

第九章 压力管道规范—工业管道^①

第一节 总 则

9.1.1 GB/T 20801 规定了哪些基本要求？

答：现行国家标准《压力管道规范 工业管道》GB/T 20801 规定了工业金属压力管道设计、制作、安装、检验和安全防护的基本要求。

9.1.2 工业金属压力管道包括哪些压力管道？

答：工业金属压力管道包括了工艺装置、辅助装置以及界区内公用工程所属的压力管道。

9.1.3 GB/T 20801 的适用范围是什么？

答：(1) 现行国家标准《压力管道规范 工业管道》GB/T 20801 适用范围如下：

1) 本部分适用于最高工作压力大于或者等于 0.1MPa(表压)，介质为气体、液化气体、蒸汽或者可燃、易爆、有毒、有腐蚀性、最高工作温度高于或者等于标准沸点的液体，且公称直径大于或者等于 50mm 的压力管道。公称直径小于 150mm，且其最高工作压力小于 1.6MPa(表压)的输送无毒、不可燃、无腐蚀性气体的管道和设备本体所属管道除外。

2) 本部分也适用于除本条第(3)款外的压力管道。

(2) 本部分不包括范围如下：

1) 在役压力管道改造、检查、检验、试验、维护和修理等方面的专门要求；

2) 公称压力为 PN420 以上的管道；

3) 非金属管道或其衬里层。

(3) 本部分不适用范围如下：

1) 军事装置和核设施的管道；

2) 石油、天然气、地热等勘探和采掘装置的管道；

3) 移动设备如铁道机车、汽车、船舶、航空航天器等上的压力管道；

4) GA 类长输管道；

5) GB 类公用管道；

6) GCD 类动力管道；

7) 锅炉、压力容器以及加热炉的内部管道以及设备的外接管口；

8) 设计压力低于 0.1MPa(表压)但不低于大气压的输送无毒、不可燃、无腐蚀性流体的管道。

9.1.4 GB/T 20801 对压力管道是如何分级的？

答：(1) 符合下列条件之一的压力管道应划分为 GC1 级。

^①本章摘自国家标准《压力管道规范 工业管道》GB/T 20801—2019(报批稿)。

1) 输送《危险化学品目录(2015版)》中规定的毒性程度为急性毒性类别1介质、急性毒性类别2气体介质和工作温度高于其标准沸点的急性毒性类别2液体介质的压力管道。

2) 输送 GB 50160、GB 50016 中规定的火灾危险性为甲、乙类可燃气体或者甲类可燃液体(包括液化烃), 并且设计压力大于或者等于 4.0MPa 的压力管道。

3) 输送除前两项介质以外的流体, 并且设计压力大于或者等于 10.0MPa, 或者设计压力大于或者等于 4.0MPa 且设计温度高于或者等于 400℃ 的压力管道。

(2) 符合下列条件的压力管道(包括制冷管道)应划分为 GC2 级:

介质毒性或易燃性危险和危害程度、设计压力和设计温度低于本条第(1)款规定(GC1级)的压力管道。

(3) 输送毒性或易燃性危险和危害程度不同的混合介质时, 应按现行国家标准《压力管道规范 工业管道 第1部分: 总则》GB/T 20801.1 附录 A 的规定, 由业主或设计确定压力管道等级。

第二节 材 料

9.2.1 材料选用的基本原则是什么?

答: (1) 受压元件(螺栓除外)用材料应有足够的强度、塑性和韧性, 在最低使用温度下应具备足够的抗脆断能力。当采用延伸率低于 14% 的脆性材料时, 应采取必要的安全防护措施。

(2) 选用的材料应具有足够的稳定性, 包括化学性能、物理性能、耐蚀和耐磨性能、抗疲劳性能和组织稳定性等。

(3) 选用材料时, 应考虑材料在可能发生的明火、火灾和灭火条件下的适用性以及由此而带来材料性能变化和次生危害。

(4) 选用的材料应适合相应的制造、制作和安装, 包括焊接、冷热加工及热处理等方面的要求。

(5) 当几种不同的材料组合使用时, 应考虑可能产生的不利影响。

(6) 材料应具备可获得性和经济性。

9.2.2 球墨铸铁的使用限制有哪些?

答: (1) 球墨铸铁用于管道组成件时, 其延伸率应不低于 15%, 使用温度应不高于 350℃ 但应高于 -20℃; 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 表 13 所列现行国家标准《水及燃气用球墨铸铁管、管件和附件》GB/T 13295—2013 球墨铸铁管道元件的使用限制应符合现行国家标准 GB/T 13295 的相应规定。

(2) 球墨铸铁应符合国家标准《球墨铸铁件》GB/T 1348—2009 的冲击性能要求, 压力额定值应不大于 5.0MPa。

9.2.3 碳素结构钢的使用限制有哪些?

答: 碳素结构钢的使用限制应符合下列各项规定:

(1) 不得用于 GC1 级管道组成件;

(2) 选用 Q215A、Q235A 等 A 级镇静钢时, 设计压力应不大于 1.6MPa, 设计温度应不

高于 350℃ 且不低于国家标准《压力管道规范 工业管道 第 2 部分：材料》GB/T 20801.2 图 1 曲线 A(或表 6)所示温度，介质限于非可燃及非有毒流体；

(3) 用于焊接的管道组成件，含碳量不得大于 0.30%。选用沸腾钢和半镇静钢时，厚度应不大于 12mm；选用 A 级镇静钢时，厚度应不大于 16mm。

9.2.4 管子和对焊管件的使用限制有哪些？

答：(1) 碳钢、管线钢和奥氏体不锈钢钢管及其对焊管件的使用限制应符合表 9.2.4 的规定。

表 9.2.4 碳钢、管线钢和奥氏体不锈钢钢管及对焊管件

标准	材料(牌号)	制管工艺	使用限制
GB/T 3091	碳素结构钢	电阻焊焊管	① 按本章第 9.2.3 条规定，且设计压力不高于 1.6MPa； ② 不得用于剧烈循环工况； ③ 不得用于 GC1 级管道
		电熔焊焊管	
SY/T 5037	碳素结构钢	电熔焊焊管	
GB/T 13401	CF370	无缝及焊接对焊管件	
GB/T 9711(PSL1)	L210 L245	电阻焊焊管	① 不得用于 GC1 级管道； ② 不得用于剧烈循环工况； ③ 设计压力不高于 4.0MPa
GB/T 9711(PSL2)	L290/X42~ L450/X65	电阻焊焊管	① 不得用于 GC1 级(毒性)管道或气体管道； ② 不得用于剧烈循环工况
GB/T 8163 GB/T 3087 GB/T 9711(PSL1)	碳钢	无缝管	不得用于 GC1 级管道
GB/T 13401		CF415, CF485	
GB/T 12771 HG/T 20537.3	奥氏体不锈钢	电熔焊焊管(不添加填充金属)及其对焊管件	① 不得用于 GC1 级管道； ② 不得用于剧烈循环工况
HG/T 20537.4		纵缝未做射线检测的电熔焊焊管(添加填充金属)及其对焊管件	

(2) 剧烈循环工况下使用的钢管、有色金属管和对焊管件，应符合下列规定：

1) 应采用国家标准《压力管道规范 工业管道 第 2 部分：材料》GB/T 20801.2 附录 A 的表 A.1 所列无缝管或纵向焊接接头系数大于或等于 0.90 的电熔焊(EFW)焊管和板焊管，不得选用电阻焊(ERW)焊管以及未经射线照相检测的电熔焊焊管；

2) 应采用无缝管件、纵向焊接接头系数不小于 0.90 的板制对焊管件和铸件质量系数不小于 0.90 的铸件。

9.2.5 碳钢和铬钼合金钢的使用限制有哪些？

答：(1) 用于焊接的碳钢、铬钼合金钢，含碳量应不大于 0.30%。

(2) 使用温度高于 455℃ 的 2¼Cr-1Mo 钢，焊缝金属的含碳量应不小于 0.05%。

(3) 铬钼合金钢焊管和管件的焊缝应进行 100% 射线检测或超声检测，且符合国家现行标准《承压设备无损检测 第 2 部分：射线检测》NB/T 47013.2 规定的 II 级要求(RT)或《承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测》NB/T 47013.3 规定的 I 级要求(UT)。铬钼合金钢

焊管和管件焊缝的射线或超声检测应在焊后热处理后进行。

9.2.6 奥氏体不锈钢的使用限制有哪些?

答: (1) 低碳($C \leq 0.08\%$)非稳定化不锈钢(如 06Cr19Ni10、06Cr17Ni12Mo2)在非固溶状态下(包括固溶后经热加工或焊接)不宜用于可能发生晶间腐蚀的环境,见国家标准《压力管道规范 工业管道 第2部分:材料》GB/T 20801.2 附录 C。

(2) 超低碳不锈钢在 425℃ 以上长期使用存在晶间腐蚀倾向,见国家标准《压力管道规范 工业管道 第2部分:材料》GB/T 20801.2 附录 C。

(3) 低碳/超低碳奥氏体不锈钢等双牌号钢,其常温机构性能应满足两个牌号中机械性能的较高值,化学成分应满足超低碳级的要求。使用温度不高于 538℃ 者,许用应力按低碳级选取,使用温度高于 538℃ 者,许用应力按超低碳级选取。

(4) 根据设计文件要求,奥氏体不锈钢可按现行国家标准《金属和合金的腐蚀 不锈钢晶间腐蚀试验方法》GB/T 4334 进行晶间腐蚀试验,也可按相关标准进行应力腐蚀试验或点腐蚀试验,试验方法、试样状态、抽样比例和合格指标应在设计文件中明确。

9.2.7 高温材料的选用一般要求是什么?

