786790	2.2328910	-3.2292330	4.0112620	-2.8463580	0.5291890
2.5	0.125	0	G_0	0.4065238	0.7772483	3.8861644	-12.573943	16.760207	-11.014593	2.8706957
			G_1	0.0320270	0.1825342	2.2670449	-2.7076615	1.2088194	-0.3777430	0.0763155
		0.2	G_0	0.3685050	1.2446800	0.6234320	-5.7943180	10.282331	-8.1658940	2.4373700
			G_1	0.0317050	0.2311310	1.9880370	-2.8507390	2.2701700	-1.4796410	0.4443650
		0.4	G_0	0.3647200	1.2008040	0.1718230	-3.3955360	7.1054830	-6.5224090	2.1448150
			G_1	0.0321260	0.2124340	1.9833230	-2.8867120	2.9072300	-2.3442520	0.7631890
		0.6	G_0	0.3636880	1.0902120	0.3781660	-2.1728690	4.8553400	-5.1372250	1.8293420
			G_1	0.0312410	0.1861530	2.0801130	-3.1535660	4.0343360	-3.6624150	1.2160450
		0.8	G_0	0.3720960	0.8223520	1.8978350	-4.7698880	7.9525070	-6.3800050	1.6254420
			G_1	0.0320290	0.1205900	2.5405200	-4.5805080	6.8144140	-5.4523610	1.4182810
2.5 (2.5/1)	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.5513640	-0.1031960	4.9807880	-13.514392	17.681009	-11.765845	3.1359840
			G_1	0.0662870	0.1928840	1.8304400	-2.2477030	1.2530750	-0.6671240	0.2023610
		0.4	G_0	0.5608360	-0.1855330	5.2231160	-13.748194	18.394650	-12.672652	3.4658940
			G_1	0.0749650	0.1460730	2.0143950	-2.6794190	2.0884150	-1.4231420	0.4378620
		0.6	G_0	0.5730220	-0.3749280	6.3008620	-16.226249	22.884738	-16.737630	4.7728900
			G_1	0.0794450	0.0787400	2.4361670	-3.9152720	4.5488710	-3.5987530	1.0989970
		0.8	G_0	0.5890540	-0.6320750	8.0517490	-20.836556	31.285150	-23.571536	6.6291970
			G_1	0.0830520	-0.0204030	3.2297270	-6.5626130	9.6300540	-7.5203610	2.0510740
2.5 (2.5/1)	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.7641350	-0.6263840	3.9047110	-7.4226330	7.5738980	-4.2448060	1.0029460
			G_1	0.1059990	0.3243810	1.0471780	-0.6016520	-0.5860160	0.4170780	-0.0591080
		0.4	G_0	0.7750140	-0.6920780	4.2400270	-8.0249580	8.3089080	-4.7728240	1.1533910
			G_1	0.1186170	0.2610560	1.2842080	-1.0414650	-0.0628360	0.0670260	0.0353280
		0.6	G_0	0.8191130	-0.8805800	5.3361650	-10.482028	11.876282	-7.4834910	1.9288670
			G_1	0.1389830	0.1653800	1.7895330	-2.1910300	1.6230050	-1.1956510	0.3858530
		0.8	G_0	0.8734990	-1.1262860	7.1029150	-15.081769	19.563489	-13.473806	3.5451920
			G_1	0.1616610	0.0263870	2.7751290	-4.9659700	6.2214550	-4.5835330	1.2229560

续表 B.3.9-1 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-内表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
2.5 (2.5/1)	1.0	0	G_0	1.1977992	-0.5244870	0.1498299	2.3284866	-5.1058499	4.3469049	-1.3487980
			G_1	0.1870117	0.6987352	0.1316900	0.7269255	-2.5259384	2.1756251	-0.6540458
		0.2	G_0	1.0324520	-0.6011830	2.1409980	-4.3582800	5.1817540	-3.3127290	0.8731340
			G_1	0.1482970	0.5516790	1.2065340	-2.4724580	2.2262150	-1.3014010	0.3429840
		0.4	G_0	0.9985330	-0.5009460	2.1528470	-4.7143120	5.7955520	-3.7691560	1.0018110
			G_1	0.1488520	0.5106190	1.4584000	-3.0791030	2.9934080	-1.8019410	0.4749910
		0.6	G_0	1.0283220	-0.5169180	2.5383180	-5.7194220	7.1197050	-4.6641000	1.2417340
			G_1	0.1672010	0.4548210	1.7769250	-3.7792450	3.8544920	-2.3636660	0.6223050
		0.8	G_0	1.0942320	-0.5734050	3.4627400	-8.3267940	11.181782	-7.7328270	2.0956640
			G_1	0.1964770	0.3930970	2.3262100	-5.2012090	6.0026440	-3.9158460	1.0209590
2.5 (2.5/1)	2.0	0	G_0	0.8150546	-0.5623828	1.4465771	-4.6778133	8.4192164	-7.9025932	2.9866351
			G_1	0.1359146	0.0702340	3.5558581	-11.034445	16.967724	-14.126991	4.8706612
		0.2	G_0	0.7235680	-0.3127910	0.7840260	-2.0135440	2.1196690	-1.2881260	0.4617800
			G_1	0.0869170	0.5297760	0.6646520	-1.3566290	0.0355360	0.4852910	-0.0562090
		0.4	G_0	0.6801800	-0.1205960	0.4512540	-1.7698230	2.1434450	-1.4444650	0.5334980
			G_1	0.0810280	0.5320490	0.7700200	-1.7157760	0.5709570	0.0838880	0.0656720
		0.6	G_0	0.6682310	0.0054120	0.2033270	-1.4979710	1.9340030	-1.3319730	0.5051330
			G_1	0.0828040	0.5322990	0.8409160	-1.9152980	0.8038990	-0.0415310	0.0910030
		0.8	G_0	0.6746930	0.1266240	-0.0197870	-1.1652000	1.5729670	-1.1228530	0.4595140
			G_1	0.0887950	0.5480630	0.8831460	-2.0134080	0.9144120	-0.1069010	0.1040950
3.0 (3/1)	0.03125	0	G_0	0.1965046	2.9373464	-5.2582823	7.4889153	-6.9282667	3.3673349	-0.6677966
			G_1	0.0051780	0.1750280	2.7718680	-4.6457154	4.6780502	-3.2768090	0.9840994
		0.2	G_0	0.1854720	3.1105750	-8.8496190	19.310922	-24.898660	16.584729	-4.4532430
			G_1	0.0023170	0.2565300	2.0035860	-2.8882020	2.4603570	-1.7734860	0.5728710
		0.4	G_0	0.1909890	2.8041450	-7.7077130	17.799984	-24.578623	17.136021	-4.7948540
			G_1	0.0023710	0.2501920	1.8555810	-2.2184290	1.5150870	-1.1497460	0.3977250
		0.6	G_0	0.1932080	2.5383350	-5.8636290	13.087555	-16.958770	11.219450	-3.0666460
			G_1	0.0030890	0.2154910	2.0628360	-2.8470170	2.9732190	-2.4936190	0.7956080
		0.8	G_0	0.1935850	2.3360280	-4.0937180	7.9891660	-8.5296840	5.4357610	-1.8824050
			G_1	0.0045950	0.1542060	2.5544420	-4.4552010	5.8425860	-4.0949640	0.8588740
3.0 (3/1)	0.0625	0	G_0	0.2695332	2.1626001	-1.6551569	-1.2970208	4.5604304	-4.3163876	1.4010655
			G_1	0.0138667	0.1827458	2.5749608	-3.9044679	3.3556301	-2.1772209	0.6420134
		0.2	G_0	0.2472080	2.3905840	-4.9720610	8.3131070	-8.5268420	4.5002890	-0.9630730
			G_1	0.0110500	0.2453640	2.0360710	-3.0905990	2.8209630	-2.0179010	0.6278520
		0.4	G_0	0.2444330	2.2692400	-5.3946280	12.229002	-16.259335	10.822826	-2.8780790
			G_1	0.0099230	0.2509500	1.7765420	-2.1314410	1.6661040	-1.4397410	0.5221360
		0.6	G_0	0.2461280	2.0171870	-4.0110990	9.8729470	-13.914381	9.6618450	-2.7195070
			G_1	0.0097540	0.2287220	1.8217010	-2.0750740	1.9057040	-1.8048230	0.6257150
		0.8	G_0	0.2500930	1.7048220	-1.5641610	3.1415470	-3.6376450	2.9132180	-1.3557900
			G_1	0.0110900	0.1623440	2.3155670	-3.5860040	4.5240250	-3.1771650	0.6166940
3.0 (3/1)	0.125	0	G_0	0.4065238	0.7772483	3.8861644	-12.573943	16.760207	-11.014593	2.8706957
			G_1	0.0320270	0.1825342	2.2670449	-2.7076615	1.2088194	-0.3777430	0.0763155
		0.2	G_0	0.3627760	1.2255990	0.4957430	-5.2979490	9.5358830	-7.6394900	2.2937040
			G_1	0.0305720	0.2267660	1.9614760	-2.7921620	2.2151040	-1.4530790	0.4392390
		0.4	G_0	0.3540930	1.1589380	0.1775370	-3.1438440	6.4335240	-5.8778180	1.9344810
			G_1	0.0297610	0.2047140	1.9618870	-2.7988180	2.7360770	-2.1959850	0.7182120
		0.6	G_0	0.3496870	1.0422170	0.5205160	-2.4367920	4.8495510	-4.8427930	1.6795990
			G_1	0.0283480	0.1789660	2.0651280	-3.0774180	3.8074460	-3.4185580	1.1320990
		0.8	G_0	0.3551980	0.7796230	2.1412100	-5.6585150	9.0748680	-6.9595630	1.7298200
			G_1	0.0288630	0.1143000	2.5392970	-4.5790770	6.6750060	-5.2472820	1.3408860

续表 B.3.9-1 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-内表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
3.0 (3/1)	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.5417740	-0.1021300	4.8807270	-13.221563	17.307959	-11.534801	3.0788490
			G_1	0.0645000	0.1896470	1.8157170	-2.2136400	1.2220480	-0.6530920	0.1997640
		0.4	G_0	0.5407990	-0.1764890	5.1230360	-13.424692	17.906727	-12.321021	3.3681240
			G_1	0.0701190	0.1429580	2.0019610	-2.6347540	2.0256560	-1.3802250	0.4262490
		0.6	G_0	0.5435050	-0.3316870	6.1046260	-15.750533	22.170554	-16.192318	4.6147910
			G_1	0.0718770	0.0837320	2.4013610	-3.8378080	4.4333730	-3.5072330	1.0717420
		0.8	G_0	0.5518140	-0.5393400	7.6581660	-19.972357	30.027081	-22.600886	6.3422920
			G_1	0.0735830	-0.0038460	3.1505930	-6.4081740	9.4024610	-7.3348060	1.9945030
3.0 (3/1)	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.7493980	-0.6049330	3.8363260	-7.2925120	7.4313460	-4.1617390	0.9829080
			G_1	0.1029950	0.3229850	1.0478160	-0.6021740	-0.5855690	0.4172360	-0.0592530
		0.4	G_0	0.7513190	-0.6489120	4.1589930	-7.9202630	8.2277190	-4.7407140	1.1482170
			G_1	0.1134020	0.2607050	1.3026980	-1.0921650	0.0041630	0.0224460	0.0470640
		0.6	G_0	0.7816080	-0.7883740	5.1504150	-10.281252	11.790030	-7.4946860	1.9418320
			G_1	0.1295950	0.1758030	1.7998740	-2.2715600	1.7648080	-1.3022880	0.4152620
		0.8	G_0	0.8198030	-0.9619470	6.7048190	-14.603432	19.342110	-13.496749	3.5780390
			G_1	0.1472140	0.0544190	2.7532190	-5.0635130	6.4753390	-4.8012110	1.2865000
3.03.0 (3/1)	1.0	0	G_0	1.1977992	-0.5244870	0.1498299	2.3284866	-5.1058499	4.3469049	-1.3487980
			G_1	0.1870117	0.6987352	0.1316900	0.7269255	-2.5259384	2.1756251	-0.6540458
		0.2	G_0	1.0110600	-0.5558260	2.0945530	-4.3703350	5.2595950	-3.3847750	0.8952520
			G_1	0.1438240	0.5499280	1.2461170	-2.5859840	2.3804840	-1.4059820	0.3711750
		0.4	G_0	0.9716380	-0.4161580	1.9946130	-4.5289880	5.6538180	-3.7043420	0.9882270
			G_1	0.1435600	0.5145380	1.4861820	-3.1715230	3.1156690	-1.8800760	0.4949140
		0.6	G_0	0.9940750	-0.3824220	2.2293970	-5.2628860	6.6847350	-4.4228100	1.1828120
			G_1	0.1600490	0.4704520	1.7760170	-3.8255350	3.9226390	-2.4030370	0.6304980
		0.8	G_0	1.0496590	-0.3764990	2.9762360	-7.6040690	10.556149	-7.4320140	2.0299150
			G_1	0.1867120	0.4203210	2.3201450	-5.3058310	6.2080690	-4.0696470	1.0619810
3.0 (3/1)	2.0	0	G_0	0.8150546	-0.5623828	1.4465771	-4.6778133	8.4192164	-7.9025932	2.9866351
			G_1	0.1359146	0.0702340	3.5558581	-11.034445	16.967724	-14.126991	4.8706612
		0.2	G_0	0.7097660	-0.2651210	0.7141560	-1.9852530	2.1663010	-1.3523100	0.4854380
			G_1	0.0843020	0.5316670	0.6893550	-1.4446360	0.1684940	0.3855920	-0.0262520
		0.4	G_0	0.6630670	-0.0402430	0.2640300	-1.5141860	1.9365280	-1.3580590	0.5206620
			G_1	0.0780510	0.5384510	0.7797250	-1.7766660	0.6735050	0.0018470	0.0918760
		0.6	G_0	0.6498460	0.1072450	-0.0717320	-1.0600560	1.5098780	-1.1049810	0.4544390
			G_1	0.0797530	0.5421560	0.8388350	-1.9540010	0.8734420	-0.0940330	0.1068140
		0.8	G_0	0.6553890	0.2462780	-0.3627700	-0.5896640	0.9831970	-0.7818990	0.3750160
			G_1	0.0858250	0.5595750	0.8821940	-2.0645260	0.9934440	-0.1515770	0.1125270

注:

1. 表中 G_i 可插值计算。
2. 裂纹表面点 ($\varphi=0$) 的影响系数 $G_i=A_0$ 。
3. 裂纹最深点 ($\varphi=\pi/2$) 的影响系数 $G_i=\sum_n^6 A_n$ 。

表 B.3.9-2 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-外表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0.0	0.03125	0	G_0	0.1965046	2.9373464	-5.2582823	7.4889153	-6.9282667	3.3673349	-0.6677966
			G_1	0.0051780	0.1750280	2.7718680	-4.6457154	4.6780502	-3.2768090	0.9840994
		0.2	G_0	0.2080760	3.0112422	-5.1048701	7.6348715	-6.8347547	2.7940766	-0.3882688
			G_1	0.0084834	0.2406767	2.4574292	-3.6452421	3.6142837	-2.8451814	0.9270638
		0.4	G_0	0.2357940	3.0822400	-3.5792100	3.9476890	1.9131590	-6.8872200	3.1896800
			G_1	0.0145140	0.4038000	1.6422700	-0.3906100	-0.6480700	-0.2940300	0.2514900
		0.6	G_0	0.2902240	3.6892050	-4.5739100	11.709890	-6.3750000	-5.8894100	4.2452400
			G_1	0.0208890	0.7016780	0.1631840	5.7072160	-8.2075800	3.4561120	-0.4454700
		0.8	G_0	0.5163550	2.5310830	14.712900	-43.621800	101.06570	-116.08100	46.190900
			G_1	0.0825460	0.4971770	4.6064810	-7.3326700	21.148620	-29.345100	12.491400
0.0	0.0625	0	G_0	0.2695332	2.1626001	-1.6551569	-1.2970208	4.5604304	-4.3163876	1.4010655
			G_1	0.0138667	0.1827458	2.5749608	-3.9044679	3.3556301	-2.1772209	0.6420134
		0.2	G_0	0.2845892	2.2264055	-1.4546190	-1.5760719	5.1131083	-4.9485443	1.6207574
			G_1	0.0199077	0.2210874	2.4642047	-3.5898625	3.1624039	-2.2403780	0.6965751
		0.4	G_0	0.3261480	2.5200870	-1.8847000	2.1798740	-1.4597100	-0.1886500	0.2393400
			G_1	0.0294120	0.3699370	1.9220850	-1.2071500	-0.4394000	0.2737550	-0.0395200
		0.6	G_0	0.4166330	3.1566470	-2.6248900	7.7325910	-9.6927800	3.6428700	-0.0892000
			G_1	0.0598460	0.4340740	2.6811560	-3.1936600	4.0753720	-4.6940200	1.8285500
		0.8	G_0	0.6540140	3.4231920	3.8158050	-4.1586900	3.4715330	-10.310400	6.6280000
			G_1	0.1214780	0.6975490	2.9718330	-1.3036500	-0.0754900	-3.0465100	2.1670000
0.0	0.125	0	G_0	0.4065238	0.7772483	3.8861644	-12.573943	16.760207	-11.014593	2.8706957
			G_1	0.0320270	0.1825342	2.2670449	-2.7076615	1.2088194	-0.3777430	0.0763155
		0.2	G_0	0.4242116	1.0089302	3.2973815	-12.159726	17.873386	-12.868668	3.6281712
			G_1	0.0429859	0.2033811	2.2563818	-2.8752160	1.8152558	-1.0512327	0.3181077
		0.4	G_0	0.4917770	1.6592320	-0.1080400	0.1793240	-2.7076100	3.3680620	-1.3489700
			G_1	0.0634270	0.3722500	1.6231670	-0.5306500	-2.0007400	1.8943780	-0.5880300
		0.6	G_0	0.6591820	1.8759140	1.0212600	-1.7698000	-0.5653600	1.2479960	-0.4376600
			G_1	0.1116040	0.4714500	1.7940590	-0.7557600	-1.4901700	1.0852180	-0.2113700
		0.8	G_0	0.9809330	1.8846320	4.8020780	-8.0580200	0.4447850	3.4772660	-1.0567500
			G_1	0.2039950	0.4800150	2.8822430	-2.5890100	-0.9683000	1.5372370	-0.3750200
0.0	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.6385889	-0.3095132	6.5329787	-16.622882	21.056641	-13.850120	3.6988146
			G_1	0.0840059	0.1999367	1.8218113	-1.7756899	0.3757186	-0.0785358	0.0643386
		0.4	G_0	0.7390420	0.0548160	4.0842620	-7.5883100	5.4047530	-1.0146100	-0.3483400
			G_1	0.1164500	0.2479880	1.8282520	-1.7169900	0.1912120	0.1165770	-0.0186100
		0.6	G_0	0.9461210	-0.1858800	5.5867460	-9.8634900	5.9596870	0.1296440	-1.0026100
			G_1	0.1778050	0.2056680	2.0979210	-1.8039500	-0.5558700	1.1461400	-0.4206600
		0.8	G_0	1.2452110	-0.6921900	8.3260620	-14.948000	8.6936910	0.4755790	-1.3926600
			G_1	0.2585640	0.1548890	2.1170240	-0.4910000	-4.6146100	5.4550750	-1.9663300
0.0	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.9003948	-0.8850488	5.2743239	-11.267523	13.890755	-9.6373584	2.8183906
			G_1	0.1404409	0.3215397	1.1010666	-1.0257556	0.6943940	-1.0793186	0.5410929
		0.4	G_0	1.0058060	-0.7322600	2.9951940	-1.9459200	-3.2613500	5.1424570	-2.0306200
			G_1	0.1740870	0.3051630	1.2070310	-0.6720500	-1.0651300	1.1445590	-0.3644800
		0.6	G_0	1.1826010	-1.1072500	3.9623640	-2.7781300	-4.3097300	7.2772750	-2.9648200
			G_1	0.2277120	0.1701170	1.5499470	-1.1051200	-0.8333700	1.1717060	-0.4194500
		0.8	G_0	1.3833380	-1.3900300	4.3755780	-3.7372600	-2.5403200	5.3036000	-2.0932400
			G_1	0.2820110	0.0839230	1.7258580	-1.5358100	-0.0635600	0.5006780	-0.1982200

