

中华人民共和国化工行业标准

氢气管道设计规范

Design code for hydrogen piping and pipeline

HG/T 22821—2025

主编单位：中国寰球工程有限公司北京分公司

批准部门：中华人民共和国工业和信息化部

实施日期：2025年11月1日

 北京科学技术出版社

中华人民共和国工业和信息化部 公告

2025 年 第 7 号

工业和信息化部批准《移动互联网应用未成年人个人信息保护技术要求》等 1128 项行业标准。其中，化工行业 56 项、石化行业 34 项、黑色冶金行业 15 项、有色金属行业 114 项、建材行业 65 项、稀土行业 2 项、机械行业 485 项、汽车行业 34 项、船舶行业 23 项、轻工行业 67 项、纺织行业 39 项、包装行业 2 项、电子行业 55 项、通信行业 137 项。批准《金精矿》等 9 项行业标准外文版。其中，有色金属行业 2 项、黄金行业 1 项、建材行业 2 项、轻工行业 4 项。

附件：4 项化工行业工程建设标准编号、名称和实施日期

中华人民共和国工业和信息化部

二〇二五年四月十日

附件：

4 项化工行业工程建设标准编号、名称和实施日期

序号	标准编号	标准名称	被代替标准编号	实施日期
53	HG/T 20672—2025	造粒塔设计标准	HG/T 20672—2005	2025-11-01
54	HG/T 22821—2025	氢气管道设计规范		2025-11-01
55	HG/T 20273—2025	喷涂型聚脲防护材料涂装工程技术规范	HG/T 20273—2011	2025-11-01
56	HG/T 20705—2025	石油和化学工业工程建设项目管理规范	HG/T 20705—2009	2025-11-01

前 言

本规范根据工业和信息化部《工业和信息化部办公厅关于印发 2019 年第二批行业标准制修订计划的通知》（工信厅科函〔2019〕195 号）的要求，由中国石油和化工勘察设计协会为技术归口单位，协会工艺配管设计专业委员会负责组织，中国寰球工程有限公司北京分公司为主编单位，会同参编单位编制《氢气管道设计规范》HG/T 22821—2025。

本规范在编制过程中，编制组经广泛调查研究，认真总结国内外氢气管道设计和输送的实践经验，吸收国内、外技术成果，进而完成编制工作，经审查最后形成报批稿。

本规范共分 12 章和 1 个附录，主要技术内容包括总则，术语和符号，设计条件和设计准则，材料，管道组成件的选用，管道组成件耐压强度计算，管道布置，应力分析及管道支吊架，预制、施工及检验的要求，绝热及防腐，管道系统的安全规定，长输管道的规定以及相关的附录。

本规范由工业和信息化部负责管理，由中国石油和化工勘察设计协会技术归口，协会工艺配管设计专业委员会负责日常管理，由中国寰球工程有限公司北京分公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见和建议，请与中国石油和化工勘察设计协会工艺配管设计专业委员会联系（联系地址：北京市朝阳区来广营高科技产业园区创达二路 1 号；邮编：100012；电话：010-58676267），以供今后修订时参考。

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：中国寰球工程有限公司北京分公司

参 编 单 位：中国天辰工程有限公司

中国石油工程建设有限公司西南分公司

中国石化工程建设公司

浙江久立特材科技股份有限公司

江苏玉龙钢管科技有限公司

江苏武进不锈股份有限公司

主要起草人：李 敏 贾琦月 代永清 刘建欣 丘 平 王棠昱 白海波 杨 昀
王 跃 许碧璇 刘中阳 程 明 陈俊文 李 科 杜光怡 王哨兵
孙文强 刘一鸣 吉 祥 吕燕青 任 虎

主要审查人：吴礼学 郭卫疆 蔡晓峰 胡先林 尤克勤 彭 书 冯晓华 郭智斌
朱红梅 宋长清 杨昌南 王 琰

目 次

1 总则	(1)
2 术语和符号	(2)
2.1 术语	(2)
2.2 符号	(2)
3 设计条件 and 设计准则	(6)
3.1 设计条件	(6)
3.2 设计准则	(6)
4 材料	(8)
4.1 一般规定	(8)
4.2 使用温度及适用性验证	(8)
4.3 冲击试验方法和验收标准	(8)
4.4 材料的使用要求	(10)
5 管道组成件的选用	(12)
5.1 一般规定	(12)
5.2 法兰、垫片和紧固件	(12)
5.3 阀门	(12)
5.4 管道组成件接头选用要求	(13)
6 管道组成件耐压强度计算	(14)
6.1 一般规定	(14)
6.2 直管	(14)
6.3 斜接弯管、弯管和弯头	(15)
6.4 支管连接的补强	(18)
6.5 非标准异径管	(24)
6.6 平盖	(26)
6.7 特殊法兰、法兰盖和盲板	(27)
7 管道布置	(28)
8 应力分析及管道支吊架	(29)
8.1 一般规定	(29)
8.2 荷载分类及其组合工况	(29)
8.3 管道应力分析的范围及方法	(30)
8.4 持续荷载分析	(31)

8.5	管道柔性分析	(31)
8.6	偶然荷载分析	(34)
8.7	管道支吊架	(34)
9	预制、施工及检验的要求	(35)
9.1	一般规定	(35)
9.2	管道预制	(35)
9.3	管道焊接	(36)
9.4	管道检验	(38)
9.5	管道试验	(38)
10	绝热及防腐	(40)
10.1	绝热	(40)
10.2	防腐	(40)
11	管道系统的安全规定	(41)
11.1	一般规定	(41)
11.2	风险控制	(41)
11.3	超压保护	(41)
12	长输管道的规定	(43)
12.1	一般规定	(43)
12.2	线路	(43)
12.3	输送站场	(45)
12.4	管线强度和稳定性	(46)
12.5	材料	(46)
12.6	管线焊接与检验、试压、干燥与置换	(47)
12.7	管线防腐	(48)
附录 A	金属管道材料的许用应力	(49)
	本规范用词说明	(65)
	引用标准名录	(66)
附：	条文说明	(67)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(2)
3	Design conditions and design criteria	(6)
3.1	Design conditions	(6)
3.2	Design criteria	(6)
4	Material	(8)
4.1	General requirements	(8)
4.2	Working temperature and suitability verification	(8)
4.3	Impact test methods and acceptance criteria	(8)
4.4	Material requirements for usage	(10)
5	Selection of piping components	(12)
5.1	General requirements	(12)
5.2	Flange, gasket and fastener	(12)
5.3	Valve	(12)
5.4	Joint selection requirements	(13)
6	Calculation of strength for piping components	(14)
6.1	General requirements	(14)
6.2	Straight pipe	(14)
6.3	Metre pipe, bend and elbow	(15)
6.4	Reinforcement of branch connection	(18)
6.5	Non-standardized reducer	(24)
6.6	Flat head	(26)
6.7	Special flange, blind flange and blank	(27)
7	Piping layout	(28)
8	Stress analysis, piping support and hanger	(29)
8.1	General requirements	(29)
8.2	Load classification and combined load case	(29)
8.3	Scope and method of piping stress analysis	(30)
8.4	Sustained load analysis	(31)

8.5 Piping flexibility analysis	(31)
8.6 Accidental load analysis	(34)
8.7 Support and hanger	(34)
9 Requirements for prefabrication, construction and inspection	(35)
9.1 General requirements	(35)
9.2 Prefabrication	(35)
9.3 Welding	(36)
9.4 Inspection	(38)
9.5 Testing	(38)
10 Insulation and anti-corrosion	(40)
10.1 Insulation	(40)
10.2 Anti-corrosion	(40)
11 Safety regulations for piping system	(41)
11.1 General requirements	(41)
11.2 Risk control	(41)
11.3 Overpressure protection	(41)
12 Pipeline	(43)
12.1 General requirements	(43)
12.2 Routing	(43)
12.3 Station	(45)
12.4 Strength and stability design of pipeline	(46)
12.5 Material	(46)
12.6 Welding and inspection, pressure test, drying and displacement	(47)
12.7 Anti-corrosion of pipeline	(48)
Appendix A Allowable stress of metallic piping material	(49)
Explanation of wording in this code	(65)
List of quoted standards	(66)
Addition: Explanation of provisions	(67)

1 总 则

- 1.0.1 为了提高氢气管道工程的设计水平，保证设计质量，制定本规范。
- 1.0.2 本规范适用于输送氢气和液氢，公称压力小于或等于 PN400 或 Class2500 的工艺金属管道的设计。
- 1.0.3 本规范适用于输送氢气或者氢气与天然气混合气体，工作压力不大于 20MPa 的长输管道设计。
- 1.0.4 氢气工艺金属管道和长输管道设计除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准、规范的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 氢气工艺管道 **gaseous hydrogen process piping**

生产设施内的输送氢气或液氢的管道系统，包括长输管道的站场管道。

2.1.2 氢气长输管道 **gaseous hydrogen pipeline**

生产设施、储存库、使用单位间的输送氢气或者混氢天然气的管道系统，亦称氢气管线。

2.2 符号

2.2.1 几何特征

A ——主管开孔削弱所需的补强面积；

A_1 ——补强范围内主管承受内、外压所需计算厚度和厚度附加量两者之外的多余金属面积；

A_2 ——补强范围内支管承受内、外压所需计算厚度和厚度附加量两者之外的多余金属面积；

A_3 ——补强范围内的角焊缝面积；

A_4 ——补强范围内另加补强件的面积；

A_5 ——补强范围内挤压引出支管上承受内、外压所需的厚度和厚度附加量两者之外的多余金属面积；

B ——补强区有效宽度；

C ——厚度附加量之和；

C_1 ——厚度减薄附加量，包括机械加工深度（包括机械加工表面、开槽或螺纹深度）及材料厚度负偏差之和；

C_m ——主管厚度减薄的附加量之和；

C_{1r} ——补强板厚度减薄的附加量；

C_t ——支管厚度减薄的附加量之和；

C_2 ——腐蚀或磨蚀附加量；

C_3 ——机械加工深度包括机械加工表面、开槽或螺纹深度，螺纹接头管道组件取公称螺纹深度，未按规定公差的机械加工表面或槽则取值为大于规定切削深度 0.5mm；

D_i ——管子内径，取相关标准或技术规定中允许的最大值；

D_{iL} ——异径管大端内径；

D_{iS} ——异径管小端内径；

D_o ——管子外径，取管子外径的名义值；

D_{oL} ——异径管大端外径；

D_{oS} ——异径管小端外径；
 D_r ——补强板的外径；
 DN ——管道公称直径；
 d ——扣除厚度附加量后支管内径；
 d_o ——支管名义外径；
 d_G ——突面、凹凸面或平面法兰垫片的内径、环连接面或榫槽面法兰垫片平均直径；
 d_1 ——扣除厚度附加量后主管上斜开孔的长径；
 d_x ——除去厚度附加量后挤压引出支管的内径；
 h_1 ——主管外侧法向有效补强高度；
 h_2 ——支管有效补强高度；
 L_f ——斜接弯管端部直管段短边的长度；
 L_{SL} ——与异径管大端连接的直管加强段的长度；
 L_{SS} ——与异径管小端连接的直管加强段的长度；
 R_1 ——斜接弯管在管子中心线处的弯曲半径；
 R_o ——弯管或弯头在管子中心线处的弯曲半径；
 r ——受影响区域的半径；
 r_o ——按直管名义厚度 t_{sn} 计算的管子的平均半径；
 r_x ——在主管和支管轴线的平面内，外轮廓转角处的曲率半径；
 t_L ——异径管计算厚度；
 t_{LC} ——异径管锥部计算厚度；
 t_{LL} ——异径管大端计算厚度；
 t_{LS} ——异径管小端计算厚度；
 t_m ——盲板计算厚度；
 t_p ——平盖厚度；
 t_{pd} ——平盖计算厚度；
 t_r ——补强板名义厚度；
 t_s ——直管计算厚度；
 t_{sd} ——直管设计厚度；
 t_{se} ——直管有效厚度，为名义厚度减去厚度减薄附加量；
 t_{sn} ——直管名义厚度，有关标准规定的厚度；
 t_t ——支管计算厚度；
 t_m ——支管名义厚度；
 t_x ——除去厚度附加量后，在主管外表面处挤压引出支管的有效厚度；
 t_w ——弯管或弯头在内侧、外侧或弯管中心线处的计算厚度；
 T_h ——主管的实测或取名义厚度减去材料厚度负偏差；

T_t ——主管计算厚度；
 T_{in} ——主管名义厚度；
 U ——两固定点间的直线距离；
 y ——管道系统所需吸收的总的线位移；
 α ——弯管或弯头的转角；
 α_1 ——支管轴线与主管轴线的夹角；
 β ——异径管斜边与轴线的夹角；
 θ ——斜接弯管一条焊缝方向改变的角度 α 的 1/2；
 δ ——钢管计算壁厚。

2.2.2 系数

E_a ——环境温度下的弹性模量；
 E_j ——焊接接头质量系数；
 E_m ——最高或最低温度下材料的弹性模量；
 F ——强度设计系数；
 f_r ——补强板材料与主管材料的许用应力比；
 f_t ——支管材料与主管材料的许用应力比；
 H_f ——钢管材料性能系数；
 I ——计算系数；
 K_1 ——与平盖结构有关的系数；
 K_2 ——用于斜接弯管的经验值；
 K_3 ——挤压引出支管补强系数；
 M_f ——材料性能系数；
 m ——浓度修正系数；
 Q_L ——异径管大端与直管连接的应力增值系数；
 Q_S ——异径管小端与直管连接的应力增值系数；
 t ——温度折减系数，当温度低于 120℃ 时， t 值取 1.0；
 W ——焊接接头高温强度降低系数；
 Y ——系数；
 η ——与平盖结构有关的系数；
 ϕ ——焊缝系数。

2.2.3 力和应力

P ——设计压力；
 P_1 ——试验保压开始时的管道绝对压力；
 P_2 ——试验保压终了时的管道绝对压力；
 P_m ——斜接弯管的最大许用内压力；

p ——最大允许操作压力；
[σ]_A——许用的位移应力范围；
[σ]_C——在分析中的位移循环内，金属材料在冷态（预期最低温度）下的许用应力；
[σ]^t——设计温度下材料的许用应力；
[σ]_h——在分析中的位移循环内，金属材料在热态（预期最高温度）下的许用应力；
[σ]_h'——与计算条件相应的温度对应的材料许用应力；
[σ]_M^t——在设计温度下主管材料的许用应力；
[σ]_{RP}^t——设计温度下补强板材料的许用应力；
[σ]_t^t——在设计温度下支管材料的许用应力；
 σ_b ——管材的最小抗拉强度；
 σ_L ——由内、外压力、重力及其他持续荷载共同作用下产生的应力；
 σ'_L —— σ_L 与偶然荷载所产生的应力之和；
 σ_s ——管材的最小屈服强度。

2.2.4 速度和速率

S ——平均每小时泄漏率。

2.2.5 时间

H ——试验保压时间。

2.2.6 温度

t_1 ——试验保压开始时的管道温度；

t_2 ——试验保压终了时的管道温度。

3 设计条件和设计准则

3.1 设计条件

3.1.1 管道设计压力不应小于在操作中可能出现的最苛刻的压力和温度组合工况的压力，并应符合下列规定：

- 1 设置安全泄放装置的管道的设计压力不应小于安全泄放装置的设定压力或最大标定爆破压力；
- 2 未设置安全泄放装置或与压力泄放装置隔离的管道的设计压力不应小于装置操作中可能产生的最大压力；
- 3 离心泵出口管道的设计压力不应小于吸入压力与扬程相应压力之和。

3.1.2 真空工况的管道应按外压条件设计。有安全控制装置的管道，设计压力应取内外压差的1.25倍或0.1MPa中的较小值；无安全控制装置的管道，设计压力应取0.1MPa。

3.1.3 管道的设计温度应为管道在操作中，压力和温度相耦合的最严重条件下的温度。对于0℃以下的管道，应符合流体及环境温度的要求，设计温度应取低于或等于管道材料可达到的最低温度。

3.1.4 设计时应综合分析下列环境影响因素：

- 1 被隔断管道中的流体受环境影响发生热膨胀所导致的压力升高；
- 2 管道表面冷凝、冷冻引起的阀门、泄压装置或排放管道故障的影响。

3.2 设计准则

3.2.1 管道组成件的压力-温度额定值及允许变动范围应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316的有关规定。

3.2.2 设计压力（表压）大于或等于4.0MPa的管道，压力和温度不应超出压力温度额定值。

3.2.3 设计压力小于4.0MPa的管道，压力和温度允许的变动应符合本规范第3.2.4条的规定，且应同时满足下列规定：

- 1 由压力产生的管道名义应力不应超过材料在相应温度下的屈服强度；
- 2 管道系统预期寿命内，超过设计条件的压力和温度变化的总次数不应大于1000次；
- 3 持续和周期性变动不应改变管道系统中所有管道组成件的操作安全性能；
- 4 压力变动的上限值不应大于管道系统的试验压力；
- 5 温度变动的下限值不应小于现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316规定的材料最低使用温度；
- 6 阀门闭合元件的压力差不宜超过阀门规定的最大额定压力差。

3.2.4 当压力超过相应温度下的压力额定值或由压力产生的管道名义应力超过材料许用应力值时，超限的幅度和频率应满足下列条件之一：

- 1 变动幅度不大于 33%，每次变动时间不超过 10h，且每年累计变动时间不超过 100h；
 - 2 变动幅度不大于 20%，每次变动时间不超过 50h，且每年累计变动时间不超过 500h。
- 3.2.5 设置泄压装置的管道，其设计压力不应小于安全泄放装置开启的压力。
- 3.2.6 材料性能系数 M_f 应按表 3.2.6-1 和表 3.2.6-2 选用。

表 3.2.6-1 碳钢的材料性能系数 M_f

规定的最小强度 (MPa)		系统设计压力 (MPa)							
抗拉强度	屈服强度	7	10	15	20	25	30	35	40
$\sigma_b \leq 485$	$\sigma_s \leq 360$	0.999	0.977	0.942	0.916	0.894	0.876	0.858	0.843
$485 < \sigma_b \leq 520$	$\sigma_s \leq 415$	0.929	0.908	0.875	0.851	0.833	0.816	0.798	0.782
$520 < \sigma_b \leq 555$	$\sigma_s \leq 485$	0.838	0.820	0.791	0.769	0.753	0.738	0.723	0.710
$555 < \sigma_b \leq 625$	$\sigma_s \leq 555$	0.714	0.698	0.672	0.648	0.637	0.628	0.617	0.604

表 3.2.6-2 低合金和中合金钢的材料性能系数 M_f

规定的最小强度 (MPa)		系统设计压力 (MPa)								
抗拉强度	屈服强度	0	5	10	15	20	25	30	35	40
$\sigma_b \leq 415$	$\sigma_s \leq 245$	1.000	0.941	0.901	0.880	0.876	0.851	0.829	0.814	0.803
$415 < \sigma_b \leq 520$	$\sigma_s \leq 315$	0.791	0.742	0.711	0.692	0.677	0.666	0.654	0.641	0.632
$520 < \sigma_b \leq 590$	$\sigma_s \leq 415$	0.655	0.616	0.590	0.574	0.563	0.552	0.542	0.532	0.526
$590 < \sigma_b \leq 620$	$\sigma_s \leq 450$	0.580	0.545	0.523	0.509	0.498	0.489	0.480	0.471	0.466