答: (1) 高温条件下长期使用的材料,应考虑组织或性能变化对材料使用可靠性的影响。

(2) 高温条件下长期使用的材料,应考虑因蠕变引起的过度变形、过大位移、材料组织和性能的劣化以及螺栓的应力松弛;典型金属材料的蠕变阈值温度见国家标准《压力管道规范 工业管道 第2部分:材料》GB/T 20801.2 附录 C 的表 C.1。

(3) 高温条件下使用的材料,应考虑高温及化学腐蚀引起的材料损伤。

(4) 通过热处理强化的材料,如果长期在接近或高于回火温度下使用,应考虑材料强度降低的因素。

9.2.8 高温条件下碳钢及铬钼合金钢的使用要求是什么?

答: (1) 高温蠕变工况焊接接头高温强度降低系数 W 按本章第 9.3.22 条的规定。

(2) 碳钢、碳锰钢、低温用镍钢的高温石墨化倾向以及铬钼合金钢的软化(珠光体球化)倾向见国家标准《压力管道规范 工业管道 第2部分:材料》GB/T 20801.2 附录 C。

(3) 铬钼合金钢的回火脆性敏感性见现行国家标准《压力管道规范 工业管道 第2部分:材料》GB/T 20801.2 附录 C。

9.2.9 高温条件下不锈钢的使用要求是什么?

答: (1) 高温蠕变工况不锈钢焊接接头高温强度降低系数 W 按本章第 9.3.22 条的规定。

(2) 铁素体不锈钢、马氏体不锈钢和双相不锈钢的 475℃ 脆性敏感性见国家标准《压力管道规范 工业管道 第2部分:材料》GB/T 20801.2 附录 C。

(3) 铬镍奥氏体不锈钢的 σ 相脆化敏感性见国家标准《压力管道规范 工业管道 第2部分:材料》GB/T 20801.2 附录 C。

(4) 铝、铋、铌、钨、镓、铅、锰、锡、锌等低熔点金属及其化合物在高温下对奥氏体

不锈钢的液体侵蚀(LME)见国家标准《压力管道规范 工业管道 第2部分:材料》GB/T 20801.2附录C。

(5) 国家标准《压力管道规范 工业管道 第2部分:材料》GB/T 20801.2附录A表A.1低碳级($C \leq 0.08\%$)奥氏体不锈钢高温使用时,应符合表9.2.9的附加要求。

表 9.2.9 低碳级奥氏体不锈钢高温使用的附加要求

低碳级奥氏体不锈钢代号	使用温度/℃	附加要求		
		母材含碳量	热处理状态	晶粒度
CF8	>425	$C \geq 0.04$	>1040℃快冷	
CF8M、CF8C	>425	$C \geq 0.04$	>1095℃快冷	
06Cr18Ni11Ti 06Cr18Ni11Nb	>538	$C \geq 0.04$	>1095℃快冷	平均晶粒度7级或更粗
06Cr19Ni10 06Cr17Ni12Mo2	>538	$C \geq 0.04$	>1040℃快冷	平均晶粒度7级或更粗
06Cr23Ni13 06Cr25Ni20	>538	$C \geq 0.04$	>1040℃快冷	平均晶粒度6级或更粗

9.2.10 低温条件下的奥氏体不锈钢材料的使用限制有哪些?

答:(1) 奥氏体不锈钢的最低使用温度应符合国家标准《压力管道规范 工业管道 第2部分:材料》GB/T 20801.2表A.1的规定。

(2) 当使用温度低于或等于-20℃时,奥氏体不锈钢应进行低温冲击试验,但同时满足下列规定者,可免除低温冲击试验:

- 1) 母材最低使用温度不低于-196℃、焊缝金属最低设计温度不低于-104℃和因材料截面尺寸限制无法制备2.5mm×10mm×55mm冲击试样三个条件之一者;
- 2) 材料含碳量不大于0.10%且为固溶热处理状态;
- 3) 焊缝填充金属含碳量不大于0.10%。

第三节 设计和计算

一、设计条件 and 设计准则

9.3.1 设计压力的一般规定是什么?

答:(1) 管道系统中每个管道组成件的设计压力,应不小于在操作中可能遇到的最苛刻的压力和温度组合工况下的压力,但本章第9.3.20条规定的情况除外。

(2) 最苛刻的工况导致管道组成件具有最大厚度和最高压力等级。

(3) 最苛刻的压力和温度组合工况应计及压力源(如泵、压缩机)、压力脉动、不稳定流体的分解、静压头、控制装置和阀门的失效或操作失误、环境影响等可能产生的运行条件。

9.3.2 设计压力的确定原则是什么?

答:(1) 装有安全泄放装置的管道,其设计压力应不小于安全泄放装置的设定压力(或

最大标定爆破压力),但本章第 9.6.1 条第(5)款的 1)项 b 和 3)项规定的情况除外。

(2) 未设置压力泄放装置或可能发生与压力泄放装置隔离、堵塞的管道,其设计压力应不小于可能因此而产生的最大压力。

(3) 当管道与设备直接连接作为一个压力系统时,管道的设计压力应不小于设备的设计压力。

(4) 离心泵出口管道的设计压力应不小于泵的关闭压力。

(5) 输送制冷剂、液化烃类低沸点介质的管道,其设计压力应不小于阀门切断时或介质不流动时介质可能达到的最大压力。

(6) 当管道被分隔件(包括夹套管、盲板等)分隔为几个单独的受压段时,该分隔件的设计压力应不小于在操作中两侧受压时可能遇到的最苛刻的压差和温度组合工况的压力。

(7) 装有安全控制装置的真空管道,设计压力取最大压差的 1.25 倍或 0.1MPa 中的较小值,并按外压条件进行设计;对于没有安全控制装置的真空管道,设计压力取 0.1MPa。

9.3.3 设计温度的一般规定是什么?

答:(1) 管道系统中每个管道组成件的设计温度应按操作中可能遇到的最苛刻的压力和温度组合工况的温度确定。

(2) 同一管道中的不同管道组成件的设计温度可以不同。

(3) 确定设计温度时,应考虑流体温度、环境温度、阳光辐射、加热或冷却介质的温度以及管道隔热、传热的影响。

9.3.4 设计温度的确定原则是什么?

答:(1) 对无外隔热层的管道,介质温度低于 65℃ 时,管道组成件的设计温度与介质温度相同,但应考虑阳光辐射或其他可能导致介质温度升高的因素;介质温度高于或等于 65℃ 时,管道组成件的设计温度确定应符合以下规定:

- 1) 对于阀门、管子、翻边端部和焊接管件,取介质温度的 95%;
- 2) 对于松套法兰以外的法兰,取介质温度的 90%;
- 3) 对于松套法兰,取介质温度的 85%;
- 4) 对于螺栓,取介质温度的 80%;
- 5) 也可以取实测的平均壁温或根据传热计算得到的平均壁温。

(2) 外部隔热管道的设计温度一般取介质温度,但也可以取实测的平均壁温或根据传热计算得到的平均壁温,采用伴管或夹套结构的管道应考虑加热或冷却对设计温度的影响。

(3) 内部隔热管道的管道组成件,设计温度应按传热计算或试验确定。

(4) 管道设计时应考虑最低设计温度对管道设计、材料选用和本章第三节应力分析的影响。

9.3.5 管道设计应考虑哪些荷载?

答:(1) 持久荷载系指作用于管道的荷载,包括如下:

- 1) 介质压力:管道内压、外压或最大压差(设计压力应与对应的设计温度一起作为荷载

条件)。

2) 重量力荷载: 管道设计应计入的重力荷载包括:

a) 静荷载: 管道组成件、隔热材料重量以及施加在管道上由管道支承的其他永久性荷载;

b) 活荷载: 输送介质的重量或液压试验介质的重量以及由于环境和操作条件造成的冰、雪的重量。

(2) 偶然性荷载系指短时间作用于管道的荷载, 包括如下:

1) 风荷载: 设计室外管道时, 应计算风荷载, 其计算方法按国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分: 设计和计算》GB/T 20801.3 附录 D;

2) 地震荷载: 设计管道时, 应计算由地震引起的水平力, 其计算方法按国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分: 设计和计算》GB/T 20801.3 附录 D;

3) 承受流体排放反力: 由于流体的减速或排放而产生的反作用力, 管道的设计、布置、支承应能承受此反作用力。

(3) 温度及位移荷载系指管道系统由温度及位移而引起的荷载, 包括如下:

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) 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;

3) 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, 如双金属管道、夹套管道、非金属衬里管道等;

4) 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弯曲。

(4) 循环荷载系指管道系统由压力循环、热循环以及其他循环引起的疲劳的荷载。

(5) 冲击系指外部或内部条件引起的冲击力, 包括介质流动导致的冲击、介质流速的变化、压力波动、液体闪蒸、水击、液体或固体的猛击、暴涨和喷发。

(6) 振动系指由冲击、压力脉动、紊流涡流、压缩机共振以及风荷载引起的振动。管道设计、布置、支承应能消除过度和有害的振动影响。

9.3.6 管道设计应考虑哪些厚度附加量?