续表 B.3.9-2 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-外表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0.0	1.0	0	G_0	1.1977992	-0.5244870	0.1498299	2.3284866	-5.1058499	4.3469049	-1.3487980
			G_1	0.1870117	0.6987352	0.1316900	0.7269255	-2.5259384	2.1756251	-0.6540458
		0.2	G_0	1.2263282	-1.1608467	4.4744783	-11.584231	17.811241	-14.408250	4.6998279
			G_1	0.2154786	0.2441623	2.8107820	-7.6574580	11.171413	-9.0053693	2.9542871
		0.4	G_0	1.2989480	-0.9978000	1.9479540	-1.3002700	-1.4940100	2.8306230	-1.2126000
			G_1	0.2386246	0.1447774	3.3198992	-9.2456599	13.823512	-11.223715	3.6868232
		0.6	G_0	1.3971180	-1.1348400	1.7918740	-0.4202600	-2.8679300	3.7685480	-1.4405000
			G_1	0.2445870	0.5326670	0.5939690	-0.0361800	-2.0163100	2.2167010	-0.7782200
		0.8	G_0	1.5117010	-1.3244800	1.7568350	-0.1337900	-2.8629300	3.2953270	-1.1412400
			G_1	0.2704470	0.5113280	0.5357440	-0.0327300	-1.5570200	1.5570970	-0.5094600
0.0	2.0	0	G_0	0.8150546	-0.5623828	1.4465771	-4.6778133	8.4192164	-7.9025932	2.9866351
			G_1	0.1359146	0.0702340	3.5558581	-11.034445	16.967724	-14.126991	4.8706612
		0.2	G_0	0.8463715	-1.0011024	4.0052312	-11.937181	19.189548	-16.039296	5.4674371
			G_1	0.1395121	0.0753999	3.1895604	-9.5540932	14.214316	-11.649525	4.0073308
		0.4	G_0	0.8570045	-1.0183085	3.9957306	-11.886878	19.152747	-16.047480	5.4801806
			G_1	0.1436696	0.0544018	3.2816127	-9.8164232	14.610963	-11.942138	4.0907797
		0.6	G_0	0.8839861	-1.0765270	4.0774087	-11.976171	19.173189	-15.996207	5.4501217
			G_1	0.1504185	0.0478401	3.2579960	-9.6921199	14.370843	-11.736129	4.0258411
		0.8	G_0	0.9033134	-0.9619755	2.8501500	-7.6366897	11.596116	-9.4828625	3.2550163
			G_1	0.1458559	0.2313881	1.9882138	-5.5546045	7.4196069	-5.8965053	2.0855563
0.01 (1/100)	0.03125	0	G_0	0.1965046	2.9373464	-5.2582823	7.4889153	-6.9282667	3.3673349	-0.6677966
			G_1	0.0051780	0.1750280	2.7718680	-4.6457154	4.6780502	-3.2768090	0.9840994
		0.2	G_0	0.2138782	2.4750252	-1.2287668	-4.0075659	10.335171	-9.5704005	3.0927956
			G_1	0.0075736	0.2344660	2.4810298	-3.7389842	3.7733192	-2.9707472	0.9655728
		0.4	G_0	0.2324070	3.0534560	-3.4791800	3.6288040	2.8534420	-7.8640400	3.5080100
			G_1	0.0090690	0.3929290	1.6585750	-0.4195300	-0.4687700	-0.4895200	0.3051300
		0.6	G_0	0.2702790	3.6742680	-5.4506000	14.673720	-9.6138800	-3.5469800	3.2402500
			G_1	0.0135480	0.6966430	-0.1423800	6.5888590	-8.9248900	3.9512840	-0.7275400
		0.8	G_0	0.4201630	3.2227600	6.0926870	-21.407000	81.165870	-105.68400	42.304800
			G_1	0.0451780	0.8660820	0.6788660	3.1439070	9.8824090	-22.058800	9.8817900
0.01	0.0625	0	G_0	0.2695332	2.1626001	-1.6551569	-1.2970208	4.5604304	-4.3163876	1.4010655
			G_1	0.0138667	0.1827458	2.5749608	-3.9044679	3.3556301	-2.1772209	0.6420134
		0.2	G_0	0.3009539	1.7912734	0.8670775	-6.9946825	11.455578	-8.5937165	2.4360990
			G_1	0.0194819	0.2065054	2.6293195	-4.3818393	4.7973348	-3.7470555	1.2084547
		0.4	G_0	0.3280520	2.5901900	-2.1894200	2.3456720	-0.3205300	-1.9618200	0.9696200
			G_1	0.0260390	0.4612930	1.2629800	0.8720110	-3.5821100	2.6029280	-0.7233600
		0.6	G_0	0.4103170	3.4373160	-4.7250300	14.025440	-17.047300	7.4350500	-0.8385600
			G_1	0.0550830	0.5361340	1.8981060	-0.6893400	0.8014830	-2.6604000	1.3066300
		0.8	G_0	0.6491600	3.5962240	2.0970240	2.6131640	0.5247410	-14.913300	9.6012600
			G_1	0.1176190	0.7527130	2.4225760	0.9070930	-1.0257200	-4.5224300	3.1016800
0.01	0.125	0	G_0	0.4065238	0.7772483	3.8861644	-12.573943	16.760207	-11.014593	2.8706957
			G_1	0.0320270	0.1825342	2.2670449	-2.7076615	1.2088194	-0.3777430	0.0763155
		0.2	G_0	0.4148168	1.1474441	1.7284441	-6.1319982	7.6187598	-4.7707753	1.1968314
			G_1	0.0483704	0.0169824	3.9147652	-9.0442049	12.537266	-9.7790670	3.0128034
		0.4	G_0	0.4972990	1.5382660	0.9543690	-3.4496900	3.4687010	-1.6986900	0.2430300
			G_1	0.0629740	0.3821060	1.5827310	-0.3922800	-2.1832500	2.0019660	-0.6135000
		0.6	G_0	0.6613540	1.9086020	0.9832580	-1.2632200	-1.3863400	1.7681160	-0.5715500
			G_1	0.1127330	0.4681870	1.8754590	-0.8796100	-1.2883700	0.8847250	-0.1438600
		0.8	G_0	0.9969100	1.9634260	4.8633420	-6.9046400	-1.5148200	4.2963280	-1.0385500
			G_1	0.2105360	0.4661310	3.2282240	-3.3926400	0.4841570	0.0394490	0.1974500

续表 B.3.9-2 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-外表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0.01 (1/100)	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.6260510	-0.2265274	6.9684962	-19.857860	27.709243	-19.572353	5.4946193
			G_1	0.0907270	0.1716775	2.5085021	-4.9758660	6.1431857	-4.7142903	1.4602442
		0.4	G_0	0.7427500	0.0470470	4.2013450	-7.9240300	5.9197900	-1.4176300	-0.2253900
			G_1	0.1183660	0.2202920	2.0681150	-2.5351300	1.5892970	-1.0403300	0.3487600
		0.6	G_0	0.9567890	-0.1725500	5.6362060	-9.8580500	5.8066120	0.2958180	-1.0611700
			G_1	0.1805700	0.2226460	2.0172020	-1.4629900	-1.1806500	1.6683430	-0.5867200
		0.8	G_0	1.3100100	-1.4349000	14.376600	-35.168100	42.221560	-26.611500	7.0832000
			G_1	0.2658870	0.2474310	1.4942640	1.7915740	-8.5849000	8.6773360	-2.9576800
0.01 (1/100)	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.9074272	-1.0994201	6.7673813	-15.863097	20.705328	-14.454389	4.1256769
			G_1	0.1495038	0.1587994	2.2591841	-4.5394919	5.7148362	-4.4982384	1.4410683
		0.4	G_0	1.0125390	-0.7568900	3.1311310	-2.2752700	-2.8387900	4.8667220	-1.9590900
			G_1	0.1753200	0.3073370	1.1980380	-0.6340400	-1.1325100	1.1968380	-0.3793700
		0.6	G_0	1.1956150	-1.1378000	4.1718440	-3.3722900	-3.4456700	6.6512090	-2.7867200
			G_1	0.2292050	0.2061920	1.3306330	-0.4513200	-1.8161600	1.8921330	-0.6245200
		0.8	G_0	1.4139890	-1.4985700	5.0657640	-5.7703800	0.4973700	3.0329120	-1.4197400
			G_1	0.2896610	0.0882030	1.6827580	-1.3490500	-0.4354500	0.8253610	-0.3010300
0.01 (1/100)	1.0	0	G_0	1.1977992	-0.5244870	0.1498299	2.3284866	-5.1058499	4.3469049	-1.3487980
			G_1	0.1870117	0.6987352	0.1316900	0.7269255	-2.5259384	2.1756251	-0.6540458
		0.2	G_0	1.2219944	-1.2333687	5.0312977	-13.549512	21.104009	-16.993209	5.4694705
			G_1	0.2150830	0.1957502	3.1572284	-8.8200177	13.041658	-10.425024	3.3649964
		0.4	G_0	1.3069770	-1.0234600	2.0351750	-1.4790500	-1.2970400	2.7226080	-1.1890400
			G_1	0.2182770	0.5583990	0.7123630	-0.4628400	-1.4273700	1.8443680	-0.6917100
		0.6	G_0	1.4118930	-1.2128500	2.1731690	-1.4236900	-1.4877900	2.8257990	-1.1874200
			G_1	0.2486310	0.5073370	0.7680320	-0.6344600	-0.9874100	1.3617270	-0.5050000
		0.8	G_0	1.5327350	-1.4057100	2.1493270	-1.2998000	-1.0510400	1.8996060	-0.7187000
			G_1	0.2759430	0.4993180	0.5707200	-0.0960600	-1.5281700	1.5841410	-0.5294400
0.01 (1/100)	2.0	0	G_0	0.8150546	-0.5623828	1.4465771	-4.6778133	8.4192164	-7.9025932	2.9866351
			G_1	0.1359146	0.0702340	3.5558581	-11.034445	16.967724	-14.126991	4.8706612
		0.2	G_0	0.8182987	-0.9750326	4.0974302	-12.658801	20.765368	-17.441363	5.9109102
			G_1	0.1330319	0.0540205	3.3490248	-10.173407	15.321858	-12.541021	4.2720166
		0.4	G_0	0.8343927	-0.3351370	-0.7134755	3.3094161	-6.0713158	4.8139372	-1.3245293
			G_1	0.1361217	0.0308624	3.4638886	-10.533385	15.878401	-12.946378	4.3843584
		0.6	G_0	0.8600665	-0.3540640	-0.9003047	4.0339274	-7.2855701	5.7801566	-1.6177453
			G_1	0.1467987	0.0215030	3.4602749	-10.477254	15.776469	-12.882015	4.3737291
		0.8	G_0	0.9172330	-1.0076975	3.0568469	-8.2482710	12.624440	-10.377963	3.5671701
			G_1	0.1497781	0.0258058	3.3588241	-10.008896	14.518295	-11.284278	3.6504092
0.01667 (1/60)	0.03125	0	G_0	0.1965046	2.9373464	-5.2582823	7.4889153	-6.9282667	3.3673349	-0.6677966
			G_1	0.0051780	0.1750280	2.7718680	-4.6457154	4.6780502	-3.2768090	0.9840994
		0.2	G_0	0.2137018	2.4716292	-1.1955278	-4.1279147	10.564513	-9.7724089	3.1582282
			G_1	0.0074964	0.2331584	2.4891031	-3.7654612	3.8313393	-3.0295323	0.9870984
		0.4	G_0	0.2306780	3.0388050	-3.4728800	3.6385670	2.9071580	-7.9264700	3.5188400
			G_1	0.0109380	0.4020170	1.5438030	-0.0383700	-1.0428800	-0.0524400	0.1690900
		0.6	G_0	0.2647120	3.6557700	-5.5472500	14.585300	-8.9129600	-4.1661800	3.3668200
			G_1	0.0186290	0.6598410	0.0944350	5.5205580	-6.8688900	2.3000600	-0.2605800
		0.8	G_0	0.3916070	3.5824480	2.4629600	-10.937900	63.878550	-89.418500	36.130200
			G_1	0.0377860	0.9314520	-0.0349700	4.7321390	7.3105530	-18.985500	8.4478500

续表 B.3.9-2 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-外表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0.01667 (1/60)	0.0625	0	G_0	0.2695332	2.1626001	-1.6551569	-1.2970208	4.5604304	-4.3163876	1.4010655
			G_1	0.0138667	0.1827458	2.5749608	-3.9044679	3.3556301	-2.1772209	0.6420134
		0.2	G_0	0.2852680	2.0769228	-0.9978735	-1.2931167	2.6484224	-1.9164331	0.4609809
			G_1	0.0189931	0.2154011	2.5632146	-4.1568147	4.4288027	-3.4553431	1.1186828
		0.4	G_0	0.3281130	2.3901810	-0.8095800	-1.4210300	4.8415630	-5.4354900	1.8791800
			G_1	0.0292320	0.3424400	2.1206150	-1.8136200	0.6498240	-0.6508300	0.2469300
		0.6	G_0	0.3983790	3.2298950	-3.5609200	11.585980	-14.538900	6.4780230	-0.8574500
			G_1	0.0533250	0.4541290	2.3964770	-2.0990900	2.9773820	-4.2600100	1.7406100
		0.8	G_0	0.6074810	3.5000360	1.9324190	4.0078860	-0.6767400	-14.170400	9.1300900
			G_1	0.1057170	0.7235000	2.3194730	1.3286790	-0.9833400	-4.8384300	3.1575700
0.01667 (1/60)	0.125	0	G_0	0.4065238	0.7772483	3.8861644	-12.573943	16.760207	-11.014593	2.8706957
			G_1	0.0320270	0.1825342	2.2670449	-2.7076615	1.2088194	-0.3777430	0.0763155
		0.2	G_0	0.4148376	1.1488796	1.7244494	-6.1093380	7.5825708	-4.7472976	1.1912448
			G_1	0.0483941	0.0166081	3.9196323	-9.0609034	12.573746	-9.8159555	3.0261057
		0.4	G_0	0.4991930	1.4929330	1.3181360	-4.6222100	5.4026230	-3.2510100	0.7215900
			G_1	0.0638630	0.3577190	1.7903870	-1.1250500	-0.8936300	0.9146490	-0.2640700
		0.6	G_0	0.6594470	1.9513050	0.7037310	-0.1328800	-3.1790500	3.0881030	-0.9571500
			G_1	0.1123460	0.4769800	1.8180370	-0.6167100	-1.6918000	1.1653880	-0.2229600
		0.8	G_0	0.9986260	2.0025290	4.7810950	-6.0706900	-2.3363000	4.2175710	-0.8170400
			G_1	0.2105640	0.5008290	3.0054380	-2.3954100	-1.0374800	1.0415670	-0.0534200
0.01667 (1/60)	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.6300329	-0.2862567	7.3164619	-20.805174	29.055169	-20.534766	5.7677852
			G_1	0.0901070	0.1840622	2.4321564	-4.7467316	5.7958716	-4.4552013	1.3845027
		0.4	G_0	0.7457850	0.0066950	4.5171440	-8.9481000	7.5885640	-2.7405800	0.1792400
			G_1	0.1182950	0.2324830	1.9682530	-2.1456800	0.8739200	-0.4224000	0.1461600
		0.6	G_0	0.9598760	-0.1312600	5.3719100	-8.8692700	4.1076570	1.6665860	-1.4860300
			G_1	0.1817520	0.2311760	1.9819240	-1.3437900	-1.3528700	1.7795640	-0.6136800
		0.8	G_0	1.3010250	-0.8000000	9.5285520	-18.152100	13.249470	-3.0269200	-0.2860500
			G_1	0.2815970	0.0012600	3.4198490	-4.6353300	2.0735050	0.0924150	-0.2850300
0.01667 (1/60)	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.9094180	-1.1229795	6.9181225	-16.309875	21.379833	-14.955815	4.2713814
			G_1	0.1505282	0.1451739	2.3390416	-4.7612919	6.0370436	-4.7336784	1.5092378
		0.4	G_0	1.0137270	-0.7517100	3.1226580	-2.2992700	-2.7311100	4.7379060	-1.9093200
			G_1	0.1760030	0.3062100	1.1968010	-0.5997200	-1.2268900	1.2973610	-0.4173000
		0.6	G_0	1.2008330	-1.1467100	4.2107140	-3.4130300	-3.4601300	6.6981550	-2.8074000
			G_1	0.2308490	0.2030300	1.3593140	-0.5530200	-1.6299900	1.7276510	-0.5695300
		0.8	G_0	1.4228920	-1.4437600	4.6822680	-4.5430000	-1.4261800	4.4784380	-1.8377400
			G_1	0.2948140	0.0607990	1.8702520	-1.9379200	0.5080380	0.0785840	-0.0704500
0.01667 (1/60)	1.0	0	G_0	1.1977992	-0.5244870	0.1498299	2.3284866	-5.1058499	4.3469049	-1.3487980
			G_1	0.1870117	0.6987352	0.1316900	0.7269255	-2.5259384	2.1756251	-0.6540458
		0.2	G_0	1.2229223	-1.2350945	5.0353697	-13.554987	21.107245	-16.993613	5.4693935
			G_1	0.2141793	0.2143843	3.0512609	-8.5440546	12.678058	-10.188549	3.3045727
		0.4	G_0	1.3069170	-0.9903600	1.7866620	-0.6452900	-2.7041200	3.8845890	-1.5614400
			G_1	0.2195930	0.5416490	0.8301860	-0.8579700	-0.7616300	1.3017760	-0.5219100
		0.6	G_0	1.4149780	-1.2145600	2.2099370	-1.6537800	-0.9621000	2.3118750	-1.0052600
			G_1	0.2492340	0.5158650	0.7022660	-0.4092700	-1.3769500	1.6896770	-0.6113900
		0.8	G_0	1.5405510	-1.4286100	2.2553870	-1.5994600	-0.6101900	1.5774700	-0.6256600
			G_1	0.2788740	0.4847010	0.6491960	-0.3234800	-1.1852500	1.3257010	-0.4524700

续表 B.3.9-2 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-外表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0.01667 (1/60)	2.0	0	G_0	0.8150546	-0.5623828	1.4465771	-4.6778133	8.4192164	-7.9025932	2.9866351
			G_1	0.1359146	0.0702340	3.5558581	-11.034445	16.967724	-14.126991	4.8706612
		0.2	G_0	0.8182509	-0.9683874	4.0481966	-12.506099	20.531123	-17.266667	5.8604688
			G_1	0.1334825	0.0474146	3.3890896	-10.287120	15.485607	-12.657711	4.3047611
		0.4	G_0	0.8362279	-0.3571232	-0.5678228	2.8372219	-5.3004184	4.2029047	-1.1376264
			G_1	0.1356418	0.0411710	3.4054647	-10.380241	15.670811	-12.805065	4.3460700
		0.6	G_0	0.8628933	-0.3858659	-0.6981090	3.3951106	-6.2590966	4.9745741	-1.3727913
			G_1	0.1469324	0.0235743	3.4453527	-10.434511	15.714005	-12.835899	4.3600722
		0.8	G_0	0.9191929	-1.0122491	3.0710619	-8.2917080	12.689191	-10.419864	3.5764034
			G_1	0.1506695	0.0175076	3.4048063	-10.143058	14.721138	-11.435621	3.6945046
0.05 (1/20)	0.03125	0	G_0	0.1965046	2.9373464	-5.2582823	7.4889153	-6.9282667	3.3673349	-0.6677966
			G_1	0.0051780	0.1750280	2.7718680	-4.6457154	4.6780502	-3.2768090	0.9840994
		0.2	G_0	0.2126857	2.4579374	-1.1427912	-4.2121606	10.672531	-9.8506499	3.1779116
			G_1	0.0070880	0.2281639	2.4965869	-3.7556676	3.8111506	-3.0085539	0.9759280
		0.4	G_0	0.2274500	2.9794860	-3.2917300	3.1593030	3.6533720	-8.4864000	3.6768600
			G_1	0.0070090	0.3783660	1.6174000	-0.2661400	-0.6795200	-0.2841700	0.2120000
		0.6	G_0	0.2533640	3.6313610	-6.2242000	17.316250	-14.595100	1.3727100	1.3897900
			G_1	0.0073650	0.7111170	-0.6229600	8.0627590	-11.551800	6.5540000	-1.7339300
		0.8	G_0	0.3498690	3.6190920	0.1968900	-4.0412300	46.267320	-68.423400	27.621900
			G_1	0.0273550	0.8977570	-0.3675800	5.5541200	3.4269510	-12.911100	5.6559800
0.05 (1/20)	0.0625	0	G_0	0.2695332	2.1626001	-1.6551569	-1.2970208	4.5604304	-4.3163876	1.4010655
			G_1	0.0138667	0.1827458	2.5749608	-3.9044679	3.3556301	-2.1772209	0.6420134
		0.2	G_0	0.2848454	2.0654031	-0.9077591	-1.5276620	3.0161277	-2.2090336	0.5488481
			G_1	0.0187192	0.2128839	2.5716802	-4.1560222	4.4282009	-3.4585236	1.1185246
		0.4	G_0	0.3212960	2.3448030	-0.7426900	-1.4194200	5.0119970	-5.6810200	1.9536500
			G_1	0.0260960	0.3422190	2.0005180	-1.3336400	-0.0578300	-0.1230500	0.0775000
		0.6	G_0	0.3733960	3.1033220	-3.5889700	11.529910	-12.947400	4.6508610	-0.3427200
			G_1	0.0456010	0.3836560	2.5608530	-2.7553700	4.6129230	-5.6717900	2.1083700
		0.8	G_0	0.5226140	3.4234390	-0.6548100	9.7485540	-3.2235900	-13.877600	8.5410000
			G_1	0.0769380	0.7188470	1.2769760	3.5804480	-2.1787000	-4.2928600	2.6987400
0.05 (1/20)	0.125	0	G_0	0.4065238	0.7772483	3.8861644	-12.573943	16.760207	-11.014593	2.8706957
			G_1	0.0320270	0.1825342	2.2670449	-2.7076615	1.2088194	-0.3777430	0.0763155
		0.2	G_0	0.4152094	1.1478676	1.7621671	-6.1869855	7.6894963	-4.8377705	1.2221148
			G_1	0.0483124	0.0191548	3.9027693	-8.9811618	12.436651	-9.7095804	2.9940655
		0.4	G_0	0.4926390	1.5721320	0.6544250	-2.0393900	0.9779030	0.3354330	-0.4067600
			G_1	0.0627280	0.3528700	1.7990370	-1.0437500	-1.0428300	1.0290420	-0.3034100
		0.6	G_0	0.6429920	1.9132270	0.8599370	-0.1649600	-2.3392000	1.7431370	-0.4243800
			G_1	0.1057820	0.4826430	1.7091680	-0.0792900	-2.2797500	1.3984440	-0.2595000
		0.8	G_0	0.9533570	1.8590510	5.3300090	-6.3155200	0.9677320	-0.9493900	1.2538800
			G_1	0.1952550	0.4649740	3.0762920	-2.1340900	-0.3677000	-0.4107900	0.5626800
0.05 (1/20)	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.6316981	-0.2961952	7.4180799	-21.116428	29.573759	-20.968968	5.9077913
			G_1	0.0906535	0.1788838	2.4733841	-4.8681054	5.9984214	-4.6244285	1.4384031
		0.4	G_0	0.7461440	0.0677980	4.1232100	-7.5000100	5.1211920	-0.7514200	-0.4390900
			G_1	0.1175070	0.2670220	1.7514510	-1.4364300	-0.2320500	0.4060910	-0.0954800
		0.6	G_0	0.9707830	-0.1536000	5.7123690	-9.6038400	5.1974000	0.7373360	-1.1792900
			G_1	0.1855560	0.2214630	2.0970730	-1.5522700	-1.0883500	1.5718930	-0.5495800
		0.8	G_0	1.3366720	-0.8115500	10.008990	-18.432900	13.074520	-2.9741300	-0.2298200
			G_1	0.2982610	-0.1094100	4.3991850	-7.5259600	6.7389080	-3.7449200	0.9458400