- 3.2.7 焊接接头高温强度降低系数应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 第 3 章第 2 节的规定。

4 材 料

4.1 一 般 规 定

- 4.1.1 材料应根据管道设计温度、设计压力、介质特性、加工性能、焊接性能、耐腐蚀性和经济性等因素进行选用。
- 4.1.2 材料在低温工况下使用时，应满足低温工况的冲击韧性要求。
- 4.1.3 金属材料应具有耐受氢脆和因氢产生疲劳加速的性能。
- 4.1.4 材料应具有与氢介质良好的相容性和抗氢渗透性能。
- 4.1.5 在管道的预定寿命周期内，材料的化学和物理性能应保持稳定且应具有抵抗流体的化学和物理作用以及极端环境的能力。
- 4.1.6 材料性能尚应满足现行国家标准《氢系统安全的基本要求》GB/T 29729 的要求。
- 4.1.7 材料许用应力应符合本规范附录 A 的有关规定。

4.2 使用温度及适用性验证

- 4.2.1 材料使用温度，除应符合本规范附录 A 的规定外，还应依据流体腐蚀的影响进行确定。
- 4.2.2 当材料的使用温度低于本规范附录 A 中规定的最低温度时，应同时满足下列要求：
 - 1 材料的许用应力不得超过本规范附录 A 中规定的最低温度下的应力值；
 - 2 材料应按照现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的要求进行低温性能试验。
- 4.2.3 适用性验证应符合下列规定：
 - 1 当采用非本规范附录 A 所列材料时，设计人员应验证并确保设计中使用的许用应力和其他限值的有效性和使用材料时采取的方法，包括应力数据的推导和温度限值的确定；
 - 2 计算得出的限值数据应符合下列规定：
 - 1) 数据应具有适用性和可靠性；
 - 2) 在整个温度范围内，材料应具有对流体介质和环境有害影响的耐受性；
 - 3) 许用应力应依据现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的要求进行确定。

4.3 冲击试验方法和验收标准

- 4.3.1 冲击试验应依据现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的要求进行。
- 4.3.2 当两种有不同冲击功要求的基材焊接在一起时，应选择与焊材最小抗拉强度最接近的基材进行冲击试验。
- 4.3.3 低温下的冲击功值应符合低温用材料标准或表 4.3.3-1 和表 4.3.3-2 的规定。采用小尺寸试样时，应按试样宽度的比例降低冲击吸收能量合格标准，但侧向膨胀量合格标准与标准试样相同，且每个试样均应合格。当冲击功不相同的基体材料焊接一起时，其冲击试验的冲击功应符合较小

抗拉强度的基体材料的要求。

表 4.3.3-1 夏比冲击试验的冲击功合格标准（母材、焊缝金属、热影响区）

材料类别	最小抗拉强度值 σ_b (MPa)	标准试样冲击吸收能量	
		三个试样平均值 (J)	单个试样最低值 (J)
碳钢、合金钢	$\sigma_b \leq 448$	≥ 18	16
	$448 < \sigma_b \leq 517$	≥ 20	16
	$517 < \sigma_b \leq 656$	≥ 27	20
奥氏体不锈钢 (-196℃)	—	≥ 70	49
奥氏体不锈钢 (-269℃)	—	≥ 56	40
合金钢螺栓 ($\leq M52$)	$\sigma_b \geq 656$	≥ 27	20

表 4.3.3-2 冲击试验的侧向膨胀量合格标准（母材、焊缝金属）

材料类别	最低使用温度 (℃)	冲击试验温度 (℃)	侧向膨胀量 (mm)
奥氏体不锈钢、碳钢、合金钢	≥ -196	最低设计温度	0.38
液氢用奥氏体不锈钢 (-196℃)	-196	-196	0.76
液氢用奥氏体不锈钢 (-269℃)	-269	-269	0.53

4.3.4 试样应从同批、同规格、同样加工、焊接和热处理条件的材料中制取。

4.3.5 焊接接头的冲击试验应符合下列规定：

- 1 试验应在焊接工艺评定中进行；
- 2 试件制备、试样位置及数量应符合表 4.3.5 的规定；
- 3 试验应包括焊缝金属和热影响区，奥氏体不锈钢的焊接接头冲击试验可不包括热影响区；

表 4.3.5 焊接接头冲击试验

制备冲击试样的试件	试验的覆盖范围	试样位置及数据量	冲击试验进行者
每一种焊接工艺、每种焊接材料型号和每种焊剂均要进行一套冲击试验。试样的热处理状态与完工管道相同（包括热处理温度、保温时间、冷却速度）	试件厚度为 T ，则可覆盖的厚度范围为： $T/2 \sim T+6\text{mm}$	1. 焊缝金属（3 个一组）： a) 试样横贯焊缝； b) 缺口位于焊缝金属并垂直于接头表面。 2. 热影响区（如果需要，3 个一组）： a) 缺口根部及其后的断口尽可能多的位于焊接接头的热影响区； b) 其余同焊缝金属要求	制作、安装

4 碳钢、锰钢免冲击试验温度应符合图 4.3.5 的要求。

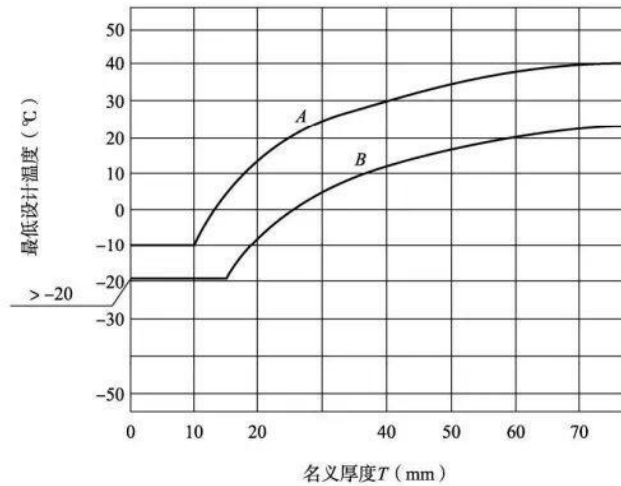


图 4.3.5 碳钢、锰钢免冲击试验温度

4.4 材料的使用要求

- 4.4.1 铸铁类材料不得用于氢气管道。
- 4.4.2 设计压力大于或等于 20MPa 的氢管子和管件宜采用与氢具有良好相容性的材料。
- 4.4.3 高温氢气管道的材料选用应符合现行行业标准《石油化工管道设计器材选用规范》SH/T 3059 的相关规定。
- 4.4.4 奥氏体不锈钢管道外部暴露于氯化物和其他卤化物等介质时，应避免应力腐蚀开裂。
- 4.4.5 设计温度低于-101℃管道的管子和管件宜采用双牌号的奥氏体不锈钢。
- 4.4.6 镍及镍基合金类材料应符合下列规定：
 - 1 材料不应使用在氢脆工况；
 - 2 含铬镍基合金不应使用在温度高于 593℃的还原性工况；
 - 3 不含铬的镍和镍基合金应避免使用在 316℃以上温度的含硫工况。
- 4.4.7 铝及铝合金类材料应符合下列规定：
 - 1 材料应使用在 66℃以下，应避免剥落腐蚀和晶间腐蚀；
 - 2 当选用铝材料时，材料应具有抗持续载荷开裂的性能；
 - 3 材料应避免与碱性材料发生腐蚀。
- 4.4.8 铜及铜合金类材料应符合下列规定：
 - 1 黄铜合金应避免脱锌腐蚀；
 - 2 铜基合金应避免与氨或铵化合物接触时产生应力腐蚀开裂；
 - 3 材料应避免暴露于乙炔介质。

- 4.4.9 钛及钛合金应避免变质。
- 4.4.10 锆及锆合金应避免变质。
- 4.4.11 钽宜使用在 299℃以下，且应避免被新生的单原子氢脆化。
- 4.4.12 当使用经过热处理性能得到提升的材料时，应避免长期暴露在超过回火温度的工况下。
- 4.4.13 金属覆层或衬里的复合材料应符合下列规定：
- 1 覆层、衬里和基层的材料应根据设计条件及流体性质选用；
 - 2 当覆层为奥氏体不锈钢时，使用温度不宜超过 400℃；
 - 3 覆层或衬里应采用本规范附录 A 的许用应力值；
 - 4 非本规范附录 A 所列材料的许用应力值应参照现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 附录 A，且应满足本规范第 4.2.3 条的要求；
 - 5 覆层金属或衬里的许用应力值不应大于基层金属的许用应力值；
 - 6 全覆层或衬里和非全覆层和衬里结构的承压设计均不应计及覆层或衬里的强度，采用的许用应力值应为基层金属在设计温度下的许用应力值。

5 管道组成件的选用

5.1 一般规定

- 5.1.1 管道组成件的选用应根据介质的性质、各种可能出现的操作工况以及外部环境的要求进行，且应满足经济合理的要求。
- 5.1.2 管道组成件的选用除应符合本规范耐压强度设计规定外，尚应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的规定。
- 5.1.3 液氢管道组成件应符合现行国家标准《汽车加油加气加氢站技术标准》GB 50156 的要求。

5.2 法兰、垫片和紧固件

- 5.2.1 标准法兰、垫片和紧固件的选用应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的规定。
- 5.2.2 氢气管道的法兰宜选用高颈对焊法兰，不应选用平焊法兰。
- 5.2.3 法兰密封面不应选用全平面型式。
- 5.2.4 垫片宜选用缠绕垫片和金属环垫，且应满足耐火要求。
- 5.2.5 高温条件下使用的紧固件应与法兰材料具有相近的热膨胀系数；螺栓的工作温度不应高于其蠕变阈值温度。

5.3 阀门

- 5.3.1 阀门选用应依据管道的设计温度、设计压力、介质特性和阀门用途，并应计及外部载荷对阀门的操作性能和密封性能的影响。
- 5.3.2 阀门材料应根据阀门设计压力、设计温度及与氢的相容性等选用。
- 5.3.3 阀门填料应为与氢相容且耐高温的材料，并应满足阀门的防火要求，优先选用柔性石墨基的填料。
- 5.3.4 截止阀可用在调节和切断场合，阀瓣和阀座密封面宜堆焊硬质合金。
- 5.3.5 球阀作为切断阀使用时，应采用双向密封结构。
- 5.3.6 阀体和阀盖应采用螺栓连接，螺栓连接的阀盖的螺栓个数不应少于 4 个，且不应使用 U 形螺栓。
- 5.3.7 阀门的阀杆和止回阀、蝶阀的轴应为防吹出结构。
- 5.3.8 低温阀门应符合现行国家标准《低温阀门 技术条件》GB/T 24925 的要求。
- 5.3.9 氢气阀门应为低逸散阀门，密封等级应符合现行国家标准《工业阀门的逸散性试验》GB/T 26481 中 B 级密封要求。

5.3.10 液氢阀门的逸散性应满足现行国家标准《工业阀门的逸散性试验》GB/T 26481 中 A 级密封的要求。

5.4 管道组成件接头选用要求

5.4.1 管道组成件连接型式的选用应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的规定。

5.4.2 管道组成件宜采用焊接连接、法兰连接、卡套连接。液氢气管道组成件之间的焊接接头应采用不带垫板的全焊透对接焊接接头。

6 管道组成件耐压强度计算

6.1 一般规定

6.1.1 本章所列的计算方法适用于设计温度不高于 150℃ 的管道组成件的强度计算。

6.1.2 设计温度高于 150℃ 的管道组成件的强度计算应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的相关规定。

6.2 直管

6.2.1 承受内压直管的厚度计算，应符合下列规定：

1 当直管计算厚度 t_s 小于管外径 D_o 的 1/6 时，直管的计算厚度为公式 (6.2.1-1) 和公式 (6.2.1-2) 二者的较小值。直管设计厚度 t_{sd} 应按公式 (6.2.1-3) 计算。

$$t_s = \frac{PD_o}{2([\sigma]^t E_j M_f + PY)} \quad (6.2.1-1)$$

$$t_s = \frac{PD_o}{2\{[\sigma]^t E_j M_f + P(1-Y)\}} \quad (6.2.1-2)$$

$$t_{sd} = t_s + C \quad (6.2.1-3)$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (6.2.1-4)$$

式中：

t_s ——直管计算厚度 (mm)；

P ——设计压力 (MPa)；

D_o ——管子外径，取管子外径的名义值 (mm)；

$[\sigma]^t$ ——在设计温度下材料的许用应力 (MPa)；

E_j ——纵向焊接接头质量系数，按 A.0.3 条的规定取值；

M_f ——材料性能系数，按表 3.2.6-1 和表 3.2.6-2 选取；

t_{sd} ——直管设计厚度 (mm)；

C ——厚度附加量之和 (mm)；

C_1 ——材料厚度负偏差 (mm)；

C_2 ——腐蚀或磨蚀附加量 (mm)；

C_3 ——机械加工深度，包括机械加工表面、开槽或螺纹深度。螺纹接头管道组成件取公称螺纹深度，未按规定公差机械加工表面或槽则取值为规定切削深度加 0.5mm；

Y ——系数，依据 t_s 与 $D_o/6$ 比较结果，按照表 6.2.1 和公式 6.2.1-5 确定。

当 $t_s < D_o/6$ 时，按表 6.2.1 选取：

表 6.2.1 系数 Y 值

材料	温度 (°C)					
	≤482	510	538	566	593	≥621
铁素体钢	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7
奥氏体钢	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
其他韧性材料	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

当 $t_s \geq D_o/6$ 时，按下式计算：

$$Y = \frac{D_i + 2(C_2 + C_3)}{D_i + D_o + 2(C_2 + C_3)} \quad (6.2.1-5)$$

式中：

D_i ——管子内径，取相关标准或技术规定中允许的最大值 (mm)。

2 当直管计算厚度 t_s 大于或等于管外径 D_o 的 1/6 时，或设计压力 P 与在设计温度下材料的许用应力 $[\sigma]^t$ 和焊接接头系数 E_j 以及材料性能系数 M_f 乘积之比 ($P/[\sigma]^t E_j M_f$) 大于 0.385 时，直管厚度的计算还应符合失效机理、疲劳影响和温差应力等因素的要求。

6.2.2 承受外压的直管厚度和加强要求应符合现行国家标准《压力容器》GB/T 150 的规定；当 D_o/t_s 小于 10 时，计算最大允许外压的许用应力 $[\sigma]^t$ 应取本规范附录 A 中相应温度下许用应力值的 1.5 倍和现行国家标准《压力容器 第 2 部分：材料》GB/T 150.2 附录 C 中屈服强度的 0.9 倍的较小值。

6.3 斜接弯管、弯管和弯头

6.3.1 承受内压的斜接弯管 (图 6.3.1) 的耐压强度计算，应符合下列规定：

1 任意一条焊缝方向改变的角度 α 应大于 3° ，当斜接弯管角 α 小于或等于 3° 时，可按直管进行强度计算。

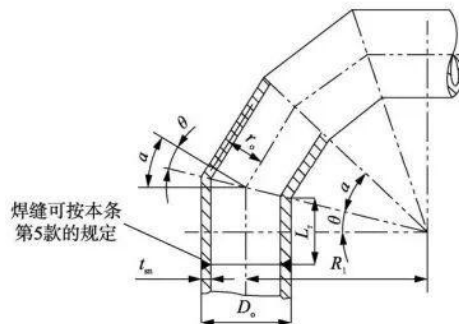


图 6.3.1 与直管厚度相同的斜接弯管

2 多接缝斜接弯管的最大许用内压力 P_m ，应取公式 (6.3.1-1) 和公式 (6.3.1-2) 中计算的较小值。

$$P_m = \frac{[\sigma]^t E_j M_f t_{sc}}{r_o} \left[\frac{t_{sc}}{t_{sc} + 0.643 \tan \theta (r_o t_{sc})^{0.5}} \right] \quad (6.3.1-1)$$

$$P_m = \frac{[\sigma]^t E_j M_f t_{sc}}{r_o} \left[\frac{R_1 - r_o}{R_1 - 0.5 r_o} \right] \quad (6.3.1-2)$$

$$t_{sc} = t_{sn} - C \quad (6.3.1-3)$$

式中：

P_m ——斜接弯管的最大许用内压力（MPa）；

t_{sc} ——直管有效厚度，为名义厚度减去厚度减薄附加量（mm）；

r_o ——按名义厚度 t_{sn} 计算的管子的平均半径（mm）；

θ ——斜接弯管一条焊缝方向改变的角度 α 的 1/2（°）；

R_1 ——斜接弯管的弯曲半径（mm）；

t_{sn} ——直管名义厚度，材料标准规定的厚度（mm）。

3 单接缝斜接弯管的最大许用内压力的计算，应符合下列规定：

1) 角度 θ 小于或等于 22.5° 的单接缝斜接弯管的最大许用内压力 P_m 应按公式（6.3.1-1）计算。

2) 角度 θ 大于 22.5° 的单接缝斜接弯管的最大许用内压力 P_m ，应按公式（6.3.1-4）计算。

$$P_m = \frac{[\sigma]^t E_j M_f t_{sc}}{r_o} \left[\frac{t_{sc}}{t_{sc} + 1.25 \tan \theta (r_o t_{sc})^{0.5}} \right] \quad (6.3.1-4)$$

4 斜接弯管的弯曲半径 R_1 值应符合公式（6.3.1-5）的规定。

$$R_1 \geq \frac{K_2}{\tan \theta} + \frac{D_o}{2} \quad (6.3.1-5)$$

式中：

K_2 ——用于斜接弯管的经验值（mm），应符合表 6.3.1 的规定。

表 6.3.1 用于斜接弯管的经验值 K_2 （mm）

t_{sc}	K_2
$t_{sc} \leq 13$	25
$13 < t_{sc} < 22$	$2t_{sc}$
$t_{sc} \geq 22$	$[2t_{sc}/3]+30$

常用的弯曲半径 R_1 值宜在 1.0 倍~1.5 倍公称直径之间。公称直径不宜小于 DN300。

5 图 6.3.1 中斜接弯管的端部焊缝，仅在其厚度大于与其连接的直管厚度时，或采用制造厂的预制件时需要。斜接弯管两端直管段的最小长度 L_f 取公式（6.3.1-6）和公式（6.3.1-7）中计算的较大值。

$$L_f = 2.5(r_o t_{sc})^{0.5} \quad (6.3.1-6)$$

$$L_r = \tan \theta (R_1 - r_o) \quad (6.3.1-7)$$

式中：

L_r ——斜接弯管端部两端直管段的最小长度（mm）。

6 斜接弯管的最大许用内压力 P_m 的计算结果，必须大于或等于设计压力 P 。否则应增加焊缝数，并重新计算。当有特殊要求时，可按增加斜接弯管厚度处理。

6.3.2 承受外压的斜接弯管，其厚度可按本规范第 6.2.2 条中对直管所规定的方法计算。

6.3.3 承受内压的弯管或弯头（图 6.3.3）的厚度计算，应符合下列规定：

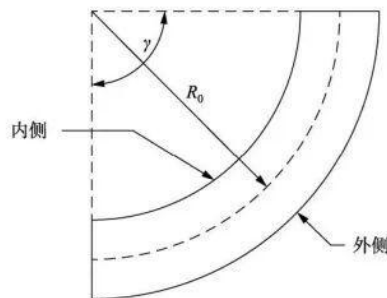


图 6.3.3 弯管和弯头的示意

1 弯管或弯头计算厚度（位于 $\gamma/2$ 处）应按下式计算：

$$t_w = \frac{PD_o}{2 \times \left[\left(\frac{[\sigma]^t E_j M_f}{I} + PY \right) \right]} \quad (6.3.3-1)$$