答: (1) 管道设计应有足够的腐蚀裕量, 腐蚀裕量应根据预期的使用寿命和介质对材料的腐蚀速率来确定, 还应考虑冲蚀和局部腐蚀等因素。

(2) 确定管道组成件最小厚度时, 应包括腐蚀、冲蚀、螺纹深度或沟槽深度所需的裕量。为防止因支承、结冰、回填、运输和装卸等引起的超载应力和变形, 从而可能产生的损坏、垮塌或失稳等现象, 应考虑增加管壁厚度。

9.3.7 管道设计应考虑哪些环境影响?

答: (1) 对于被隔断管道中的流体, 应考虑因受环境加热产生膨胀所导致的压力升高或因受环境冷却而导致管道的压力下降甚至真空。

(2) 当管道系统的设计温度低于 0°C 时, 应考虑因表面冷凝、冰冻而引起的阀门、泄压装置或排放管道故障以及低温对柔性分析和材料选用等的影响。

9.3.8 管道布置的基本原则是什么？

答：管道布置设计是将工艺管道及附属公用管道按一定的规则进行空间定位的过程。管道布置应符合下列基本原则：

- (1) 符合管道及仪表控制流程设计的要求；
- (2) 应符合有关的规范、标准的要求；
- (3) 管道布置应统筹规划，做到安全可靠、经济合理、整齐美观；
- (4) 满足施工、操作和维修等方面的要求；
- (5) 在确定进、出装置的管道方位与敷设方式时，应做到内外协调；
- (6) 厂区内的全厂性管道的敷设，应与厂区内的装置(单元)、道路、建筑物、构筑物等协调，避免管道包围装置(单元)，减少管道与铁路、道路的交叉；
- (7) 永久性的地上、地下管道不得穿越或跨越与其无关的工艺装置、系统单元或储罐组；
- (8) 管道布置应满足管道柔性及设备、机泵管口允许的作用力和力矩要求，且应使管道短，弯头数量少；
- (9) 管道布置宜做到“步步高”或“步步低”，减少“气袋”或“液袋”，否则应根据操作检修要求设置放空或放净。管道布置应减少死区；
- (10) 管道布置中应能承受各种动力荷载，控制管道的振动，如风荷载、地震引起的水平力、压力脉动、机器共振等，在地震区设计的管道应符合国家现行抗震标准规定；
- (11) 管道布置和支承点设置应同时考虑所能承受外部或内部的动力荷载。支承应可靠，不应发生管道与其支承件脱离、管道扭曲、下垂或立管不垂直等现象；
- (12) 管道的净空高度、净距及埋设深度应符合现行有关标准；
- (13) 阀门应布置在容易接近、便于操作和检修的地方。成排管道上的阀门应集中布置，并设置操作平台及梯子。应尽量减少阀门延伸杆或链轮操作，如要采用，不能阻挡操作通道；
- (14) 管道布置不应妨碍设备、机泵及其内部构件的安装、检修；
- (15) 安全喷淋洗眼器应根据腐蚀性介质或有毒介质的性质、操作特点和防护要求等设置，其服务半径范围不应大于 15m；
- (16) 软管站应根据需要设置，站内可包括蒸汽、新鲜水、装置空气和氮气等，其服务半径的范围宜为 15m~20m；
- (17) 金属管道除与阀门、仪表、设备等需要用法兰或螺纹连接者外，应尽量采用焊接连接。

9.3.9 可燃介质和有毒介质管道的设计原则是什么？

答：可燃介质和有毒介质管道的设计原则如下：

- (1) 管道不得穿越与其无关的建(构)筑物；
- (2) 管道应尽量架空或沿地面敷设，必须采用埋地敷设时，应采取有效的安全措施防止气体或液体的积聚；
- (3) 在急性毒性类别 1 和类别 2 介质的生产区和使用区内，应设置安全喷淋洗眼器；
- (4) 设置在安全隔墙或隔板内急性毒性类别 1 和类别 2 介质管道上的手动阀门应采用阀门延伸杆，且引至隔墙或隔板外操作；

(5) 急性毒性类别 1 和类别 2、可燃气体介质应采取密闭循环取样，取样口不得设在有振动的设备或管道上，否则应采取减振措施。采样管道不得引入化验室；

(6) 可燃介质管道不得安装在通风不良的厂房内、室内的吊顶内及建(构)筑物封闭的夹层内；

(7) 有毒介质、有腐蚀性介质管道，若布置在人行通道上方时，不应设置阀门及易发生泄漏的管道附件。如不可避免，则应设置保护罩防止泄漏；

(8) 氧气管道与可燃介质管道共架敷设时，应布置在一侧，且平行布置时，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，并无阀门时，其平行净距可取上述净距的 50%；

(9) 除管道和仪表流程图上指定的要求外，对于紧急处理及防火需要开或关的阀门，应位于安全和方便操作的地方；

(10) 进出装置的可燃介质的管道，在装置边界处应设隔断阀和 8 字盲板，在隔断阀处应设平台，长度等于或大于 8m 的平台应在两个方向设梯子；

(11) 隔断设备用的阀门与急性毒性类别 1 和类别 2 介质的设备相连接时，管道上的阀门应与设备管口直接相连，且该阀门不得使用链轮操作；

(12) 特殊可燃介质管道如氢气、氧气、乙炔气等的管道布置应符合现行有关标准的要求。

9.3.10 蒸汽管道的设计原则是什么？

答：装置的蒸汽管道宜架空敷设，不宜管沟敷设，更不应埋地敷设。由工厂系统进入装置的主蒸汽管道，一般布置在管廊的上层。蒸汽管道应按下列要求布置：

(1) 蒸汽支管应从主管的顶部引出，支管上的切断阀应安装在靠近主管的水平管段上，以避免存液；

(2) 蒸汽主管进入装置界区的切断阀上游和主管末端应设排液设施。排液设施应根据不同情况设放净阀、分液包及疏水阀；

(3) 水平敷设的蒸汽主管上的排液设施的间隔宜符合下列要求：

a) 在装置内，饱和蒸汽不宜大于 80m，过热蒸汽不宜大于 160m；

b) 在装置外，顺坡时不宜大于 300m，逆坡时不宜大于 200m；

(4) 不得从用汽要求很严格的蒸汽管道上接出支管作其他用途；

(5) 蒸汽支管的低点，应根据不同情况设排液阀或(和)疏水阀；

(6) 在蒸汽管道的 π 型补偿器上，不得引出支管。在靠近 π 型补偿器两侧的直管上引出支管时，支管不应妨碍主管的位移。因主管热胀而产生的支管引出点的位移，不应使支管承受过大的应力；

(7) 饱和蒸汽主管进入装置，在装置侧的边界附近应设蒸汽分水器，在分水器下部设经常疏水措施。过热蒸汽主管进入装置一般可不设分水器；

(8) 多根蒸汽伴热管应成组布置并设分配管，分配管的蒸汽宜就近从主管引出；

(9) 直接排至大气的蒸汽放空管，应在该管下端的弯头附近开一个 $\phi 6\text{mm} \sim \phi 10\text{mm}$ 的排液孔，并引至安全位置；

(10) 连接排放或经常排放的乏汽管道，排放口应远离操作区布置。

9.3.11 低温管道的设计原则是什么？

答：低温管道的设计原则如下：

- (1) 低温介质管道的布置在满足管道柔性下应使管道短、弯头数量少，且应减少液袋；
- (2) 低温介质管道要考虑整个管道有足够的柔性，应充分利用管道自然补偿，当无法自然补偿时，应设置补偿器；
- (3) 布置低温管道时，应避免管道振动。若有机械的振源，应采取消振措施，在接近振源处的管道应设置弹性元件，以隔断振源；
- (4) 低温管道应采用保冷管道支吊架，支吊架应有防止产生“冷桥”的措施；
- (5) 低温介质管道上的阀门宜安装在水平管道上，阀杆方向宜垂直向上；
- (6) 低温管道的间距应根据保冷后的法兰、阀门、测量元件的厚度以及管道的位移确定；
- (7) 低温介质管道上的法兰不宜与弯头或三通直接焊接。