续表 B.3.9-2 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-外表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0.05 (1/20)	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.9094785	-1.0704029	6.5969031	-15.339481	19.891956	-13.831397	3.9381913
			G_1	0.1511354	0.1498618	2.3171901	-4.6991089	5.9510689	-4.6766956	1.4944878
		0.4	G_0	1.0187560	-0.7252200	2.9510620	-1.6965300	-3.7495300	5.5630180	-2.1679600
			G_1	0.1777910	0.3097340	1.1782720	-0.5207400	-1.3685100	1.4131580	-0.4534400
		0.6	G_0	1.2191680	-1.1624100	4.3039990	-3.4956600	-3.5264500	6.8389740	-2.8685000
			G_1	0.2368950	0.1990950	1.3665370	-0.4508000	-1.9303400	2.0355870	-0.6795900
		0.8	G_0	1.4670860	-1.4874600	4.9131560	-4.8217400	-1.4111900	4.6213220	-1.8973500
			G_1	0.3108650	0.0205500	2.1111910	-2.5101100	1.2177130	-0.3862800	0.0564600
0.05 (1/20)	1.0	0	G_0	1.1977992	-0.5244870	0.1498299	2.3284866	-5.1058499	4.3469049	-1.3487980
			G_1	0.1870117	0.6987352	0.1316900	0.7269255	-2.5259384	2.1756251	-0.6540458
		0.2	G_0	1.2267227	-1.2309827	4.9938199	-13.435866	20.942460	-16.881717	5.4396233
			G_1	0.2162188	0.2008041	3.1282931	-8.7575323	12.984058	-10.406989	3.3659724
		0.4	G_0	1.3146080	-1.0024200	1.8454760	-0.8744700	-2.2504400	3.4654690	-1.4164400
			G_1	0.2217160	0.5404660	0.8385940	-0.8990200	-0.6786400	1.2271190	-0.4969400
		0.6	G_0	1.4273930	-1.1722500	1.8107740	-0.2671700	-3.3078700	4.2258110	-1.6062100
			G_1	0.2553870	0.4839230	0.9022980	-1.0407000	-0.3630800	0.8909080	-0.3661900
		0.8	G_0	1.5669880	-1.4243900	2.0816990	-1.0406600	-1.4652500	2.2092880	-0.8044400
			G_1	0.2873270	0.4823500	0.6339350	-0.2953100	-1.2046800	1.3245420	-0.4469300
0.05 (1/20)	2.0	0	G_0	0.8150546	-0.5623828	1.4465771	-4.6778133	8.4192164	-7.9025932	2.9866351
			G_1	0.1359146	0.0702340	3.5558581	-11.034445	16.967724	-14.126991	4.8706612
		0.2	G_0	0.8410025	-1.0986979	4.6833289	-14.254400	23.077894	-19.117803	6.3907936
			G_1	0.1393039	0.0157399	3.5854198	-10.908384	16.465690	-13.405784	4.5256310
		0.4	G_0	0.8552595	-1.1713096	5.0505801	-15.423750	24.918773	-20.491114	6.7824876
			G_1	0.1433068	-0.0051111	3.7018421	-11.315879	17.126325	-13.897780	4.6633443
		0.6	G_0	0.8922163	-1.1791312	4.7085484	-14.194993	22.986733	-19.057873	6.3764561
			G_1	0.1531695	0.0011284	3.5772066	-10.858841	16.387974	-13.348661	4.5099477
		0.8	G_0	0.9462314	-1.6448744	7.4204133	-22.617661	35.895514	-28.367552	8.8839133
			G_1	0.1651920	-0.1064856	4.2963413	-13.173123	19.754851	-15.432417	4.9095345
0.1 (1/10)	0.03125	0	G_0	0.1965046	2.9373464	-5.2582823	7.4889153	-6.9282667	3.3673349	-0.6677966
			G_1	0.0051780	0.1750280	2.7718680	-4.6457154	4.6780502	-3.2768090	0.9840994
		0.2	G_0	0.2114908	2.4425792	-1.0853387	-4.3244076	10.821413	-9.9682430	3.2163776
			G_1	0.0066363	0.2226202	2.5052241	-3.7606471	3.8258183	-3.0282477	0.9830947
		0.4	G_0	0.2246500	2.9397340	-3.0871500	2.4310320	4.8690240	-9.5429900	4.0540600
			G_1	0.0148750	0.3763240	1.5876360	-0.2147600	-0.6979300	-0.3343000	0.2518400
		0.6	G_0	0.2495210	3.4159580	-4.9404800	13.042320	-8.3791000	-3.1660100	2.7863600
			G_1	0.0200470	0.6258430	-0.0433000	5.9592140	-8.1321500	3.8137330	-0.8504100
		0.8	G_0	0.3404240	2.7101300	5.4741060	-20.271800	65.828770	-78.807600	29.760500
			G_1	0.0306660	0.6856860	0.6916680	2.5535420	5.9341450	-13.208000	5.4184600
0.1 (1/10)	0.0625	0	G_0	0.2695332	2.1626001	-1.6551569	-1.2970208	4.5604304	-4.3163876	1.4010655
			G_1	0.0138667	0.1827458	2.5749608	-3.9044679	3.3556301	-2.1772209	0.6420134
		0.2	G_0	0.2834411	2.0560718	-0.8751298	-1.5432422	3.0228355	-2.2245268	0.5558294
			G_1	0.0182016	0.2072911	2.5921978	-4.2023608	4.5304917	-3.5646673	1.1564770
		0.4	G_0	0.3137750	2.3258560	-0.8579900	-0.9040300	4.2766520	-5.1745700	1.8051000
			G_1	0.0243570	0.3072050	2.1814360	-1.9816300	1.1663170	-1.1678700	0.4025600
		0.6	G_0	0.3600610	2.8884850	-2.6105300	8.0008110	-6.6659700	-0.3626000	1.1229800
			G_1	0.0371430	0.4201240	2.0068380	-1.0550900	2.0695720	-3.6421800	1.4368800
		0.8	G_0	0.4694430	3.3305190	-1.8346900	11.806850	-5.5419600	-10.763600	6.8425000
			G_1	0.0598490	0.7065030	0.7632970	4.4319820	-3.1569500	-2.8592200	1.8893100

续表 B.3.9-2 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-外表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0.1 (1/10)	0.125	0	G_0	0.4065238	0.7772483	3.8861644	-12.573943	16.760207	-11.014593	2.8706957
			G_1	0.0320270	0.1825342	2.2670449	-2.7076615	1.2088194	-0.3777430	0.0763155
		0.2	G_0	0.4146617	1.1413375	1.8316706	-6.3486958	7.9232241	-5.0205478	1.2773760
			G_1	0.0480559	0.0160274	3.9258710	-9.0346145	12.528263	-9.7913648	3.0207677
		0.4	G_0	0.4883450	1.4676440	1.4043140	-4.4990000	5.3634750	-3.4240300	0.8052400
			G_1	0.0579240	0.3954930	1.4085140	0.3793750	-3.3794500	2.8735190	-0.8740400
		0.6	G_0	0.6140930	1.8274410	1.0767420	-0.6119200	-0.6954000	-0.1405600	0.2139800
			G_1	0.0956370	0.4497680	1.7875670	-0.2859900	-1.5203300	0.5472650	0.0260000
		0.8	G_0	0.8606090	1.8707420	3.9998690	-2.2213500	-1.4990000	-1.4366100	1.6902100
			G_1	0.1643640	0.4633370	2.6664580	-1.0454000	-0.4337900	-1.3064500	0.9429600
0.1 (1/10)	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.6292130	-0.2336322	7.0478667	-19.982397	27.848411	-19.690368	5.5375234
			G_1	0.0904740	0.1857128	2.4363430	-4.7462460	5.8199075	-4.5017004	1.4053473
		0.4	G_0	0.7474850	0.0425110	4.3717980	-8.1944800	6.2538030	-1.6898700	-0.1427300
			G_1	0.1180950	0.2484880	1.9064220	-1.9057300	0.5526770	-0.2448400	0.1107400
		0.6	G_0	0.9661540	-0.1353200	5.7466490	-9.3625200	4.9078280	0.7588490	-1.1390900
			G_1	0.1830270	0.2407950	2.0333670	-1.2883400	-1.3714400	1.6503570	-0.5396800
		0.8	G_0	1.3341440	-0.9392800	11.458550	-22.447500	20.248040	-9.5095100	1.9907200
			G_1	0.2907130	0.0222280	3.5382670	-4.2976700	1.5378660	0.1623560	-0.1962600
0.1 (1/10)	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.9130594	-1.0743549	6.5855208	-15.182614	19.523051	-13.484513	3.8207058
			G_1	0.1514847	0.1586198	2.2698801	-4.5668494	5.7721280	-4.5599113	1.4645610
		0.4	G_0	1.0280510	-0.7637100	3.1906790	-2.3185400	-2.8532900	4.8911910	-1.9674700
			G_1	0.1796830	0.3127760	1.1588480	-0.4062200	-1.6100500	1.6351940	-0.5292900
		0.6	G_0	1.2334260	-1.1348600	4.1411110	-2.7310000	-4.9657400	8.0561550	-3.2581700
			G_1	0.2434960	0.1656450	1.6261480	-1.2283300	-0.7166800	1.0912900	-0.3930600
		0.8	G_0	1.5039180	-1.5034000	5.1335790	-5.1827000	-1.0213400	4.2817510	-1.7636200
			G_1	0.3214900	0.0504200	1.9574280	-1.9407000	0.2832180	0.3023430	-0.1329900
0.1 (1/10)	1.0	0	G_0	1.1977992	-0.5244870	0.1498299	2.3284866	-5.1058499	4.3469049	-1.3487980
			G_1	0.1870117	0.6987352	0.1316900	0.7269255	-2.5259384	2.1756251	-0.6540458
		0.2	G_0	1.2309943	-1.2311243	4.9655300	-13.330137	20.774727	-16.757204	5.4042537
			G_1	0.2176088	0.1970437	3.1550798	-8.8500614	13.139627	-10.531333	3.4038623
		0.4	G_0	1.3231870	-0.9921100	1.6993240	-0.3237300	-3.2217300	4.2806730	-1.6779000
			G_1	0.2229300	0.5643960	0.6814060	-0.4239100	-1.4164100	1.7944570	-0.6675800
		0.6	G_0	1.4456210	-1.2064800	2.0156090	-1.0147800	-1.9519200	3.0609460	-1.2264900
			G_1	0.2588090	0.5174240	0.6565440	-0.2305700	-1.7170400	1.9972060	-0.7158800
		0.8	G_0	1.5973980	-1.4150900	1.8672670	-0.2830900	-2.7422700	3.2391740	-1.1212900
			G_1	0.2988890	0.4569940	0.7181120	-0.4164400	-1.2008400	1.4390610	-0.5091100
0.1 (1/10)	2.0	0	G_0	0.8150546	-0.5623828	1.4465771	-4.6778133	8.4192164	-7.9025932	2.9866351
			G_1	0.1359146	0.0702340	3.5558581	-11.034445	16.967724	-14.126991	4.8706612
		0.2	G_0	0.8430489	-1.1005326	4.6617449	-14.157253	22.899128	-18.964329	6.3406074
			G_1	0.1390871	0.0277092	3.5072974	-10.680541	16.126905	-13.155146	4.4523656
		0.4	G_0	0.8605308	-1.1997836	5.1936578	-15.844548	25.563051	-20.974259	6.9229799
			G_1	0.1443506	-0.0060804	3.7006839	-11.307283	17.100992	-13.865758	4.6492973
		0.6	G_0	0.9003490	-1.2107769	4.8455996	-14.595836	23.611401	-19.532572	6.5152373
			G_1	0.1545839	0.0063848	3.5329882	-10.721392	16.161920	-13.159436	4.4472006
		0.8	G_0	0.9554477	-1.6372153	7.2947649	-22.269116	35.425236	-28.048423	8.7975829
			G_1	0.1681089	-0.1082476	4.2889256	-13.154232	19.720738	-15.394068	4.8931181

续表 B.3.9-2 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-外表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0.2 (1/5)	0.03125	0	G_0	0.1965046	2.9373464	-5.2582823	7.4889153	-6.9282667	3.3673349	-0.6677966
			G_1	0.0051780	0.1750280	2.7718680	-4.6457154	4.6780502	-3.2768090	0.9840994
		0.2	G_0	0.2114908	2.4425792	-1.0853387	-4.3244076	10.821413	-9.9682430	3.2163776
			G_1	0.0066363	0.2226202	2.5052241	-3.7606471	3.8258183	-3.0282477	0.9830947
		0.4	G_0	0.2200000	2.8881700	-3.0327900	2.7778770	3.3274220	-7.7404800	3.3939800
			G_1	0.0091060	0.3453610	1.7142900	-0.5311700	-0.3691000	-0.5118400	0.3025800
		0.6	G_0	0.2348060	3.2261810	-4.4851300	12.433050	-9.9964600	-0.2169700	1.5875600
			G_1	0.0145190	0.5102980	0.5788380	3.9687320	-5.3534000	1.8233690	-0.2307100
		0.8	G_0	0.2865680	2.4834660	4.1449600	-13.505800	45.152730	-55.423700	21.127000
			G_1	0.0206900	0.6400470	-0.0229200	6.0072670	-3.1147600	-3.7934800	2.1179200
0.2 (1/5)	0.0625	0	G_0	0.2695332	2.1626001	-1.6551569	-1.2970208	4.5604304	-4.3163876	1.4010655
			G_1	0.0138667	0.1827458	2.5749608	-3.9044679	3.3556301	-2.1772209	0.6420134
		0.2	G_0	0.2834411	2.0560718	-0.8751298	-1.5432422	3.0228355	-2.2245268	0.5558294
			G_1	0.0182016	0.2072911	2.5921978	-4.2023608	4.5304917	-3.5646673	1.1564770
		0.4	G_0	0.3052040	2.2875080	-0.9001700	-0.4660500	3.3131160	-4.3118300	1.5291400
			G_1	0.0212020	0.3013800	2.0904460	-1.6420300	0.6344910	-0.7559500	0.2745900
		0.6	G_0	0.3364570	2.8141420	-2.9703500	9.5644040	-9.9622400	2.7107940	0.1081600
			G_1	0.0315690	0.3510610	2.2422160	-1.9023800	3.3988860	-4.5777900	1.6874400
		0.8	G_0	0.4123650	2.9008610	-0.8830500	8.4174560	-2.8151000	-9.6909800	5.5666900
			G_1	0.0418770	0.6018790	0.8247160	3.9811330	-3.2906000	-1.5730100	1.1215000
0.2 (1/5)	0.125	0	G_0	0.4065238	0.7772483	3.8861644	-12.573943	16.760207	-11.014593	2.8706957
			G_1	0.0320270	0.1825342	2.2670449	-2.7076615	1.2088194	-0.3777430	0.0763155
		0.2	G_0	0.4146617	1.1413375	1.8316706	-6.3486958	7.9232241	-5.0205478	1.2773760
			G_1	0.0480559	0.0160274	3.9258710	-9.0346145	12.528263	-9.7913648	3.0207677
		0.4	G_0	0.4703850	1.5541910	0.5461170	-1.3287000	0.1961270	0.6156700	-0.4357400
			G_1	0.0532400	0.3675900	1.5616730	-0.1572400	-2.2528300	1.8144520	-0.5189800
		0.6	G_0	0.5699100	1.7741760	0.8463720	0.1611910	-0.9192500	-0.5062400	0.3641200
			G_1	0.0799060	0.4293480	1.7026530	-0.1213800	-1.2211100	0.0433470	0.1948200
		0.8	G_0	0.7433210	1.8172770	2.7976140	0.2753690	-1.4326200	-3.1035000	2.1815400
			G_1	0.1246100	0.4675080	2.0528940	0.3058490	-0.9948000	-1.4118400	0.9245700
0.2 (1/5)	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.6292130	-0.2336322	7.0478667	-19.982397	27.848411	-19.690368	5.5375234
			G_1	0.0904740	0.1857128	2.4363430	-4.7462460	5.8199075	-4.5017004	1.4053473
		0.4	G_0	0.7429640	0.0378310	4.5014520	-8.4869900	6.8268360	-2.2638700	0.0578800
			G_1	0.1151780	0.2656350	1.7915450	-1.4270300	-0.2561800	0.3997230	-0.0925900
		0.6	G_0	0.9371100	-0.0255800	5.1408380	-7.0247800	1.5138460	3.0365680	-1.7628800
			G_1	0.1726810	0.2717190	1.8711170	-0.6546900	-2.1914600	2.1145170	-0.6484000
		0.8	G_0	1.2624900	-0.7577100	10.593400	-18.988200	16.245730	-7.7399600	1.7098800
			G_1	0.2602900	0.2432630	1.9870650	1.1808940	-6.9845000	6.5125760	-2.0745300
0.2 (1/5)	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.9130594	-1.0743549	6.5855208	-15.182614	19.523051	-13.484513	3.8207058
			G_1	0.1514847	0.1586198	2.2698801	-4.5668494	5.7721280	-4.5599113	1.4645610
		0.4	G_0	1.0373150	-0.7658000	3.1866550	-2.0564900	-3.5112000	5.5279200	-2.1906800
			G_1	0.1827690	0.3016120	1.2494690	-0.6550800	-1.2174600	1.3119730	-0.4248500
		0.6	G_0	1.2483210	-1.1273200	4.2620860	-2.9342600	-4.6925200	7.8084440	-3.1741300
			G_1	0.2466090	0.1946990	1.4996030	-0.7717700	-1.4533500	1.6452820	-0.5551900
		0.8	G_0	1.5312830	-1.4214000	4.9906150	-4.3683700	-2.3611100	5.1413420	-1.9602900
			G_1	0.3312580	0.0718170	1.9412430	-1.7261000	-0.1198500	0.5699280	-0.1928500