式中：

t_w ——弯管或弯头在内侧、外侧或弯管中心线处的计算厚度（mm）。

2 I 系数的计算应符合下列规定：

1) 当计算弯管或弯头的内侧厚度时，应按下式计算：

$$I = \frac{4 \times \left(\frac{R_o}{D_o} \right) - 1}{4 \times \left(\frac{R_o}{D_o} \right) - 2} \quad (6.3.3-2)$$

式中：

I ——计算系数；

R_o ——弯管或弯头在管子中心线处的弯曲半径（mm）。

2) 当计算弯管或弯头的外侧厚度时，应按下式计算：

$$I = \frac{4 \times \left(\frac{R_o}{D_o} \right) + 1}{4 \times \left(\frac{R_o}{D_o} \right) + 2} \quad (6.3.3-3)$$

3) 当计算弯管中心线侧壁处厚度时, 应按下式计算:

$$I = 1.0 \quad (6.3.3-4)$$

4) 弯管在弯制成型后的端部最小厚度应不小于直管设计厚度。

6.3.4 承受外压(或真空)的弯管或弯头的设计应按本规范第 6.3.2 条的规定进行, 其计算长度取直管上包括沿弯管或弯头轴线在内的两相邻支撑线之间的距离。

6.4 支管连接的补强

6.4.1 焊接支管的等面积补强计算应符合下列规定:

1) 图 6.4.1 的支管轴线与主管轴线相交结构型式的补强计算仅在下列条件下有效:

- 1) 主管的外径与厚度比 (D_o/T_h) 小于 100 时, 支管与主管的外径之比 (d_o/D_o) 不大于 1.0;
- 2) 主管的外径与厚度比 (D_o/T_h) 大于或等于 100 时, 支管的直径 d_o 小于主管直径 D_o 的 1/2;
- 3) α_1 大于或等于 45° 。

注: 主管为焊接管时, 焊缝应位于主管的斜下方。

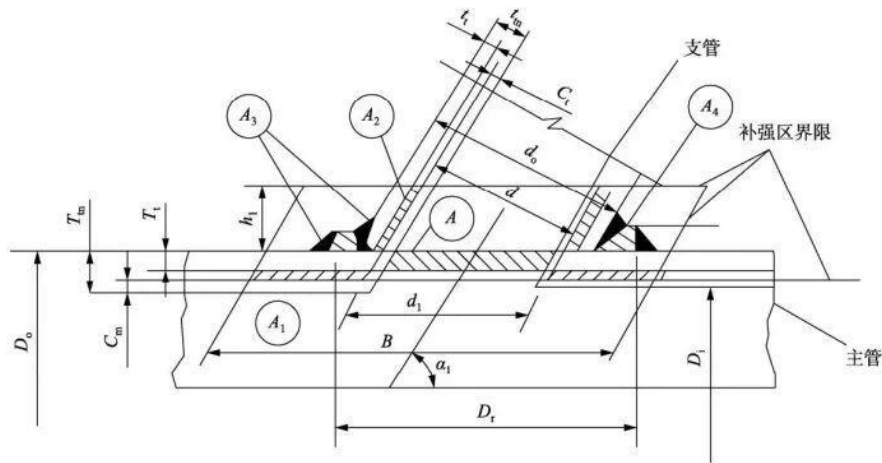


图 6.4.1 支管连接的补强

2) 主管开孔的补强计算

1) 主管开孔需补强的面积 A , 应按下列公式计算:

$$A = T_r d_1 (2 - \sin \alpha_1) \quad (6.4.1-1)$$

$$d_1 = d / \sin \alpha_1 \quad (6.4.1-2)$$

$$d = d_o - 2t_m + 2C_t \quad (6.4.1-3)$$

式中：

A ——主管开孔削弱所需的补强面积（ mm^2 ）；

T_t ——主管计算厚度（ mm ）；

d_1 ——扣除厚度附加量后主管上斜开孔的长径（ mm ）；

α_1 ——支管轴线与主管轴线的夹角（ $^\circ$ ）；

d ——扣除厚度附加量后支管内径（ mm ）；

d_o ——支管名义外径（ mm ）；

C_t ——支管厚度减薄的附加量之和（ mm ）；

t_m ——支管名义厚度（ mm ）。

2) 开孔补强有效范围应按下列公式计算：

开孔补强的有效补强宽度应按下列公式计算：

$$B = \begin{cases} 2d_1 \\ d_1 + 2(T_m + t_m) - 2(C_m + C_t) \end{cases} \quad (6.4.1-4)$$

式中：

B ——补强区有效宽度（ mm ）；

C_m ——主管厚度减薄的附加量之和（ mm ）；

T_m ——主管名义厚度（ mm ）。

取以上两者中的较大值，但在任何情况下均不应大于 D_o 的 2 倍。

主管外侧补强圈有效补强高度 h_1 应按下列公式计算：

$$h_1 = \begin{cases} 2.5(T_m - C_m) \\ 2.5(t_m - C_t) + t_r \end{cases} \quad (6.4.1-5)$$

式中：

h_1 ——主管外侧法向有效补强高度（ mm ）；

t_r ——补强板名义厚度（ mm ）。

取以上两者中的较小值。

3) 各补强面积应按下列公式计算，如有加筋板时，不应计入补强面积内。如果支管壁的许用应力小于主管壁的许用应力，计算的面积应按两许用应力之比相应减小，以计算其对面积 A_2 的贡献。

$$A_1 = (B - d_1)(T_m - T_t - C_m) \quad (6.4.1-6)$$

$$A_2 = 2h_1(t_m - t_t - C_t)f_t / \sin \alpha_1 \quad (6.4.1-7)$$

$$f_t = [\sigma]_t^t / [\sigma]_M^t \quad (6.4.1-8)$$

式中:

A_1 ——补强范围内主管承受内、外压所需计算厚度和厚度附加量两者之外的多余金属面积(mm^2);

A_2 ——补强范围内支管承受内、外压所需计算厚度和厚度附加量两者之外的多余金属面积(mm^2);

t_r ——支管计算厚度(mm);

f_r ——支管材料与主管材料的许用应力比;

$[\sigma]_t^t$ ——在设计温度下支管材料的许用应力(MPa);

$[\sigma]_M^t$ ——在设计温度下主管材料的许用应力(MPa)。

当 $[\sigma]_t^t \geq [\sigma]_M^t$ 时, $f_r=1$ 。

A_3 应按实际角焊缝截面计算面积。

A_4 取公式(6.4.1-9)和公式(6.4.1-10)的较小值。

$$A_4 = (D_r - d_o / \sin \alpha_1)(t_r - C_{1r})f_r \quad (6.4.1-9)$$

$$A_4 = (B - d_o / \sin \alpha_1)(t_r - C_{1r})f_r \quad (6.4.1-10)$$

$$f_r = [\sigma]_{RP}^t / [\sigma]_M^t \quad (6.4.1-11)$$

当 f_r 的计算值大于1时, 取 $f_r=1$ 。

式中:

A_4 ——补强范围内另加补强件的面积(mm^2);

D_r ——补强板的外径(mm);

C_{1r} ——补强板厚度减薄的附加量(mm);

f_r ——补强板材料与主管材料的许用应力比;

$[\sigma]_{RP}^t$ ——设计温度下补强板材料的许用应力(MPa)。

4) 补强面积计算结果应符合下式规定:

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \geq A \quad (6.4.1-12)$$

式中:

A_3 ——补强范围内的角焊缝面积(mm^2)。

6.4.2 主管上多支管的等面积补强计算应符合下列规定:

1 当主管上任意两个或两个以上相邻开孔的中心距小于相邻两孔平均直径的2倍时, 其补强范围重叠时(图6.4.2), 此两个或两个以上的开孔必须按本规范第6.4.1条规定进行补强计算, 并采用联合补强方式进行补强。

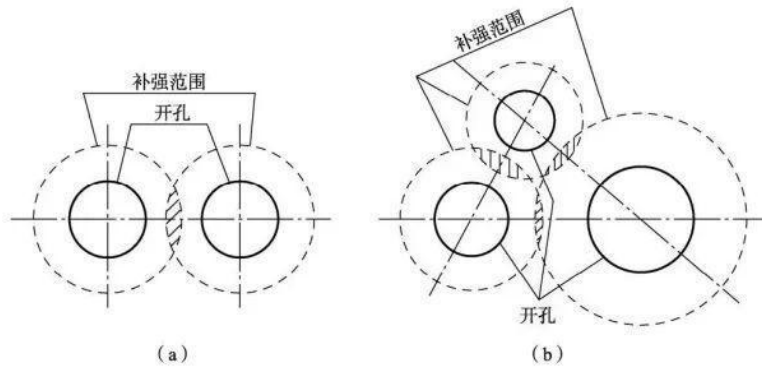


图 6.4.2 多个开孔的补强

2 采用联合补强时，总补强面积不应小于各孔单独补强所需补强面积之和。置于两相邻孔之间的补强面积应至少等于各孔所需补强面积之和的 50%，且此两相邻孔中心距应至少等于两开孔平均直径的 1.5 倍。

3 在计算补强面积时，任意两支管补强范围内互相重叠的面积不得重复计入。

6.4.3 挤压引出支管的等面积补强计算应符合下列规定：

1 挤压引出支管应采用压模在主管上挤压出一个或多个支管，通过压模控制挤出支管外轮廓转角处的曲率半径 r_x 。

2 支管的轴线必须与主管轴线正交，且在主管表面以上的挤压引出支管高度 h_x 应等于或大于在主管和支管轴线的平面内，外轮廓转角处的曲率半径 r_x 。

3 在主管和支管轴线的平面内，外轮廓转角处的曲率半径 r_x 与支管名义外径 d_0 有关，并应符合下列规定：

1) r_x 最小值： r_x 取 $0.05d_0$ 和 38mm 的较小值；

2) r_x 最大值：当 d_0 小于 DN200 时， r_x 不应大于 32mm；当 d_0 大于或等于 DN200 时， r_x 不应大于 $0.1d_0 + 13\text{mm}$ ；

3) 当外轮廓由多个过渡半径组成时，应取 45° 圆弧过渡处的最佳拟合半径为最大半径 r_x 值，且应满足本款 1) 和 2) 项的规定；

4) 不应采用机加工的方法达到上述对 r_x 的要求。

4 本条不适用于用补强圈、垫板或鞍形板等各种另加补强零件的管口。

5 补强计算应符合图 6.4.3 及下列规定：

1) 补强有效范围应按下列公式计算：

$$B = 2d_x \quad (6.4.3-1)$$

$$h_2 = 0.7\sqrt{d_0 t_x} \quad (6.4.3-2)$$

式中：

d_x ——除去厚度附加量后挤压引出支管的内径 (mm)；

h_2 ——支管有效补强高度 (mm)；

t_x ——除去厚度附加量后，在主管外表面以上 r_x 高度处挤压引出支管的有效厚度 (mm)。

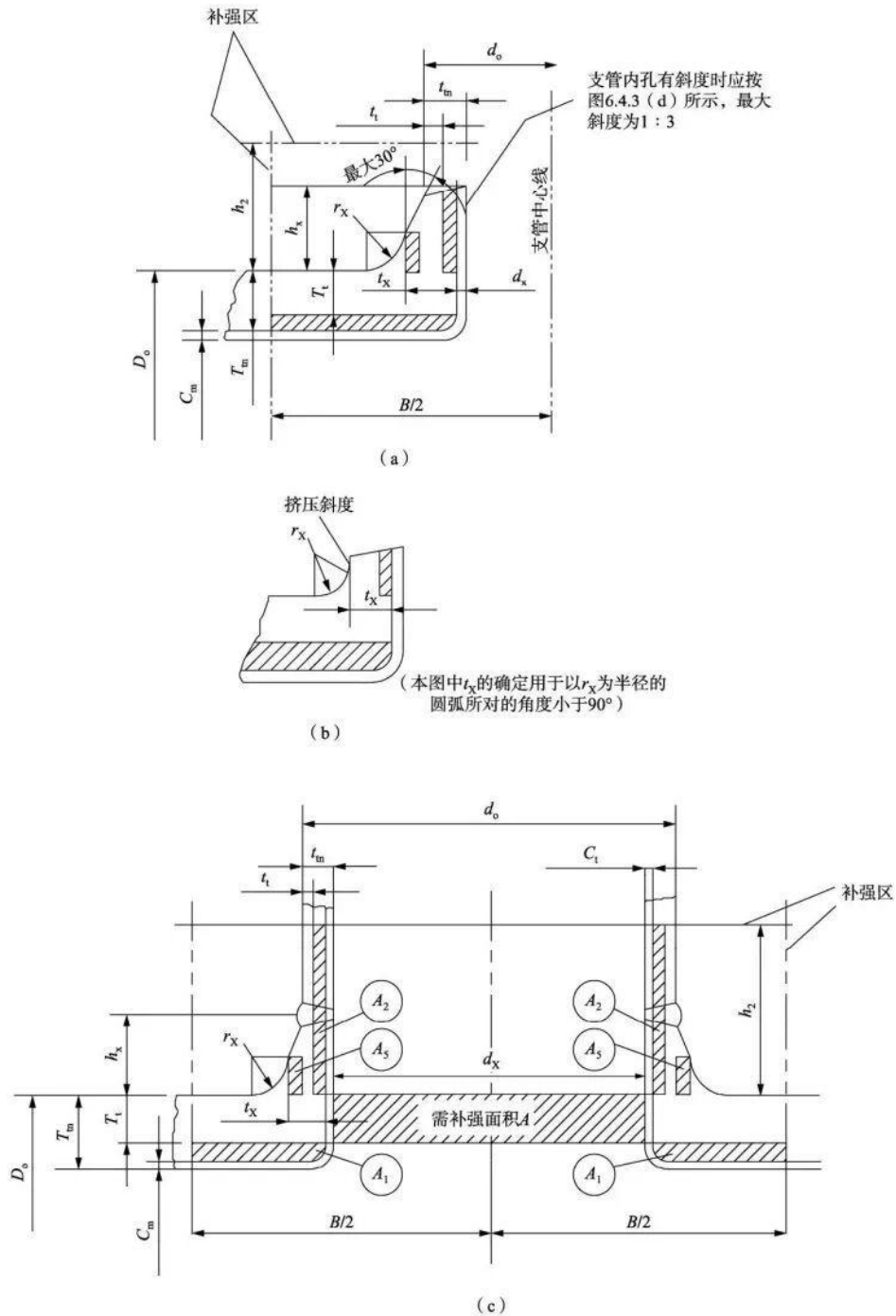
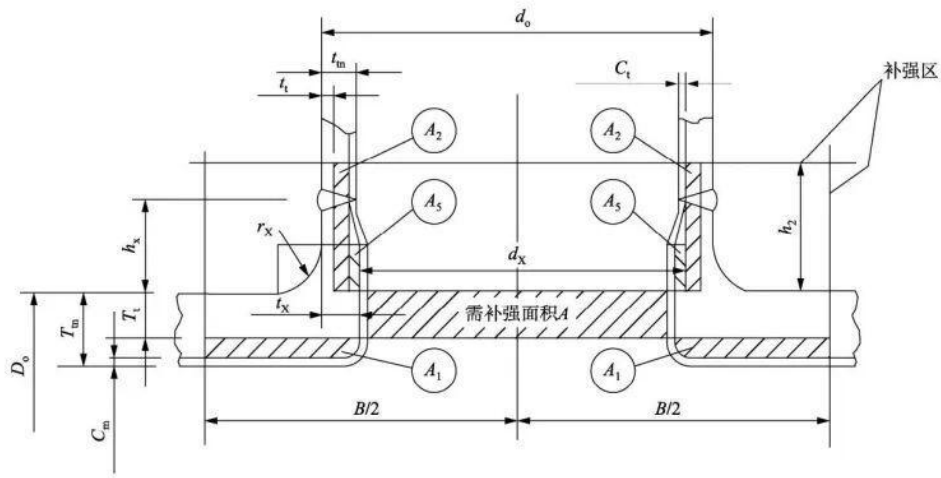


图 6.4.3 挤压引出支管型式示意图



(d)

图 6.4.3 (续)

注：本图对第 6.4.3 条中采用的符号作了图示。

2) 需要的补强面积 A 应按下式计算：

$$A = K_3 (T_t) (d_x) \quad (6.4.3-3)$$

式中：

K_3 ——挤压引出支管补强系数。

当 $d_o/D_o > 0.6$, $K_3 = 1.0$; 当 $0.15 < d_o/D_o \leq 0.6$ 时, $K_3 = 0.6 + 2(d_o/D_o)/3$; 当 $d_o/D_o \leq 0.15$ 时, $K_3 = 0.7$ 。

3) 可利用的补强面积应按下列公式计算：

$$A_1 = (B - d_x)(T_m - T_t - C_m) \quad (6.4.3-4)$$

$$A_2 = 2h_2(t_m - t_t - C_t) \quad (6.4.3-5)$$

$$A_5 = 2r_x(t_x + C_t - t_m) \quad (6.4.3-6)$$

式中：

A_5 ——补强范围内挤压引出支管上承受内、外压所需的厚度和厚度附加量两者之外的多余金属面积 (mm^2)；

r_x ——在主管和支管轴线的平面内，外轮廓转角处的曲率半径 (mm)。

4) 补强面积计算结果应符合下式的规定：

$$A_1 + A_2 + A_5 \geq A \quad (6.4.3-7)$$

6.4.4 当多个挤压引出支管中任意两相邻孔的中心距小于该相邻两孔平均直径的 2 倍时，其补强规定应符合本规范第 6.4.2 条的规定。但补强计算应符合本规范第 6.4.3 条的规定。