9.3.12 放净与放空管道设计原则是什么？

答：(1) 管道系统中的高点或低点应根据操作、检修的要求，设置放空或放净。

(2) 为了尽量减少滞留在管道内介质的危害程度，如水锤、真空破裂、腐蚀及不能控制的化学反应，应在管道低点设置放净，高点设置放空。

(3) 管道需要完全放净时，管道需设置坡度，并设置放净点。下列介质管道，需要考虑完全放净：

- 1) 多功能的管道；
- 2) 管道拆除时，会产生有害及危险介质；
- 3) 管道中的液体会产生聚合或固体沉淀；
- 4) 由于间歇生产，液体存在于管道内将影响液体的纯度；
- 5) 可能会产生气体冷凝液的管道；
- 6) 有可能增加液体残留量的两相流介质。

(4) 管道系统进行水压试验、吹扫、清洗时，需在管道高点设置放空。水压试验后或停工检修可在残存液体处设置放净。

(5) 全厂性管道的放净设置宜符合下列规定：

- 1) 管廊上公用工程管道的末端及蒸汽管道的低点应设置放净；
- 2) 自燃点高出操作温度不足 10℃ 的可燃液体管道的低点不得设置放净；
- 3) 急性毒性类别 1 和类别 2 介质管道的低点不得设置放净；
- 4) 腐蚀性介质的低点不得设置放净；
- 5) 不产生凝结液的气体管道的低点不得设置放净。

(6) 急性毒性类别 1 和类别 2 介质管道的放空或放净应排入密闭回收系统。

(7) 除急性毒性类别 1 和类别 2 介质外，有毒气体的排放口应符合环保的要求，有毒液体不应排入下水道。

(8) 急性毒性类别 1 和类别 2 介质的管道的放空或放净宜设置双阀，当设置单阀时，应加盲板或法兰盖。

(9) 高压管道的放空或放净宜设置双阀，当设置单阀时，应加盲板或法兰盖。

(10) 连续操作的可燃气体管道低点的放净应设置双阀，排出的液体应排放至密闭系统。

可燃气体管道仅在开停工时使用的放净，可只设一道阀门并加丝堵、管帽或法兰盖。

(11) 管道放空或放净上的阀门应靠近主管，对易自聚、易冻结、易凝固或含固体介质的管道上的放净不应有拐弯。

(12) 振动管道上公称直径小于或等于 40mm 的放空、放净根部接口处应采取加强措施。

9.3.13 泄压排放和火炬系统设计原则是什么？

答：(1) 直接向大气排放的非可燃气体放空管的高度应符合下列规定：

1) 设备或管道上的放空管口应高出临近操作平台 2.2m 以上；

2) 紧靠建筑物、构筑物或其内部布置的设备或管道的放空口，应高出建筑物或构筑物顶 2.2m 以上。

(2) 受工艺条件或介质特性所限，无法排入火炬或装置处理系统的可燃气体，当通过排气筒、放空管直接向大气排放时，排气筒、放空管的高度应符合现行国家标准《石油化工企业设计防火标准》GB 50160—2008(2018 年版)中 5.5.11 的规定。

(3) 有毒气体放空口的位置应符合现行国家标准《制定地方大气污染物排放标准的技术方法》GB/T 3840 中的规定。

(4) 设置和管道上可燃气体安全泄压装置允许向大气排放时，应符合下列要求：

1) 排放管口不得朝向临近设备或有人通过的地区；

2) 排放管口的高度应高出以安全泄压装置为中心，半径为 8m 的范围内的操作平台或建筑物顶 3m 以上。

(5) 安全泄压装置出口管道的布置，应考虑由于泄压排放引起的反作用力，并合理设置支架。

(6) 严禁排入火炬的可燃气体携带可燃液体。距火炬筒 30m 范围内，不应设置可燃气体放空。

(7) 可燃气体放空管道内的凝液应密闭回收，不得随地排放。

(8) 严禁将混合后可能发生化学反应，并形成爆炸性混合物的几种气体混合排放。

(9) 全厂火炬总管公称直径大于等于 DN400 时，宜采用金属波纹膨胀节进行热补偿，且在管道的适当位置应采取轴向限位和导向措施。

(10) 排放管道凝液的凝固点等于或高于该地区最冷月平均温度时，应有防止凝结液在波纹膨胀节处聚集的措施。

(11) 金属波纹膨胀节的补偿量至少应是热补偿管段的全温度范围位移量的 1.15 倍，其他应符合国家标准《压力管道规范 工业管道 第 3 部分：设计和计算》GB/T 20801.3 中附录 F 的要求。

9.3.14 埋地管道设计的一般规定是什么？

答：(1) 工厂界区内埋地管道布置分为直埋敷设和管沟敷设。

(2) 工厂界区内埋地敷设的管道对人员和设备存在潜在的危险和不安全因素，埋地管道布置应妥善解决防冻、防凝结、吹扫、排液、防外腐蚀及承受外荷载等问题，并应遵守有关国家及当地的规定。

(3) 管道只有在不可能在地上架空敷设时，才采用埋地敷设。例如：

1) 输送介质无腐蚀性、无毒和无爆炸危险的液体、气体管道可直埋敷设；

- 2) 无法在地上架空敷设, 而又不宜直埋敷设的管道可在管沟内敷设;
- 3) 因工艺要求无法架空的可燃介质、有毒介质、有腐蚀性介质的管道, 需要埋地敷设时, 应采取一定的保护措施;
- 4) 除特殊需要外, 急性毒性类别 1 和类别 2 介质管道不宜埋地敷设。当工艺要求埋地敷设时, 应有监测泄漏、防止腐蚀、收集有害流体等的安全措施。

9.3.15 埋地管道设计原则和走向规划有什么要求?

答: (1) 埋地管道的设计应按如下原则确定:

- 1) 埋地管道的走向、敷设, 埋地管道与连接系统的相互影响;
- 2) 材料、施工规范和质量控制;
- 3) 运行程序和控制;
- 4) 防腐蚀;
- 5) 外部影响的减轻及管道的防护。

(2) 埋地管道的走向应进行详细规划, 并经业主确定同意。在规划图线中, 应包括如下几个部分:

- 1) 埋地管道的走向、定位尺寸及埋设标高;
- 2) 埋地部分的其他设施, 如电缆沟等, 也应包括将来计划实施的埋地设施;
- 3) 划定埋地管道建设区域内地上部分所有道路及其他地上设施。

9.3.16 直埋管道设计有什么要求?

答: (1) 工厂界区内直埋管道的埋设深度应根据最大冻土深度、地下水位和管道不受损坏等原则确定, 管道埋设深度应符合下列规定:

- 1) 无混凝土铺砌的区域, 管道的管顶距地面不宜小于 0.5m;
- 2) 室内或室外有混凝土铺砌的区域, 管道的管顶距地面不宜小于 0.3m;
- 3) 机械车辆的通行区域, 管道的管顶距地面不宜小于 0.7m;
- 4) 可燃、有毒等介质管道埋设深度应按有关规范执行。

(2) 直埋管道的外护套管(简称套管)设置应符合下列规定:

- 1) 直埋管道穿越车行道路时, 应加设套管; 套管顶面到路面应不小于 0.3m;
- 2) 穿越厂区铁路的管道应设套管, 套管顶面至铁轨底的距离不应小于 1.2m;
- 3) 输送可燃介质的直埋管道不宜穿越埋地敷设的电缆沟, 否则应设套管。当管道介质温度超过 60℃ 时, 在套管内应充填隔热材料, 使套管外壁温度不超过 60℃;
- 4) 套管应具备一定的刚度, 应能承受所有外表面的荷载;
- 5) 带有套管的直埋管道, 布置时应有足够的柔性, 内管应有热胀冷缩的余地;
- 6) 套管与输送管道最小净距为 100mm, 套管两端应进行密封, 防止水及其他外来物的侵入。

(3) 大直径薄壁管道深埋时, 应满足在土壤压力下的稳定性及刚度要求。

(4) 管道埋深应在冰冻线以下。当无法实现时, 应有可靠的防冻措施。

9.3.17 管沟内管道布置有什么要求?

答: (1) 无法架空而又不宜直埋敷设的管道可在不通行管沟内布置。不通行管沟分为全

封闭式管沟和敞开式管沟。

(2) 全封闭式管沟适用于不需经常检查和检修的管道；敞开式管沟适用于需要经常检查和检修的管道；在无可靠的通风条件及无安全措施时，不得在通行管沟内布置窒息性及可燃介质管道。

1) 可燃介质的管道不宜布置在全封闭式管沟内，若必须布置在管沟内，应采取防止可燃介质在管沟内积聚的措施，并在进出装置及厂房处设密封隔断；

2) 在敞开式管沟内，不宜敷设密度比环境空气大的可燃气体管道。当不可避免时，应在管沟内填满细砂，并应定期检查管道使用情况。

(3) 距散发比空气重的可燃气体设备 30m 以内的管沟，应采取防止可燃气体窜入和积聚的措施。

(4) 埋地管道布置设计应考虑管道内介质能全部排净，管道应有一定的坡度，并在低点及高点设置放净及放空。

9.3.18 直埋管道防腐蚀及阴极保护有什么要求？

答：(1) 外表面防腐蚀处理应符合下列规定：

1) 为了避免土壤中水和地下污染物对直埋管道的外表面腐蚀，外表面应进行防腐绝缘层处理；

2) 外表面绝缘防腐等级应根据土壤的腐蚀性程度确定。直埋管道穿越道路、铁路以及改变埋设深度时的弯管处，防腐等级应为特加强级。

(2) 直埋管道的阴极保护应符合下列规定：

1) 长距离直埋钢质管道除采用绝缘涂层保护外，一般需同时采用阴极保护来降低管道涂层薄弱处产生局部腐蚀的风险；

2) 依据土壤不同的腐蚀环境条件，被保护直埋管道具体状况和技术要求，一般由阴极保护系统设计制造商确定选择牺牲阳极保护或强制电流阴极保护方式；

3) 在工厂较为复杂的地下环境，为防止地下直流杂散电流的腐蚀，可采用排流保护法，使管道上的杂散电流不经土壤而经过导线单向地流向电源负极，从而保护管道表面不受腐蚀；