续表 B.3.9-2 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-外表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0.2 (1/5)	1.0	0	G_0 G_1	1.1977992 0.1870117	-0.5244870 0.6987352	0.1498299 0.1316900	2.3284866 0.7269255	-5.1058499 -2.5259384	4.3469049 2.1756251	-1.3487980 -0.6540458
		0.2	G_0 G_1	1.2309943 0.2176088	-1.2311243 0.1970437	4.9655300 3.1550798	-13.330137 -8.8500614	20.774727 13.139627	-16.757204 -10.531333	5.4042537 3.4038623
		0.4	G_0 G_1	1.3395810 0.2275940	-0.9995200 0.5608710	1.6152160 0.6867250	0.0782660 -0.4215300	-3.9906500 -1.4409800	4.9599370 1.8257330	-1.9049200 -0.6796800
		0.6	G_0 G_1	1.4732900 0.2660940	-1.2085900 0.5279130	1.8254600 0.5952580	-0.1324400 -0.0963000	-3.6681900 -1.8423700	4.5929990 2.0313860	-1.7396900 -0.7086300
		0.8	G_0 G_1	1.6447550 0.3140820	-1.4592200 0.4390350	1.9736270 0.8206310	-0.4261600 -0.7553900	-2.6988600 -0.6482700	3.2947350 0.9930760	-1.1534500 -0.3665800
0.2 (1/5)	2.0	0	G_0 G_1	0.8150546 0.1359146	-0.5623828 0.0702340	1.4465771 3.5558581	-4.6778133 -11.034445	8.4192164 16.967724	-7.9025932 -14.126991	2.9866351 4.8706612
		0.2	G_0 G_1	0.8536841 0.1415607	-1.0302392 0.0595042	4.0738131 3.2739576	-12.154325 -9.8453707	19.629919 14.709899	-16.443839 -12.038154	5.6017294 4.1204970
		0.4	G_0 G_1	0.8704024 0.1458020	-1.0725850 0.0566824	4.1489689 3.2442161	-12.315492 -9.7698352	19.879021 14.622301	-16.632323 -11.977784	5.6546309 4.1003749
		0.6	G_0 G_1	0.9098344 0.1562757	-1.0776714 0.0628573	3.7795127 3.1195301	-11.056320 -9.3277071	17.894031 13.870685	-15.112464 -11.365405	5.2038813 3.9093291
		0.8	G_0 G_1	0.9473209 0.1579980	-1.0916848 0.1971737	3.2936932 2.1502631	-9.1104990 -6.2273300	14.239343 8.6913835	-11.702777 -6.9646090	3.9539503 2.4150002
0.3333 (1/3)	0.03125	0	G_0 G_1	0.1965046 0.0051780	2.9373464 0.1750280	-5.2582823 2.7718680	7.4889153 -4.6457154	-6.9282667 4.6780502	3.3673349 -3.2768090	-0.6677966 0.9840994
		0.2	G_0 G_1	0.2651746 0.0134241	2.0518539 0.2145035	-0.6576529 2.4853811	-2.2400914 -3.7294986	4.0586003 3.6634951	-2.9557373 -2.8206848	0.7509004 0.9110972
		0.4	G_0 G_1	0.2068432 0.0078550	2.1289212 0.1900840	0.9488071 2.9205940	-7.9908119 -4.8299400	17.527999 6.9364230	-16.818919 -6.4967600	5.6744489 2.2038400
		0.6	G_0 G_1	0.2176810 0.0077208	3.1796080 0.1777379	-4.8660500 2.8308619	13.825800 -4.4159417	-14.215900 8.8389790	4.4304150 -9.6804295	-0.0353400 3.4134994
		0.8	G_0 G_1	0.2214280 0.0086700	3.4544570 0.2576810	-5.7728600 2.7260750	22.240290 -3.5453100	-23.041500 10.980120	5.5717540 -13.837700	0.9588560 5.0393470
0.3333 (1/3)	0.0625	0	G_0 G_1	0.2695332 0.0138667	2.1626001 0.1827458	-1.6551569 2.5749608	-1.2970208 -3.9044679	4.5604304 3.3556301	-4.3163876 -2.1772209	1.4010655 0.6420134
		0.2	G_0 G_1	0.2602402 0.0149877	1.9101229 0.1955673	0.6250582 2.3230283	-7.1510682 -2.9558560	13.076057 2.2512432	-10.659369 -1.6085747	3.2200458 0.5105227
		0.4	G_0 G_1	0.2985878 0.0217550	1.4806070 0.2019200	4.0015159 2.8740480	-15.408972 -4.6530800	26.416058 6.0952580	-21.963750 -5.4253400	6.8318255 1.7947570
		0.6	G_0 G_1	0.3248620 0.0274730	2.5827580 0.2394530	-1.7974700 2.9636050	4.6268000 -4.8034000	-1.0563100 8.6324210	-4.8660300 -9.0423400	2.6241440 3.1584620
		0.8	G_0 G_1	0.3581590 0.0328400	2.8096210 0.3062750	-2.2342200 2.7758730	12.128880 -3.5996700	-10.705600 9.5233880	-1.3607100 -11.672000	2.4982950 4.2059790
0.3333 (1/3)	0.125	0	G_0 G_1	0.4065238 0.0320270	0.7772483 0.1825342	3.8861644 2.2670449	-12.573943 -2.7076615	16.760207 1.2088194	-11.014593 -0.3777430	2.8706957 0.0763155
		0.2	G_0 G_1	0.3882912 0.0361643	1.0609616 0.1993991	3.1532036 2.1521281	-10.997015 -2.4393155	15.435099 1.2426343	-10.732447 -0.7115746	2.9280131 0.2338738
		0.4	G_0 G_1	0.4550911 0.0521360	0.6846515 0.2552780	5.9119227 2.3217540	-17.160497 -2.7072400	24.468016 2.1186830	-17.877938 -1.7821100	5.0878696 0.6094100
		0.6	G_0 G_1	0.5489050 0.0713480	1.2094700 0.2757420	4.6400520 2.6582020	-12.898000 -3.5129500	21.506680 4.7941620	-18.882700 -4.9393500	6.1124270 1.7461680
		0.8	G_0 G_1	0.6623640 0.0983440	1.1473380 0.2665520	6.6549140 3.1706930	-13.993000 -4.1673500	24.090210 7.3879790	-23.773700 -8.2858400	8.3646690 2.9658590

续表 B.3.9-2 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-外表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0.3333 (1/3)	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.5813392	0.1754806	4.1064690	-9.6118175	10.697163	-6.3416068	1.5662906
			G_1	0.0754953	0.2165572	1.6757864	-1.2279181	-0.4611587	0.5138881	-0.0998820
		0.4	G_0	0.6898568	-0.0773270	5.4806293	-11.407142	11.633671	-6.3018895	1.3834825
			G_1	0.1094450	0.3008580	1.5214730	-0.4181100	-1.9095700	1.6678210	-0.4669100
		0.6	G_0	0.9181390	-0.5237900	9.0497720	-20.248100	24.464580	-16.157900	4.3547490
			G_1	0.1608860	0.2132020	2.3389990	-2.2357400	0.7909320	-0.5441000	0.2284680
		0.8	G_0	1.1608820	-0.7489100	10.891840	-20.643400	21.820600	-13.976200	3.9263300
			G_1	0.2308100	0.1303460	2.9946080	-2.6118400	0.5931240	-0.3660800	0.1958340
0.3333 (1/3)	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.9073955	-0.8971202	5.6296095	-12.600224	16.002537	-11.129631	3.2028664
			G_1	0.1423042	0.1193355	2.5733770	-5.9665543	8.9660776	-7.7527147	2.6068720
		0.4	G_0	1.0227900	-0.4769800	1.8915950	0.6470380	-6.0011600	6.2817830	-2.1144300
			G_1	0.1805320	0.3494360	1.0799180	-0.3980200	-1.2385100	1.0681870	-0.2845100
		0.6	G_0	1.2558880	-1.3007200	5.9836960	-9.1319200	6.5768270	-2.0833900	0.1372010
			G_1	0.2408900	0.2961710	0.9788130	0.6485900	-3.2595400	2.6786820	-0.7609600
		0.8	G_0	1.5064650	-0.9515700	2.1848270	5.0110910	-17.165600	16.231510	-5.1671000
			G_1	0.3183620	0.3380430	0.2332610	3.8880520	-9.0315400	7.3427670	-2.1808400
0.3333 (1/3)	1.0	0	G_0	1.1977992	-0.5244870	0.1498299	2.3284866	-5.1058499	4.3469049	-1.3487980
			G_1	0.1870117	0.6987352	0.1316900	0.7269255	-2.5259384	2.1756251	-0.6540458
		0.2	G_0	1.2251938	-1.1088782	4.3783822	-11.902054	18.917314	-15.537073	5.0861925
			G_1	0.1967570	0.3750251	2.1938569	-6.3981104	9.8525023	-8.3093790	2.8070520
		0.4	G_0	1.3102610	-0.3521400	-1.8346200	8.5385630	-14.391600	11.108920	-3.2682300
			G_1	0.2225920	0.6936100	0.0198130	1.0770080	-3.0231700	2.5251620	-0.7509200
		0.6	G_0	1.4399700	-0.3693300	-2.7283100	11.493880	-18.862500	14.402850	-4.2113200
			G_1	0.2615940	0.6931840	-0.2579300	1.9715370	-4.3708500	3.5256390	-1.0416400
		0.8	G_0	1.6727600	-1.6027700	3.8701220	-8.1470100	11.569570	-9.1115900	2.9716790
			G_1	0.3252650	0.3406560	1.7824050	-4.4816900	6.1843940	-4.9886800	1.6486210
0.3333 (1/3)	2.0	0	G_0	0.8150546	-0.5623828	1.4465771	-4.6778133	8.4192164	-7.9025932	2.9866351
			G_1	0.1359146	0.0702340	3.5558581	-11.034445	16.967724	-14.126991	4.8706612
		0.2	G_0	0.8585767	-1.0507299	4.1528538	-12.361065	19.924151	-16.649393	5.6568794
			G_1	0.1410557	0.0851240	3.1023875	-9.3241192	13.898320	-11.411063	3.9302795
		0.4	G_0	0.8774308	-1.0721586	4.0656641	-12.050152	19.486315	-16.340345	5.5670727
			G_1	0.1466187	0.0740623	3.1240530	-9.4156798	14.080011	-11.557896	3.9707854
		0.6	G_0	0.9226380	-1.1036903	3.8099517	-11.072222	17.863569	-15.046439	5.1695991
			G_1	0.1587492	0.0714304	3.0474948	-9.1086668	13.518169	-11.073693	3.8126238
		0.8	G_0	0.9631792	-1.0845228	3.0958067	-8.4948235	13.327750	-11.030577	3.7571770
			G_1	0.1624555	0.1998637	2.1090767	-6.1178471	8.5262697	-6.8263049	2.3672889
1.0 (1/1)	0.03125	0	G_0	0.1965046	2.9373464	-5.2582823	7.4889153	-6.9282667	3.3673349	-0.6677966
			G_1	0.0051780	0.1750280	2.7718680	-4.6457154	4.6780502	-3.2768090	0.9840994
		0.2	G_0	0.185121	3.188854	-6.482680	12.192272	-14.288081	8.601706	-2.111614
			G_1	0.002218	0.232860	2.374893	-3.194681	2.780956	-2.182333	0.733360
		0.4	G_0	0.186114	3.287193	-6.563730	14.505569	-18.263240	11.201917	-2.777015
			G_1	0.002129	0.244419	2.316128	-2.628722	2.563704	-2.603491	0.963885
		0.6	G_0	0.188529	3.325573	-5.996440	15.350206	-19.372323	11.119877	-2.589131
			G_1	0.002421	0.243116	2.368197	-2.400275	3.363615	-4.068738	1.519781
		0.8	G_0	0.193403	3.286405	-4.711590	14.618870	-18.272045	10.744648	-3.083255
			G_1	0.003669	0.213041	2.638151	-2.681828	4.617077	-4.830043	1.364246

续表 B.3.9-2 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-外表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
1.0 (1/1)	0.0625	0	G_0	0.2695332	2.1626001	-1.6551569	-1.2970208	4.5604304	-4.3163876	1.4010655
			G_1	0.0138667	0.1827458	2.5749608	-3.9044679	3.3556301	-2.1772209	0.6420134
		0.2	G_0	0.254806	2.438464	-2.740803	2.446353	-0.875988	-0.687926	0.443576
			G_1	0.010465	0.233153	2.333591	-3.084952	2.518702	-1.890349	0.623018
		0.4	G_0	0.258618	2.576236	-3.094962	5.335968	-5.228664	1.823073	-0.096923
			G_1	0.010878	0.251163	2.286781	-2.688509	2.727195	-2.730801	0.999490
		0.6	G_0	0.266687	2.626036	-2.801017	7.246477	-8.149369	3.160303	-0.328226
			G_1	0.011508	0.261788	2.275605	-2.310747	3.341409	-4.089143	1.534823
		0.8	G_0	0.279917	2.544139	-1.352379	6.101193	-6.363617	2.135462	-0.577863
			G_1	0.013438	0.234425	2.564528	-2.758745	5.032575	-5.335732	1.569031
1.0 (1/1)	0.125	0	G_0	0.4065238	0.7772483	3.8861644	-12.573943	16.760207	-11.014593	2.8706957
			G_1	0.0320270	0.1825342	2.2670449	-2.7076615	1.2088194	-0.3777430	0.0763155
		0.2	G_0	0.388322	1.286602	2.053332	-8.581169	12.929838	-9.572280	2.754168
			G_1	0.030700	0.241330	2.153705	-2.590769	1.660060	-1.144276	0.384660
		0.4	G_0	0.408074	1.358016	2.369499	-8.562211	13.630668	-11.051005	3.394090
			G_1	0.034870	0.249348	2.279726	-2.807760	2.678116	-2.448695	0.858520
		0.6	G_0	0.434361	1.380693	2.944663	-8.351573	14.398774	-13.184658	4.362437
			G_1	0.039336	0.250796	2.450632	-3.161382	4.487216	-4.742839	1.684563
		0.8	G_0	0.473331	1.230496	4.682105	-10.876475	19.808960	-18.501541	5.890109
			G_1	0.045855	0.202062	3.017214	-4.823454	8.779062	-8.675663	2.746608
1.0 (1/1)	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.615729	-0.067194	5.790334	-14.635175	18.282435	-11.915994	3.144657
			G_1	0.075431	0.228618	1.928275	-2.083113	0.875100	-0.476420	0.174582
		0.4	G_0	0.674497	-0.090521	6.569872	-16.059304	20.391703	-13.774825	3.744274
			G_1	0.091794	0.223343	2.158106	-2.489912	1.628560	-1.230448	0.428502
		0.6	G_0	0.759811	-0.239972	8.146341	-19.163030	25.452277	-18.373719	5.256740
			G_1	0.112785	0.197789	2.547677	-3.295084	3.354686	-2.991099	1.022499
		0.8	G_0	0.870119	-0.490355	10.419374	-23.472844	33.315741	-26.026024	7.835043
			G_1	0.138002	0.151077	3.121397	-4.538513	6.309718	-5.970779	1.973660
1.0 (1/1)	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.913372	-0.735043	4.471574	-8.246856	8.320446	-4.717293	1.140654
			G_1	0.141033	0.343450	1.103703	-0.636195	-0.557657	0.346388	-0.023693
		0.4	G_0	1.015207	-0.819177	4.919757	-8.801732	8.658853	-4.835082	1.155029
			G_1	0.172015	0.326617	1.221840	-0.739579	-0.544412	0.364228	-0.032381
		0.6	G_0	1.174108	-0.982447	5.673358	-9.634007	9.126974	-5.036430	1.202715
			G_1	0.219163	0.296282	1.388126	-0.790142	-0.689149	0.499359	-0.073851
		0.8	G_0	1.398706	-1.364577	7.678071	-12.977835	12.357364	-6.859392	1.632145
			G_1	0.285589	0.171801	2.172638	-2.304679	0.996312	-0.452797	0.110046
1.0 (1/1)	1.0	0	G_0	1.1977992	-0.5244870	0.1498299	2.3284866	-5.1058499	4.3469049	-1.3487980
			G_1	0.1870117	0.6987352	0.1316900	0.7269255	-2.5259384	2.1756251	-0.6540458
		0.2	G_0	1.258829	-0.920383	2.464641	-4.643045	5.586619	-3.692533	1.007931
			G_1	0.204376	0.551618	1.038902	-2.136340	1.961327	-1.226688	0.345303
		0.4	G_0	1.358991	-1.000057	2.426376	-4.298265	5.004235	-3.246678	0.877984
			G_1	0.233727	0.546132	0.974941	-1.932976	1.666765	-1.014210	0.285017
		0.6	G_0	1.513798	-1.174129	2.592991	-4.334109	4.883126	-3.111444	0.837530
			G_1	0.278808	0.520717	0.939526	-1.754995	1.382899	-0.804174	0.226268
		0.8	G_0	1.722292	-1.472304	3.210428	-5.674377	6.979236	-4.950340	1.489916
			G_1	0.338285	0.461023	1.079305	-2.155003	2.109173	-1.450342	0.444958

续表 B.3.9-2 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-外表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
1.0 (1/1)	2.0	0	G_0 G_1	0.8150546 0.1359146	-0.5623828 0.0702340	1.4465771 3.5558581	-4.6778133 -11.034445	8.4192164 16.967724	-7.9025932 -14.126991	2.9866351 4.8706612
		0.2	G_0 G_1	0.849913 0.114055	-0.623478 0.522567	0.993801 0.443598	-1.666592 -0.722333	1.334505 -0.788050	-0.679852 1.041518	0.286499 -0.213190
		0.4	G_0 G_1	0.888847 0.123935	-0.681988 0.520367	0.956069 0.390497	-1.405765 -0.579710	0.933773 -0.970714	-0.394995 1.165073	0.208109 -0.247663
		0.6	G_0 G_1	0.941188 0.137170	-0.763541 0.516798	0.916824 0.312866	-1.073695 -0.346017	0.401173 -1.305150	0.006239 1.420120	0.089259 -0.327824
		0.8	G_0 G_1	1.002158 0.151742	-0.820483 0.526825	0.610344 0.141814	0.027135 0.139733	-1.168765 -1.967186	1.077598 1.891335	-0.195853 -0.467090
1.5 (1.5/1)	0.03125	0	G_0 G_1	0.1965046 0.0051780	2.9373464 0.1750280	-5.2582823 2.7718680	7.4889153 -4.6457154	-6.9282667 4.6780502	3.3673349 -3.2768090	-0.6677966 0.9840994
		0.2	G_0 G_1	0.184316 0.002013	3.185155 0.230347	-6.416255 2.375843	12.046791 -3.137204	-14.275538 2.600897	8.738850 -1.998878	-2.183521 0.671756
		0.4	G_0 G_1	0.184814 0.001931	3.260433 0.235164	-6.215264 2.368206	13.110697 -2.719061	-16.327198 2.445339	10.012541 -2.348690	-2.490388 0.859605
		0.6	G_0 G_1	0.186266 0.002280	3.287464 0.226408	-5.493228 2.484911	12.836395 -2.743251	-15.634565 3.420877	8.769382 -3.756126	-2.026212 1.355909
		0.8	G_0 G_1	0.191146 0.004001	3.204060 0.174807	-3.742848 2.957877	9.462399 -3.844780	-10.002877 5.752158	5.397123 -5.002880	-1.873971 1.230486
1.5 (1.5/1)	0.0625	0	G_0 G_1	0.2695332 0.0138667	2.1626001 0.1827458	-1.6551569 2.5749608	-1.2970208 -3.9044679	4.5604304 3.3556301	-4.3163876 -2.1772209	1.4010655 0.6420134
		0.2	G_0 G_1	0.253290 0.009893	2.432384 0.230422	-2.700331 2.326090	2.471102 -3.003587	-1.119732 2.352958	-0.404040 -1.757793	0.344474 0.585317
		0.4	G_0 G_1	0.255655 0.009796	2.530458 0.243346	-2.774915 2.281730	4.458076 -2.546274	-4.467570 2.265995	1.684671 -2.248178	-0.149831 0.836391
		0.6	G_0 G_1	0.262267 0.010197	2.527752 0.243625	-2.052348 2.330894	4.534908 -2.359678	-4.651024 2.926329	1.251086 -3.438524	0.052376 1.277687
		0.8	G_0 G_1	0.274290 0.012280	2.369461 0.193341	0.099091 2.809407	0.075723 -3.538519	2.647639 5.530894	-3.504190 -5.046760	0.668769 1.308709
1.5 (1.5/1)	0.125	0	G_0 G_1	0.4065238 0.0320270	0.7772483 0.1825342	3.8861644 2.2670449	-12.573943 -2.7076615	16.760207 1.2088194	-11.014593 -0.3777430	2.8706957 0.0763155
		0.2	G_0 G_1	0.386288 0.029657	1.280467 0.239008	2.090667 2.150670	-8.562532 -2.542268	12.814964 1.596761	-9.469762 -1.117368	2.724578 0.381590
		0.4	G_0 G_1	0.400115 0.031774	1.336465 0.244066	2.405097 2.247193	-8.395378 -2.631456	12.969802 2.350692	-10.352825 -2.191296	3.160916 0.785879
		0.6	G_0 G_1	0.419060 0.034120	1.330162 0.241769	3.066041 2.394287	-8.484680 -2.898770	13.752128 3.863367	-12.078859 -4.134184	3.905009 1.481921
		0.8	G_0 G_1	0.450640 0.038939	1.107318 0.178025	5.318707 3.047153	-13.164656 -4.891072	22.226266 8.397487	-18.887038 -7.887477	5.545016 2.369623
1.5 (1.5/1)	0.25	0	G_0 G_1	0.6152816 0.0703566	-0.3348694 0.2828152	6.2955620 1.4036169	-15.590618 -0.6511596	19.299508 -1.2076596	-12.488107 1.0318656	3.3010035 -0.2423741
		0.2	G_0 G_1	0.615372 0.074698	-0.065515 0.229962	5.809641 1.926585	-14.606558 -2.052209	18.215796 0.841826	-11.880799 -0.470611	3.138708 0.176804
		0.4	G_0 G_1	0.662416 0.086500	-0.081773 0.227179	6.514915 2.125731	-15.788232 -2.375532	20.001912 1.523831	-13.538879 -1.207143	3.688763 0.431843
		0.6	G_0 G_1	0.726958 0.100550	-0.216407 0.205054	7.957721 2.477465	-18.661309 -3.152103	24.880919 3.307250	-18.044617 -3.042097	5.171054 1.047174
		0.8	G_0 G_1	0.809636 0.117672	-0.470411 0.153798	10.327561 3.101297	-23.997312 -4.814905	35.022219 7.150848	-27.404207 -6.676981	8.132174 2.144661