6.5 非标准异径管

6.5.1 无折边的非标准异径管（图 6.5.1）的设计，应符合下列规定：

- 1 无折边的异径管可采用钢板卷焊。

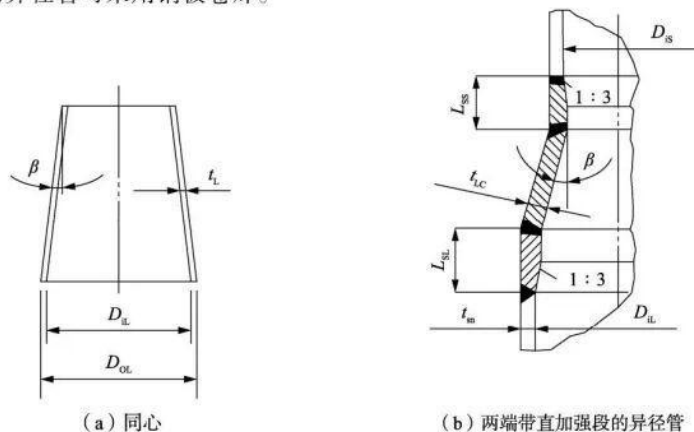


图 6.5.1 无折边的异径管

2 同心异径管，斜边与轴线的夹角 β 不宜大于 15° 。偏心异径管斜边与端部轴线的夹角 β 不宜大于 30° 。

6.5.2 受内压无折边异径管的厚度，应按下列规定计算：

- 1 应按设定的斜边与轴线的夹角 β ，以下列 3 个公式计算异径管各部的厚度，选取厚度最大值。

$$t_{LC} = \frac{PD_{oL}}{2([\sigma]^t E_j M_r + PY) \cos \beta} \quad (6.5.2-1)$$

$$t_{LL} = \frac{Q_L PD_{oL}}{2([\sigma]^t E_j M_r + PY)} \quad (6.5.2-2)$$

$$t_{LS} = \frac{Q_S PD_{oS}}{2([\sigma]^t E_j M_r + PY)} \quad (6.5.2-3)$$

式中：

t_{LC} ——异径管锥部计算厚度（mm）；

D_{oL} ——异径管大端外径（mm）；

β ——异径管斜边与轴线的夹角（ $^\circ$ ）；

Q_L ——异径管大端与直管连接的应力增值系数，见图 6.5.2-1；

t_{LL} ——异径管大端计算厚度（mm）；

Q_S ——异径管小端与直管连接的应力增值系数，见图 6.5.2-2；

t_{LS} ——异径管小端计算厚度（mm）；

D_{oS} ——异径管小端外径（mm）。

注：公式 6.5.2-1、公式 6.5.2-2 和公式 6.5.2-3 仅适用于不计及焊接接头高温强度降低系数 w 的工况。

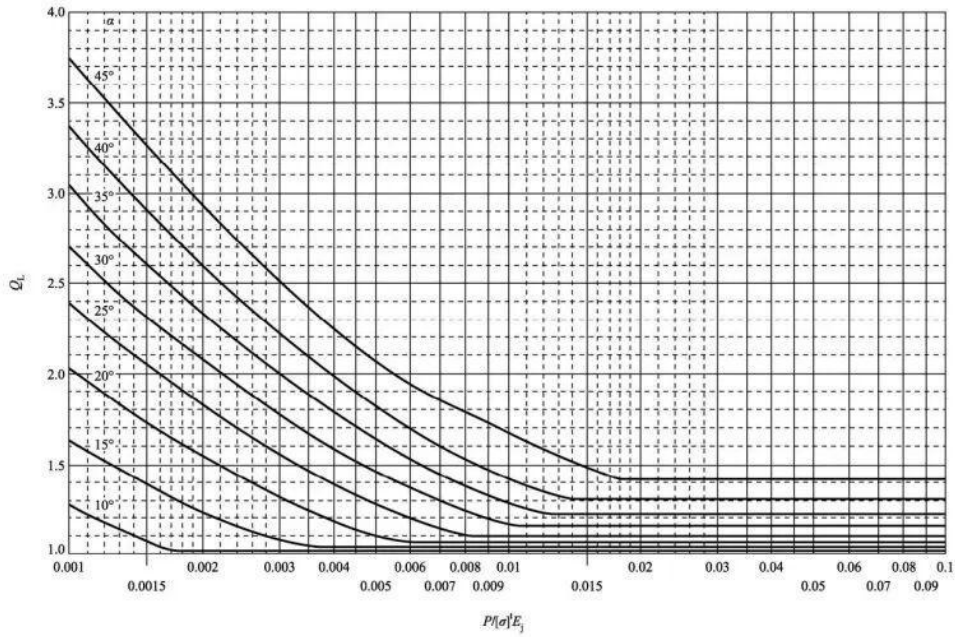


图 6.5.2-1 异径管大端与圆筒连接处 Q_L 值图

注：曲线系按等效应力绘制，控制值为 $3[\sigma]^t$ 。

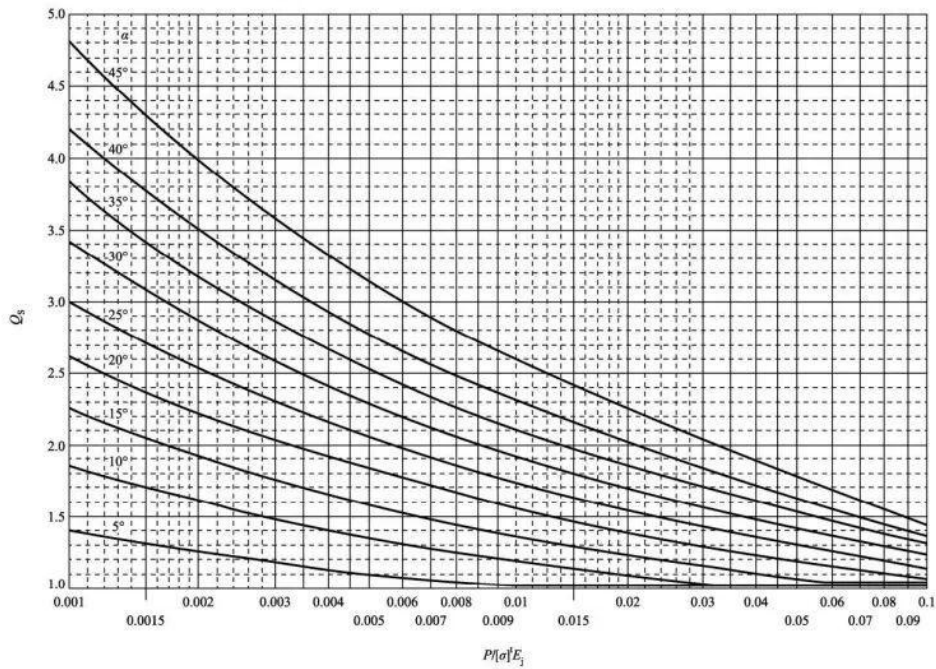


图 6.5.2-2 异径管小端与圆筒连接处的 Q_S 值图

注：曲线系按连接处的等效局部薄膜应力（由平均环向拉应力和平均径向压应力计算所得）绘制，控制值为 $1.1[\sigma]^t$ 。

2 当计算的厚度最大值小于或等于大端连接的直管有效厚度 t_{sc} 时，异径管的名义厚度可取与直管相同的名义厚度。当计算的厚度最大值大于大端连接的直管有效厚度 t_{sc} 时，应符合下列规定：

- 1) 管道布置允许减小斜边与轴线的夹角 β 时, 可重新计算;
- 2) 不能改小斜边与轴线的夹角 β 时, 可采用本条第 1 款计算的厚度最大值, 并采用本规范第 6.5.1 条图 6.5.1 (b) 的结构, 该异径管应在两端增加直管的加强段;
- 3 直管加强段的最小长度, 应按下列公式计算:

$$L_{SL} = \sqrt{2D_{iL}t_{LL}} \quad (6.5.2-4)$$

$$L_{SS} = \sqrt{2D_{iS}t_{LS}} \quad (6.5.2-5)$$

式中:

L_{SL} ——与异径管大端连接的直管加强段的长度 (mm);

D_{iL} ——异径管大端内径 (mm);

L_{SS} ——与异径管小端连接的直管加强段的长度 (mm);

D_{iS} ——异径管小端内径 (mm)。

6.5.3 承受内压的带折边异径管和承受外压的异径管厚度及加强要求, 应按现行国家标准《压力容器》GB/T 150 的规定。

6.6 平 盖

6.6.1 无拼接焊缝平盖厚度应按下列公式计算:

$$t_p = K_1 (D_i + 2C) [P / ([\sigma]^t M_f \eta)]^{0.5} \quad (6.6.1-1)$$

$$t_{pd} = t_p + C \quad (6.6.1-2)$$

式中:

t_p ——平盖厚度 (mm);

K_1 ——与平盖结构有关的系数;

η ——与平盖结构有关的系数;

t_{pd} ——平盖计算厚度 (mm)。

表 6.6.1 平盖结构型式系数

平盖型式	结构要求	系数 K_1	系数 η		注
			$h_3 > 2t_{sn}$	$2t_{sn} > h_3 > t_{sn}$	
	$r \geq 2 \times \frac{t_{sn}}{t_{pd}}$ $h_3 \geq t_{sn}$ V 型焊口	0.4	1.05	1.00	①

续表 6.6.1

平盖型式	结构要求	系数 K_1	系数 η		注
			$h_3 > 2t_{sn}$	$2t_{sn} > h_3 > t_{sn}$	
	V 型焊口 加角焊	0.6	0.85		① ②
		0.4	1.05		① ③
	V 型焊口 加角焊	0.6	0.85		① ④

注:

- ①坡口尺寸应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 附录 H 的规定。
- ②用于公称压力小于或等于 2.5MPa 和公称直径小于或等于 DN400 的管道。
- ③只用于水压试验。公称直径小于或等于 DN400 的管道。
- ④用于公称压力小于 2.5MPa 和公称直径小于 DN40 的管道。

6.6.2 在平盖中心开孔时, 应按现行国家标准《压力容器》GB/T 150 的规定进行补强计算。

6.7 特殊法兰、法兰盖和盲板

6.7.1 特殊要求的非标准法兰、法兰盖可按现行国家标准《压力容器》GB/T 150 进行设计, 法兰的许用应力应按本规范附录 A 取值并乘以材料性能系数 M_f 。

6.7.2 夹在两法兰之间的盲板(图 6.7.2), 其计算厚度可按公式(6.7.2-1)计算。用整体钢板制造时, 式中焊接接头系数 E_j 等于 1。对于永久性盲板应按公式(6.7.2-2)增加厚度附加量。

$$t_m = 0.433d_G [P / ([\sigma]^t \cdot E_j \cdot M_f)]^{0.5} \quad (6.7.2-1)$$

$$t_{pd} = t_m + 2C_2 + C_1 \quad (6.7.2-2)$$

式中:

t_m ——盲板计算厚度 (mm);

d_G ——突面、凹凸面或平面法兰垫片的内径、环连接面或榫槽面法兰垫片平均直径 (mm)。

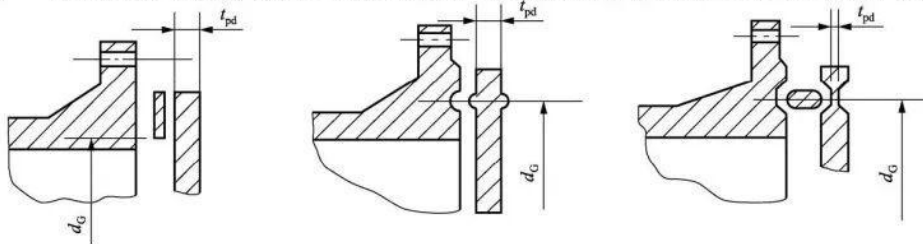


图 6.7.2 夹在法兰间的盲板

7 管道布置

- 7.0.1 管道布置应满足工艺管道及仪表流程图的要求，并便于施工、操作和检修。
- 7.0.2 氢气管道宜采用自然补偿的方式，不宜使用软管。
- 7.0.3 管道宜架空敷设；当与其他管道共架敷设或分层布置时，氢气管道宜布置在外侧并在上层。
- 7.0.4 管道不应布置在通风不良的建筑物内及封闭的夹层内。
- 7.0.5 管道不应穿越或跨越与其无关的建筑物、工艺装置及储罐组。
- 7.0.6 管道穿过墙壁或楼板时，应敷设在套管内，套管内的管段应无对接焊缝。管道与套管间，应采用不燃材料填塞。
- 7.0.7 管道不宜设置放空或排净，输送湿氢的管道，应有不小于 3‰的坡度，且应在管道最低点处设排水装置。
- 7.0.8 氢气管道与氧气管道平行布置时净距不应小于 500mm，交叉布置时净距不应小于 250mm；当管道采用焊接连接结构且无阀门时，平行布置时净距可取 250mm。两类管道之间宜用公用物料管道隔开。
- 7.0.9 氢气放空管上的阻火器应靠近放空口端部布置；放空口应有防雨雪侵入和杂物堵塞的措施。
- 7.0.10 制氢站、加氢站和车间内氢气管道敷设时，除应符合本规范外，尚应符合现行国家标准《氢气站设计规范》GB 50177 的要求。
- 7.0.11 管道布置除应符合本规范外，尚应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的规定。

8 应力分析及管道支吊架

8.1 一般规定

8.1.1 管道系统在各种可能的荷载作用下，管道系统（含管道、管道元件及管道支吊架）应具有足够的强度和适当的刚度，以避免出现下列情况：

- 1 因应力超限或疲劳原因造成的管道或支吊架失效；
- 2 因力或力矩过大造成的管道连接部位产生泄漏；
- 3 因力或力矩过大造成的管道元件或与管道相连接的设备产生过大应力或变形，影响设备正常运行；
- 4 因力或力矩过大造成的管道支吊架破坏；
- 5 管道弹性失稳而造成管道破坏。

8.1.2 管道应力分析应符合下列规定：

- 1 管道应力分析中的任何假设与简化，不应计算结果产生不利或不安全的影响；
- 2 应计及本规范第 8.2 节所述管道承受的各种荷载，并按管道运行中可能出现的各种工况条件计算；
- 3 管道应力分析应计及支吊架的作用。管道系统设计应保证支吊架具有足够的强度和适当的刚度。

8.2 荷载分类及其组合工况

8.2.1 作用于管道的荷载分类应符合下列规定：

- 1 持续性荷载包括介质压力、重力等。
- 2 偶然性荷载包括风、地震、流体排放反力等。
- 3 位移荷载包括下列情况：
 - 1) 因约束产生的荷载：温度变化时，因管道受约束使管道不能自由热胀冷缩而产生的轴向力和力矩；
 - 2) 由于膨胀特性不同产生的荷载：材料热胀系数差异导致热膨胀的不同而产生的荷载，如双金属复合管道、夹套管道、非金属衬里管道等；
 - 3) 温度梯度形成的荷载：因温度剧变或分布不均匀而在管壁中产生的应力所形成的荷载，如高温流体通过厚壁管或流体分层流动而产生的管道挠曲；
 - 4) 端点位移引起的荷载：管道支吊架或管道连接的设备发生位移引起的荷载。
- 4 循环荷载包括管道系统由压力循环、热循环以及其他循环引起疲劳的荷载。
- 5 冲击荷载包括因介质流动、流量或流速变化、压力波动、水击等内部条件或外部条件产生

的冲击。

6 振动荷载包括机器共振、风致振动、声致振动、流致振动以及因流体冲击、压力脉动引起的振动。

8.2.2 管道承受的重力荷载应包括静荷载及活荷载。静荷载应包括管道组成件、绝热材料、管道支承及其他永久性荷载。活荷载应包括输送流体重力或试验用流体的重力、寒冷地区冰、雪的重力及其他活动的临时荷载等。

8.2.3 管道应力分析的荷载组合工况应符合下列规定：

- 1 压力、重力等持续性荷载同时作用；
- 2 本条第 1 款所述持续性荷载与偶然性荷载同时作用，不同偶然性荷载不同时计入；
- 3 因温度引起本规范第 8.2.1 条第 3 款第 1)～3) 项的荷载及其他交变荷载；
- 4 本条第 1 款所述持续性荷载与本规范第 8.2.1 条第 3 款第 4) 项所述的端点或支吊架位移引起的荷载同时作用；
- 5 本条第 1 款所述持续性荷载与本规范第 8.2.1 条第 5 款所述的冲击荷载同时作用。

8.2.4 承受循环荷载的管道宜进行疲劳分析。

8.2.5 承受振动荷载的管道宜进行动力分析。

8.3 管道应力分析的范围及方法

8.3.1 管道均应进行应力分析，工程设计中宜根据管道的温度、压力、公称直径、连接的设备类型以及设备和管道布置情况等确定分析方法和详细程度。

8.3.2 管道应力分析方法应符合下列规定：

1 管道应力分析方法包括简化分析方法和详细分析方法。简化分析方法包括目测法、表格法、图解法、公式法等，所采用的表和图应经计算验证；详细应力分析法应采用专门的应力分析软件进行计算机详细分析。

2 符合下列条件之一的管道，可使用简化分析方法进行应力分析：

- 1) 公称直径小于 DN50；
- 2) 设计温度高于 -46°C 且低于 150°C ；
- 3) 设计温度高于或等于 150°C 且低于 200°C ，公称直径大于或等于 DN50、小于或等于 DN400；
- 4) 设计温度高于或等于 200°C 且低于 300°C ，公称直径大于或等于 DN50、小于或等于 DN200；
- 5) 对无分支管道或管系的局部，在详细的应力分析前进行初步柔性判断时，可采用简化的分析方法。

3 符合下列条件之一的管道，宜采用详细分析方法进行应力分析：

- 1) 与敏感机器、设备相连；
- 2) 与有特殊荷载要求的设备管口相连；

- 3) 预期寿命内温度循环次数超过 7 000 次；
 - 4) 设计温度高于或等于 300℃, 或者低于或等于 -46℃, 且管道公称直径大于或等于 DN100；
 - 5) 利用简化分析方法后, 表明需要进行详细应力分析的。
- 8.3.3 管道应力分析时计算管系的划分应符合下列规定：
- 1 管系可按设备连接点或固定点划分为若干计算分管系, 每一计算分管系中应包括其所有管道组成件和各种支吊架；
 - 2 分支管道不宜从分支点处进行分段计算, 仅当支管刚度与主管刚度的差别导致分支管对主管牵制作用可略去不计时才可分段, 但计算支管时应计入主管在分支点处附加给支管的线位移和角位移。
- 8.3.4 管道应力分析除应符合本规范外, 尚应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的规定。

8.4 持续荷载分析

- 8.4.1 由压力产生的应力应满足下列规定：
- 1 管道组成件由内压产生的应力应依据本规范厚度及补强计算验证安全；
 - 2 管道组成件由外压产生的应力应依据本规范厚度及稳定性计算验证安全。
- 8.4.2 由内、外压力、重力及其他持续荷载共同作用下产生的应力 σ_L 应满足：

$$\sigma_L \leq [\sigma]_h M_T \quad (8.4.1)$$

式中：

σ_L ——由内、外压力、重力及其他持续荷载共同作用下产生的应力 (MPa)；

$[\sigma]_h$ ——与计算条件相应的温度对应的材料许用应力 (MPa)。

其中, σ_L 的计算应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的规定, 高温工况下 $[\sigma]_h$ 还应计及焊接接头高温强度降低系数 W , M_T 的取值应满足下列要求：设计温度不高于 150℃ 的碳钢及中低合金钢管道, M_T 应按本规范表 3.2.6-1 和表 3.2.6-2 取值, 其他工况, M_T 取 1.0。

8.5 管道柔性分析

- 8.5.1 管道系统应具有足够的柔性, 以防止管道系统由于热胀冷缩、管道支撑及端部附加位移等产生下列情况：
- 1 应力超限或疲劳原因造成的管道或支吊架失效；
 - 2 荷载过大造成的管道连接部位发生泄漏；
 - 3 荷载过大造成的管道支吊架、管道元件或与管道连接的设备产生过大应力或变形。
- 8.5.2 管道柔性分析应满足下列规定：
- 1 管道系统中任何一处由热胀、冷缩和其他位移引起的位移应力范围 σ_E 计算值不应超过按本规范第 8.5.3 条确定的许用的位移应力范围 $[\sigma]_A$ ；
 - 2 支座反力或端点反力不应使管道系统中的支吊架或与管道系统连接的设备失效；