4) 直埋管道应采用绝缘法兰、螺栓、垫片和地上管道绝缘隔断。当局部采用钢套管时，套管间应设绝缘支撑进行电绝缘，套管两端应采用牢固的非导电材料密封。

9.3.19 管道静电接地有什么要求？

答：(1) 对爆炸、火灾危险场所内可能产生静电危险的设备和管道，均应采取静电接地措施。

(2) 在聚烯烃树脂处理系统、输送系统和料仓区应设置静电接地系统，不得出现不接地的孤立导体。

(3) 可燃气体、可燃液体、可燃固体的管道应设静电接地。接地连接点应符合下列要求：

1) 装置区中各个相对独立的建(构)筑物内的管道，可通过与工艺设备金属外壳的连接，进行静电接地；

2) 管道泵及泵入口永久过滤器、缓冲器等处应设置接地连接点；

3) 可燃液体、液化烃的装卸站台和码头的管道应设置接地连接点；

4) 管网在进出装置区处、不同爆炸危险环境的边界、管道分岔处的管道应进行接地，

对于长距离的无分支管道，应每隔 100m 与接地体可靠连接；

5) 平行管道净距小于 100mm 时，应每隔 20m 加跨接线。当管道交叉且净距小于 100mm 时，应加跨接线；

6) 工艺管道的加热伴管，应在伴管进汽口、回水口处与工艺管道等电位连接；

7) 对金属管道中间的非导体管段(如聚氯乙烯管)，除需做屏蔽保护外，两端的金属管应分别与接地干线相连，或用 6mm^2 多股铜芯绝缘电线跨接后接地；

8) 非导体管段上的金属件应接地。

(4) 除非另有规定，当金属法兰采用金属的螺栓或卡子紧固时，一般可不必另装静电连接线，但应保证至少有两个螺栓或卡子间具有良好的导电接触面。

(5) 每组专设的静电接地体，其对地电阻值，一般情况应小于 100Ω 。在山区等土壤电阻率较高的场所，其对地电阻值也应不大于 1000Ω 。

(6) 管道静电接地的设计，除符合上述规定外，尚应符合项目的特殊要求及现行有关标准规范的规定。

9.3.20 管道系统压力和温度的允许变动范围是什么？

答：(1) 确定设计压力和设计温度时，应考虑管道系统运行时发生的压力和温度的变动。

(2) GC1 级管道压力和温度不得超出设计范围。

(3) 除符合下列各项条件以及本条第(4)款的要求外，GC2 级管道应按压力和温度变动中的最苛刻组合确定设计条件：

1) 管道系统中没有铸铁或其他脆性金属材料的管道组成件；

2) 由压力产生的管道名义应力不超过材料在相应温度下的屈服强度；

3) 轴向总应力符合本章第 9.3.44 条的规定；

4) 管道系统预期寿命内，超过设计条件的压力-温度变化的总次数不大于 1000 次；

5) 压力变动的上限值不大于管道系统的试验压力；

6) 持续和周期性变动不改变管道系统中所有管道组成件的操作安全性能；

7) 温度变动的下限值不小于现行国家标准《压力管道规范 工业管道 第 2 部分：材料》GB/T 20801.2 规定的材料最低使用温度；

8) 阀门闭合元件的压力差不超过阀门制造商规定的最大额定压力差。

(4) 超过设计条件的压力偶然变动应限制在下列任一范围内：

1) 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的幅度和频率应满足下列条件之一：

a) 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；

b) 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。

2) 当波动为自限(例如压力泄放)时，在每次变动时间不超过 50h 且每年累计变动时间不超过 500h 条件下，压力额定值变动幅度不大于 20%，或管道名义应力超过材料许用应力值的幅度不大于 20%。

9.3.21 金属材料许用应力应符合什么要求？

答：(1) 金属材料许用应力和螺栓材料许用应力应符合国家标准《压力管道规范 工业管道 第 2 部分：材料》GB/T 20801.2 表 A.1 和表 A.2 的规定。

注：表中许用应力值未包括材料的纵向焊接接头系数 Φ_w 、焊接接头高温强度降低系数 W 和铸件质量系数 Φ_c 。

(2) 国家标准《压力管道规范 工业管道 第2部分：材料》GB/T 20801.2 表 A.1 和表 A.2 以外的金属材料 and 螺栓材料应按表 9.3.21-1 和表 9.3.21-2 规定的准则确定各自的许用应力。

(3) 拉伸许用应力按本条第(1)、(2)款取值。

(4) 压缩许用应力应符合结构稳定性的要求，且不大于拉伸许用应力。

(5) 剪切许用应力取拉伸许用应力的 80%，接触许用应力取拉伸许用应力的 160%。

(6) 管子和对焊管件的纵向焊接接头系数 Φ_w 应按表 9.3.21-3 规定的准则或国家标准《压力管道规范 工业管道 第2部分：材料》GB/T 20801.2 表 A.3 确定。

表 9.3.21-1 金属材料许用应力准则

材 料	许用应力应不大于下列各值中的最小值/MPa				
	抗拉强度 下限值 R_m /MPa	屈服强度下限值 $R_{eL}(R_{p0.2})$ /MPa	设计温度下 屈服强度 $R'_{eL}(R'_{p0.2})$ /MPa	持久强度平均值 或持久强度最低值 R'_D 或 R'_{Dmin} /MPa	蠕变极限 平均值 R'_n /MPa
灰铸铁	$\frac{R_m}{10}$	—	—	—	—
可锻铸铁	$\frac{R_m}{5}$	—	—	—	—
球墨铸铁，碳钢、合金钢、铁素体 不锈钢、延伸率小于 35% 的奥氏体不 锈钢、双相不锈钢、钛和钛合金、铝 和铝合金	$\frac{R_m}{3}$	$\frac{R_{eL}(R_{p0.2})}{1.5}$	$\frac{R'_{eL}(R'_{p0.2})}{1.5}$	$\frac{R'_D}{1.5}, \frac{R'_{Dmin}}{1.25}$	$\frac{R'_n}{1.0}$
延伸率大于等于 35% 的奥氏体不锈 钢和镍基合金	$\frac{R_m}{3}$	$\frac{R_{eL}(R_{p0.2})}{1.5}$	$0.90R'_{eL}(R'_{p0.2})$ ①	$\frac{R'_D}{1.5}, \frac{R'_{Dmin}}{1.25}$	$\frac{R'_n}{1.0}$

注：① 对于法兰或其他有微量永久变形就引起泄漏或故障的场合不能采用。

表 9.3.21-2 螺栓材料许用应力准则²

材 料	许用应力应不大于下列各值中的最小值/MPa				
	抗拉强度 下限值 R_m /MPa	屈服强度 下限值 $R_{eL}(R_{p0.2})$ /MPa	设计温度下 屈服强度 $R'_{eL}(R'_{p0.2})$ /MPa	持久强度平均值 或持久强度最低值 R'_D 或 R'_{Dmin} /MPa	蠕变极限 平均值 R'_n /MPa
非热处理或应变强化的螺栓材料	$\frac{R_m}{4}$	$\frac{R_{eL}(R_{p0.2})}{1.5}$	$\frac{R'_{eL}(R'_{p0.2})}{1.5}$	$\frac{R'_D}{1.5}, \frac{R'_{Dmin}}{1.25}$	$\frac{R'_n}{1.0}$
热处理或应变强化 ^① 的螺栓材料	$\frac{R_m}{5}$	$\frac{R_{eL}(R_{p0.2})}{4}$	$\frac{R'_{eL}(R'_{p0.2})}{1.5}$	$\frac{R'_D}{1.5}, \frac{R'_{Dmin}}{1.25}$	$\frac{R'_n}{1.0}$

注：① 对于热处理或应变强化处理的螺栓材料，许用应力取表中最小值。若该许用应力小于材料退火状态下的许用应力，应取非热处理或应变强化（即退火状态）螺栓材料的许用应力。