续表 B.3.9-2 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-外表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
1.5 (1.5/1)	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.918760	-0.731705	4.461155	-8.157896	8.154855	-4.591132	1.104276
			G_1	0.142181	0.346826	1.093846	-0.591198	-0.631186	0.398937	-0.038268
		0.4	G_0	1.014734	-0.806287	4.926832	-8.766690	8.619895	-4.841968	1.164709
			G_1	0.170424	0.334969	1.215051	-0.709426	-0.569783	0.361184	-0.027134
		0.6	G_0	1.151961	-0.926971	5.590295	-9.448657	9.065317	-5.134747	1.251319
			G_1	0.209831	0.320543	1.345255	-0.693470	-0.738510	0.472814	-0.056995
		0.8	G_0	1.344390	-1.307328	7.957435	-14.256834	15.026217	-9.090496	2.246829
			G_1	0.266328	0.192432	2.270080	-2.739631	1.899766	-1.209805	0.319291
1.5 (1.5/1)	1.0	0	G_0	1.1977992	-0.5244870	0.1498299	2.3284866	-5.1058499	4.3469049	-1.3487980
			G_1	0.1870117	0.6987352	0.1316900	0.7269255	-2.5259384	2.1756251	-0.6540458
		0.2	G_0	1.269270	-0.926747	2.450385	-4.590910	5.520803	-3.653224	0.998752
			G_1	0.207128	0.552641	1.030480	-2.122401	1.952870	-1.226323	0.346278
		0.4	G_0	1.375650	-1.005464	2.400550	-4.206794	4.874890	-3.157636	0.853770
			G_1	0.237601	0.553017	0.945241	-1.865891	1.581884	-0.958034	0.269995
		0.6	G_0	1.529898	-1.163602	2.572592	-4.335524	4.967567	-3.218453	0.876237
			G_1	0.281949	0.536231	0.906808	-1.717306	1.371421	-0.816256	0.233496
		0.8	G_0	1.737002	-1.478165	3.530955	-6.973022	9.381206	-6.964274	2.110376
			G_1	0.341452	0.472790	1.153664	-2.548005	2.869377	-2.103032	0.651677
1.5 (1.5/1)	2.0	0	G_0	0.8150546	-0.5623828	1.4465771	-4.6778133	8.4192164	-7.9025932	2.9866351
			G_1	0.1359146	0.0702340	3.5558581	-11.034445	16.967724	-14.126991	4.8706612
		0.2	G_0	0.855544	-0.633346	0.990689	-1.634631	1.290258	-0.652614	0.280001
			G_1	0.115362	0.522373	0.436511	-0.708057	-0.799248	1.045258	-0.213580
		0.4	G_0	0.899631	-0.698248	0.933905	-1.296840	0.774931	-0.284849	0.177806
			G_1	0.126255	0.522508	0.363424	-0.511614	-1.057594	1.224395	-0.264591
		0.6	G_0	0.956020	-0.780211	0.864055	-0.883791	0.151258	0.165946	0.048131
			G_1	0.140261	0.522339	0.268634	-0.245630	-1.423882	1.497162	-0.349307
		0.8	G_0	1.021343	-0.839868	0.571171	0.097254	-1.115601	0.941571	-0.136834
			G_1	0.156211	0.531405	0.112872	0.151992	-1.911480	1.820393	-0.442582
2 (2/1)	0.03125	0	G_0	0.1965046	2.9373464	-5.2582823	7.4889153	-6.9282667	3.3673349	-0.6677966
			G_1	0.0051780	0.1750280	2.7718680	-4.6457154	4.6780502	-3.2768090	0.9840994
		0.2	G_0	0.183817	3.190141	-6.404381	12.027995	-14.359563	8.885385	-2.245389
			G_1	0.001926	0.229118	2.378913	-3.109083	2.499532	-1.891250	0.634664
		0.4	G_0	0.184160	3.251914	-6.019747	12.299556	-15.140288	9.231722	-2.288792
			G_1	0.001874	0.229989	2.405622	-2.795416	2.433543	-2.257482	0.817933
		0.6	G_0	0.185025	3.279455	-5.256690	11.563108	-13.649886	7.443417	-1.684608
			G_1	0.002242	0.218161	2.552444	-2.944665	3.510824	-3.661237	1.296263
		0.8	G_0	0.189573	3.190190	-3.412899	7.384079	-6.587833	3.139315	-1.338270
			G_1	0.004080	0.160315	3.088812	-4.322541	6.191462	-5.062445	1.184316
2 (2/1)	0.0625	0	G_0	0.2695332	2.1626001	-1.6551569	-1.2970208	4.5604304	-4.3163876	1.4010655
			G_1	0.0138667	0.1827458	2.5749608	-3.9044679	3.3556301	-2.1772209	0.6420134
		0.2	G_0	0.252448	2.433414	-2.689516	2.524077	-1.330543	-0.179648	0.267593
			G_1	0.009595	0.229567	2.319399	-2.944170	2.232762	-1.660824	0.557292
		0.4	G_0	0.254507	2.504975	-2.545742	3.787884	-3.747995	1.380155	-0.113186
			G_1	0.009338	0.239318	2.284590	-2.475733	2.015254	-1.980787	0.745002
		0.6	G_0	0.260573	2.477816	-1.588111	2.819232	-2.283418	-0.200328	0.394940
			G_1	0.009706	0.233960	2.373812	-2.421281	2.762152	-3.141390	1.157288
		0.8	G_0	0.271854	2.296694	0.811610	-2.957080	7.257252	-6.507686	1.389068
			G_1	0.011838	0.175439	2.924836	-3.887263	5.713223	-4.891194	1.195655

续表 B.3.9-2 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-外表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
$\frac{2}{(2/1)}$	0.125	0	G_0	0.4065238	0.7772483	3.8861644	-12.573943	16.760207	-11.014593	2.8706957
			G_1	0.0320270	0.1825342	2.2670449	-2.7076615	1.2088194	-0.3777430	0.0763155
		0.2	G_0	0.385244	1.277902	2.116594	-8.559753	12.754388	-9.414360	2.709228
			G_1	0.029082	0.237897	2.148968	-2.512087	1.557427	-1.101592	0.380342
		0.4	G_0	0.396455	1.326541	2.435886	-8.299013	12.527264	-9.868930	2.995677
			G_1	0.030255	0.242687	2.222371	-2.497910	2.097851	-1.990301	0.728675
		0.6	G_0	0.412667	1.302436	3.191425	-8.695131	13.488752	-11.462037	3.633573
			G_1	0.031797	0.239434	2.354123	-2.691984	3.376535	-3.670905	1.330592
		0.8	G_0	0.441614	1.043702	5.729282	-14.523178	23.512617	-18.992922	5.325051
			G_1	0.035993	0.171140	3.027231	-4.733296	7.780323	-7.123558	2.072234
$\frac{2}{(2/1)}$	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.615397	-0.066314	5.839456	-14.641843	18.254930	-11.919328	3.152584
			G_1	0.074293	0.230222	1.930705	-2.048287	0.845516	-0.486068	0.183853
		0.4	G_0	0.656255	-0.075740	6.484539	-15.617332	19.728076	-13.355956	3.642522
			G_1	0.083628	0.229768	2.106178	-2.303216	1.451316	-1.184988	0.431647
		0.6	G_0	0.711262	-0.201332	7.849369	-18.315682	24.341573	-17.633459	5.048508
			G_1	0.094499	0.210035	2.433543	-3.041827	3.201758	-2.996266	1.037904
		0.8	G_0	0.782605	-0.460564	10.283615	-24.129380	35.258564	-27.325253	7.985350
			G_1	0.108363	0.156910	3.073152	-4.843272	7.255263	-6.691018	2.108915
$\frac{2}{(2/1)}$	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.922532	-0.730699	4.461298	-8.110854	8.050518	-4.503858	1.077300
			G_1	0.142994	0.348797	1.088657	-0.561740	-0.684130	0.439705	-0.050299
		0.4	G_0	1.015035	-0.799312	4.939552	-8.766831	8.627855	-4.870363	1.177730
			G_1	0.169531	0.339974	1.213310	-0.697565	-0.574213	0.350034	-0.021074
		0.6	G_0	1.139643	-0.894057	5.537861	-9.334050	9.014844	-5.174226	1.272398
			G_1	0.204311	0.335213	1.318565	-0.635797	-0.767436	0.458348	-0.048112
		0.8	G_0	1.315050	-1.291944	8.202086	-15.229076	16.745919	-10.319619	2.524101
			G_1	0.255458	0.197858	2.359749	-3.085373	2.499094	-1.631376	0.412073
$\frac{2}{(2/1)}$	1.0	0	G_0	1.1977992	-0.5244870	0.1498299	2.3284866	-5.1058499	4.3469049	-1.3487980
			G_1	0.1870117	0.6987352	0.1316900	0.7269255	-2.5259384	2.1756251	-0.6540458
		0.2	G_0	1.276263	-0.928654	2.425219	-4.503400	5.388660	-3.556694	0.971288
			G_1	0.208947	0.554525	1.016847	-2.086479	1.903448	-1.191741	0.336644
		0.4	G_0	1.387164	-1.009504	2.385733	-4.154137	4.801173	-3.107119	0.840098
			G_1	0.240279	0.557502	0.926478	-1.824362	1.529570	-0.923380	0.260734
		0.6	G_0	1.540974	-1.159967	2.580554	-4.416389	5.156272	-3.391263	0.931638
			G_1	0.283941	0.546969	0.883818	-1.692805	1.365658	-0.824507	0.237811
		0.8	G_0	1.743113	-1.436305	3.448360	-6.982904	9.660351	-7.265219	2.198656
			G_1	0.340654	0.519463	0.958668	-2.087481	2.261394	-1.677544	0.528115
$\frac{2}{(2/1)}$	2.0	0	G_0	0.8150546	-0.5623828	1.4465771	-4.6778133	8.4192164	-7.9025932	2.9866351
			G_1	0.1359146	0.0702340	3.5558581	-11.034445	16.967724	-14.126991	4.8706612
		0.2	G_0	0.859353	-0.639193	0.984123	-1.599085	1.237097	-0.615546	0.269938
			G_1	0.116246	0.522528	0.430057	-0.692503	-0.817263	1.056307	-0.216427
		0.4	G_0	0.907007	-0.708775	0.916198	-1.217549	0.661203	-0.206523	0.156332
			G_1	0.127841	0.524094	0.344591	-0.464696	-1.117326	1.265231	-0.276270
		0.6	G_0	0.966075	-0.790014	0.820213	-0.741526	-0.027120	0.275480	0.020834
			G_1	0.142316	0.526518	0.237548	-0.178510	-1.499234	1.544221	-0.362234
		0.8	G_0	1.033509	-0.842482	0.493121	0.237477	-1.143199	0.854352	-0.089605
			G_1	0.158640	0.541374	0.060230	0.228912	-1.941684	1.803042	-0.430836

续表 B.3.9-2 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-外表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
2.5 (2.5)	0.03125	0	G_0	0.1965046	2.9373464	-5.2582823	7.4889153	-6.9282667	3.3673349	-0.6677966
			G_1	0.0051780	0.1750280	2.7718680	-4.6457154	4.6780502	-3.2768090	0.9840994
		0.2	G_0	0.183444	3.199596	-6.422436	12.078825	-14.497761	9.038508	-2.302152
			G_1	0.001887	0.228343	2.384046	-3.099658	2.445619	-1.828799	0.612191
		0.4	G_0	0.183765	3.250679	-5.904333	11.812501	-14.408678	8.732614	-2.155050
			G_1	0.001853	0.226912	2.431474	-2.848506	2.443648	-2.221701	0.799780
		0.6	G_0	0.184234	3.281586	-5.140124	10.899403	-12.608055	6.736571	-1.496977
			G_1	0.002214	0.214059	2.589481	-3.046237	3.544396	-3.603234	1.264639
		0.8	G_0	0.188392	3.197908	-3.324473	6.598755	-5.340667	2.352183	-1.151632
			G_1	0.004029	0.155917	3.131920	-4.465780	6.236356	-4.979185	1.143045
2.5 (2.5/1)	0.0625	0	G_0	0.2695332	2.1626001	-1.6551569	-1.2970208	4.5604304	-4.3163876	1.4010655
			G_1	0.0138667	0.1827458	2.5749608	-3.9044679	3.3556301	-2.1772209	0.6420134
		0.2	G_0	0.251899	2.437615	-2.693094	2.585700	-1.507845	-0.003070	0.208182
			G_1	0.009421	0.229388	2.314556	-2.901484	2.146220	-1.590598	0.536746
		0.4	G_0	0.254012	2.489415	-2.379965	3.293148	-3.167766	1.081907	-0.056920
			G_1	0.009110	0.236825	2.290024	-2.438631	1.870795	-1.825213	0.691604
		0.6	G_0	0.259776	2.450591	-1.292649	1.732248	-0.750743	-1.182894	0.641780
			G_1	0.009473	0.228480	2.402104	-2.458326	2.667535	-2.974973	1.091540
		0.8	G_0	0.270440	2.266674	1.166617	-4.475061	9.499801	-7.958250	1.748887
			G_1	0.011561	0.168280	2.968405	-3.986635	5.648062	-4.702266	1.117938
2.5 (2.5/1)	0.125	0	G_0	0.4065238	0.7772483	3.8861644	-12.573943	16.760207	-11.014593	2.8706957
			G_1	0.0320270	0.1825342	2.2670449	-2.7076615	1.2088194	-0.3777430	0.0763155
		0.2	G_0	0.384663	1.277033	2.136435	-8.566811	12.727903	-9.389030	2.702884
			G_1	0.028735	0.237340	2.148238	-2.492498	1.532310	-1.092683	0.380217
		0.4	G_0	0.394594	1.321356	2.462736	-8.239715	12.220739	-9.527499	2.877572
			G_1	0.029413	0.242560	2.204218	-2.397942	1.908557	-1.840422	0.686061
		0.6	G_0	0.409622	1.284876	3.301431	-8.894339	13.383426	-11.099699	3.467004
			G_1	0.030575	0.239125	2.325401	-2.533559	3.011120	-3.331759	1.221865
		0.8	G_0	0.437294	1.009803	5.977919	-15.261234	24.027669	-18.826864	5.133279
			G_1	0.034428	0.170872	2.987178	-4.502175	7.144780	-6.462467	1.842354
2.5 (2.5/1)	0.25	0	G_0	0.6152816	-0.3348694	6.2955620	-15.590618	19.299508	-12.488107	3.3010035
			G_1	0.0703566	0.2828152	1.4036169	-0.6511596	-1.2076596	1.0318656	-0.2423741
		0.2	G_0	0.615611	-0.068564	5.876234	-14.716634	18.358809	-12.002946	3.178561
			G_1	0.074069	0.229902	1.938052	-2.059174	0.868887	-0.512294	0.193183
		0.4	G_0	0.652911	-0.070685	6.463282	-15.488954	19.509680	-13.203103	3.602789
			G_1	0.081945	0.231799	2.092742	-2.250977	1.394776	-1.164288	0.430115
		0.6	G_0	0.702939	-0.188350	7.761673	-17.986916	23.755980	-17.155813	4.903291
			G_1	0.091139	0.214542	2.397243	-2.930525	3.051347	-2.897374	1.011401
		0.8	G_0	0.768697	-0.449129	10.211235	-23.920592	34.664269	-26.549447	7.650901
			G_1	0.103373	0.162129	3.026949	-4.715295	6.993910	-6.400747	1.991146
2.5 (2.5/1)	0.5	0	G_0	0.8776607	-0.6729719	3.7721411	-6.5209060	6.3377934	-3.7028038	0.9872447
			G_1	0.1277541	0.4368502	0.4904522	1.0427434	-2.9631236	2.0826525	-0.5184313
		0.2	G_0	0.925405	-0.731616	4.471464	-8.099602	7.997869	-4.449917	1.058505
			G_1	0.143627	0.349792	1.087210	-0.544051	-0.721795	0.471900	-0.060583
		0.4	G_0	1.015857	-0.795439	4.955212	-8.788170	8.668248	-4.918377	1.195647
			G_1	0.169085	0.343071	1.214971	-0.698492	-0.561795	0.329513	-0.012846
		0.6	G_0	1.132767	-0.870665	5.489081	-9.219404	8.925593	-5.161723	1.276347
			G_1	0.200980	0.345129	1.299407	-0.596200	-0.785258	0.445915	-0.041017
		0.8	G_0	1.298710	-1.289578	8.374998	-15.847276	17.685595	-10.850138	2.587584
			G_1	0.249121	0.197340	2.434467	-3.343382	2.883138	-1.848629	0.439847

续表 B.3.9-2 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-外表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
2.5 (2.5/1)	1.0	0	G_0	1.1977992	-0.5244870	0.1498299	2.3284866	-5.1058499	4.3469049	-1.3487980
			G_1	0.1870117	0.6987352	0.1316900	0.7269255	-2.5259384	2.1756251	-0.6540458
		0.2	G_0	1.281305	-0.928798	2.398643	-4.409085	5.237176	-3.439958	0.936634
			G_1	0.210243	0.556631	1.001780	-2.041925	1.835580	-1.140612	0.321636
		0.4	G_0	1.395762	-1.012974	2.378157	-4.127026	4.765460	-3.083804	0.834032
			G_1	0.242294	0.560582	0.913818	-1.797041	1.495320	-0.900481	0.254532
		0.6	G_0	1.549665	-1.162078	2.617463	-4.592160	5.497825	-3.682390	1.022477
			G_1	0.285352	0.556539	0.856485	-1.650577	1.330870	-0.809509	0.234814
		0.8	G_0	1.740405	-1.275340	2.537561	-4.431676	5.915260	-4.472444	1.365011
			G_1	0.334891	0.642412	0.247244	-0.047423	-0.795772	0.613602	-0.148998
2.5 (2.5/1)	2.0	0	G_0	0.8150546	-0.5623828	1.4465771	-4.6778133	8.4192164	-7.9025932	2.9866351
			G_1	0.1359146	0.0702340	3.5558581	-11.034445	16.967724	-14.126991	4.8706612
		0.2	G_0	0.862132	-0.643046	0.977353	-1.566126	1.184830	-0.576499	0.258643
			G_1	0.116897	0.522701	0.424937	-0.678476	-0.836705	1.070395	-0.220548
		0.4	G_0	0.912387	-0.715911	0.900375	-1.152978	0.570163	-0.144516	0.139509
			G_1	0.129001	0.525345	0.330472	-0.429895	-1.161259	1.295041	-0.284742
		0.6	G_0	0.973340	-0.795119	0.777879	-0.622157	-0.159838	0.344795	0.006808
			G_1	0.143761	0.530378	0.211730	-0.128108	-1.546185	1.566828	-0.367043
		0.8	G_0	1.040515	-0.814495	0.269682	0.741048	-1.635648	1.056751	-0.112083
			G_1	0.159141	0.567962	-0.084423	0.546320	-2.283229	1.980888	-0.466493
3 (3/1)	0.03125	0	G_0	0.1965046	2.9373464	-5.2582823	7.4889153	-6.9282667	3.3673349	-0.6677966
			G_1	0.0051780	0.1750280	2.7718680	-4.6457154	4.6780502	-3.2768090	0.9840994
		0.2	G_0	0.183142	3.211368	-6.455417	12.161009	-14.651499	9.181976	-2.351537
			G_1	0.001872	0.227742	2.391052	-3.103323	2.423686	-1.796792	0.599680
		0.4	G_0	0.183513	3.251910	-5.830150	11.501600	-13.936013	8.402556	-2.064365
			G_1	0.001843	0.224981	2.449524	-2.883923	2.455328	-2.206499	0.791327
		0.6	G_0	0.183702	3.286781	-5.080762	10.546551	-12.063968	6.369991	-1.398072
			G_1	0.002187	0.212028	2.609400	-3.091462	3.538008	-3.552750	1.243160
		0.8	G_0	0.187494	3.211646	-3.328841	6.371265	-5.040577	2.206727	-1.117011
			G_1	0.003931	0.155695	3.136961	-4.463766	6.118906	-4.844755	1.106976
3 (3/1)	0.0625	0	G_0	0.2695332	2.1626001	-1.6551569	-1.2970208	4.5604304	-4.3163876	1.4010655
			G_1	0.0138667	0.1827458	2.5749608	-3.9044679	3.3556301	-2.1772209	0.6420134
		0.2	G_0	0.251505	2.443076	-2.702545	2.644211	-1.651214	0.133274	0.163013
			G_1	0.009310	0.229435	2.311634	-2.871569	2.084858	-1.540746	0.522105
		0.4	G_0	0.253788	2.479416	-2.258966	2.931359	-2.724406	0.833600	-0.003410
			G_1	0.008984	0.235170	2.295402	-2.416637	1.781070	-1.729070	0.658714
		0.6	G_0	0.259335	2.435369	-1.100795	1.038238	0.229061	-1.822915	0.807820
			G_1	0.009338	0.225351	2.419062	-2.471284	2.592115	-2.863473	1.050189
		0.8	G_0	0.269492	2.255555	1.346372	-5.232093	10.545055	-8.612727	1.918617
			G_1	0.011346	0.166068	2.977216	-3.968303	5.474885	-4.506582	1.058789
3 (3/1)	0.125	0	G_0	0.4065238	0.7772483	3.8861644	-12.573943	16.760207	-11.014593	2.8706957
			G_1	0.0320270	0.1825342	2.2670449	-2.7076615	1.2088194	-0.3777430	0.0763155
		0.2	G_0	0.384319	1.277009	2.152071	-8.577009	12.717025	-9.377618	2.700566
			G_1	0.028510	0.237059	2.148050	-2.478948	1.515209	-1.087487	0.380637
		0.4	G_0	0.393563	1.318776	2.482892	-8.192465	11.988701	-9.271768	2.789076
			G_1	0.028897	0.242950	2.190022	-2.319799	1.762802	-1.726414	0.653816
		0.6	G_0	0.408070	1.272278	3.395628	-9.064693	13.342586	-10.869865	3.358090
			G_1	0.029858	0.239450	2.304238	-2.410452	2.733990	-3.080759	1.142811
		0.8	G_0	0.434987	0.990884	6.130310	-15.641141	24.115680	-18.517069	4.957879
			G_1	0.033475	0.173151	2.941916	-4.261616	6.564808	-5.911841	1.664399