- 3 计算的管道位移应满足相关规范或管道布置的要求，柔性分析时应对此位移加以分析；
 - 4 经分析确认管道系统没有足够的柔性，应按本规范第 8.5.13 条的方法改善管道柔性。
- 8.5.3 许用的位移应力范围应符合下列规定：
- 1 许用的位移应力范围计算符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的规定。
 - 2 对于铸件，热态及冷态下的许用应力应计入铸件质量系数 E_c 。对纵向焊接接头，冷态及热态下的许用应力 ($[\sigma]_c$ 和 $[\sigma]_h$) 不需计及焊接接头系数 E_j ；
 - 3 $[\sigma]_c$ 和 $[\sigma]_h$ 不应大于 138MPa；
 - 4 管道位移应力范围系数 f 主要用于耐腐蚀性良好的管道，在主应力循环数高的地方应采用抗腐蚀的材料；
 - 5 管道设计时应注意在氢气工况下，材料在氢脆范围（低于或等于 150℃）内以及高温工况下疲劳寿命会降低；
 - 6 当系统设计温度在氢脆范围（低于或等于 150℃）内时，所有易受氢脆影响的材料（碳钢和低合金钢），当量循环次数 N 应增大 10 倍。
- 8.5.4 计算管道位移应力范围时，应计算最低温度到最高温度（若环境温度为最低或最高温度时按环境温度）的最大位移应力范围。
- 8.5.5 柔性分析所需要的管道材料特性应按下列规定执行：
- 1 线膨胀系数应符合下列规定：
 - 1) 计算应力范围时，应根据材料在温度循环中最高和最低工作温度下从现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 附录 B 表 B.0.2 选取相应的线膨胀系数；
 - 2) 计算支架及端点反力时，应根据材料在最高（或最低）工作温度和环境温度下从现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 附录 B 表 B.0.2 选取相应的线膨胀系数。
 - 2 弹性模量应符合下列规定：
 - 1) 计算应力范围时，材料的弹性模量可按温度为 20℃ 时取值。当管道系统中的各管道元件的弹性模量对管道系统中的应力分布会产生很大影响时，则应按材料在温度循环中的最高和最低工作温度从现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 附录 B 表 B.0.1 选取相对应的弹性模量 E_m ；
 - 2) 计算支架及端点反力时，应根据材料在最高（或最低）工作温度和环境温度下从现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 附录 B 表 B.0.1 选取最高或最低温度下材料的弹性模量 E_m 以及环境温度下的弹性模量 E_a 。
 - 3 泊桑比宜取 0.3，也可取更为精确和权威的数据。
 - 4 柔性分析时应采用管道或管道元件的名义厚度和外径值。
- 8.5.6 在进行管道系统柔性分析时，应计及膨胀节和其他管道元件的刚度要求。各种管道元件的柔性系数和应力增大系数按现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 附录 E 或其他方法计算。对附录 E 未列入的管道元件，其柔性系数和应力增大系数可采用数值分析或模拟实验的方法确定。

8.5.7 符合下列条件之一时，管道系统可免除柔性分析：

1 设计的管道系统与其他已成功运行的管道系统的结构和布置一致，或在结构和布置上仅有很少且不影响管道系统柔性要求的差异；

2 该管道系统与已经过应力分析合格的管道系统相比较，管道布置和管架设置等相同，或者可以很容易判定该管道系统的柔性高于已分析管道；

3 设计的管道系统中，管子尺寸相同、固定点不超过两个、不存在中间约束，且满足下式要求：

$$\frac{D_o y}{(L-U)^2} \leq \frac{208\,000[\sigma]_A}{E_a} \quad (8.5.7)$$

式中：

y ——管道系统所需吸收的总的线位移（mm）；

U ——两固定点间的直线距离（m）；

$[\sigma]_A$ ——许用的位移应力范围（MPa）；

E_a ——环境温度下的弹性模量。

注：下列管道不适用于免除柔性分析：

- ①剧烈循环工况的管道；
- ②含有不等长 U 形弯管（ $L/U > 2.5$ ）或近似直线的锯齿状管道；
- ③不在固定支承连接方向上的附加位移占总位移量主要部分的管道；
- ④大直径薄壁管道（应力增大系数 $i \geq 5$ ）。

8.5.8 不能免除柔性分析的管道系统应采用本规范第 8.5.2 条所述的方法进行分析。

8.5.9 柔性分析时的基本假设和要求应满足下列规定：

1 在进行管道系统柔性分析时，应将管道系统作为一个整体，并应计算管道系统在各可能工况下的所有危险部位及其受力，包括管子和管道组成件中的应力、支吊架处所产生的摩擦力和所受的反力；

2 管道系统柔性分析前，应首先确定所有管道支吊架及其他约束的位置和类型，并且假定支吊架和约束具有足够的强度和刚度，以承受管道或管道组成件对其施加的力和力矩。

8.5.10 位移应力范围 σ_E 应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的规定。

8.5.11 支架或端点反作用力应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的规定。

8.5.12 管道对所连接机器设备的荷载应符合相关标准的规定或满足设备制造厂提出的允许荷载的要求。管道对压力容器管口上的荷载应作为校核容器强度的条件。

8.5.13 改善管道柔性的措施应符合下列规定：

1 管道设计中可利用管道自身的弯曲或扭转产生的变形来达到热胀或冷缩时的自补偿，当其柔性不能满足要求时，可通过调整支吊架的型式与位置或改变管道走向的方法改善管道柔性。

2 当条件受限时，不能采用本条第 1 款的方法改善管道柔性时，可根据管道设计参数和类别选用波纹膨胀节或类似装置，并在柔性分析时计及其刚度。

8.6 偶然荷载分析

8.6.1 管道设计应计及持续荷载与偶然荷载的应力，在工作条件下，管道受内压、自重、其他持续荷载和偶然荷载所产生的应力之和应满足下式要求：

$$\sigma'_L \leq 1.33[\sigma]_h M_f \quad (8.6.1)$$

式中：

σ'_L —— σ_L 与偶然荷载所产生的应力之和（MPa）。

其中 M_f 的取值满足本规范第 8.4.2 条的规定。

8.6.2 管道处于地震设防烈度大于或等于 6 度，且设计基本地震加速度大于或等于 0.10g 的地区，管道设计时应计及地震荷载。

8.6.3 若无特殊要求，管道设计不应计及风和地震荷载同时发生的情况。

8.6.4 安全阀开启的瞬时反冲力可计入偶然荷载。

8.7 管道支吊架

8.7.1 管道支吊架的设置和设计应使得管道的应力符合本规范第 8.4.2 条和第 8.5.2 条的规定。

8.7.2 管道支吊架应能承受本规范第 8.2 节所述荷载。

8.7.3 管道支吊架的设置及跨距要求应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的规定。

8.7.4 管道支吊架的材料应符合下列规定：

1 管道支吊架各部件（除弹簧外）所用材料的许用应力应满足现行国家标准《管道支吊架 第 1 部分：技术规范》GB/T 17116.1 的要求，但对用于管架部件的焊接管道元件，其许用应力可不计及纵向焊接接头系数 E_j 和材料性能系数 M_f ；

2 若钢材为冷成型且成型半径小于其 2 倍壁厚时，材料在成型后应进行退火或正火处理；

3 对于可能承受压力脉动或振动等冲击荷载的管道，不应采用铸铁；

4 非金属材料用于管架材料时应进行设计，符合其耐受温度、强度、耐久度等因素的要求；

5 直接焊接在管道上的管架附件的材质应与主管材质具有相容性。

8.7.5 管道支吊架的结构设计及选用要求应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的规定。

9 预制、施工及检验的要求

9.1 一般规定

9.1.1 管道预制、施工、检验及试压的要求，除了应符合本规范的规定外，尚应符合现行行业标准《石油化工有毒、可燃介质钢制管道工程施工及验收规范》SH/T 3501 的规定。

9.1.2 承担管道工程的工厂化预制管段制造单位、施工和检验单位应取得相应的资质并在资质等级许可的范围内从事相应工作。

9.1.3 从事金属管道施工的焊工应取得相应的合格证书，并在有效期内从事合格项目范围内的焊接工作。

9.1.4 无损检测人员应取得相应的资格证书，并在资格允许范围内从事无损检测工作。

9.1.5 管道在安装过程中应保持管道表面清洁、干净，并采用严格措施防止焊渣、铁锈和可燃物等进入或遗留在管道内。

9.1.6 设计压力大于或等于 4.0MPa 的管道法兰接头的安装应根据螺栓安装载荷、紧固方法和紧固程序的要求，编制书面的安装程序文件，并经安装单位技术负责人批准后方可进行装配操作。

9.2 管道预制

9.2.1 管道焊接接头的坡口形式、尺寸应符合焊接工艺文件的要求。

9.2.2 管子坡口宜采用机械方法加工。当采用热切割方法加工时，加工后应采用机械方法除去影响焊接质量的表面层，火焰方法切割只能用于碳钢材料。

9.2.3 进行热切割或焊接前，管道表面应彻底去除油漆、油污、锈斑、氧化皮、油脂、焊渣、氧化物和其他对母材有害的物质。

9.2.4 管道焊接组对时应使内壁平齐，错边量应符合焊接工艺文件的要求，且不应大于 1mm，否则应符合下列规定：

1 当材料的最小屈服强度相同但壁厚不同的管子、管件组对时，应按图 9.2.4-1~图 9.2.4-3 的要求加工坡口；

2 当材料的最小屈服强度不同且壁厚不同的管子、管件组对时，应按图 9.2.4-4 的要求加工坡口， T_D 值不应小于连接管道较薄壁厚乘以管道较大最小屈服强度与较小最小屈服强度的比值。

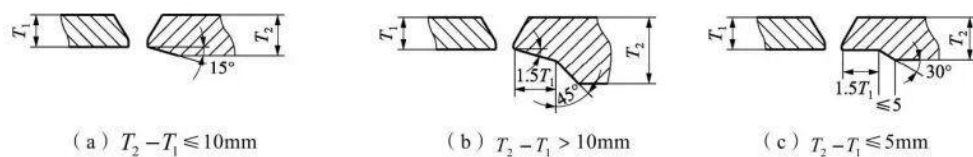


图 9.2.4-1 外侧齐平不同壁厚管道组件坡口端部加工

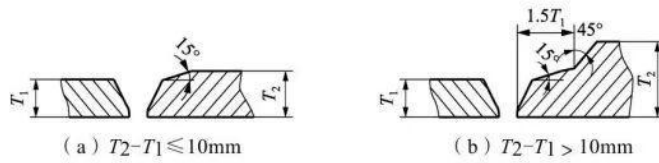


图 9.2.4-2 内侧齐平不同壁厚管道组成件坡口端部加工

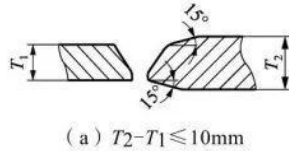


图 9.2.4-3 内外侧均不齐平不同壁厚管道组成件坡口端部加工

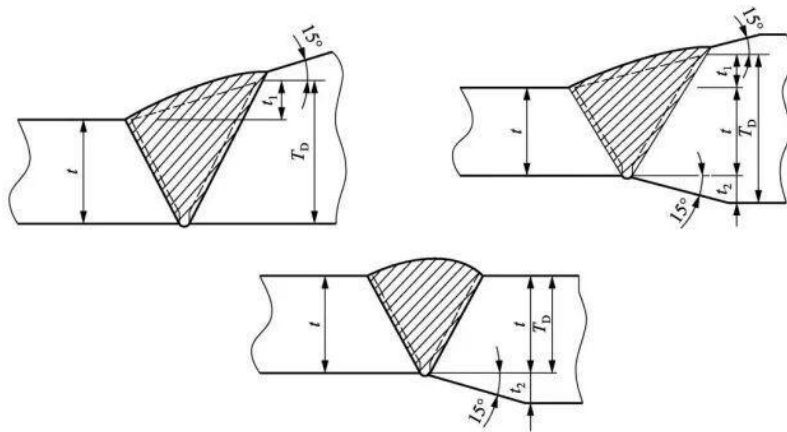


图 9.2.4-4 不同强度不同壁厚管道组成件坡口端部加工

注： t_1 、 t_2 和 t_1+t_2 均不应大于 $0.5t$ 。

9.2.5 不得对焊件包括焊缝进行敲打或掰扭等造成管道变形的方法进行管道焊接组对。

9.3 管道焊接

9.3.1 管道的承压件间、承压件和与非承压件的焊接均采用经评定合格的焊接工艺，并由合格焊工施焊。

9.3.2 焊接材料相容性应符合本规范第 4 章的规定，管道焊接应采用相容性评定合格的焊接工艺。

9.3.3 焊缝金属的抗拉强度应不小于母材规定抗拉强度的下限值。对于两种不同强度的母材相互焊接，焊缝金属的抗拉强度应不低于规定抗拉强度较高母材的下限值。

9.3.4 管道组成件焊前预热温度应符合表 9.3.4 的规定，对于无预热要求的钢种，焊件两侧 305mm 范围内金属表面温度不得低于 16°C 。中断焊接后需要继续焊接时，应重新预热。

表 9.3.4 管道组件焊前预热要求

母材类别	名义壁厚 (mm)	母材最小抗拉强度 (MPa)	最低预热温度 (℃)
碳钢	< 25	≤ 490	80
	≥ 25	—	95
	全部	> 490	95
铬钼合金钢 Cr≤0.5%	< 13	≤ 490	80
	≥ 13	—	95
	全部	> 490	95
铬钼合金钢 0.5% < Cr ≤ 2%	全部	—	150
铬钼合金钢 2.25% ≤ Cr ≤ 6%	全部	≤ 414	175
	全部	> 414	200
铬钼合金钢 6% < Cr ≤ 10%	≤ 13	≤ 414	175
	≤ 13	> 414	200
	> 13	—	200

9.3.5 焊接连接阀门所采用的焊接规程和相关的热处理方案，不得影响阀座的密封性能。

9.3.6 焊接后应清除所有的熔渣、氧化物和其他有害物质，清理过程不得损伤焊件和焊缝。

9.3.7 焊后热处理工艺应在焊接工艺规程中规定，并经焊接工艺评定验证。除设计文件另有规定外，常用钢材焊接接头的热处理温度按表 9.3.7 的规定确定。

表 9.3.7 常用钢材焊接接头热处理基本要求

母材类别	名义厚度 δ (mm)	热处理温度 (℃)	相应焊后热处理厚度下最短保温时间 (h)			布氏硬度 (HBW)
			≤ 50mm	50mm~125mm	> 125mm	
碳钢	≤ 20 ^注	600~650	$\delta/25$ ，且 ≥ 1.0	2 + ($\delta - 50$) / 100	200	
	> 20					
铬钼合金钢 Cr≤0.5%	≤ 16	600~650				
	> 16					
铬钼合金钢 0.5% < Cr ≤ 2%	全部	705~745				≤ 225
铬钼合金钢 2.25% < Cr ≤ 10%	全部	705~760	≤ 241			

注：焊接接头硬度满足要求时，可不进行热处理。

9.3.8 异种铁素体材料焊件焊后热处理，应按较高热处理温度的铁素体材料的热处理温度进行。

9.3.9 铁素体和奥氏体焊件焊后热处理，应按铁素体材料的热处理温度进行。

9.4 管道检验

- 9.4.1 压力管道元件制造单位应具有国家相关行政部门颁发的相应类别的压力管道元件制造许可证，且产品应具有许可标志。
- 9.4.2 设计文件规定为剧烈循环工况管道、高温蠕变工况管道和设计压力大于或等于 4.0MPa 的管道，其焊接接头应进行 100%无损检测。
- 9.4.3 焊缝金属应平滑地与焊件表面融合，焊缝表面不得有低于母材的局部凹陷。
- 9.4.4 焊缝表面不允许存在裂纹、未熔合、未焊透、气孔、夹渣和飞溅等缺陷。
- 9.4.5 经焊后热处理的焊接接头，应对其焊缝和热影响区进行 100%硬度值测定，且其硬度值均不得超过本规范表 9.3.7 的规定，热影响区的测定区域应紧邻熔合线。
- 9.4.6 名义厚度小于或等于 20mm 的未经焊后热处理的碳钢管道焊接接头，应对焊缝和热影响区进行 20%硬度值测定，且其硬度值均不得超过本规范表 9.3.7 的规定。
- 9.4.7 管道的内表面应无毛刺、焊渣、铁锈和污垢等缺陷，且除锈应达到金属本色。

9.5 管道试验

- 9.5.1 在初次运行前，管道系统应进行压力试验、泄漏试验和泄漏量试验。
- 9.5.2 管道系统的压力试验介质应以液体进行，因条件限制不能进行液压试验的若采用气压试验代替，则应符合现行行业标准《石油化工有毒、可燃介质钢制管道工程施工及验收规范》SH/T 3501 的相关规定。
- 9.5.3 管道系统压力试验合格后，应进行气体泄漏试验，试验应符合现行行业标准《石油化工有毒、可燃介质钢制管道工程施工及验收规范》SH/T 3501 的相关规定。
- 9.5.4 管道系统泄漏试验合格后，应进行气体泄漏量试验，试验应符合下列规定：
- 1 试验介质应采用空气、氮气或氦气，试验压力应为管道设计压力。
 - 2 采用空气或氮气进行泄漏量试验时，试验压力应逐级缓慢上升，达到试验压力后保压时间应不小于 24h，平均每小时泄漏率不应超过 0.5%。
 - 3 采用氦气进行泄漏量试验时，试验压力应逐级缓慢上升，达到试验压力后保压时间应不小于 1h，平均每小时泄漏率不应超过 0.5%。
 - 4 平均每小时泄漏率应按下列公式计算：

- 1) 当氢气管道公称直径小于或等于 DN300 时：

$$S = [1 - (273 + t_1)P_2 / (273 + t_2)P_1] \times \frac{100}{H} \quad (9.5.4-1)$$

- 2) 当氢气管道公称直径大于 DN300 时：

$$S = [1 - (273 + t_1)P_2 / (273 + t_2)P_1] \times \frac{100}{H} \times \frac{DN}{300} \quad (9.5.4-2)$$

式中：

S——平均每小时泄漏率（%）；

P_1 ——试验保压开始时的管道绝对压力 (MPa) ;

P_2 ——试验保压终了时的管道绝对压力 (MPa) ;

t_1 ——试验保压开始时的管道温度 (°C) ;

t_2 ——试验保压终了时的管道温度 (°C) ;

H ——试验保压时间 (h) ;

DN ——管道公称直径。

9.5.5 管道气体泄漏量试验合格后应使用流速应不小于 20m/s 的无油空气或氮气进行吹扫, 直至管道出口无铁锈、无尘土和其他脏物。

10 绝热及防腐

10.1 绝 热

10.1.1 管道保温和保冷的计算、材料选择及结构要求等可按现行国家标准《设备及管道绝热技术通则》GB/T 4272、《设备及管道绝热设计导则》GB/T 8175 及《工业设备及管道绝热工程设计规范》GB 50264 进行设计，低温管道应满足现行行业标准《低温管道绝热工程设计、施工和验收规范》SY/T 7419 的要求。

10.1.2 严禁镀锌的绝热辅助材料与不锈钢管接触。

10.1.3 管道伴热的绝热结构，应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的相关规定。

10.1.4 奥氏体不锈钢管道用的绝热材料，其氯离子、氟离子、硅酸根、钠离子的含量应符合现行国家标准《覆盖奥氏体不锈钢用绝热材料规范》GB/T 17393 的有关规定，且浸出液的 pH 值在 25℃ 时应为 7.0~11.0。

10.1.5 绝热结构的外保护层应能有效地防止雨水进入绝热层内。

10.1.6 液氢管道用绝热结构宜采用真空绝热结构，真空绝热结构中宜设置吸水剂、吸附剂和绝热屏蔽材料；封结真空度应不大于 $5 \times 10^{-3} \text{Pa}$ ，且应进行真空度稳定性测试；真空夹层的泄漏率应不大于 $1 \times 10^{-10} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ；真空夹层的放气速率应不大于 $1 \times 10^{-8} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