② 表列螺栓许用应力准则仅用于非标准法兰设计的螺栓强度要求，而螺栓安装的目标应力可达 50%~70% 螺栓材料的屈服强度。

表 9.3.21-3 纵向焊接接头系数 Φ_w

序号	焊接型式	焊缝类型	检查	Φ_w
1	连续炉焊 ^①	直缝	按材料标准规定	0.60
2	电阻焊(ERW) ^①	直缝或螺旋缝	按材料标准规定	0.85
3	电熔焊(EFW)	直缝或螺旋缝	按材料标准或本部分规定不做 RT	0.80
			局部(10%) RT	0.90
			100% RT	1.00
	单面对接焊 (带或不带填充金属)	直缝或螺旋缝	按材料标准或本部分规定不做 RT	0.85
			局部(10%) RT	0.90
			100% RT	1.00
双面对接焊 (带或不带填充金属)	直缝或螺旋缝 (除序号 4 外)	按材料标准或本部分规定不做 RT	0.85	
		局部(10%) RT	0.90	
		100% RT	1.00	
4	GB/T 9711 电熔焊(EFW), 双面对接焊	直缝(一条或两条) 或螺旋缝	按 GB/T 9711 规定	0.95
			附加 100% RT	1.00

注：① 不得通过附加无损检测来提高电阻焊(ERW)的纵向焊接接头系数。

9.3.22 管道焊接接头高温强度降低系数 W 是如何确定的？

答：(1) 使用表 9.3.22 所列高温蠕变工况的铬钼合金钢、强韧型铁素体耐热钢、300 系奥氏体不锈钢、800 和 600 镍基合金焊接接头的长期工作强度可能低于母材。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 第 6 章设计承受内压的焊接直管和弯管、弯头、斜接弯头、异径管等对焊管件壁厚时，许用应力与纵向焊接接头系数的乘积 $S\Phi_w$ 还应乘以焊接接头高温强度降低系数 W ；计算由持续性荷载产生的轴向应力时，环焊缝的许用应力 S_h 也应乘以 W 。

(2) 符合下列条件之一者，可不计焊缝接头高温强度降低系数 W ：

- 1) 评价临时荷载(如风荷载、地震荷载)时；
- 2) 按本章第 9.3.20 条评价的压力和温度允许变动范围时；
- 3) 按本款第 1) 或 2) 项条件的额定压力或许用应力；
- 4) 按本章第 9.3.47 条计算柔性分析的许用应力范围 S_A 时。

(3) 对于表 9.3.22 以外的材料，除本条第(4)以外，温度不高于 510℃时， W 取 1.0；温度为 815℃时， W 取 0.5，中间数值采用线性内插法计算；温度高于 815℃时，由设计者确定 W 。

(4) 允许通过焊接接头蠕变断裂试验确定大于表 9.3.22 或本条第(3)款的 W 值，但应符合下列规定：

- 1) 应采用全厚度包括母材、焊缝及热影响区的横向焊接接头试样；
- 2) 持久断裂时间不低于 1000h。

表 9.3.22 焊接接头高温强度降低系数 W ⁷⁾

材 料	温度/℃														
	427	454	482	510	538	566	593	621	649	677	704	732	760	788	816
CrMo 钢 ^{①-③}	1	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	0.73	0.68	0.64	—	—	—	—	—	—
CSEF(N+T) ^{③-⑤}	—	—	—	1	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	—	—	—	—	—	—

材 料	温度/℃														
	427	454	482	510	538	566	593	621	649	677	704	732	760	788	816
CSEF ^{③④} (PWHT)	—	—	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	—	—	—	—	—	—
无填充金属的 300 系奥氏体不锈钢及 800 和 600 镍基合金自熔焊 ^⑥	—	—	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
带填充金属的 300 系奥氏体不锈钢及 800 镍基合金	—	—	—	1	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	0.73	0.68	0.64	0.59	0.55	0.5

注：① CrMo 钢包括 0.5Cr-0.5Mo, 1Cr-0.5Mo, 1.25Cr-0.5Mo, 2.25Cr-1Mo, 3Cr-1Mo, 5Cr-0.5Mo, 9Cr-1Mo。直缝及螺旋缝电熔焊结构不允许用于 454℃ 以上的 C-0.5Mo 钢。

② 直缝及螺旋缝电熔焊结构不允许用于 454℃ 以上的 C-0.5Mo 钢。

③ 焊缝填充金属的碳含量应 $\geq 0.05\%$ 。埋弧焊焊剂的碱度应 ≥ 1.0 。

④ CSEF(强韧型铁素体耐热钢)钢包括如下钢级：91, 92, 911, 122 和 23。

⑤ N+T：焊后正火+回火。

⑥ 无填充金属的自熔焊。焊后应进行固溶退火处理。

⑦ 表列温度仅用于相应材料焊接接头高温强度降低系数 W，材料的使用温度上限按现行国家标准《压力管道规范 工业管道 第 2 部分：材料》GB/T 20801.2 的相应规定。

二、管道组成件的选用

9.3.23 管道组成件的选用的一般规定是什么？

答：应根据流体的性质、各种可能出现的操作工况以及外部环境的要求和经济合理性选用管道组成件。

9.3.24 管子和对焊管件的选用应符合什么规定？

答：(1) 按国家标准《压力管道规范 工业管道 第 2 部分：材料》GB/T 20801.2 表 A.1 和《压力管道规范 工业管道 第 3 部分：设计和计算》GB/T 20801.3 表 13 选用的管子和对焊管件，其壁厚计算应符合国家标准《压力管道规范 工业管道 第 3 部分：设计和计算》GB/T 20801.3 第 6 章的相关规定。

(2) 按本条第(1)款选用的管子，还应考虑设计条件和各种可能出现的操作工况。

(3) 管子和对焊管件材料的使用限制应符合国家标准《压力管道规范 工业管道 第 3 部分：材料》GB/T 20801.2 的相关规定。

(4) 用于 GC1 级的现行国家标准《钢制对焊管件 类型与参数》GB/T 12459 管道和剧烈循环工况的对焊管件应符合下列规定：

1) 符合现行国家标准《钢制对焊管件 类型与参数》GB/T 12459—2007 附录 B 的最小壁厚要求；

2) 采用带折边异径管，且半锥角不大于 30°。

9.3.25 弯管、斜接弯头和短半径弯头的使用应符合什么规定？

答：(1) 弯管的使用应符合以下规定：

1) 弯管的制作应符合本章第 9.4.4 条规定；

2) 弯管最小壁厚应符合现行国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分:设计与计算》GB/T 20801.3的规定;

3) 带褶皱和波浪的弯管(见本章图9.4.4)不得用于GC1级管道和剧烈循环工况;

4) 采用现行国家标准《石油天然气工业 管线输送系统用钢管》GB/T 9711 L290(X42)~L555(X80)的管道系统,弯管应符合现行国家标准《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 29168.1的相关要求。

(2) 斜接弯头的使用应符合以下规定:

1) 设计压力 $P \leq 2.0\text{MPa}$,且设计温度低于材料的蠕变温度;

2) 斜接弯头的变方向角 α 大于 22.5° 者,不得用于GC1级管道和剧烈循环工况;

3) 斜接弯头的变方向角 α 小于等于 3° 者,可作为直管而不作为斜接弯头;

4) 除满足1)~3)项的规定外,非标准斜接弯头应按现行国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分:设计和计算》GB/T 20801.3进行压力设计,其焊接和制作还应符合《压力管道规范 工业管道 第4部分:制作与安装》GB/T 20801.4的规定。

(3) 短半径弯头的使用应符合以下规定:

1) 短半径弯头和短半径回弯头($R=1.0D$)应符合现行国家标准《钢制对焊管件 类型与参数》GB/T 12459的规定;

2) 弯头中心线所在平面的内弧侧壁厚不小于管件公称壁厚的1.25倍者,其最大允许工作压力与国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分:设计和计算》GB/T 20801.3的4.2.1.3 a)确定的最大允许工作压力相同;内弧侧壁厚小于管件公称壁厚的1.25倍者,其最大允许工作压力应不大于按本条第(3)款第2)项确定的最大允许工作压力的80%。

9.3.26 现场制作的扩口翻边接头应符合什么规定?

答:(1) 现场制作的扩口翻边接头应符合以下规定:

1) 不得用于剧烈循环工况;

2) 扩口翻边用管子应符合国家标准《压力管道规范 工业管道 第2部分:材料》GB/T 20801.2表A.1相应材料标准以及相应的扩口翻边加工工艺要求;

3) 翻边接头的密封面外径应符合现行国家标准《钢制对焊管件 类型与参数》GB/T 12459的相关要求。密封面应按相应管法兰密封面的要求加工;

4) 内圆角半径应不大于3mm;

5) 最小厚度应不小于管子最小壁厚的95%;

6) 压力设计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。

(2) 现场制作的扩口翻边接头用于GC1级管道时,除符合本条第(1)款的规定以外,还应满足以下要求:

1) 公称直径应不大于 $DN100$,且扩口翻边前管子壁厚应大于Sch10;

2) 最高允许工作压力应不大于PN20法兰规定的相应额定值;

3) 工作温度应不高于 200°C 。

9.3.27 支管连接及其管件的使用应符合什么规定?