续表 B.3.9-2 圆柱形筒体纵向半椭圆表面裂纹的影响系数-外表面

t/R_i	a/c	a/t	G_i	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
3 (3/1)	0.25	0	G_0 G_1	0.6152816 0.0703566	-0.3348694 0.2828152	6.2955620 1.4036169	-15.590618 -0.6511596	19.299508 -1.2076596	-12.488107 1.0318656	3.3010035 -0.2423741
		0.2	G_0 G_1	0.615903 0.073945	-0.071240 0.229315	5.913565 1.946665	-14.804158 -2.077022	18.485314 0.901394	-12.102126 -0.543300	3.208693 0.203516
		0.4	G_0 G_1	0.650951 0.080877	-0.065130 0.233784	6.438863 2.080691	-15.362736 -2.204660	19.296125 1.340499	-13.051053 -1.140070	3.562550 0.426652
		0.6	G_0 G_1	0.698028 0.089058	-0.173009 0.219818	7.652069 2.355831	-17.555767 -2.788305	22.976485 2.831691	-16.517049 -2.736629	4.708637 0.965584
		0.8	G_0 G_1	0.760777 0.100377	-0.434999 0.168715	10.101610 2.968170	-23.465464 -4.501481	33.581563 6.558589	-25.410509 -5.980828	7.228544 1.842492
3 (3/1)	0.5	0	G_0 G_1	0.8776607 0.1277541	-0.6729719 0.4368502	3.7721411 0.4904522	-6.5209060 1.0427434	6.3377934 -2.9631236	-3.7028038 2.0826525	0.9872447 -0.5184313
		0.2	G_0 G_1	0.927721 0.144151	-0.734077 0.350002	4.490784 1.089497	-8.121851 -0.538932	7.998050 -0.740380	-4.434564 0.490495	1.050624 -0.067075
		0.4	G_0 G_1	1.016900 0.168895	-0.793250 0.344937	4.973102 1.219752	-8.828964 -0.712142	8.744950 -0.529605	-4.994325 0.295204	1.221928 -0.000773
		0.6	G_0 G_1	1.128682 0.198871	-0.848856 0.352706	5.420969 1.283825	-9.058890 -0.573117	8.780491 -0.772783	-5.118730 0.407538	1.275788 -0.025104
		0.8	G_0 G_1	1.289411 0.245426	-1.294120 0.190997	8.506556 2.520463	-16.285868 -3.628440	18.298031 3.301235	-11.132689 -2.091606	2.585888 0.476155
3 (3/1)	1.0	0	G_0 G_1	1.1977992 0.1870117	-0.5244870 0.6987352	0.1498299 0.1316900	2.3284866 0.7269255	-5.1058499 -2.5259384	4.3469049 2.1756251	-1.3487980 -0.6540458
		0.2	G_0 G_1	1.285157 0.211214	-0.928199 0.558843	2.373199 0.985963	-4.316803 -1.992546	5.083796 1.757365	-3.318708 -1.080319	0.900009 0.303715
		0.4	G_0 G_1	1.402449 0.243842	-1.015569 0.563424	2.371906 0.900771	-4.106893 -1.765908	4.740603 1.452530	-3.067987 -0.869440	0.829870 0.245489
		0.6	G_0 G_1	1.557104 0.286319	-1.172949 0.566755	2.708847 0.818883	-4.950288 -1.581211	6.142465 1.261642	-4.213040 -0.770743	1.185212 0.224565
		0.8	G_0 G_1	1.726302 0.322018	-0.929866 0.886320	0.379370 -1.261161	1.991462 4.416832	-3.887896 -7.584188	2.946602 5.723993	-0.839760 -1.656620
3 (3/1)	2.0	0	G_0 G_1	0.8150546 0.1359146	-0.5623828 0.0702340	1.4465771 3.5558581	-4.6778133 -11.034445	8.4192164 16.967724	-7.9025932 -14.126991	2.9866351 4.8706612
		0.2	G_0 G_1	0.864248 0.117384	-0.645272 0.523199	0.967974 0.418708	-1.527915 -0.659966	1.123775 -0.864658	-0.530054 1.091576	0.245014 -0.226834
		0.4	G_0 G_1	0.916461 0.129874	-0.720297 0.526645	0.881379 0.317607	-1.084887 -0.398242	0.475648 -1.200814	-0.080998 1.321215	0.122587 -0.291951
		0.6	G_0 G_1	0.978875 0.144846	-0.798541 0.533261	0.748365 0.197175	-0.570062 -0.124641	-0.156208 -1.501769	0.290952 1.508253	0.033651 -0.345201
		0.8	G_0 G_1	1.042042 0.157084	-0.729579 0.627465	-0.265310 -0.414681	2.047908 1.338731	-3.159801 -3.226914	1.903248 2.531108	-0.291006 -0.592305
注： 1. 表中 G_i 可插值计算。 2. 裂纹表面点 ($\varphi=0$) 的影响系数 $G_i = A_0$ 。 3. 裂纹最深点 ($\varphi=\pi/2$) 的影响系数 $G_i = \sum_n^6 A_n$ 。										

表 B.3.11 系数 ξ

L_r^p	X																		
	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	≥ 5
0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.01	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.001	1.002	1.003	1.011	1.019	1.023	1.026	1.028	1.029	1.030	1.031	1.032
0.02	1	1.000	1.000	1.001	1.001	1.001	1.002	1.003	1.004	1.006	1.019	1.031	1.038	1.042	1.044	1.046	1.048	1.051	1.047
0.03	1	1.001	1.001	1.001	1.001	1.002	1.003	1.004	1.006	1.008	1.026	1.040	1.048	1.053	1.056	1.059	1.060	1.061	1.062
0.04	1	1.001	1.001	1.001	1.002	1.002	1.004	1.006	1.008	1.011	1.031	1.047	1.056	1.061	1.065	1.068	1.071	1.076	1.081
0.06	1	1.002	1.002	1.003	1.003	1.004	1.006	1.009	1.012	1.016	1.039	1.058	1.068	1.074	1.078	1.083	1.087	1.092	1.099
0.08	1	1.002	1.003	1.004	1.004	1.005	1.008	1.012	1.016	1.020	1.045	1.066	1.077	1.084	1.088	1.093	1.098	1.103	1.112
0.1	1	1.004	1.004	1.005	1.006	1.007	1.011	1.015	1.020	1.024	1.050	1.072	1.084	1.092	1.097	1.102	1.108	1.114	1.122
0.12	1	1.005	1.006	1.007	1.008	1.009	1.013	1.018	1.023	1.028	1.054	1.077	1.090	1.099	1.104	1.110	1.116	1.122	1.132
0.14	1	1.007	1.008	1.009	1.010	1.011	1.016	1.022	1.027	1.032	1.057	1.082	1.096	1.105	1.111	1.117	1.123	1.131	1.142
0.16	1	1.008	1.010	1.011	1.012	1.013	1.019	1.025	1.031	1.035	1.060	1.086	1.101	1.111	1.117	1.123	1.130	1.138	1.149
0.18	1	1.010	1.012	1.013	1.014	1.016	1.022	1.029	1.034	1.038	1.063	1.090	1.106	1.116	1.124	1.129	1.137	1.145	1.158
0.2	1	1.012	1.014	1.015	1.017	1.018	1.026	1.033	1.038	1.041	1.066	1.094	1.110	1.121	1.128	1.136	1.144	1.153	1.166
0.3	1	1.027	1.029	1.031	1.033	1.035	1.045	1.051	1.054	1.055	1.080	1.113	1.133	1.146	1.155	1.165	1.175	1.187	1.205
0.4	1	1.049	1.052	1.054	1.057	1.059	1.068	1.071	1.071	1.071	1.099	1.135	1.157	1.173	1.184	1.196	1.209	1.225	1.248
0.5	1	1.082	1.085	1.087	1.089	1.091	1.096	1.096	1.095	1.095	1.126	1.164	1.187	1.203	1.215	1.229	1.246	1.266	1.292
0.6	1	1.126	1.128	1.129	1.130	1.131	1.131	1.129	1.128	1.129	1.161	1.196	1.218	1.234	1.248	1.262	1.284	1.311	1.337
0.7	1	1.176	1.175	1.175	1.175	1.174	1.171	1.169	1.168	1.169	1.195	1.224	1.242	1.256	1.269	1.288	1.314	1.343	1.365
0.8	1	1.215	1.214	1.212	1.211	1.210	1.204	1.200	1.198	1.196	1.210	1.228	1.241	1.252	1.267	1.291	1.316	1.341	1.355
0.9	1	1.215	1.212	1.210	1.208	1.206	1.198	1.191	1.185	1.180	1.178	1.184	1.190	1.199	1.218	1.240	1.259	1.271	1.272
1	1	1.133	1.130	1.128	1.125	1.123	1.112	1.102	1.094	1.087	1.070	1.067	1.069	1.080	1.098	1.105	1.104	1.094	1.073
1.1	1	0.951	0.948	0.946	0.943	0.941	0.930	0.921	0.912	0.905	0.884	0.877	0.882	0.887	0.879	0.861	0.842	0.820	0.801
1.2	1	0.710	0.708	0.707	0.705	0.703	0.695	0.688	0.682	0.677	0.661	0.658	0.649	0.633	0.613	0.597	0.583	0.571	0.561
1.3	1	0.498	0.497	0.496	0.495	0.494	0.490	0.486	0.483	0.480	0.471	0.461	0.449	0.439	0.426	0.427	0.420	0.415	0.413
1.4	1	0.376	0.375	0.375	0.375	0.374	0.373	0.371	0.370	0.368	0.363	0.361	0.359	0.358	0.357	0.355	0.354	0.351	0.351
1.5	1	0.334	0.334	0.333	0.333	0.333	0.332	0.331	0.331	0.330	0.330	0.331	0.332	0.333	0.332	0.333	0.331	0.333	0.331
1.6	1	0.320	0.319	0.319	0.319	0.319	0.318	0.318	0.317	0.317	0.317	0.319	0.320	0.321	0.320	0.320	0.322	0.319	0.319
1.7	1	0.308	0.308	0.308	0.308	0.308	0.307	0.307	0.306	0.306	0.306	0.307	0.308	0.309	0.309	0.308	0.309	0.308	0.308
1.8	1	0.296	0.296	0.296	0.296	0.296	0.295	0.295	0.294	0.294	0.294	0.295	0.296	0.296	0.295	0.297	0.295	0.297	0.292
1.9	1	0.283	0.283	0.283	0.283	0.282	0.282	0.282	0.281	0.281	0.281	0.281	0.282	0.282	0.284	0.283	0.281	0.280	0.280
≥ 2	1	0.268	0.268	0.268	0.268	0.268	0.267	0.267	0.267	0.266	0.266	0.266	0.266	0.266	0.262	0.261	0.256	0.263	0.266

附录 C 钢材的补充规定

C.1 总则

- C.1.1 本附录作为规范正文的补充，对已列入本规范但未列入压力容器（承压设备）专用锻件行业标准的钢材提出了要求。
- C.1.2 选用钢材除应符合本附录的规定外，还应符合本规范的有关规定。
- C.1.3 选用已列入本规范但未列入压力容器（承压设备）专用锻件行业标准的钢材，应当符合本附录的规定。同时钢材研制单位在完成试验研究工作的基础上，应当制定企业标准并且按照相关规定向社会公示，提供必要的材料数据（包括化学成分、拉伸性能、疲劳试验数据、断裂韧性以及其它满足该材料使用范围要求的相应性能参数）。直管和弯管用钢材应经国家市场监督管理总局核准的压力容器材料（锻件）型式试验机构的试验验证，证明各项性能指标能够满足本附录和相关压力容器材料标准要求的，方可用于制造压力容器。

C.2 超高压设备元件用锻件

- C.2.1 40CrMoV 锻件的技术要求如下：
- 1 40CrMoV 的化学成分（熔炼分析）应符合下表规定。

表 C.2.1-1 40CrMoV 化学成分（熔炼分析）

化学成分（质量分数）/%							
化学元素	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V
熔炼分析	0.36~0.44	0.45~0.85	≤0.40	0.90~1.20		0.50~0.65	0.25~0.35
化学元素	Cu*	S*	P*	Sb*	Sn*	As*	[H]*
熔炼分析		≤0.005	≤0.012				≤2ppm
化学元素	[O]*	[N]*	Pbi*	Bi*	Al*		
熔炼分析	≤20ppm	≤80ppm			≤0.015		
注： 1. 带*元素分析结果之和应不大于 0.10%。 2. 主体材料的化学成分熔炼分析应按炉（罐）号取样，成品分析结果与上表规定值的总体偏差应符合 GB/T 222 的规定，其中 P+0.003%，S+0.002%。							

- 2 锻件经淬火+回火热处理后的力学性能应符合下表规定。

表 C.2.1-2 40CrMoV 常温力学性能

检验项目	40CrMoV
R_m MPa	850~1000
$R_{p0.2}$ MPa	直径≤100mm 时，≥700 直径>100mm 时，≥640
A %	≥14（纵向）

检验项目		40CrMoV
Z	%	≥45
L_E	mm	≥0.64
KV_2	J	(0℃)
硬度	HBW	255~300

3 40CrMoV 原材料的高温性能应满足如下表要求。

表 C.2.1-3 40CrMoV 高温力学性能 $R_{p0.2}$ (MPa)

温度 /℃	20	50	100	150	200	250	300	350	400
直径≤100mm	700	687	670	647	631	608	593		
直径>100mm	640	631	612	591	577	556	542		

C.2.2 21CrMoV 锻件的技术要求如下：

1 21CrMoV 的化学成分（熔炼分析）应符合下表规定。

表 C.2.2-1 21CrMoV 化学成分（熔炼分析）

化学成分（质量分数）/%							
化学元素	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V
熔炼分析	0.17~0.25	0.40~0.80	≤0.40	1.20~1.50	≤0.60	0.55~0.80	0.20~0.35
化学元素	Cu*	S*	P*	Sb*	Sn*	As*	[H]*
熔炼分析		≤0.005	≤0.012				≤2ppm
化学元素	[O]*	[N]*	Pbi*	Bi*	Al*		
熔炼分析	≤20ppm	≤80ppm			≤0.030		
注： 1. 带*元素分析结果之和应不大于 0.10%。 2. 主体材料的化学成分熔炼分析应按炉（罐）号取样，成品分析结果与上表规定值的总体偏差应符合 GB/T 222 的规定，其中 P+0.003%，S+0.002%。							

2 锻件经淬火+回火热处理后的力学性能应符合下表规定。

表 C.2.2-2 21CrMoV 力学性能

检验项目		21CrMoV
R_m	MPa	直径≤250mm 时，700~850 直径>250mm 时，640~790
$R_{p0.2}$	MPa	直径≤250mm 时，≥550 直径>250mm 时，≥490
$R_m^{300℃}$	MPa	直径≤250mm 时，≥460 直径>250mm 时，≥412
A	%	≥16（纵向） ≥14（横向）
Z	%	≥45
L_E	mm	≥0.64
KV_2	J	(0℃)
硬度	HBW	直径≤250mm 时，205~255

检验项目	21CrMoV
	直径>250mm 时, 190~235
屈强比	≤0.85

3 21CrMoV 原材料的高温性能应满足如下表要求。

表 C.2.2-3 21CrMoV 高温力学性能 (Rp0.2) (MPa)

温度 °C	20	50	100	150	200	250	300	350	400
直径≤250mm	550				500	480	460	441	412
直径>250mm	490						412	392	363

C. 2. 3 31Cr2Ni2Mo 锻件的技术要求如下：

1 31Cr2Ni2Mo 的化学成分（熔炼分析）应符合下表规定。

表 C.2.3-1 31Cr2Ni2Mo 化学成分（熔炼分析）

化学成分（质量分数）/%							
化学元素	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V
熔炼分析	0.26~0.34	0.30~0.60	≤0.40	1.80~2.20	1.80~2.20	0.30~0.50	
化学元素	Cu	S*	P*	Sb*	Sn*	As*	[H]*
熔炼分析	≤0.40	≤0.005	≤0.012				≤2ppm
化学元素	Pbi*	Bi*	[O]*	[N]*			
熔炼分析			≤20ppm	≤80ppm			
注： 1.带*元素分析结果之和应不大于 0.10%。 2. 主体材料的化学成分熔炼分析应按炉（罐）号取样，成品分析结果与上表规定值的总体偏差应符合 GB/T 222 的规定，其中 P+0.003%，S+0.002%。							

2 锻件经淬火+回火热处理后的力学性能应符合下表规定。

表 C.2.3-2 31Cr2Ni2Mo 常温力学性能

检验项目	31Cr2Ni2Mo	
Rm MPa	1030~1350	
Rp0.2 MPa	≥900	
Rm ^{300℃} MPa	≥735	
A %	≥16（纵向） ≥14（横向）	
Z %	≥50（纵向） ≥40（横向）	
LE mm	≥0.64	
KV ₂ J	(0℃)	≥55（纵向，三个试样平均值） ≥45（横向，三个试样平均值）
硬度 HBW	320~410	
屈强比	≤0.93	

3 31Cr2Ni2Mo 原材料的高温性能应满足如下表要求。

表 C.2.3-3 31Cr2Ni2Mo 高温力学性能 Rp0.2 (MPa)

温度 °C	20	50	100	150	200	250	300	350	400
直径≤310mm							735	710	

C. 2. 4 30Cr2Ni2Mo 锻件的技术要求如下：

1) 30Cr2Ni2Mo 的化学成分（熔炼分析）应符合下表规定。

表 C.2.4-1 30Cr2Ni2Mo 化学成分（熔炼分析）

化学成分（质量分数）/%							
化学元素	C	Mn	Si	Cr	Ni ^{（注3）}	Mo	V
熔炼分析	0.26~0.34	0.30~0.60	≤0.40	1.80~2.20	1.80~2.20	0.30~0.50	
化学元素	Cu	S*	P*	Sb*	Sn*	As*	[H]*
熔炼分析	≤0.40	≤0.003	≤0.007				≤2ppm
化学元素	[O]*	[N]*	Pbi*	Bi*			
熔炼分析	≤20ppm	≤80ppm					
注： 1. 带*元素分析结果之和应不大于 0.10%。 2. 主体材料的化学成分熔炼分析应按炉（罐）号取样，成品分析结果与上表规定值的总体偏差应符合 GB/T 222 的规定，其中 P+0.003%，S+0.002%。 3. 如需，Ni 含量可增加至 2.50%。							

2) 锻件经淬火+回火热处理后的力学性能应符合下表规定。

表 C.2.4-2 30Cr2Ni2Mo 常温力学性能

检验项目		30Cr2Ni2Mo
R_m	MPa	960~1160
$R_{p0.2}$	MPa	≥840
A	%	≥16（纵向） ≥14（横向）
Z	%	≥50（纵向） ≥40（横向）
L_E	mm	≥0.64
K_{IC}	MPa·m ^{1/2}	≥150
KV_2	J (0℃)	≥80（纵向，三个试样平均值） ≥73（纵向，单个试样最低值） ≥60（横向，三个试样平均值） ≥55（横向，单个试样最低值）
KV_2	J (-40℃)	≥50（纵向，三个试样平均值） ≥45（纵向，单个试样最低值） ≥40（横向，三个试样平均值） ≥35（横向，单个试样最低值）
硬度	HBW	290~335
屈强比		≤0.93

3) 30Cr2Ni2Mo 原材料的高温性能应满足如下表要求。

表 C.2.4-3 30Cr2Ni2Mo 高温力学性能

温度 °C	20	50	100	150	200	250	300	350	400
$R_{p0.2}$ MPa	840						690	665	
R_m MPa									

G. 2.5 25Ni4CrMoV 锻件的技术要求如下：

1) 25Ni4CrMoV 的化学成分（熔炼分析）应符合下表规定。

表 C.2.5-1 25Ni4CrMoV 化学成分（熔炼分析）

化学成分（质量分数）/%							
化学元素	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V
熔炼分析	0.23~0.28	0.18~0.35	0.15~0.30	1.30~1.50	3.40~4.50	0.40~0.70	0.08~0.19
化学元素	Cu*	S*	P*	Sb*	Sn*	As*	[H]*
熔炼分析	≤0.10	≤0.003	≤0.007				≤2ppm
化学元素	[O]*	[N]*	Pbi*	Bi*			
熔炼分析	≤20ppm	≤80ppm					
注： 1. 带*元素分析结果之和应不大于 0.10%。 2. 主体材料的化学成分熔炼分析应按炉（罐）号取样，成品分析结果与上表规定值的总体偏差应符合 GB/T 222 的规定，其中 P+0.003%，S+0.002%。							

2) 锻件经过正火、淬火+回火热处理后的力学性能应符合下表规定。

表 C.2.5-2 25Ni4CrMoV 常温力学性能

检验项目		25Ni4CrMoV
R_m	MPa	1100~1260
$R_{p0.2}$	MPa	≥1000
A	%	≥16（纵向） ≥14（横向）
Z	%	≥50（纵向） ≥40（横向）
L_E	mm	≥0.53
K_{IC}	MPa.m ^{1/2}	≥150
KV_2	J	(0℃) ≥80（纵向，三个试样平均值） ≥73（纵向，单个试样最低值） ≥60（横向，三个试样平均值） ≥55（横向，单个试样最低值）
KV_2	J	(-40℃) ≥50（纵向，三个试样平均值） ≥45（纵向，单个试样最低值） ≥40（横向，三个试样平均值） ≥35（横向，单个试样最低值）
硬度	HBW	350~390
屈强比		≤0.93