10.2 防 腐

10.2.1 埋地氢气管道外表面应采用防腐层进行腐蚀控制，防腐层的类型、等级应与管道敷设环境相匹配。

10.2.2 大气环境、绝热层下的碳钢管道应采用外涂层进行防腐，外涂层的选择应计及管道运行温度、预期服役年限和环境腐蚀性。

11 管道系统的安全规定

11.1 一般规定

- 11.1.1 管道系统检修前应采取泄压、隔断和惰性气体置换等措施；管道系统使用前应进行泄漏检测，并采用惰性气体吹扫和氢气置换。
- 11.1.2 液氢或低温氢气管道应吹扫清除系统中的油、脂、水气，避免阀门的冻结、管道或小孔的堵塞。
- 11.1.3 除应符合本规范的规定外，管道系统的安全设计尚应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316的有关规定。

11.2 风险控制

- 11.2.1 管道应采用焊接连接或其他能有效防止介质泄漏的连接方式。
- 11.2.2 管道系统应采取防止高压管道介质窜入低压管道的措施。
- 11.2.3 与设备连接的管道应设置切断阀。
- 11.2.4 管沟敷设的管道应采取防止氢泄漏、积聚的措施。
- 11.2.5 管道应设放净、取样、吹扫和置换管口，其位置应能满足管道内介质放净、取样、吹扫和置换要求。
- 11.2.6 可能出现氢气介质泄漏和积聚的位置宜设置固定式可燃气体检测报警仪。
- 11.2.7 管道系统应保持在正压状态，防止系统外部的空气进入，避免氢/空气（氧气）混合物在密闭空间积聚。

11.3 超压保护

- 11.3.1 安全泄放装置应能保证系统压力不高于系统的最大允许工作压力，其通量应满足安全泄放量，且在极端条件下仍应有足够的泄放能力。
- 11.3.2 若低压系统通过压力调节器与高压系统相连，且低压系统的承压上限低于高压系统的压力，则低压系统应设置安全泄放装置。
- 11.3.3 当管道安装多个安全泄放装置，并共用一条出口管道时，应确保各个安全泄放装置不影响管道流速，且运行时不影响其他安全泄放装置的开启压力。
- 11.3.4 安全泄放装置应能适应管道系统的压力温度等级，且材料与氢有良好的相容性。
- 11.3.5 安全泄压装置的出口管道的设计，应计及氢气泄压排放时介质温度的升高，以及液氢或低温氢气排放时管道的防冻措施。
- 11.3.6 安全泄放装置进出口管道的切断阀应采用全通径阀门，或压力降不影响安全泄放装置正

常运行和安全泄放的阀门。

11.3.7 安全泄压装置的出口管道的布置，应符合泄压排放引起的反作用力的要求，合理设置管道支架。

11.3.8 安全泄压装置直接向大气排放应符合下列规定：

- 1 排放管口不得朝向邻近管道或设备，并应远离平台和有人通过的区域；
- 2 应采取防止空气和水进入排放管的措施，必要时可通入惰性气体。

11.3.9 安全泄放装置和被保护的设备或管道之间不宜设置切断阀，当进出管道设置切断阀时，应采用阀门锁或铅封等安全措施，保持切断阀处于全开或全关的状态。

12 长输管道的规定

12.1 一般规定

12.1.1 长输管道设计应符合下列要求：

- 1 站内工艺管道工作温度不应低于 -62°C ，线路管道输送温度不宜低于 0°C ；
- 2 氢气含水量不大于 0.002% （1个大气压时露点为 -55°C ）。

12.1.2 长输管道宜按现行行业标准《油气输送管道风险评价导则》SY/T 6859的规定开展风险评价。

12.1.3 长输管道的年设计输送能力应满足设计委托书或设计合同的规定。

12.1.4 长输管道线路施工及验收应符合现行国家标准《油气长输管道工程施工及验收规范》GB 50369的相关要求。

12.2 线路

12.2.1 氢气长输管道线路选择、管道敷设要求、线路水工防护、管道标识应符合现行国家标准《输气管道工程设计规范》GB 50251的有关规定，同时还应满足下列要求：

1 埋地管道最小覆土厚度不宜小于 900mm ；对于岩石地段，埋深不宜小于 600mm ；农田段的最小埋深不宜小于 1200mm ；

2 埋地管道与其他埋地管道地下交叉时，间距应不小于 300mm 。

12.2.2 管线通过的地区，应按沿线居民户数和（或）建筑物的密集程度，划分地区等级，并依据地区等级做出相应的管道设计。地区等级划分应符合下列规定：

1 沿管线中心线两侧各 200m 范围内，任意划分成长度为 2km 并能包括最大聚居户数的若干地段，按划定地段内的户数应划分为四个等级。在乡村人口聚集的村庄、大院及住宅楼，应以每一独立户作为一个供人居住的建筑物计算。地区等级划分原则应符合下列规定：

- 1) 一级地区：户数在15户或以下的区段；
- 2) 二级地区：户数在15户以上100户以下的区段；
- 3) 三级地区：户数在100户或以上的区段，包括市郊居住区、商业区、工业区、规划发展区以及不够四级地区条件的人口稠密区；
- 4) 四级地区：四层及四层以上楼房（不计地下室层数）普遍集中、交通频繁、地下设施多的区段。

2 当划分地区等级边界线时，边界线距最近一幢建筑物外边缘不应小于 200m ；

3 在一级、二级、三级地区内的学校、医院、幼儿园、养老院、监狱以及其他人群聚集的公共场所，应按四级地区选取设计系数；

4 当一个地区的发展规划足以改变该地区的现有等级时，应按发展规划划分地区等级。

12.2.3 管道线路沿线应开展高后果区识别，识别方法和分级准则应符合现行国家标准《油气输送管道完整性管理规范》GB 32167 的有关规定。

12.2.4 氢气管道潜在影响半径计算可按式计算，且不同氢含量浓度修正系数应符合表 12.2.4 的要求：

$$r = m\sqrt{pD_0^2} \quad (12.2.4)$$

式中：

r ——受影响区域的半径（m）；

m ——浓度修正系数；

p ——最大允许操作压力（MAOP）（MPa）。

表 12.2.4 不同氢（含量）浓度修正系数表

天然气（含量）浓度（%）	氢气（含量）浓度（%）	m 取值
0	100	0.069
10	90	0.072
40	60	0.080
80	20	0.093
90	10	0.096
100	0	0.099

12.2.5 管道强度设计系数应符合表 12.2.5 的规定。

表 12.2.5 强度设计系数

管段或管道	地区等级划分			
	一级地区	二级地区	三级地区	四级地区
一般线路段	0.5	0.5	0.5	0.4
穿越公路、铁路	0.5	0.5	0.5	0.4
水域小型穿越、乙类小型跨越	0.5	0.5	0.5	0.4
水域大型和中型穿越、山岭隧道穿越、甲类跨越、乙类大中型跨越	0.4	0.4	0.4	0.4
线路进出站场、阀室管段	0.5	0.5	0.4	0.4

12.2.6 氢气输送管道应设置线路截断阀（室），线路管道沿线相邻截断阀之间的间距应符合下列规定：

- 1 以一级地区为主的管段不宜大于 32km；
- 2 以二级地区为主的管段不宜大于 24km；
- 3 以三级地区为主的管段不宜大于 16km；

4 以四级地区为主的管段不宜大于 8km；

5 本条 1~4 款规定的线路截断阀间距，如因地物、土地征用、工程地质或水文地质造成选址受限的可作调整，一级、二级、三级、四级地区调增分别不应超过 4km、3km、2km、1km。

12.2.7 除应符合本规范的规定外，线路管道穿越和跨越设计尚应符合现行国家标准《油气输送管道穿越工程设计规范》GB 50423 和《油气输送管道跨越工程设计标准》GB/T 50459 的规定。

12.3 输送站场

12.3.1 氢气站场设计输气能力应与管道系统设计输气能力匹配，且符合下列规定：

- 1 管道材料应符合本规范第 4 章的规定；
- 2 管道组成件的选用应符合本规范第 5 章的规定；
- 3 组成件耐压强度计算应符合本规范第 6 章的规定；
- 4 管道布置应符合本规范第 7 章的规定；
- 5 管道应力分析及管道支吊架应符合本规范第 8 章的规定；
- 6 预制、施工及检验应符合本规范第 9 章的规定；
- 7 绝热及防腐应符合本规范第 10 章的规定；
- 8 管道系统安全规定应符合本规范第 11 章的规定。

12.3.2 清管设施应符合下列规定：

- 1 清管设施宜与站场合并建设，当站间距超过清管器可靠运行距离时，应单独设置清管站；
- 2 清管工艺应采用不停气密闭清管工艺流程，进出站的管段上宜设置清管器通过指示器；
- 3 清管器收、发筒的结构尺寸应能满足清管器或智能检测器通过的要求；
- 4 清管作业清除的污物应进行收集处理，不得随意排放。

12.3.3 进、出站场的氢气输送管道应设置紧急截断阀。

12.3.4 氢气输送的管道站场应在进站截断阀上游和出站截断阀下游设置放空设施；相邻线路截断阀（室）之间的管段上应设置氢气放空立管或预留放空阀接口。

12.3.5 存在超压可能的管道、设备和容器，应设置压力泄放装置。

12.3.6 设置紧急泄放的站场应进行低温分析。

12.3.7 氢气系统的设备和管道应设置氮气吹扫装置。

12.3.8 氢气管道系统应具有必要的柔性，并应符合本规范第 8 章的相关规定。

12.3.9 与分离器、清管收发筒、压缩机组等设备相连的地面和埋地管道应采取防止管道沉降或位移的措施。

12.3.10 可能产生和积聚静电的设备、管道应采取防静电措施。

12.3.11 站场内地面上的氢气管道，除了有电绝缘要求的部分，均应做防雷防静电接地，接地电阻不大于 10Ω。

12.3.12 有氢气管道和涉氢设备的建筑物应采取强制通风措施并设置可燃气体检测与报警设施。

12.4 管线强度和稳定性

12.4.1 线路直管段管壁厚度应按下列式计算：

$$\delta = \frac{PD_o}{2\sigma_s \phi F t H_f} \quad (12.4.1)$$

式中：

δ ——钢管计算壁厚（mm）；

σ_s ——管材最小屈服强度（MPa）；

ϕ ——焊缝系数，值取 1.0；

F ——强度设计系数；

t ——温度折减系数，当温度小于 120℃时， t 值取 1.0；

H_f ——钢管材料性能系数。

12.4.2 钢管材料性能系数见表 12.4.2：

表 12.4.2 钢管材料性能系数 H_f

规定的最小强度 (MPa)		设计压力 (MPa)						
抗拉强度	屈服强度	6	13	15	16	17	19	20
$\sigma_b \leq 455$	$\sigma_s \leq 360$	1	1	0.954	0.910	0.880	0.840	0.780
$455 < \sigma_b \leq 517$	$\sigma_s \leq 415$	0.874	0.874	0.834	0.796	0.770	0.734	0.682
$517 < \sigma_b \leq 565$	$\sigma_s \leq 485$	0.776	0.776	0.742	0.706	0.684	0.652	0.606

12.4.3 管线强度和稳定性计算应符合现行国家标准《输气管道工程设计规范》GB 50251 的相关规定。

12.4.4 穿跨越管段强度和稳定性校核应符合现行国家标准《油气输送管道穿越工程设计规范》GB 50423 和《油气输送管道跨越工程设计标准》GB/T 50459 的有关规定。

12.4.5 管道抗震设计应符合现行国家标准《油气输送管道线路工程抗震技术规范》GB/T 50470 的有关规定。

12.5 材 料

12.5.1 管道材料的管体及焊缝在氢气环境下应具有足够的韧性，应采用经过验证的能抵抗氢损伤的材质。管道材料应进行化学成分及碳当量、微观组织、晶粒度、力学性能、热处理状态等要求限制。

12.5.2 输送管道钢级不宜大于现行国家标准《石油天然气工业 管线输送系统用钢管》GB/T 9711 中 PSL2 L360/X52 的相关规定。

12.5.3 管道材料在氢气环境下的相容性评价应符合现行国家标准《氢气储存输送系统 第 2 部分：金属材料与氢环境相容性试验方法》GB/T 34542.2 的有关规定。

12.5.4 碳钢管道材质化学成分中镍元素质量分数不应大于 0.50%，磷元素质量分数不应大于 0.015%，硫元素质量分数不应大于 0.010%。

12.5.5 碳钢管道母材、焊缝及其热影响区的硬度不宜超过 250HV10。

12.5.6 管道材料不宜采用镍基合金。

12.6 管线焊接与检验、试压、干燥与置换

12.6.1 长输线路焊接与检验应符合现行国家标准《油气长输管道工程施工及验收规范》GB 50369 的相关要求。

12.6.2 长输线路的试压、干燥应符合现行国家标准《油气长输管道工程施工及验收规范》GB 50369 的相关要求。

12.6.3 管线强度试验压力应不低于设计压力的 1.5 倍，且应符合下列规定：

- 1 试验应在回填后进行。
- 2 试验宜采用水作试压介质。
- 3 当满足表 12.6.3 规定时，三级、四级地区的线路可采用空气或惰性气体作为强度试验介质。

表 12.6.3 采用气体为强度试验介质条件

现场最大试验压力产生的环向应力		最大操作压力不超过现场最大试验压力的 80%	所试验的是新管子，并且焊缝系数为 1.0
三级地区	四级地区		
$< 50\% \sigma_s$	$< 40\% \sigma_s$		

- 4 用水做强度试验介质时应满足下列要求：
 - 1) 试验压力在低点处产生的环向应力不应大于管材标准规定的最小屈服强度的 95%；
 - 2) 试压宜在环境温度为 5℃ 以上进行，低于 5℃ 时应采取防冻措施；
 - 3) 注水宜连续，并应采取措施排除管线内的气体；
 - 4) 水试压合格后，应将管段内积水清扫干净。
- 5 强度试验的稳压时间不应少于 4h。

12.6.4 管线严密性试验应符合下列规定：

- 1 严密性试验应在强度试验合格后进行；
- 2 管道线路严密性试验可用水或气体作试验介质，宜与强度试验介质相同；
- 3 严密性试验压力应为设计压力，并应以稳压 24h 不泄漏为合格。

12.6.5 管线气体置换应符合下列规定：

- 1 管道内的气体置换应在干燥结束后或投产前进行，置换过程中的混合气体应集中放空，置换管道末端应用检测仪对气体进行检测；
- 2 置换空气的气体应采用氮气或其他惰性气体；
- 3 用氢气推动惰性气体作隔离段置换空气时，隔离气段的长度应保证到达置换管线末端氢气与空气不混合，置换管道末端放空检测口测得的含氧量不应大于 0.5%（体积分数）；

- 4 置换过程中管内气体流速不宜大于 5m/s;
- 5 管道干燥结束后, 如果不能立即投入运行, 宜用干燥氮气置换管内气体, 并保持内压 0.12MPa~0.15MPa (绝压) 的干燥状态下的密闭封存。

12.7 管线防腐

12.7.1 氢气管道的外腐蚀控制设计应符合现行国家标准《钢质管道外腐蚀控制规范》GB/T 21447 的有关规定。

12.7.2 氢气管道外防腐层类型、等级的选择应根据地形与地质条件、管道所处环境的腐蚀性、输送介质温度、杂散电流、经济性等因素综合确定。

12.7.3 埋地氢气管道的阴极保护可采用强制电流法、牺牲阳极法或两种方法结合的方式。设计应根据工程规模、土壤环境、防腐层绝缘性能、保护电流密度需求等因素, 经济合理地选用, 并应符合现行国家标准《埋地钢质管道阴极保护技术规范》GB/T 21448 的有关规定。

12.7.4 施加阴极保护的管道应与未施加阴极保护的金属构筑物电绝缘, 在绝缘接头或绝缘法兰的连接设施上应设置防高压电涌冲击的保护设施。

12.7.5 在交、直流干扰源影响区域内的管道, 应按照现行国家标准《埋地钢质管道交流干扰防护技术标准》GB/T 50698 和《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》GB 50991 的规定, 采取有效的干扰防护措施。

12.7.6 施加阴极保护的管道应设置阴极保护参数测试设施, 宜设置阴极保护参数远程监测装置。在管道的全生命周期内, 应定期监测外腐蚀控制系统的运行状况。

附录 A 金属管道材料的许用应力

- A.0.1 表 A.0.1 给出了符合本部分要求的材料牌号和许用应力。
- A.0.2 表 A.0.2 给出了符合本部分要求的螺栓材料牌号和许用应力。
- A.0.3 表 A.0.3 给出了表 A.0.1 所列管子与对焊管件的纵向焊接接头系数 E_j ，管子与对焊管件的纵向焊接接头系数应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 中第 3.2.5 条的规定。
- A.0.4 表 A.0.4 给出了表 A.0.1 所列铸件的铸件质量系数 E_c ，铸件质量系数应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 中表 3.2.4 的规定。
- A.0.5 表 A.0.1 许用应力表的使用应符合下列要求：
- 1 表 A.0.1 中的许用应力未计入管子和对焊管件的纵向焊接接头系数、焊接接头高温强度降低系数以及铸件质量系数；
 - 2 表 A.0.1 未列温度的许用应力可采用内插法计算；
 - 3 表列斜体字表示许用应力值取决于抗拉强度；黑体字表示许用应力值取决于长期（如持久、蠕变）强度；正体字表示许用应力值取决于屈服强度；正体字加下横线表示许用应力值取决于 90% 中温屈服强度；正体加灰底色表示许用应力值高于 2/3 中温屈服强度；
 - 4 材料使用温度上限及对应的许用应力按表列所示；
 - 5 材料最低使用温度应按表列温度或图 4.3.5 所示曲线，数字表示最低使用温度，英文字母 A 或 B 表示图 4.3.5 中的曲线；
 - 6 材料尚应满足本规范第 4 章以及相应注释的要求。

表 A.0.1 金属管道材料的许用应力表

标准号	钢号	厚度 (mm) / 状态	最低使用 温度下限 (°C)	常强度指 标 (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	在下列温度 (°C) 下的许用应力 (MPa)																注				
						40	65	100	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525		550	575	600	
I 碳钢																										
1.1 无缝管																										
GB/T 9711	L245/B (PSL1)	全部	B	415 245	593	138	138	138	138	138	132	126	122	118	113	95.1	79.5	62.6	45.0	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89 (593°C)	b,d	
GB/T 9711	L245/B (PSL2)	全部	-30	415 245	593	138	138	138	138	138	132	126	122	118	113	95.1	79.5	62.6	45.0	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89 (593°C)	b,d,h	
GB/T 9711	L290/X42 (PSL2)	全部	-30	415 290	204	138	138	138	138	138															d,e,f,g	
GB/T 9711	L360/X52 (PSL2)	全部	-30	460 360	204	153	153	153	153	153																d,e,f,g
GB/T 9711	L415/X60 (PSL2)	全部	-30	520 415	204	173	173	173	173	173																d,e,f,g
GB/T 9711	L450/X65 (PSL2)	全部	-30	535 450	204	178	178	178	178	178																d,e,f,g
GB/T 9711	L485/X70 (PSL2)	全部	-30	570 485	204	190	190	190	190	190																d,e,f,g
GB/T 9711	L555/X80 (PSL2)	全部	-30	625 555	204	208	208	208	208	208																d,e,f,g
ASTM A106	A106B	全部	B	415 240	593	137	137	137	137	137	132	126	122	118	113	95.1	79.5	62.6	45.0	31.7	21.4	14.2	9.40	6.89 (593°C)	b	
1.2 焊管 (ERW)																										
GB/T 9711	L210/A (PSL1)	全部	B	335 210	350	112	112	112	112	112	112	108	105	97.0												b,c,d
GB/T 3091	Q235A	≤16	A	370 235	350	123	123	123	123	123	118	115	115	97.0												b,c,f
GB/T 3091	Q235A	>16	A	370 225	350	123	123	123	123	123	118	115	115	97.0												b,c,f
GB/T 9711	L245/B (PSL1)	全部	B	415 245	350	138	138	138	138	138	132	126	122	118												b,c,d
GB/T 9711	L290/X42 (PSL2)	全部	-30	415 290	204	138	138	138	138	138																d,e,f,g