答:(1) 支管连接包括支管直接与主管的焊接连接和通过支管连接管件与主管的连接两

种形式，支管连接管件包括支管座、半管接头和三通等。用于 GC1 级管道的支管连接管件应符合本条第(2)款的规定。支管直接与主管的焊接连接应符合本条第(3)款的规定。

(2) 用于 GC1 级管道的支管连接管件应符合下列规定：

- 1) GC1 级管道用支管连接管件宜采用整体补强的支管连接管件或三通；
- 2) 承插或螺纹支管座和半管接头的公称直径应不大于 $DN80$ ；
- 3) 螺纹管件的选用应符合本章第 9.3.35 条的有关规定。

(3) 支管直接与主管的焊接连接应符合下列规定：

1) 应按国家标准《压力管道规范 工业管道 第 3 部分：设计和计算》GB/T 20801.3 第 6.7、6.8 节的规定进行压力设计，焊接应符合第 9.3.32 条第(2)款的规定；

2) 用于剧烈循环工况时，除应符合本款第(1)项的规定外，还应采用国家标准《压力管道规范 工业管道 第 4 部分：制作与安装》GB/T 20801.4 图 10 b)、d)、f) 的结构；

3) 支管直接与主管的焊接连接不宜在以下场合使用：

- a) 支管尺寸与主管相近；
- b) 连接部位存在振动、脉动、温度循环等荷载引起的循环应力；
- 4) 支管与主管尺寸相差悬殊时，支管应具有足够的柔性，以补偿主管的热膨胀及其他位移。

9.3.28 法兰的选用应符合什么规定？

答：(1) 法兰一般应按国家标准《压力管道规范 工业管道 第 3 部分：设计和计算》GB/T 20801.3 表 13 选取，并按相应标准规定的压力-温度额定值使用。

(2) 当选用本条第(1)款表 13 以外的法兰时，应符合国家标准《压力管道规范 工业管道 第 3 部分：设计和计算》GB/T 20801.3 中 4.2.1.2~4.2.1.4 的规定。

(3) 平焊法兰和松套法兰的附加要求：

- 1) 平焊法兰不得用于温度频繁变化的工况，特别是法兰未做隔热的场合；
- 2) 带颈平焊法兰与翻边短节配合的使用范围应符合表 9.3.28-1 的规定；

表 9.3.28-1 与翻边短节配合的带颈平焊法兰的使用范围

压力等级	最大法兰公称直径
Class 150	$DN300$
Class 300	$DN200$

3) 松套法兰或带颈平焊法兰与翻边接头(包括现场制作的焊制翻边、扩口翻边等)配合使用时，应考虑法兰内孔与翻边转角的配合。

(4) 承插焊法兰的焊接应符合本章第 9.3.33 条的规定。

(5) 螺纹法兰(采用锥管螺纹连接的法兰)附加要求：

- 1) 螺纹法兰的连接应符合本章第 9.3.35 规定；
- 2) 选用 $DN65$ 、 $DN125$ 和 $DN150$ 螺纹法兰时，其钢管外径还应符合表 9.3.28-2 的规定。

(6) 法兰型式的选用应考虑法兰的刚度对法兰接头密封性能的影响。

(7) 剧烈循环工况下，应选用整体法兰或带颈对焊法兰。

(8) 确定法兰密封面型式及表面粗糙度时，应考虑流体性质和垫片性能。

表 9.3.28-2 螺纹法兰的钢管外径

公称尺寸	钢管外径/mm	
	GB/T 7306(55°锥管螺纹) ^①	GB/T 12716(60°锥管螺纹) ^②
DN65	76.1	73
DN125	139.7	141.3
DN150	165.1	168.3

注：① 现行国家标准《55°密封管螺纹 第2部分：圆锥内螺纹与圆锥外螺纹》GB/T 7306.2。

② 现行国家标准《60°密封管螺纹》GB/T 12716。

(9) 有毒、可燃介质管道不得采用板式平焊法兰。

(10) 胀接法兰和螺纹法兰(不包括高压用螺纹法兰-透镜垫密封型式)不得用于 GC1 级管道。

9.3.29 垫片的选用应符合什么规定？

答：(1) 垫片的选用应考虑流体性质、工作温度、压力以及法兰密封面等因素。垫片的密封荷载应与法兰的压力等级、密封面型式、表面粗糙度和紧固件相匹配。

(2) 有冷流倾向的垫片，其密封面型式宜采用全平面、凹凸面或槽槽面。

(3) 选用缠绕式垫片、金属包覆垫等非金属垫或金属环垫的公称压力小于等于 PN20 的标准管法兰，应采用带颈对焊等刚性较大的结构型式。

(4) 可燃材料(如橡胶)制成的垫片，不得用于输送强氧化性介质的管道。

9.3.30 紧固件的选用应符合什么规定？

答：(1) 紧固件包括六角头螺栓、等长双头螺柱、全螺纹螺柱、螺母，紧固件强度按表 9.3.30 分类。

表 9.3.30 紧固件强度分类

螺栓材料(HG/T 20613、HG/T 20634)		
高强度 ^②	中强度 ^②	低强度 ^①
8.8	A2-70	5.6
35CrMo	A4-70	A4-50
25Cr2MoV	A193 B8-2	A2-50
42CrMo(B7)	A193 B8M-2	06Cr17Ni12Mo2
A320 L7	A453 660	06Cr18Ni10

注：① 除设计计算保证具有足够强度外，低强度紧固件不应用于 Class 600 及以上等级法兰接头和金属垫片密封的法兰接头。

② 本章第 9.3.34 条第(5)款所列工况，应采用中强度或高强度紧固件。

(2) 紧固件应符合预紧及操作条件下垫片的密封要求。

(3) 较高强度等级的紧固件可代用较低强度等级的紧固件。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。螺栓的工作温度宜不高于其蠕变阈值温度。

(4) 配对法兰中一侧为铸铁法兰或铜合金法兰时，应采用低强度紧固件。但以下情况除外：

1) 两侧法兰的密封面均为全平面且采用全平面垫片的场合；

2) 规定了螺栓拧紧力矩和拧紧程序的场合。

(5) 低强度紧固件不得用于剧烈循环工况下的法兰接头。

9.3.31 阀门的选用应符合什么规定？

答：(1) 应根据管道的设计温度、设计压力、介质性质和阀门用途来选用阀门，并应考虑外部荷载对阀门操作性能和密封性能的影响。

(2) 阀门应按国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分：设计和计算》GB/T 20801.3 表 13 及表 A.1 选取，并按相应标准规定的压力-温度额定值使用。阀门内件采用非金属材料时，应根据非金属材料所能承受的压力-温度额定值确定阀门的压力-温度额定值。

(3) 阀盖与阀体的连接：采用螺纹阀盖的阀门应设有防止阀盖松动的安全装置，如锁紧装置等。

(4) 对于内部可能滞留流体介质的阀门(如双密封阀座阀门)，应采取适当的安全措施防止因温度升高导致的压力增加。

(5) 对于阀杆填料和管道内流体介质温差较大的工况以及阀门设计温度低于-46℃的低温工况，应采用加长阀盖的结构形式。

(6) 对于 GC1 级管道和剧烈循环工况，其阀门的选用应符合以下规定：

1) 除本部分另有规定外，宜选用重载(现行国家标准《石油、天然气工业用螺柱连接阀盖的钢制闸阀》GB/T 12234、《石油、石化及相关工业用钢制截止阀和升降式止回阀》GB/T 12235 或《石油和天然气工业用阀盖螺栓连接的钢制闸阀》API Std600) 阀门；

2) 阀帽或阀盖的密封结构应采用下列型式之一：

a) 法兰连接，螺栓数量大于等于 4，且法兰接头及其螺栓上紧应符合本章第 9.3.34 条第(5)款的相应规定；

b) 压力密封阀盖；

c) 全焊透焊接结构；

3) 不得采用螺纹连接的阀盖密封结构；

4) 用于剧烈循环工况的阀门铸件质量系数 Φ_c 应大于等于 0.90。

(7) 采用非金属密封材料内件，且用于可燃流体的阀门，应符合耐火试验要求，并根据非金属材料所能承受的压力-温度额定值确定阀门的压力-温度额定值。

(8) 用于 GC1 级(毒性、易燃性)以及挥发性有机物(VOC)的阀门应采用低逸散结构，控制阀杆填料处的泄漏，且符合《阀门的逸散性试验——型式试验》ISO 15848-1(型式试验)和现行国家标准《阀门的逸散性试验》GB/T 26481(阀门检验)的相应要求，详情可参照国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分：设计和计算》GB/T 20801.3 附录 J 附表 J.3 所列要求。

(9) 对于本条第(1)~(8)款的规定同样适用于管道过滤器、疏水器及分离器等与阀门类似的管道组成件。

9.3.32 管道组成件连接形式的选用的一般规定有什么？

答：(1) 管道组成件连接形式的选用应与管道材料和流体工况相适应，并应考虑在预期

的使用和试验工况下, 压力、温度和外荷载对连接接头密封性能和机械强度的影响。

(2) 管道组成件的连接形式宜优先选用焊接接头。管道组成件在制作和安装过程中的焊接、预热和热处理应符合现行国家标准《压力管道规范 工业管道 第4部分: 制作与安装》GB/T 20801.4的有关规定, 其检查及检验应符合《压力管道规范 工业管道 第5部分: 检验与试验》GB/T 20801.5的有关规定。

(3) 焊接接头的衬环和熔化性嵌条应符合以下规定:

1) 对于腐蚀、振动或剧烈循环工况, 焊接时应尽量避免使用衬环; 如需采用衬环, 应在焊后去除衬环并打磨接头内表面; 在不可能去除衬环时, 应考虑使用不带衬环的焊接, 或使用可熔化性嵌条替代衬环, 或焊后能去除的非金属衬环;

2) 对于剧烈循环工况或 GC1 级管道, 不应使用不连续的开口衬环。

9.3.33 采用承插焊的焊接接头应符合哪些规定?