3) 25Ni4CrMoV 原材料的高温性能应满足如下表要求。

表 C.2.5-3 25Ni4CrMoV 高温力学性能

温度 °C	20	50	100	150	200	250	300	350	400
$R_{p0.2}$ MPa	1000						900		
R_m MPa									

G. 2. 6 05Cr16Ni5Mo 锻件的技术要求如下：

1) 05Cr16Ni5Mo 的化学成分（熔炼分析）应符合下表规定。

表 C.2.6-1 05Cr16Ni5Mo 化学成分（熔炼分析）

化学成分（质量分数）/%							
化学元素	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N
熔炼分析	≤0.06	≤1.50	≤0.70	15.0~17.0	4.0~6.0	0.80~1.50	0.02~0.08
化学元素	Cu*	S*	P*	Sb*	Sn*	As*	[H]*
熔炼分析		≤0.005	≤0.025				≤2ppm
化学元素	[O]*	Pbi*	Bi*				
熔炼分析	≤20ppm						
注： 1. 带*元素分析结果之和应不大于 0.10%。 2. 主体材料的化学成分熔炼分析应按炉（罐）号取样，成品分析结果与上表规定值的总体偏差应符合 GB/T 222 的规定，其中 P+0.003%，S+0.002%。							

2) 锻件经淬火+回火热处理后的力学性能应符合下表规定。

表 C.2.6-2 05Cr16Ni5Mo 常温力学性能

检验项目		05Cr16Ni5Mo
R_m	MPa	900~1200
$R_{p0.2}$	MPa	≥800
A	%	≥16（纵向） ≥14（横向）
Z	%	≥50（纵向） ≥40（横向）
L_E	mm	≥0.64
K_{IC}	MPa.m ^{1/2}	≥180
KV_2	J	(0℃) ≥81（纵向，三个试样平均值） ≥73（纵向，单个试样最低值） ≥74（横向，三个试样平均值） ≥55（横向，单个试样最低值）
		(-40℃) ≥50（纵向，三个试样平均值） ≥45（纵向，单个试样最低值） ≥40（横向，三个试样平均值） ≥35（横向，单个试样最低值）

检验项目	05Cr16Ni5Mo
硬度 HBW	280~360
屈强比	≤0.90

3)05Cr16Ni5Mo 原材料的高温性能应满足如下表要求。

表 C.2.6-3 05Cr16Ni5Mo 高温力学性能

温度 °C	20	50	100	150	200	250	300	350	400
$R_{p0.2}$ MPa	800						690		
R_m MPa									

附录 D 超高压管系柔性分析

D.1 一般规定

- D.1.1 每个管道系统均应进行柔性设计，管道系统应具有足够柔性，不得产生下列情况：
- 1 管道或支承件损坏；
 - 2 接头处泄漏；
 - 3 在管道和阀门或与之相连的设备产生有害的应力或变形。
- D.1.2 柔性设计需考虑动态荷载（如机械振动、流体脉动），必要时进行模态分析或疲劳评估。

D.2 荷载及其组合工况

- D.2.1 荷载及其组合工况按现行国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分：设计和计算》GB/T 20801.3 执行。

D.3 静态应力分析和强度条件

- D.3.1 持续载荷的应力强度条件、最高金属温度、厚度应符合现行国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分：设计和计算》GB/T 20801.3 的规定。

- D.3.2 持续载荷与偶然性载荷组合工况的应力限制条件

- 1 运行期间：由于持续载荷如压力、重量、临时荷载如风或地震产生的应力总和应不大于现行国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分：设计和计算》GB/T 20801.3 中所给最高金属温度下许用应力 S_h 的 1.2 倍。无需考虑风力和地震力同时发生的情况。
- 2 试验期间：压力试验工况不考虑如风载、地震等偶然载荷。

- D.3.3 柔性分析参照现行行业标准《石油化工管道柔性设计规范》SH/T 3041 执行，其中管道系统中计算的位移应力范围 S_E 应不超过按下式计算的许用位移应力范围 S_A ：

$$S_A = 1.25S_c + 0.25S_h \quad \text{D.3.3}$$

式中：

S_c ——最低金属温度下的许用应力，MPa；

S_h ——最高金属温度下的许用应力，MPa。

- D.3.4 管道补偿参照现行国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分：设计和计算》GB/T 20801.3 执行，在本附录规定范围内的管道上不应使用膨胀节。

- D.3.5 管道的动力分析参照现行国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分：设计和计算》GB/T 20801.3 执行，动力分析需涵盖固有频率、强制振动响应及疲劳寿命评估。

附录 E 反应器螺纹法兰系列

E.1 总则

本附录适用于设计压力范围在 300MPa~350MPa，管道材质为 05Cr16Ni5Mo、30Cr2Ni2Mo、35CrNi3MoVR 或 25Ni4CrMoV 的超高压管道系统的结构型式及尺寸系列选用。

E.2 超高压管道装配的结构形式及尺寸系列

E. 2. 1 超高压管道装配结构形式如图 E.2.1 所示。

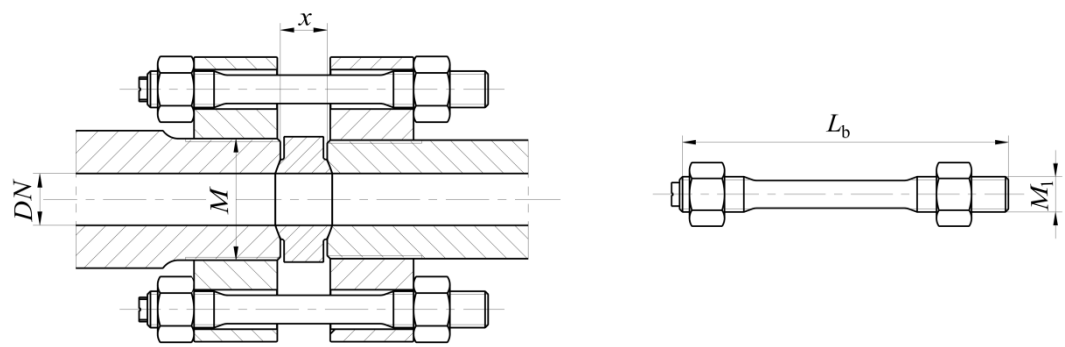


图 E.2.1 超高压管道装配的结构形式

E. 2. 2 超高压管道装配尺寸系列按表 E.2.2-1 和 E.2.2-2 的规定。

表 E.2.2-1 材质为 05Cr16Ni5Mo/30Cr2Ni2Mo

的超高压管道装配尺寸系列								单位: mm
公称直径 <i>DN</i>	直管尺寸 <i>M</i>	弯管尺寸 <i>M</i>	螺栓直径 <i>M₁</i>	螺栓直径 <i>n</i>	螺栓长度 <i>L_b</i>	配合间隙 <i>x</i>	螺栓载荷 kN	螺栓扭矩 N·m
10	G ¾"	G 1	M20	4	-	9	-	200
25	G 1¾"	G2 ¼"	M24	6	-	16	-	400
32	M75×3	M82×3	M30	6	235	22	160	530
50	M115×3	M120×3	M45	6	365	55	380	1900
55	M125×3	M155×4	M48	6	419	62	390	2000
62	M145×4	M160×4	M48	8	419	62	410	2200
65	M150×4	M160×4	M48	8	409	52	450	2400
68	M156×4	M160×4	M48	8	419	62	500	2600
72	M164×4	M176×4	M48	8	437	67	560	3000
76	M176×4	M176×4	M56	8	476	65	620	3800

表 E.2.2-2 材质为 25Ni4CrMoV/35CrNi3MoVR 的超高压管道装配尺寸系列 单位: mm

公称直径 DN	直管尺寸 M	弯管尺寸 M	螺栓直径 M_1	螺栓直径 n	螺栓长度 L_b	配合间隙 x	螺栓载荷 kN	螺栓扭矩 N·m
10	G ¾"	G 1	M20	4	-	~9		200
32	M75×3	M82×3	M30	6	235	~22	160	530
50	M100×3	M105×3	M39	6	350	~55	410	
62	M120×3	M125×3	M42	6	368	~53	520	
71	M145×4	M160×4	M48	8	432	~55	540	
75	M145×4	M160×4	M48	8	432	~54	540	
89	M170×4	M176×4	M52	8	490	~55	800	

E.3 螺纹法兰的结构形式及尺寸系列

E. 3. 1 螺纹法兰的结构形式如图 E.3.1 所示。

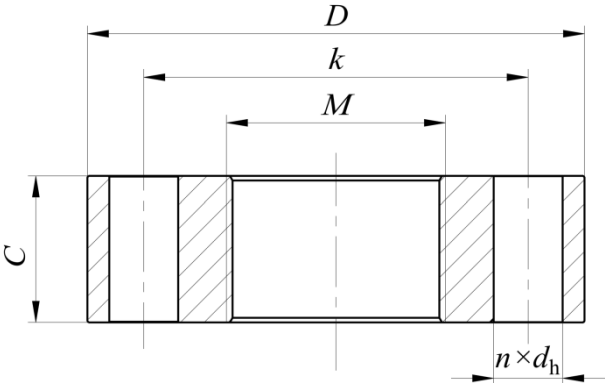


图 E.3.1 螺纹法兰的结构形式

E. 3. 2 螺纹法兰的尺寸系列按表 E.3.2-1 和 E.3.2-2 的规定。

表 E.3.2-1 材质为 05Cr16Ni5Mo/30Cr2Ni2Mo

的超高压管道配套的螺纹法兰尺寸系列									单位: mm
公称直径 DN	直管螺纹代号 M	弯管螺纹代号 M	外径 D	厚度 C	螺栓中心圆 k	螺栓孔直径 d_h	螺栓孔数量 n	螺栓直径 M_1	质量 kg
10	G ¾"		115	25	75	22	4	M20	1.5
		G1							1.7
25	G 1¾"		165	40	115	26	6	M24	5
		G2 ¼"							4.7
32	M75×3		230	55	175	33	6	M30	14
		M82×3							13.5
50	M115×3		320	80	240	48	6	M45	37.5
		M120×3							36
55	M125×3		375	95	290	52	6	M48	64

公称 直径 DN	直管螺 纹代号 M	弯管螺 纹代 号 M	外径 D	厚度 C	螺栓中 心圆 k	螺栓孔 直径 d_h	螺栓孔 数量 n	螺栓 直径 M_1	质量 kg
		M155×4							59
62	M145×4		375	95	290	52	8	M48	58
		M160×4							55
65	M150×4		375	95	290	52	8	M48	57
		M160×4							55
68	M156×4		375	95	290	52	8	M48	56
		M160×4							55
72	M164×4		385	105	296	52	8	M48	65
		M176×4							62
76	M176×4	M176×4	405	115	316	60	8	M56	75

表 E.3.2-2 材质为 25Ni4CrMoV/35CrNi3MoVR

的超高压管道配套的螺纹法兰尺寸系列

单位: mm

公称 直径 DN	直管螺 纹代号 M	螺纹代号 M	外径 D	厚度 C	螺栓中 心圆 k	螺栓孔 直径 d_h	螺栓孔 数量 n	螺栓 直径 M_1	质量 kg
10	G ¾	-	115	25	75	22	4	M20	1.5
	-	G 1							1.7
32	M75×3		230	55	175	33	6	M30	14
		M82×3							13.5
50	M100×3		290	80	220	42	6	M39	31.6
		M105×3							31
62	M120×3		315	85	245	45	6	M42	38.2
		M125×3							37.5
75	M145×4		375	110	290	52	8	M48	67
		M160×4							64
89	M170×4		400	130	320	56	8	M52	87
		M176×4							85

E.4 超高压热弯弯管管端的结构形式及尺寸系列

E. 4. 1 超高压热弯弯管管端的结构形式如图 E.4.1 所示。

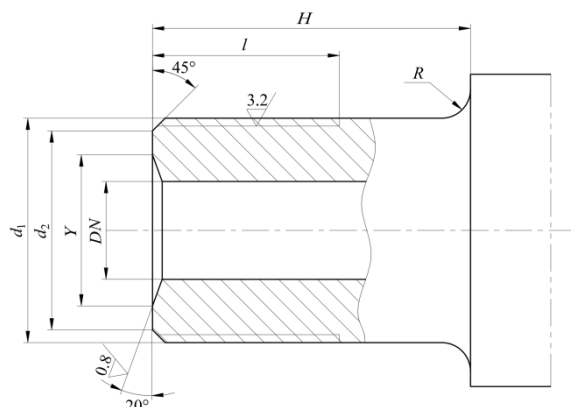


图 E.4.1 超高压热弯弯管管端的结构形式

E. 4. 2 超高压热弯弯管管端的尺寸系列按表 E.4.2-1 和 E.4.2-2 的规定。

表 E.4.2-1 材质为 05Cr16Ni5Mo/30Cr2Ni2Mo

的超高压热弯弯管管端尺寸系列							单位: mm
公称尺寸 DN	螺纹代号 M	端面外径 d_2	端面内径 d_1	密封直径 d_j	螺纹长度 l	管端长度 H	圆弧倒角 R
10	G1" B	33.24 ⁺⁰ _{-0.35}	29	19 ⁺² _{-0.5}	38	70	3
25	G2 1/4" B	65.71 ⁺⁰ _{-0.43}	61	40 ⁺² _{-0.5}	55	95	5
32	M82×3-6g	81.95 ⁺⁰ _{-0.37}	76	50 ⁺² _{-0.5}	65	120	5
50	M120×3-6g	119.95 ⁺⁰ _{-0.37}	113	80 ⁺² _{-0.5}	90	125	5
55	M155×4-6g	154.94 ⁺⁰ _{-0.47}	147	90 ⁺² _{-0.5}	120	155	5
62	M160×4-6g	159.94 ⁺⁰ _{-0.47}	152	100 ⁺² _{-0.5}	120	155	5
65	M160×4-6g	159.94 ⁺⁰ _{-0.47}	152	103 ⁺² _{-0.5}	120	155	5
68	M160×4-6g	159.94 ⁺⁰ _{-0.47}	152	105 ⁺² _{-0.5}	120	155	5
72	M176×4-6g	175.94 ⁺⁰ _{-0.47}	168	110 ⁺² _{-0.5}	135	180	25
76	M176×4-6g	175.94 ⁺⁰ _{-0.47}	168	120 ⁺² _{-0.5}	140	200	25

表 E.4.2-2 材质为 25Ni4CrMoV/35CrNi3MoVR 的超高压热弯弯管管端尺寸系列

单位: mm

公称尺寸 DN	螺纹代号 M	端面外径 d_2	端面内径 d_1	密封直径 d_j	螺纹长度 l	管端长度 H	圆弧倒角 R
10	G1" B	33.24 ⁺⁰ _{-0.35}	29	19 ⁺² _{-0.5}	38	70	3
32	M82×3-6g	81.95 ⁺⁰ _{-0.37}	76	50 ⁺² _{-0.5}	65	120	5
50	M105×3-6g	104.95 ⁺⁰ _{-0.37}	93	80 ⁺² _{-0.5}	95	130	25
62	M125×3-6g	124.95 ⁺⁰ _{-0.37}	117	95 ⁺² _{-0.5}	110	140	25
75	M160×4 6g	159.94 ⁺⁰ _{-0.47}	152	105 +2 /	125	165	25

公称尺寸 DN	螺纹代号 M	端面外径 d_2	端面内径 d_1	密封直径 d_j	螺纹长度 l	管端长度 H	圆弧倒角 R
				-0.5			
89	M176×4 6g	175.94 ⁺⁰ _{-0.47}	168	133 ⁺² _{-0.5}	150	190	25

E.5 超高压管道及冷弯弯管管端的结构形式及尺寸系列

E. 5. 1 超高压管道及冷弯弯管管端的结构形式如图 E.5.1 所示。

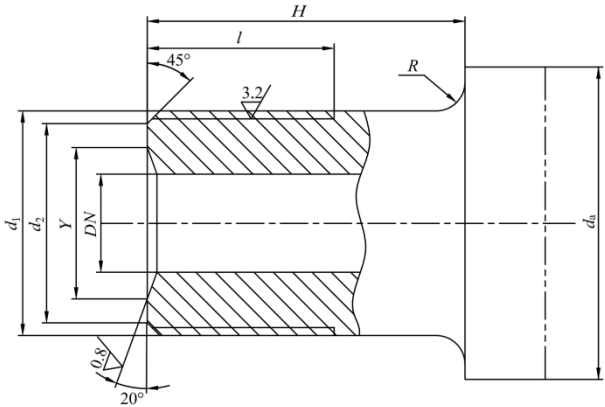


图 E.5.1 超高压管道及冷弯弯管管端的结构形式

E. 5. 2 超高压管道及冷弯弯管管端的尺寸系列按表 E.5.2-1 和 E.5.2-2 的规定。

表 E.5.2-1 材质为 05Cr16Ni5Mo/30Cr2Ni2Mo

的超高压管道及冷弯弯管管端尺寸系列

单位: mm

公称尺寸 DN	直管外径 d_a	螺纹代号 M	端面外径 d_2	端面内径 d_1	密封直径 d_j	螺纹长度 l	管端长度 H	圆弧倒角 R
10	28	G3/4" B	26.44 ⁺⁰ _{-0.28}	23	19 ⁺² _{-0.5}	33	50	10
25	57	G1 3/4" B	53.74 ⁺⁰ _{-0.35}	49	40 ⁺² _{-0.5}	50	80	15
32	80	M75×3-6g	74.95 ⁺⁰ _{-0.37}	68	50 ⁺² _{-0.5}	65	120	15
50	122	M115×3-6g	114.95 ⁺⁰ _{-0.37}	108	80 ⁺² _{-0.5}	95	125	15
55	131	M125×3-6g	124.95 ⁺⁰ _{-0.37}	117	90 ⁺² _{-0.5}	120	170	25
62	150	M145×4-6g	144.94 ⁺⁰ _{-0.47}	137	100 ⁺² _{-0.5}	120	170	25
65	155	M150×4-6g	149.94 ⁺⁰ _{-0.47}	142	103 ⁺² _{-0.5}	120	170	25
68	161	M156×4-6g	155.94 ⁺⁰ _{-0.47}	148	105 ⁺² _{-0.5}	120	170	25
72	169	M164×4-6g	163.94 ⁺⁰ _{-0.47}	157	110 ⁺² _{-0.5}	135	180	25

公称尺寸 DN	直管外径 d_a	螺纹代号 M	端面外径 d_2	端面内径 d_1	密封直径 d_j	螺纹长度 l	管端长度 H	圆弧倒角 R
76	181	M176×4-6g	175.94 _{+0 -0.47}	168	120 _{+2 -0.5}	140	200	25

表 E.5.2-2 材质为 25Ni4CrMoV/35CrNi3MoVR 的超高压管道及冷弯弯管管端尺寸系列 单位：mm

公称尺寸 DN	直管外径 d_a	螺纹代号 M	端面外径 d_2	端面内径 d_1	密封直径 d_j	螺纹长度 l	管端长度 H	圆弧倒角 R
10	28	G 3/4 B	26.44 _{+0 -0.28}	23	19 _{+2 -0.5}	33	50	10
32	80	M75×3-6g	74.95 _{+0 -0.37}	68	50 _{+2 -0.5}	65	120	15
50	105	M100×3-6g	99.95 _{+0 -0.37}	93	80 _{+2 -0.5}	95	130	25
62	125	M120×3-6g	119.95 _{+0 -0.37}	113	95 _{+2 -0.5}	110	140	25
75	150	M145×4-6g	144.94 _{+0 -0.47}	137	105 _{+2 -0.5}	125	165	25
89	175	M170×4-6g	169.94 _{+0 -0.47}	162	133 _{+2 -0.5}	150	190	25

E.6 透镜垫的结构形式及尺寸系列

E. 6. 1 透镜垫的结构形式如图 E.6.1 所示。

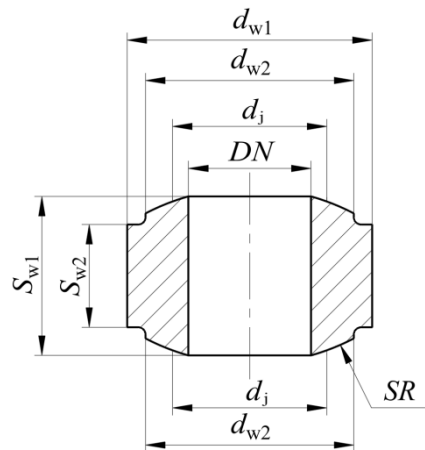


图 E.6.1 透镜垫的结构形式

E. 6. 2 透镜垫的尺寸系列按表 E.6.2-1 和 E.6.2-2 的规定。

表 E.6.2-1 材质为 05Cr16Ni5Mo/30Cr2Ni2Mo

的透镜垫尺寸系列						单位：mm	
公称直径 DN	凸肩内径 d_{w1}	凸肩外径 d_{w2}	总厚度 S_{w1}	凸肩厚度 S_{w2}	曲率半径 SR	密封直径 d_j	质量 kg
10	22	34	12	6	22	15	0.045

25	48	65	22	7.5	43	29.4	0.27
32	58	90	28	12	60	41	1.1
50	95	130	65	42	95	65	4.5
55	95	145	75	50	95	65	5.4
62	100	155	75	52	114	78	6.9
65	103	158	65	42	116	79.3	5.7
68	105	165	75	52	120	82.1	8.2
76	120	200	80	54	140	95.8	12.7

表 E.6.2-2 材质为 25Ni4CrMoV/35CrNi3MoVR 的透镜垫尺寸系列 单位: mm

公称直径 DN	凸肩内径 d_{w1}	凸肩外径 d_{w2}	总厚度 S_{w1}	凸肩厚度 S_{w2}	曲率半径 SR	密封直径 d_j	质量 kg
10	22	34	12	6	22	15	0.045
32	58	90	28	12	60	41	1.1
50	85	100	65	42	92	62.9	2.4
62	100	125	65	40	107	73.2	3.5
75	110	146	65	42	128	87.6	5.2
89	134	175	70	45	155	106	7.7