续表 A.0.1

标准号	牌号	厚度 (mm) / 状态	最低使用 温度下限 (°C)	常温强度指 标 (MPa)		最高 使用 温度 (°C)	在下列温度 (°C) 下的许用应力 (MPa)													注					
				σ_b	σ_s		40	65	100	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450		475	500	525	550	600
GB/T 9711	L360/X52 (PSL2)	全部	-30	460	360	204	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153		d,e,fg	
GB/T 9711	L415/X60 (PSL2)	全部	-30	520	415	204	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173		d,e,fg
GB/T 9711	L450/X65 (PSL2)	全部	-30	535	450	204	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178		d,e,fg
1.3. 管件																									
GB/T 29168.2	L290/X42 (PSL2)	全部	-30	415	290	204	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138		d,e,fg
GB/T 29168.2	L360/X52 (PSL2)	全部	-30	460	360	204	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153		d,e,fg
GB/T 29168.2	L415/X60 (PSL2)	全部	-30	520	415	204	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173		d,e,fg
GB/T 29168.2	L450/X65 (PSL2)	全部	-30	535	450	204	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178		d,e,fg
GB/T 29168.2	L485/X70 (PSL2)	全部	-30	570	485	204	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190		d,e,fg
GB/T 29168.2	L555/X80 (PSL2)	全部	-30	625	555	204	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208		d,e,fg
ASTM A234	WPB	全部	B	415	240	593	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137		b,c
1.4. 板焊管 (EFW/SAW)																									
GB/T 9711	L245/B (PSL1)	全部	B	415	245	593	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138		b,d
GB/T 9711	L245/B (PSL2)	全部	-30	415	245	593	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138		b,d,h

续表 A.0.1

标准号	牌号	厚度 (mm) / 状态	最低使用 温度下限 (°C)	常温强度指 标 (MPa)		最高 使用 温度 (°C)	在下列温度 (°C) 下的许用应力 (MPa)														注								
				σ_b	σ_s		40	65	100	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450	475		500	525	550	575	600	625	650	
3. 合金钢																													
3.1 合金钢板焊管 (EFW/SAW)																													
ASTM A691	A387Gr. 12-2	C1.22	-30	448	275	649	149	149	146	144	144	144	141	139	138	136	136	134	132	129	126	92.1	61.1	40.4	26.4	17.4	11.6	7.58 (649°C)	i,j,k
ASTM A691	A387Gr. 11-2	C1.22	-30	515	310	649	172	172	172	172	172	169	164	161	159	156	153	149	146	104	73.7	52.0	36.3	25.2	17.6	12.3	8.27 (649°C)	i,j,k	
ASTM A691	A387Gr. 22-2	C1.22	-30	515	310	649	172	172	171	167	166	165	164	162	161	158	155	151	119	88.4	64.0	44.6	30.0	19.7	12.8	8.27 (649°C)	i,j,k,l		
3.2 合金钢铸件																													
JB/T 5263	WC6	全部	-30	485	275	649	161	161	161	161	155	150	146	143	141	138	136	133	130	104	73.7	52.0	36.3	25.2	17.6	12.3	8.27 (649°C)	a,j	
JB/T 5263	WC9	全部	-30	485	275	649	161	161	160	156	156	156	154	154	153	151	148	145	138	119	88.4	64.0	44.6	30.0	19.7	12.3	8.27 (649°C)	a,j	
JB/T 5263	C12A	全部	-30	585	415	649	195	195	195	195	195	194	192	190	187	183	178	172	165	156	147	137	115	87.0	64.7	45.1	29.6 (649°C)	a,j,l	
GBT 16253	ZG16Cr15 MoG	全部	-30	630	420	649	210	210	205	200	199	198	196	194	191	187	182	176	169	80.6	61.7	46.4	34.7	25.5	17.8	11.4	6.89 (649°C)	a,j	

续表 A.0.1

标准号	钢号	厚度 (mm) / 状态	最低使用 温度下限 (°C)	常温强度指 标 (MPa)		最高 使用 温度 (°C)	在下列温度 (°C) 下的许用应力 (MPa)																注																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
				σ_b	σ_s		40	65	100	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525		550	575	600	625	650	675	700	725	750	775	800	825																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
GB/T 9948	022Cr17Ni12Mo2 (316L)		-255	480	175	816	115	115	115	115	115	109	103	98.1	96.1	94.3	92.6	90.9	89.3	87.6	85.9	84.2	82.5	80.8	79.2	77.5	75.8	74.1	72.4	70.7	69.0	67.3	65.6	63.9	62.2	60.5	58.8	57.1	55.4	53.7	52.0	50.3	48.6	46.9	45.2	43.5	41.8	40.1	38.4	36.7	35.0	33.3	31.6	30.0	28.3	26.6	24.9	23.2	21.5	19.8	18.1	16.4	14.7	13.0	11.3	9.6	7.9	6.2	4.5	2.8	1.1	0.4	0.7	2.0	3.3	4.6	5.9	7.2	8.5	9.8	11.1	12.4	13.7	15.0	16.3	17.6	18.9	20.2	21.5	22.8	24.1	25.4	26.7	28.0	29.3	30.6	31.9	33.2	34.5	35.8	37.1	38.4	39.7	41.0	42.3	43.6	44.9	46.2	47.5	48.8	50.1	51.4	52.7	54.0	55.3	56.6	57.9	59.2	60.5	61.8	63.1	64.4	65.7	67.0	68.3	69.6	70.9	72.2	73.5	74.8	76.1	77.4	78.7	80.0	81.3	82.6	83.9	85.2	86.5	87.8	89.1	90.4	91.7	93.0	94.3	95.6	96.9	98.2	99.5	100.8	102.1	103.4	104.7	106.0	107.3	108.6	109.9	111.2	112.5	113.8	115.1	116.4	117.7	119.0	120.3	121.6	122.9	124.2	125.5	126.8	128.1	129.4	130.7	132.0	133.3	134.6	135.9	137.2	138.5	139.8	141.1	142.4	143.7	145.0	146.3	147.6	148.9	150.2	151.5	152.8	154.1	155.4	156.7	158.0	159.3	160.6	161.9	163.2	164.5	165.8	167.1	168.4	169.7	171.0	172.3	173.6	174.9	176.2	177.5	178.8	180.1	181.4	182.7	184.0	185.3	186.6	187.9	189.2	190.5	191.8	193.1	194.4	195.7	197.0	198.3	199.6	200.9	202.2	203.5	204.8	206.1	207.4	208.7	210.0	211.3	212.6	213.9	215.2	216.5	217.8	219.1	220.4	221.7	223.0	224.3	225.6	226.9	228.2	229.5	230.8	232.1	233.4	234.7	236.0	237.3	238.6	240.0	241.3	242.6	243.9	245.2	246.5	247.8	249.1	250.4	251.7	253.0	254.3	255.6	256.9	258.2	259.5	260.8	262.1	263.4	264.7	266.0	267.3	268.6	270.0	271.3	272.6	273.9	275.2	276.5	277.8	279.1	280.4	281.7	283.0	284.3	285.6	286.9	288.2	289.5	290.8	292.1	293.4	294.7	296.0	297.3	298.6	300.0	301.3	302.6	303.9	305.2	306.5	307.8	309.1	310.4	311.7	313.0	314.3	315.6	316.9	318.2	319.5	320.8	322.1	323.4	324.7	326.0	327.3	328.6	330.0	331.3	332.6	333.9	335.2	336.5	337.8	339.1	340.4	341.7	343.0	344.3	345.6	346.9	348.2	349.5	350.8	352.1	353.4	354.7	356.0	357.3	358.6	360.0	361.3	362.6	363.9	365.2	366.5	367.8	369.1	370.4	371.7	373.0	374.3	375.6	376.9	378.2	379.5	380.8	382.1	383.4	384.7	386.0	387.3	388.6	390.0	391.3	392.6	393.9	395.2	396.5	397.8	399.1	400.4	401.7	403.0	404.3	405.6	406.9	408.2	409.5	410.8	412.1	413.4	414.7	416.0	417.3	418.6	420.0	421.3	422.6	423.9	425.2	426.5	427.8	429.1	430.4	431.7	433.0	434.3	435.6	436.9	438.2	439.5	440.8	442.1	443.4	444.7	446.0	447.3	448.6	450.0	451.3	452.6	453.9	455.2	456.5	457.8	459.1	460.4	461.7	463.0	464.3	465.6	466.9	468.2	469.5	470.8	472.1	473.4	474.7	476.0	477.3	478.6	480.0	481.3	482.6	483.9	485.2	486.5	487.8	489.1	490.4	491.7	493.0	494.3	495.6	496.9	498.2	499.5	500.8	502.1	503.4	504.7	506.0	507.3	508.6	510.0	511.3	512.6	513.9	515.2	516.5	517.8	519.1	520.4	521.7	523.0	524.3	525.6	526.9	528.2	529.5	530.8	532.1	533.4	534.7	536.0	537.3	538.6	540.0	541.3	542.6	543.9	545.2	546.5	547.8	549.1	550.4	551.7	553.0	554.3	555.6	556.9	558.2	559.5	560.8	562.1	563.4	564.7	566.0	567.3	568.6	570.0	571.3	572.6	573.9	575.2	576.5	577.8	579.1	580.4	581.7	583.0	584.3	585.6	586.9	588.2	589.5	590.8	592.1	593.4	594.7	596.0	597.3	598.6	600.0	601.3	602.6	603.9	605.2	606.5	607.8	609.1	610.4	611.7	613.0	614.3	615.6	616.9	618.2	619.5	620.8	622.1	623.4	624.7	626.0	627.3	628.6	630.0	631.3	632.6	633.9	635.2	636.5	637.8	639.1	640.4	641.7	643.0	644.3	645.6	646.9	648.2	649.5	650.8	652.1	653.4	654.7	656.0	657.3	658.6	660.0	661.3	662.6	663.9	665.2	666.5	667.8	669.1	670.4	671.7	673.0	674.3	675.6	676.9	678.2	679.5	680.8	682.1	683.4	684.7	686.0	687.3	688.6	690.0	691.3	692.6	693.9	695.2	696.5	697.8	699.1	700.4	701.7	703.0	704.3	705.6	706.9	708.2	709.5	710.8	712.1	713.4	714.7	716.0	717.3	718.6	720.0	721.3	722.6	723.9	725.2	726.5	727.8	729.1	730.4	731.7	733.0	734.3	735.6	736.9	738.2	739.5	740.8	742.1	743.4	744.7	746.0	747.3	748.6	750.0	751.3	752.6	753.9	755.2	756.5	757.8	759.1	760.4	761.7	763.0	764.3	765.6	766.9	768.2	769.5	770.8	772.1	773.4	774.7	776.0	777.3	778.6	780.0	781.3	782.6	783.9	785.2	786.5	787.8	789.1	790.4	791.7	793.0	794.3	795.6	796.9	798.2	799.5	800.8	802.1	803.4	804.7	806.0	807.3	808.6	810.0	811.3	812.6	813.9	815.2	816.5	817.8	819.1	820.4	821.7	823.0	824.3	825.6	826.9	828.2	829.5	830.8	832.1	833.4	834.7	836.0	837.3	838.6	840.0	841.3	842.6	843.9	845.2	846.5	847.8	849.1	850.4	851.7	853.0	854.3	855.6	856.9	858.2	859.5	860.8	862.1	863.4	864.7	866.0	867.3	868.6	870.0	871.3	872.6	873.9	875.2	876.5	877.8	879.1	880.4	881.7	883.0	884.3	885.6	886.9	888.2	889.5	890.8	892.1	893.4	894.7	896.0	897.3	898.6	900.0	901.3	902.6	903.9	905.2	906.5	907.8	909.1	910.4	911.7	913.0	914.3	915.6	916.9	918.2	919.5	920.8	922.1	923.4	924.7	926.0	927.3	928.6	930.0	931.3	932.6	933.9	935.2	936.5	937.8	939.1	940.4	941.7	943.0	944.3	945.6	946.9	948.2	949.5	950.8	952.1	953.4	954.7	956.0	957.3	958.6	960.0	961.3	962.6	963.9	965.2	966.5	967.8	969.1	970.4	971.7	973.0	974.3	975.6	976.9	978.2	979.5	980.8	982.1	983.4	984.7	986.0	987.3	988.6	990.0	991.3	992.6	993.9	995.2	996.5	997.8	999.1	1000.4	1001.7	1003.0	1004.3	1005.6	1006.9	1008.2	1009.5	1010.8	1012.1	1013.4	1014.7	1016.0	1017.3	1018.6	1020.0	1021.3	1022.6	1023.9	1025.2	1026.5	1027.8	1029.1	1030.4	1031.7	1033.0	1034.3	1035.6	1036.9	1038.2	1039.5	1040.8	1042.1	1043.4	1044.7	1046.0	1047.3	1048.6	1050.0	1051.3	1052.6	1053.9	1055.2	1056.5	1057.8	1059.1	1060.4	1061.7	1063.0	1064.3	1065.6	1066.9	1068.2	1069.5	1070.8	1072.1	1073.4	1074.7	1076.0	1077.3	1078.6	1080.0	1081.3	1082.6	1083.9	1085.2	1086.5	1087.8	1089.1	1090.4	1091.7	1093.0	1094.3	1095.6	1096.9	1098.2	1099.5	1100.8	1102.1	1103.4	1104.7	1106.0	1107.3	1108.6	1110.0	1111.3	1112.6	1113.9	1115.2	1116.5	1117.8	1119.1	1120.4	1121.7	1123.0	1124.3	1125.6	1126.9	1128.2	1129.5	1130.8	1132.1	1133.4	1134.7	1136.0	1137.3	1138.6	1140.0	1141.3	1142.6	1143.9	1145.2	1146.5	1147.8	1149.1	1150.4	1151.7	1153.0	1154.3	1155.6	1156.9	1158.2	1159.5	1160.8	1162.1	1163.4	1164.7	1166.0	1167.3	1168.6	1170.0	1171.3	1172.6	1173.9	1175.2	1176.5	1177.8	1179.1	1180.4	1181.7	1183.0	1184.3	1185.6	1186.9	1188.2	1189.5	1190.8	1192.1	1193.4	1194.7	1196.0	1197.3	1198.6	1200.0	1201.3	1202.6	1203.9	1205.2	1206.5	1207.8	1209.1	1210.4	1211.7	1213.0	1214.3	1215.6	1216.9	1218.2	1219.5	1220.8	1222.1	1223.4	1224.7	1226.0	1227.3	1228.6	1230.0	1231.3	1232.6	1233.9	1235.2	1236.5	1237.8	1239.1	1240.4	1241.7	1243.0	1244.3	1245.6	1246.9	1248.2	1249.5	1250.8	1252.1	1253.4	1254.7	1256.0	1257.3	1258.6	1260.0	1261.3	1262.6	1263.9	1265.2	1266.5	1267.8	1269.1	1270.4	1271.7	1273.0	1274.3	1275.6	1276.9	1278.2	1279.5	1280.8	1282.1	1283.4	1284.7	1286.0	1287.3	1288.6	1290.0	1291.3	1292.6	1293.9	1295.2	1296.5	1297.8	1299.1	1300.4	1301.7	1303

续表 A.0.1

标准号	钢号	厚度 (mm) / 状态	最低使用 温度下限 (°C)	常温强度指 标 (MPa)		最高 使用 温度 (°C)	在下列温度 (°C) 下的许用应力/MPa																	注											
				σ_s	σ_b		40	65	100	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550		575	600	625	650	675	700	725	750	775	800	825
HG/T 20537.4	022Cr19Ni10 (304L)		-255	480	180	816	115	115	115	110	103	97.7	95.7	94.1	92.6	91.3	90.0	88.7	87.3	85.6	83.7	81.4	444	332	267	219	182	150	124	887	720	658	6.21 (816°C)	i,q	
HG/T 20537.4	06Cr19Ni10 (304)		-255	520	205	816	138	138	138	129	122	116	113	111	109	107	105	103	101	99.1	97.3	95.5	789	638	516	416	329	265	213	172	141	112	9.65 (816°C)	i,p,q,r	
HG/T 20537.4	022Cr17Ni12Mo2 (316L)		-255	480	175	816	115	115	115	109	103	98.1	96.1	94.3	92.6	90.9	89.3	87.6	85.9	84.2	82.5	80.8	79.3	77.9	580	436	330	253	188	140	104	799	6.89 (816°C)	i,q	
HG/T 20537.4	06Cr17Ni12Mo2 (316)		-255	520	205	816	138	138	138	134	125	119	116	114	112	111	110	109	108	107	106	105	978	808	660	544	386	296	230	174	133	104	8.96 (816°C)	i,p,q,r	
HG/T 20537.4	06Cr18Ni11Nb (347)		-255	520	205	816	138	138	138	138	138	135	132	130	128	127	126	125	125	125	125	976	759	572	412	312	162	114	897	708	589	5.52 (816°C)	i,o,p,r		
GB/T 32964	022Cr19Ni10 (304L)		-255	490	175	816	115	115	115	110	103	97.7	95.7	94.1	92.6	91.3	90.0	88.7	87.3	85.6	83.7	81.4	444	332	267	219	182	150	124	887	720	658	6.21 (816°C)	i,m,q	
GB/T 32964	06Cr19Ni10 (304)		-255	520	210	816	138	138	138	129	122	116	113	111	109	107	105	103	101	99.1	97.3	95.5	789	638	516	416	329	265	213	172	141	112	9.65 (816°C)	i,m,p, q,r	
GB/T 32964	022Cr17Ni12Mo2 (316L)		-255	490	175	816	115	115	115	109	103	98.1	96.1	94.3	92.6	90.9	89.3	87.6	85.9	84.2	82.5	80.8	79.3	77.9	580	436	330	253	188	140	104	799	6.89 (816°C)	i,m,q	
GB/T 32964	06Cr17Ni12Mo2 (316)		-255	520	210	816	138	138	138	134	125	119	116	114	112	111	110	109	108	107	106	105	978	808	660	544	386	296	230	174	133	104	8.96 (816°C)	i,m,p, q,r	
GB/T 32964	06Cr18Ni11Ti (321)		-255	520	210	816	138	138	138	138	135	128	125	123	120	119	117	116	114	113	112	887	592	440	329	245	183	125	849	619	428	275	2.07 (816°C)	i,m,n, p,r	
GB/T 32964	06Cr18Ni11Nb (347)		-255	520	210	816	138	138	138	138	138	135	132	130	128	127	126	125	125	125	125	976	759	572	412	312	162	114	897	708	589	5.52 (816°C)	i,m,o, p,r		

4.3 不锈钢板焊管 (EPW)

续表 A.0.1

标准号	钢号	厚度 (mm) / 状态	最低使用 温度下限 (°C)	常温强度指 标 (MPa)		最高 使用 温度 (°C)	在下列温度 (°C) 下的许用应力 (MPa)													注														
				σ_s	σ_b		40	65	100	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450		475	500	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750	775	800
4.4 不锈钢管件																																		
GB/T 13401	SF304L		-255	480	170	816	115	115	115	110	103	97	95.7	94.1	92.6	91.3	90.0	88.7	87.3	85.6	83.7	81.4	404	332	367	219	182	150	124	87	720	688	6.21 (816°C)	q
GB/T 13401	SF304		-255	515	205	816	138	138	138	129	122	116	113	111	109	107	105	103	101	99.1	97.3	95.5	789	638	516	416	329	265	213	172	141	112	9.65 (816°C)	p,q,r
GB/T 13401	SF304H		-200	515	205	816	138	138	138	129	122	116	113	111	109	107	105	103	101	99.1	97.3	95.5	789	638	516	416	329	265	213	172	141	112	9.65 (816°C)	p
GB/T 13401	SF316L		-255	480	170	816	115	115	115	109	103	98.1	96.1	94.3	92.6	90.9	89.3	87.6	85.9	84.2	82.5	80.8	79.3	77.9	800	456	330	253	188	140	104	799	6.89 (816°C)	q
GB/T 13401	SF316		-255	515	205	816	138	138	138	134	125	119	116	114	112	111	110	109	108	107	106	105	978	808	650	504	386	296	230	174	133	104	8.96 (816°C)	p,q,r
GB/T 13401	SF316H		-200	515	205	816	138	138	138	134	125	119	116	114	112	111	110	109	108	107	106	105	978	808	650	504	386	296	230	174	133	104	8.96 (816°C)	p
GB/T 13401	SF321		-255	515	205	816	138	138	138	138	135	128	125	123	120	119	117	116	114	113	112	887	92	440	329	245	183	125	849	609	428	275	2.07 (816°C)	n,p,q,r
GB/T 13401	SF321H		-200	515	205	816	138	138	138	138	135	128	125	123	120	119	117	116	114	113	112	100	765	587	440	348	267	200	184	145	115	902	7.58 (816°C)	p
GB/T 13401	SF347		-255	515	205	816	138	138	138	138	138	135	132	130	128	127	126	125	125	125	125	976	759	572	432	332	262	194	144	897	708	589	5.52 (816°C)	o,p,r
GB/T 13401	SF347H		-200	515	205	816	138	138	138	138	138	135	132	130	129	127	126	125	125	125	125	112	946	696	538	414	318	240	188	146	109	8.96 (816°C)	p	
4.5 不锈钢管件																																		
NB/T 47010	022Cr19Ni10 (304L)	≤150	-255	480	210	816	115	115	115	110	103	97.7	95.7	94.1	92.6	91.3	90.0	88.7	87.3	85.6	83.7	81.4	404	332	367	219	182	150	124	87	720	688	6.21 (816°C)	q
NB/T 47010	06Cr19Ni10 (304)	≤150	-255	520	220	816	138	138	138	129	122	116	113	111	109	107	105	103	101	99.1	97.3	95.5	789	638	516	416	329	265	213	172	141	112	9.65 (816°C)	p,q,r
NB/T 47010	07Cr19Ni10 (304H)	≤150	-200	520	220	816	138	138	138	129	122	116	113	111	109	107	105	103	101	99.1	97.3	95.5	789	638	516	416	329	265	213	172	141	112	9.65 (816°C)	p
NB/T 47010	022Cr17Ni2Mn2 (316L)	≤150	-255	480	210	816	115	115	115	109	103	98.1	96.1	94.3	92.6	90.9	89.3	87.6	85.9	84.2	82.5	80.8	79.3	77.9	800	456	330	253	188	140	104	799	6.89 (816°C)	q

续表 A.0.1

标准号	钢号	厚度 (mm) / 状态	最低使用 温度下限 (°C)	常温强度指 标 (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	在下列温度 (°C) 下的许用应力 (MPa)																	注											
						40	65	100	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550		575	600	625	650	675	700	725	750	775	800	825
NB/T 47010	06Cr17Ni12Mo2 (316)	≤ 150	-255	520	210	138	138	138	138	134	125	119	116	114	112	111	110	109	108	107	106	105	978	808	650	504	386	296	230	174	133	104	8.96 (816°C)	p,q,r
NB/T 47010	07Cr17Ni12Mo2 (316H)	≤ 150	-200	520	210	138	138	138	138	134	125	119	116	114	112	111	110	109	108	107	106	105	978	808	650	504	386	296	230	174	133	104	8.96 (816°C)	p
NB/T 47010	06Cr18Ni11Ti (321)	≤ 150	-255	520	205	138	138	138	138	138	135	128	125	123	120	119	117	116	114	113	112	887	902	440	329	245	183	125	849	609	428	275	2.07 (816°C)	n,p,r
NB/T 47010	07Cr19Ni11Ti (321H)	≤ 150	-200	520	205	138	138	138	138	138	135	128	125	123	120	119	117	116	114	113	112	100	765	877	460	368	287	230	184	145	115	902	7.58 (816°C)	p
NB/T 47010	06Cr18Ni11Nb (347)	≤ 150	-255	520	205	138	138	138	138	138	138	135	132	130	128	127	126	126	125	125	125	976	759	572	402	303	232	162	114	897	708	552 (816°C)	o,p,r	
NB/T 47010	07Cr18Ni11Nb (347H)	≤ 150	-200	520	205	138	138	138	138	138	138	135	132	130	129	127	126	126	125	125	125	125	112	906	696	538	414	318	240	188	146	109	8.96 (816°C)	p

4.6 不锈钢铸件

GB/T 12230	CF3		-255	485	205	427	138	138	138	129	122	116	113	111	109	107	105	103	103	(427°C)															q
GB/T 12230	CF8		-255	485	205	816	138	138	138	129	122	116	113	111	109	107	105	103	101	99.1	94	753	604	400	411	328	272	234	196	168	147	128	11.7 (816°C)	p,q,r	
GB/T 12230	CF3M		-255	485	205	454	138	138	138	133	125	119	116	114	112	111	109	108	107	107	107	107												q	
GB/T 12230	CF8M		-200	485	205	816	138	138	138	129	122	116	113	111	109	107	105	103	101	98.1	92.3	95.5	759	572	402	303	232	162	114	897	708	589	5.52 (816°C)	p,q,r	
GB/T 12230	CF8C		-200	485	205	816	138	135	131	121	115	108	108	108	108	108	108	108	108	108	107	106	98.3	72	577	390	300	232	163	112	895	708	577	5.32 (816°C)	o

注：

- a 本规范所列管道元件标准的压力额定值按表列标准的规定。
- b 长期使用温度高于 427℃，有石墨化倾向。
- c 使用温度高于 482℃，应采用镇静钢。
- d 现行国家标准《石油天然气工业 管线输送系统用钢管》GB/T 9711 规定长输管线用管有 PSL1 及 PSL2 两个质量等级，且有韧性要求。采用 PSL2 者，最低使用温度应不低于材料及焊接接头的冲击试验温度。用户应根据最低使用温度提出冲击试验温度要求，通常冲击试验温度不低于-30℃；低于-30℃时应由供需双方协商，且冲击试验温度不能低于-50℃。采用 PSL1 质量等级者，通常不作冲击试验。现行国家标准《石油天然气工业 管道输送系统用感应加热弯管、管件和法兰 第 1 部分：感应加热弯管》GB/T 29168 规定长输管线用弯管、对焊管件、法兰（锻件）仅有 PSL2 质量等级，其冲击试验要求与上述现行国家标准《石油天然气工业 管线输送系统用钢管》GB/T 9711 规定的长输管线用管相同。
- e 应对每个强度等级（L290/X42~L555/X80）的材料进行单独的焊接工艺评定。
- f L290/X42~L555/X80 管线钢不宜用于 200℃以上的高温。
- g L290/X42~L555/X80 管线钢通常采用微合金化及控轧控冷工艺，使用时可在现行国家标准《石油天然气工业 管线输送系统用钢管》GB/T 9711 规定的基础上附加更详尽的成分、碳当量、状态、低温韧性等要求。最低使用温度应不小于材料及焊接接头的冲击试验温度及其要求。
- h 材料如附加-20℃（现行国家标准《高压化肥设备用无缝钢管》GB/T 6479）低温冲击试验要求，其最低使用温度为-20℃。
- i 板焊管应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的规定。
- j 长期使用温度高于 440℃，有软化（珠光体球化）及回火脆性倾向。
- k 铬钼合金钢的焊缝（焊管、管件及其对接接头）应于焊后热处理后进行 100%的 RT 或 UT，焊接接头高温强度降低系数 *W* 按现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的规定。
- l 使用温度高于 455℃的 2.25Cr-1Mo 钢焊接材料的含碳量应不小于 0.05%。
- m 使用温度高于-101℃者可免除-196℃低温冲击试验及其要求。
- n 使用温度高于 538℃时，热处理温度应不低于 1 093℃。
- o 使用温度高于 538℃时，热处理温度应不低于 1 038℃。
- p 材料适用于高温，但应关注 σ 相析出而导致常温塑性和韧性的降低。
- q 含碳量大于 0.03%的 300 系列非稳定性奥氏体不锈钢以及有温度高于 425℃长期热履历的超低碳奥氏体不锈钢有晶间腐蚀倾向。
- r 使用温度高于 538℃者，含碳量应不低于 0.04%。
- s 本部分使用的按现行国家标准《流体输送用不锈钢焊接钢管》GB/T 12771 规定的不锈钢焊管（EFW，无填充金属）应符合下列各项要求：
 - 1) 机组带卷机械化连续成型；
 - 2) 无填充金属自动或半自动氩弧焊或等离子焊；
 - 3) 焊后固溶急冷处理；
 - 4) 焊缝涡流或电磁表面无损检测（纵向焊接接头系数 0.85）。

表 A.0.3 管子与对焊管件的纵向焊接接头系数 E_j

标准	型式	简述	纵向焊接接头系数 E_j
碳钢（包括碳锰钢），管线钢			
GB/T 8163	无缝	无缝管	1.00
GB/T 6479			
GB/T 5310			
GB/T 3087			
GB/T 9948			
GB/T 9711			
YB/T 4173			
GB/T 3091 焊管	电阻焊	电阻焊焊管（直缝）ERW	0.85
	电熔焊（埋弧焊）	埋弧焊焊管（直缝）SAW	0.80
GB/T 9711 焊管	电阻焊	电阻焊焊管（直缝）ERW	0.85
SY/T 5037 焊管	埋弧焊	双面埋弧焊焊管（直缝或螺旋缝）SAW	0.85
GB/T 13401 管件	无缝或电熔焊	无缝或焊接管件	1.00
GB/T 29168.2 管件		双面电熔焊，100%射线检测	
GB/T 9711 板焊管	电熔焊（埋弧焊）	双面埋弧焊焊管（直缝）SAW	0.95
ASTM A671 板焊管	电熔焊	板制焊管，双面电熔焊，100%射线检测；	1.00
		板制焊管，双面电熔焊	0.85
低温碳钢及低温镍钢			
GB/T 6479	无缝	无缝管	1.00
GB/T 18984			
ASTM A333			
GB/T 13401 管件	无缝或电熔焊	无缝或焊接管件，双面电熔焊，100%射线检测	1.00
ASTM A671 板焊管	电熔焊	板制焊管，双面电熔焊，100%射线检测	1.00
合金钢			
GB/T 6479	无缝	无缝管	1.00
GB/T 5310			
GB/T 9948			
YB/T 4173			
GB/T 13401 管件	无缝或电熔焊	无缝或焊接管件，双面电熔焊，100%射线检测	1.00
ASTM A691 板焊管	电熔焊	板焊管，双面电熔焊，100%射线检测	1.00
不锈钢			
GB/T 14976	无缝	无缝管	1.00
GB/T 5310			
GB/T 9948			
GB/T 21833			

续表 A.0.3

标准	型式	简述	纵向焊接接头系数 E_j
GB/T 12771 焊管	电熔焊	电熔焊焊管（无填充金属）	0.85
HG/T 20537.3 焊管	电熔焊	电熔焊焊管（无填充金属）	0.85
GB/T 21832 （所有部分）焊管	电熔焊	电熔焊焊管（无填充金属）	0.85
HG/T 20537.4 板焊管	电熔焊	板焊管，电熔焊，100%射线检测	1.00
		板焊管，电熔焊，按标准局部射线检测	0.90
		板焊管，双面电熔焊	0.85
GB/T 32964 板焊管	电熔焊	板焊管，双面电熔焊，100%射线检测	1.00
GB/T 13401 管件	无缝或电熔焊	无缝或焊接管件，双面电熔焊，100%射线检测	1.00
镍及镍合金			
GB/T 2882	无缝	无缝管	1.00
GB/T 30059	无缝	无缝管	1.00
ASTM B444	无缝	无缝管	1.00
ASTM B622	无缝	无缝管	1.00
ASTM B619	电熔焊	电熔焊焊管（无填充金属）	0.85
ASTM B366	无缝或电熔焊	无缝或焊接管件，双面电熔焊，100%射线检测	1.00
钛及钛合金			
GB/T 3624	无缝	无缝管	1.00
GB/T 26058			
GB/T 26057 焊管	电熔焊	电熔焊焊管（无填充金属）	0.85
GB/T 27684 管件	无缝或电熔焊	无缝或焊接管件，双面电熔焊，100%射线检测	1.00
铝及铝合金			
GB/T 6893	无缝	无缝管	1.00
GB/T 4437.1	无缝	无缝管	1.00
GB/T 26027	无缝	无缝管	1.00
ASTM B361 管件	无缝	无缝管件	1.00
	电熔焊	焊接管件，电熔焊，100%射线检测	1.00
	电熔焊	焊接管件，双面电熔焊	0.85
	电熔焊	焊接管件，单面电熔焊	0.80

表 A.0.4 铸件质量系数 E_c

材料类别	标准	名称	铸件质量系数 E_c
铸铁	GB/T 9439	灰铸铁	1.00
	GB/T 1348	球墨铸铁	1.00
	GB/T 9440	黑芯可锻铸铁	1.00
碳钢（包括碳锰钢）	GB/T 12229	碳素钢铸件	0.80
低温碳钢及低温镍钢	JB/T 7248	低温钢铸件	0.80
合金钢	JB/T 5263	合金钢铸件	0.80
	GB/T 16253		
不锈钢	GB/T 12230	不锈钢铸件	0.80
钛及钛合金	GB/T 6614	钛及钛合金铸件	0.80

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，在正常情况下均应这样做的用词：
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 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《汽车加油加气加氢站技术标准》GB 50156
- 《氢气站设计规范》GB 50177
- 《输气管道工程设计规范》GB 50251
- 《工业设备及管道绝热工程设计规范》GB 50264
- 《工业金属管道设计规范》GB 50316
- 《油气长输管道工程施工及验收规范》GB 50369
- 《油气输送管道穿越工程设计规范》GB 50423
- 《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》GB 50991
- 《油气输送管道跨越工程设计标准》GB/T 50459
- 《油气输送管道线路工程抗震技术规范》GB/T 50470
- 《埋地钢质管道交流干扰防护技术标准》GB/T 50698
- 《油气输送管道完整性管理规范》GB 32167
- 《压力容器》GB/T 150
- 《设备及管道绝热技术通则》GB/T 4272
- 《高压化肥设备用无缝钢管》GB/T 6479
- 《设备及管道绝热设计导则》GB/T 8175
- 《石油天然气工业 管线输送系统用钢管》GB/T 9711
- 《流体输送用不锈钢焊接钢管》GB/T 12771
- 《管道支吊架 第1部分：技术规范》GB/T 17116.1
- 《覆盖奥氏体不锈钢用绝热材料规范》GB/T 17393
- 《钢质管道外腐蚀控制规范》GB/T 21447
- 《埋地钢质管道阴极保护技术规范》GB/T 21448
- 《低温阀门 技术条件》GB/T 24925
- 《工业阀门的逸散性试验》GB/T 26481
- 《石油天然气工业 管道输送系统用感应加热弯管、管件和法兰 第1部分：感应加热弯管》
GB/T 29168
- 《氢系统安全的基本要求》GB/T 29729
- 《氢气储存输送系统 第2部分：金属材料与氢环境相容性试验方法》GB/T 34542.2
- 《石油化工管道设计器材选用规范》SH/T 3059
- 《石油化工有毒、可燃介质钢制管道工程施工及验收规范》SH/T 3501
- 《油气输送管道风险评价导则》SY/T 6859
- 《低温管道绝热工程设计、施工和验收规范》SY/T 7419

中华人民共和国化工行业标准

氢气管道设计规范

HG/T 22821—2025

条文说明

制 订 说 明

《氢气管道设计规范》HG/T 22821—2025，经中华人民共和国工业和信息化部 2025 年 4 月 10 日以第 7 号公告批准发布。

本规范制定过程中，编制组经广泛调查研究，认真总结国内外氢气管道设计和输送的实践经验，同时吸收国内、外技术成果，进而完成编制工作。

为了便于广大设计、施工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，《氢气管道设计规范》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。

目 次

1 总则	(70)
3 设计条件和设计准则	(71)
3.1 设计条件	(71)
4 材料	(72)
4.4 材料的使用要求	(72)
5 管道组成件的选用	(73)
5.3 阀门	(73)
7 管道布置	(74)
12 长输管道的规定	(75)
12.5 材料	(75)

1 总 则

1.0.2 本规范的公称压力上限为 PN400 或 Class2500，与现行国家标准《管道元件 公称压力的定义和选用》GB/T 1048 一致。

3 设计条件和设计准则

3.1 设计条件

3.1.3 设计时需要根据管道系统的极端温度进行管道材料的选择，在管道材料选定后，依据最苛刻的温度—压力的组合工况确定设计温度，同一管道中的不同管道组成件的设计温度可以不同。

4 材 料

4.4 材料的使用要求

4.4.3 高温氢气管道的材料选择参照 API RP 941 的相关规定。

5 管道组成件的选用

5.3 阀门

5.3.10 低逸散性能符合《工业阀门 漏气的测量、试验和鉴定程序 第1部分：阀门的分类体系和型式试验鉴定程序》ISO 15848-1 中 C01 B 级密封和现行国家标准《工业阀门的逸散性试验》GB/T 26481 中 B 级密封要求均可。

7 管道布置

7.0.7 湿氢管道和水压试验后的管道有积水和排水的问题，要求坡度不小于 3‰。

12 长输管道的规定

12.5 材 料

12.5.5 管道材料强度越高，硬度越大，在氢气环境发生氢脆的风险越大，因此应对材料的硬度值予以控制。国际标准 *Hydrogen Pipeline Systems CGA 5.6—2005 (R2013)* 中规定，氢气管道材料硬度值不宜超过 22HRC 或者 250HB。由于此条款硬度控制涉及母材、焊缝及热影响区三个位置，而布氏硬度 (HB) 测量压头过大，难以测量较窄的热影响区硬度。为保证硬度检测效果，结合工程惯例，建议采用维氏硬度进行测量，对应的硬度验收值按照等效硬度值转换，即碳钢管道母材、焊缝及其热影响区的硬度不宜超过 250HV10。