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 规范中指定应按其他有关标准、规定执行时的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- [1] 《压力容器》GB/T 150（所有部分）
- [2] 《普通螺纹 基本尺寸》GB/T 196
- [3] 《普通螺纹 公差》GB/T 197
- [4] 《钢的成品化学成分允许偏差》GB/T 222
- [5] 《钢铁及合金化学分析方法》GB/T 223
- [6] 《钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法》GB/T 226
- [7] 《金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法》GB/T 228.1
- [8] 《金属材料 拉伸试验 第2部分：高温试验方法》GB/T 228.2
- [9] 《金属材料 夏比摆锤冲击试验方法》GB/T 229
- [10] 《低合金高强钢》GB/T 1591
- [11] 《一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差》GB/T 1804
- [12] 《结构钢低倍组织缺陷评级图》GB/T 1979
- [13] 《碳素钢和中低合金钢 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法（常规法）》GB/T 4336
- [14] 《极限与配合 过盈配合的计算和选用》GB/T 5371
- [15] 《表面粗糙度比较样块 磨、车、镗、铣、插及刨加工表面》GB/T 6060.2
- [16] 《金属平均晶粒度测定法》GB/T 6394
- [17] 《石化和化工装置用无缝钢管》GB/T 9948
- [18] 《钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微检验法》GB/T 10561
- [19] 《钢铁 氧含量的测定 脉冲加热惰气熔融-红外线吸收法》GB/T 11261
- [20] 《钢铁 总碳硫含量的测定 高频感应炉燃烧后红外线吸收法》GB/T 20123
- [21] 《钢铁 氮含量的测定 惰性气体熔融热导法（常规方法）》GB/T 20124
- [22] 《压力管道规范 工业管道 第3部分：设计和计算》GB/T 20801.3
- [23] 《金属材料 准静态断裂韧性的统一试验方法》GB/T 21143
- [24] 《超高压容器》GB/T 34019
- [25] 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- [26] 《混凝土结构设计标准》GB/T 50010
- [27] 《建筑抗震设计标准》GB/T 50011
- [28] 《建筑设计防火规范》GB 50016
- [29] 《钢结构设计标准》GB 50017
- [30] 《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046
- [31] 《石油化工企业设计防火标准》GB 50160
- [32] 《构筑物抗震设计规范》GB 50191
- [33] 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
- [34] 《钢结构焊接规范》GB 50661
- [35] 《石油化工建筑物抗爆设计标准》GB/T 50779
- [36] 《石油化工建（构）筑物结构荷载规范》GB 51006
- [37] 《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249
- [38] 《建筑防火通用规范》GB 55037
- [39] 《钢制化工容器强度计算规范》HG/T 20582
- [40] 《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82

- [41] 《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》NB/T 47008
- [42] 《低温承压设备用低合金钢锻件》NB/T 47009
- [43] 《承压设备无损检测 第3部分：超声检测》NB/T 47013.3
- [44] 《承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测》NB/T 47013.4
- [45] 《承压设备无损检测 第13部分：脉冲涡流检测》NB/T 47013.13
- [46] 《石油化工设备和管道涂料防腐蚀设计规范》SH/T 3022
- [47] 《石油化工管道柔性设计规范》SH/T 3041
- [48] 《石油化工钢结构防火保护技术规范》SH 3137
- [49] 《石油化工建（构）筑物防腐蚀设计规范》SH/T 3233
- [50] 《石油化工钢结构防腐蚀涂料应用技术规程》SH/T 3603
- [51] 《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21

中国石油和化工勘察设计协会团体标准

超高压管式反应器和换热器系统设计规范

T /HG 13950 — 202X

条文说明

目 次

编制说明

《超高压管式反应器和换热器系统设计规范》G/HG 13950-202X，经中国石油和化工勘察设计协会 xxxx 号公告批准发布。

本规范为新编，主要技术内容是：

- 1、总则；
- 2、术语；
- 3、通用要求；
- 4、设计一般要求；
- 5、材料；
- 6、设计；
- 7、制造、检验和验收
- 8、附录 A 反应器超压泄放装置；
- 9、附录 B 筒体上裂纹的合于使用评价；
- 10、附录 C 钢材的补充规定；
- 11、附录 D 超高压管系柔性分析；
- 12、附录 E 反应器螺纹法兰系列。

本规范编制过程中，编制组进行了广泛的调查研究和深入的交流讨论，认真总结了高压聚烯烃装置的超高压管式反应器的选材、设计、制造经验，以及相关装置的运行经验，同时参考了国外先进的技术标准和工程资料（ASME VIII-3、API 579-1 等）。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《超高压管式反应器和换热器系统设计规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

1 总则

1.0.1 根据调研，现有高压聚烯烃装置的管式反应器或管式换热器设计压力范围为 320~345MPa，设计温度范围为 300~350℃，因此将设计压力上限设定为 350MPa；同时，考虑到本规范附录 E 的螺纹法兰仅提供了 350MPa 压力等级的尺寸系列，因此将设计压力范围下限设定为 300MPa。如其他管式反应器或管式换热器的压力低于该范围，可参照本规范进行选材、设计和制造，但螺纹法兰的尺寸系列应重新设计计算。

2 术语

2.0.2 超高压管式反应器及换热器系统

从设计流程出发，超高压设备尤其是管式设备有别于高、中低压设备的一个重要特点是，在进行超高压设备自身设计之前，应对超高压设备及其管系作为一个系统进行工艺、布置、脉动/振动分析等，因此，针对超高压设备及其超高压管系，将其定位为“反应器系统”，针对超高压设备，将其定义为“反应器”，加以区分。

2.0.6 反应坝

反应坝的主体结构为四面防爆墙，作为反应器事故工况时最后一道物理屏障，保护反应坝外部设备、人员和环境的安全。

4 设计一般要求

4.0.6 反应器设计时,应充分考虑反应器全生命周期内所有操作工况和开停车、事故工况的组合,以及各种危险载荷组合,尤其是管道载荷和爆破载荷,再根据本规范列出的失效模式进行设计计算。

5 材料

5.0.1 本规范列出的超高压元件用材料是根据国际上超高压设备选用的成熟材料加以引用，具体材料牌号对照见下表，其中，国标牌号依据《钢铁产品牌号表示方法》GB/T 221-2008 表示。引用的材料化学成分（见本规范附录 C）与 DIN 和 ASME 材料牌号一致，提高了对杂质含量的要求，强度和韧性储备的要求也有所提高。

DIN/ASME 材料牌号	材料缩写	材料标准	国标牌号
DIN 1.7711	40CrMoV4-6	DIN EN 10269	40CrMoV
DIN 1.7709	21CrMoV5-7	DIN EN 10269	21CrMoV
DIN 1.6580	30CrNiMo8	DIN EN 10083-1	31Cr2Ni2Mo
DIN 1.6580, Modified	30CrNiMo8	DIN EN 10083-3	30Cr2Ni2Mo
ASME SA-723 Gr.3 Cl.3 Modified	4Ni-1.5Cr-0.5Mo-V	ASME SA-723	25Ni4CrMoV
DIN 1.4418	X4CrNiMo16-5	DIN EN 10272	05Cr16Ni5Mo
/	/	/	35CrNi3MoVR
/	/	/	36CrNi3MoVR

6 设计

6.1 反应器系统工艺设计

6.1.1 超高压反应器系统在结构设计之前，需进行工艺设计，高压聚烯烃装置的反应器主要有釜式和管式两种技术路线。

釜式和管式在结构上的特点是，釜式反应器是带内部搅拌的立式容器，釜内物料接近于全混流状态，搅拌系统的作用是强力混合、防止反应器内壁粘壁结焦，并强化外部夹套的传热效果；管式反应器是一根长径比非常大的带外加套的管子，通常盘绕过着直排布置以节省空间，反应器内部无内件，物料在管内的流动接近于平推流状态。釜式和管式在产品上的区别是，釜式反应器生产的产品长支链多、分子量分布宽、熔体强度高、加工性能好、光学性能较差、柔韧性好，典型应用是重包装袋、拉伸膜和电缆料；管式反应器生产的产品长支链少、分子量分布窄、熔体强度较低、光学性能好、典型应用是农用膜、轻包装膜和高透明薄膜。

本规范的范畴是管式法工艺路线中，超高压管式反应器系统的设计，但也适用于釜式法工艺路线中预热器和后冷器的设计。

6.4 反应器系统脉动、振动和应力分析设计

6.4.1 反应器系统的脉动分析、振动分析应在设备和管道初步布置之后、超高压设备和管道结构设计之前进行，对设备和管道的布置至关重要，目的是评估由往复式压缩机的压力脉动对整个系统的振动和疲劳失效的影响，保障系统长期安全运行。

6.5 反应器机械设计计算

6.5.1 管式反应器的典型结构参见图 6.5.1 所示，各工艺包在结构上的区别主要是热缩套的细节、弯管是小半径还是大半径、夹套三通是焊接还是法兰连接、一次支架的型式和位置。整个管式反应器即由这样几百根乃至上千根直管/弯管组成。反应器的布置方案，主要取决于工艺包的工艺路线以及脉动分析、振动分析的结果。

6.5.2 反应器的设计计算要求主要执行 GB/T 34019-2017，区别在于第 6.5.7 条的疲劳分析评定（断裂力学法）中，引入 ASME VIII-3-2023 的 R_k 和马氏体沉淀硬化钢的裂纹扩展速率，并根据 API 579-1-2021，增加了裂纹的合于使用评价的相关要求。

6.5.9 本规范范围内压力等级的超高压管螺纹法兰可先按附录 E 选取后，再按相应标准核算法兰厚度、螺纹、透镜垫厚度和螺柱尺寸。当修改附录 E 的尺寸链时，注意应与螺栓拉伸器厂家确定螺栓的安装空间是否足够。

6.5.10 GB/T 5371 未考虑工况分析，设计者应自行考虑热缩套过盈量计算时的工况顺序和组合，如超高压管存在自增强处理时，过盈量计算应相应考虑。

7 制造检验和验收

7.1 通用要求

7.1.1 超高压元件工作环境苛刻，失效可能引发泄漏、爆炸等重大安全事故。对于外购的超高压元件，应进行复验。以“同一炉号 + 同一热处理制度”为批次，逐批复验三项核心项目：化学成分（确认元素含量达标）、常规力学性能（如抗拉强度、屈服强度、冲击功等）、金相组织（检查组织结构合理性），确保元件力学性能、金相组织满足高压工况下的承载与抗失效需求；逐件复验晶粒度，确保元件微观结构均匀性。

7.1.2 通过锻件编号（单件唯一标识）和炉号（批次标识），确保元件从加工、装配到使用、维护的全程可追溯，便于质量问题定位。硬印标记会在元件表面形成局部应力集中，易成为裂纹源，进而引发高压工况下的失效。严禁使用钢印、冲印等硬印方式，优先采用激光打标、喷墨打印、贴标等无损伤、无应力集中的标记方法。

7.1.3 直管/弯管内表面直接接触高压介质，裂纹等缺陷易被介质侵蚀和高压下加速扩展，故禁止任何缺陷存在，避免从内部引发失效；外表面缺陷会削弱管壁有效承载厚度，防止缺陷导致结构强度不足。内表面采用内窥镜、涡流检测等无损检测方法，外表面优先采用目视结合超声测厚、渗透检测、磁粉检测。

7.1.4 密封面的任何缺陷均会破坏贴合密封性，导致介质泄漏，甚至引发爆炸、中毒等重大安全事故。碰伤、划伤会破坏密封面的平整贴合度，毛刺会导致密封间隙，密封面的尖锐缺陷（如毛刺、深划伤）会加剧密封件的磨损、撕裂，缩短密封件使用周期，因此应避免这些缺陷，确保密封面与密封件形成无间隙贴合。可返修的缺陷（如轻微毛刺、浅划伤）需采用研磨、抛光等无损伤方式返修，返修后重新检验密封贴合度；无法返修（如深碰伤、大面积划伤）则直接报废。

7.2 直管

7.2.1 超高压直管作为核心承压元件，需承受极端压力载荷与介质冲刷，对材质致密性、内部组织均匀性要求极高。锻件通过锻压工艺消除了金属内部气孔、疏松、夹杂等原始缺陷，锻件的致密组织与均匀力学性能，能让直管在超高压工况下均匀承受载荷，避免因内部缺陷导致局部应力集中，降低破裂、泄漏风险。

机械加工可精准控制直管的尺寸公差、壁厚均匀性及内外表面粗糙度，保证加工精度与表面质量，确保与密封件、连接件的适配性。锻件材质的稳定性与机械加工的精准性，能减少直管在长期服役中的疲劳损伤，延长使用寿命，降低维护成本。

超高压直管内表面直接接触高压介质，外表面涉及装配配合与防护处理，粗糙度会直接影响密封可靠性、介质流动特性及抗腐蚀能力。

内表面极低粗糙度可形成光滑表面，减少高压介质流动阻力与冲刷磨损，避免杂质附着滋生腐蚀；同时提升与密封件的贴合密封性，杜绝介质从表面间隙泄漏。外表面适度光滑的表面能保证与连接件、支撑件的贴合精度，避免间隙导致的装配应力集中；便于后续防锈涂层附着，增强防护效果，降低环境腐蚀风险。

超高压直管控制直线度可避免直管与连接件、密封件对接时出现偏差，防止强制装配产生的装配应力，确保贴合紧密、密封可靠。直线度达标能让管壁在高压载荷下受力分布均匀，避免因弯曲导致的局部壁厚有效承载能力下降，降低失效风险。减少介质在管内流动时的湍流与局部冲刷，延长直管使用寿命，同时降低系统振动与噪声。

超高压直管的内径、外径直接影响与密封件、连接件的装配适配性，长度偏差会导致系统安装间隙不均，三者均关联承压均匀性与密封可靠性。

内径偏差：保障管内介质流动顺畅，避免因内径过大导致密封面贴合不足、过小引发装配干涉；同时维持管壁有效承载厚度均匀，防止局部应力集中。外径偏差：确保与法兰、套管等连接件的配合精度，避免间隙过大导致装配松动、过小造成强制安装应力，保障连接稳定性。长度偏差：适配系统整体安装尺寸布局，避免长度超差导致管道对接错位、密封面受力不均，降低装配难度与泄漏风险。

7.2.2 管端螺纹是超高压直管的核心连接承载部位，其尺寸精度、齿形完整性与金属组织稳定性直接决定连接密封性与结构安全性。热处理会产生热胀冷缩与组织转变，易导致螺纹变形、齿根应力集中，甚至破坏加工形成的连续金属纤维结构。

7.2.3 超高压直管内部易存在锻件残留的夹杂、气孔、疏松，或加工过程中产生的裂纹等隐蔽缺陷，这些缺陷在高压工况下会快速扩展，引发爆炸、泄漏等重大安全事故。超声检测具有穿透性强、灵敏度高的特点，直探头纵波可检测内部体积型缺陷，斜探头横波 / 纵波能排查表面及近表面裂纹。

直管局部硬度偏低易产生塑性变形，偏高则可能引发脆性开裂。要求逐件检测与明确硬度差，避免材质不均带来安全隐患。控制同一环线 4 点硬度差 $\leq 20\text{HBW}$ ，防止圆周方向材质不均导致受力集中；限制环线间硬度差 $\leq 30\text{HBW}$ ，避免轴向性能波动，降低局部失效风险。

7.3 热弯弯管

7.3.1 弯管弯制过程中，易因受力不均产生壁厚减薄、椭圆度超标、表面裂纹、组织变形等缺陷，通过试弯件模拟正式生产工艺，排查弯制参数（如弯曲半径、温度、速度）是否合理，避免因工艺不当导致产品缺陷。正式弯制生产前，需完成工艺验证。试弯件需与正式产品采用相同材质、规格（管径、壁厚），并严格遵循拟采用的弯制工艺参数（如弯曲角度、压力、温度）。

椭圆度允许偏差是控制截面变形幅度，保持弯管截面接近圆形，避免因椭圆导致的周向受力不均，降低高压工况下的破裂风险，同时保障与连接件的装配适配性。壁厚减薄量限制弯制过程中因拉伸产生的壁厚损耗，确保有效承压厚度达标，维持材料原本的力学承载能力，避免局部减薄过量引发强度不足。内径流通量保证弯管内部通道顺畅，减少介质流动阻力与湍流冲击，避免因流通截面过小导致的压降增大、能量损耗，同时降低冲刷腐蚀风险。

外径偏差保证弯管与连接件的配合精度，避免外径过大导致装配困难、过小造成连接松动，确保装配后贴合紧密，减少应力集中与泄漏风险。

内径偏差维持管壁有效承压厚度均匀，避免内径过小引发介质流通受阻、湍流加剧，或过大导致密封面贴合不足，兼顾承压安全与流体传输效率。

控制弯曲半径偏差，确保弯管能精准匹配管道系统的布局设计，避免因半径过大或过小导致与其他管件、设备的装配冲突，降低安装难度；让弯管弯曲部位的应力分布均匀，减少局部应力集中，

避免高压载荷下因应力失衡引发失效，同时保障弯管力学性能一致性。

7.3.2 热弯弯管成型过程中，金属经历塑性变形会产生残余应力、晶粒畸变，导致力学性能（强度、韧性）下降。通过恢复性能热处理，消除热弯产生的残余应力，细化畸变晶粒，恢复材料原有的强度、韧性与稳定性，避免高压工况下因应力集中或性能衰减引发失效。

根据弯管材质制定热处理工艺（碳钢 / 低合金钢常用正火 + 回火，不锈钢采用固溶处理），明确加热温度、保温时间、冷却速度（如随炉冷却、空冷），严禁超温或缩短保温时间。弯管成型冷却至室温后尽快开展，避免残余应力长期存在导致裂纹萌生。热处理后通过硬度检测、金相分析验证力学性能恢复情况，满足设计文件要求。

弯管热处理的目的是消除热弯残留的残余应力、细化晶粒，恢复材料力学性能稳定性。若热处理后再弯曲，会重新施加塑性变形，导致残余应力二次产生、晶粒再次畸变，直接破坏热处理效果；同时，再弯曲易引发裂纹、折痕、壁厚不均等缺陷，且可能破坏已合格的椭圆度、弯曲半径等尺寸精度与内表面状态。

7.4 冷弯弯管

7.4.1 多次成型逐步分散塑性变形量，控制每次弯曲的应力集中程度，避免一次性成型导致材料损伤，同时便于调整角度精度，保证弯管尺寸达标。允许角度修正，为尺寸微调预留空间，避免因单次弯曲角度偏差直接判定不合格，提升生产合格率，降低成本。禁止回弯，杜绝反向受力引发的材料疲劳、裂纹萌生，保障弯管整体强度，避免高压工况下因回弯残留缺陷导致失效。

控制弯管角度是防止角度偏差导致的应力集中，避免管道在高压、高温或振动工况下发生疲劳失效；确保弯管与其他管件精准对接，防止因角度偏差引起的额外弯矩和泄漏风险。

7.9 自增强处理

7.9.1 自增强是通过可控塑性变形形成残余压应力，准静态升压可避免冲击载荷导致的局部应力集中；恒压过程能确保管材充分变形、应力均匀分布；平稳降压可防止残余应力松弛或产生新的附加应力。准静态升压（缓慢匀速加压）可让管材内壁应力逐步传递、均匀分布，避免瞬间冲击导致的局部过度变形、裂纹，或壁厚较薄处破裂。恒压过程能为管材提供足够时间完成塑性变形，让残余压应力充分形成且分布均匀，避免因升压过快、无恒压导致的变形不彻底，确保增强效果达标。平稳降压可避免管材内部应力急剧释放，防止残余压应力松弛或产生反向拉应力，保障增强后管材力学性能的稳定性与持久性。完整循环与准静态升压能让应变监测数据更精准，便于实时调整工艺参数，及时预警异常情况，确保自增强过程安全可控。

7.9.2 基于塑性变形动力学原理，金属材料塑性变形需足够时间完成晶格滑移和位错迁移。升压时间 ≥ 15 分钟，防止瞬间高压导致的局部过度变形、微裂纹或破裂，尤其在壁厚不均处或材料缺陷位置；使塑性变形从内壁到外壁逐层发展，形成理想的残余压应力分布，增强整体强度；慢速升压便于应变片精确捕捉变形过程，为工艺参数调整提供可靠数据，及时发现异常。

保压时间 ≥ 1 分钟，确保内壁材料达到稳定屈服并保持足够时间，使残余压应力最大化且分布均匀；促进应力重分布：让管材内部应力达到平衡状态，形成稳定的“内压 - 外拉”残余应力场，

提升抗疲劳能力；在峰值压力下保持一段时间，检验加压系统密封性和管材结构完整性，及时发现泄漏或异常变形。

附录 B 筒体上裂纹的合于使用评价

B.1 一般规定

B.1.1 本附录引入的失效评定图（FAD），是基于 API 579-1-2021 对于容器裂纹型缺陷的 2 级评价方法，FAD 图的横轴表示结构对塑性失稳的阻力，其坐标是含缺陷的容器承受的载荷与屈服强度（造成塑性失稳的载荷）之比 L_r ；纵轴表示结构对脆性断裂的阻力，其坐标是容器承载时缺陷处的应力强度因子 K_I 与材料断裂韧性之比 K_r 。失效评定曲线位于这两种极限失效模式之间。计算评定点的坐标时，需要已知或计算确定容器的几何条件、载荷条件、缺陷尺寸、应力强度因子和极限载荷解、材料的拉伸性能和断裂韧性。如果评定点位于由 FAD 的坐标轴和失效评价曲线所构成的区域，则认为结构安全，如果评定点落在曲线外侧，则结构可能不安全。