答: 采用承插焊的焊接接头应符合以下规定:

(1) 一般用于公称直径小于等于 $DN50$ 的管道;

承口尺寸应符合相应法兰或管件标准的规定, 承插焊缝尺寸应不小于国家标准《压力管道规范 工业管道 第4部分: 制作与安装》GB/T 20801.4 图 8、图 9 所示尺寸;

(2) 以下场合不得采用承插焊焊接:

1) 可能产生缝隙腐蚀或严重冲蚀的场合;

2) 要求焊接部位及管道内壁光滑过渡的场合;

3) 剧烈循环工况、GC1 级管道且公称直径大于 $DN50$ 的场合;

(3) 管道组成件上开设的旁通管和排放孔可采用承插焊连接, 其承口尺寸应符合图 9.3.33(a) 以及表 9.3.33-1;

(4) 开设旁通管和排放孔的管道组成件的壁厚如不能满足表 9.3.33-1 的尺寸要求或需要开孔补强时, 应增加凸缘(如图 9.3.33 中(b)所示), 凸缘的尺寸应符合表 9.3.33-2 的规定。

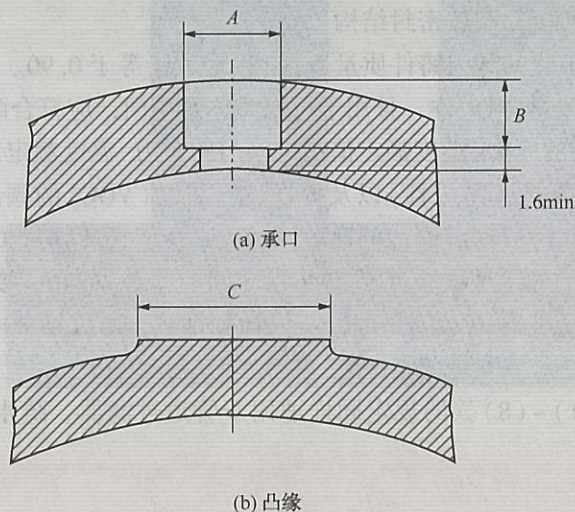


图 9.3.33 承口和凸缘

表 9.3.33-1 承口尺寸

连接尺寸		DN10	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50
最小直径 A/mm	国际通用系列钢管	17.7	21.8	27.4	34.2	42.9	48.8	61.1
	国内沿用系列钢管	14.5	18.5	25.5	32.5	38.5	45.5	57.8
最小深度 B/mm		5	5	6.5	6.5	6.5	6.5	8

表 9.3.33-2 凸缘尺寸

连接尺寸	DN10	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50
最小直径 C/mm	32	38	44.5	54	63.5	70	86

9.3.34 法兰连接的一般要求是什么？

答：（1）法兰连接的选用应根据设计条件、荷载、流体特性、泄漏率等因素来考虑，同时还应综合考虑法兰、垫片和紧固件的选用和配合。

（2）金属法兰与非金属或铸铁法兰连接时，法兰的密封面应采用全平面型式，且一般配以全平面型式垫片。如果采用全平面型式以外的垫片，应控制螺栓拧紧力矩，防止非金属或铸铁法兰过载。

（3）配对的两个法兰如具有不同的压力额定值，该连接接头的最高无冲击工作压力应按较低额定值确定，并应控制安装时的螺栓扭矩，防止低额定值法兰过载。

（4）高温或承受较大温度梯度的法兰接头，除应符合本章第 9.3.28~9.3.30 条的要求外，还应考虑法兰的高温变形、温差和螺栓材料的应力松弛以及垫片蠕变。

（5）GC1 级（毒性、易燃性）管道以及高温或低温、剧烈循环以及振动、疲劳等工况条件下，应满足下列各项要求：

1) 采用表 9.3.30 所示的高强度（或中强度）紧固件；

2) 法兰接头的螺栓安装载荷应能保证法兰接头在安装、试验及运行过程中满足下列各项要求：

a) 螺栓安装载荷应在法兰不变形、垫片不压溃或压碎、螺栓不屈服的条件下取最大值。螺栓安装目标应力（以螺栓根径截面积计）不大于 70% 螺栓材料屈服强度。采用高强度紧固件时，螺栓安装目标应力一般可取 350MPa；

b) 考虑螺栓材料的应力松弛、垫片蠕变以及法兰偏转而致使螺栓安装载荷的衰减；

c) 考虑安装偏差而导致螺栓安装载荷的损失；

d) 考虑管道各种工作（包括试验）压力及外加载荷（包括温度及温差）而导致垫片密封应力的降低；

e) 运行条件下维持足够的垫片密封应力，满足设计要求的连接紧密性。

3) 采用最大螺栓安装载荷控制技术，法兰接头装配、紧固方法和紧固程序的要求符合现行国家标准《压力管道规范 工业管道 第 4 部分：制作与安装》GB/T 20801.4 的相关规定。

9.3.35 螺纹密封的管螺纹连接型式应符合什么规定？

答：（1）螺纹密封的管螺纹型式应符合表 9.3.35-1 的规定。

表 9.3.35-1 螺纹牙型角

外螺纹	内螺纹	牙型角	标准
锥形 NPT	锥形 NPT	60°	GB/T 12716 ^①
锥形 R	锥形 RC	55°	GB/T 7306.2 ^②
	平行 RP	55°	GB/T 7306.1 ^③

注：① 见本章表 9.3.28-2 注②。

② 见本章表 9.3.28-2 注①。

③ 现行国家标准《55°密封管螺纹 第 1 部分：圆柱内螺纹与圆锥外螺纹》GB/T 7306.1。

(2) 锥管螺纹(NPT 和 R/RC)应符合以下规定：

1) 对于可能产生应力腐蚀、缝隙腐蚀、冲蚀或由于振动、压力脉动及温度变化等可能产生交变荷载的部位，不宜采用螺纹连接；

2) 除温度计套管外，急性毒性类别 1 和类别 2 介质的管道和剧烈循环工况管道不应采用螺纹连接；

3) 采用螺纹接头的管道系统，应考虑减小螺纹接头上的应力，特别是由热膨胀和阀门（尤其是端部阀门）操作产生的应力，以防止螺纹接头松动；

4) 管道不得采用管端伸出螺纹法兰作为密封面的结构型式，如图 9.3.35 所示（不包括高压用螺纹法兰透镜垫密封型式）；

5) 圆锥外螺纹元件的公称直径和最小壁厚应符合表 9.3.35-2 的规定；

6) 圆锥内螺纹元件与外螺纹元件应具有同等的强度和韧性，且符合流体工况的要求；

7) 未承受外部弯矩作用的螺纹元件（如温度计套管），可用于剧烈循环工况。

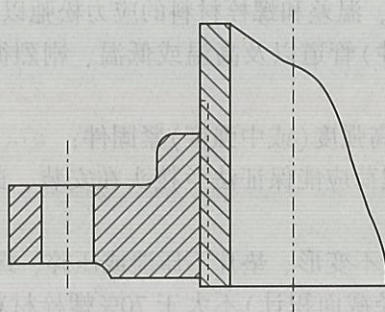


图 9.3.35 管端伸出螺纹法兰作为密封面的结构

表 9.3.35-2 圆锥外螺纹元件的最小壁厚

管道级别	材料	钢管公称直径	最小壁厚(管标号或壁厚)
GC1	碳钢、合金钢	DN8~DN25	Sch80
	不锈钢		Sch40s
GC2	碳钢、合金钢	≤DN40	Sch80
		DN50~DN150	Sch40
	不锈钢	≤DN150	Sch40s

注：用于输送可燃、有毒介质且大于 DN50 的螺纹连接接头，应采取安全防护措施。

(3) 锥/平管螺纹(R/RP)应符合以下规定：

1) 用于水、低压蒸汽和空气系统管道时，可采用密封剂或密封带；

2) 还应符合本条第(1)款的规定。

9.3.36 GB/T 20801.3 对哪些管道受压元件的强度设计做出了规定?

答: 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 对以下管道受压元件的强度设计做出了规定:

- (1) 直管;
- (2) 弯管或弯头;
- (3) 斜接弯头;
- (4) 管法兰和法兰盖的压力设计与承受外载荷评估;
- (5) 盲板;
- (6) 其他管道组成件;
- (7) 支管连接的等面积补强法;
- (8) 整体成型三通及支管连接的压力面积法计算。

9.3.37 GB/T 20801.3 如何确定金属直管的壁厚?

答: 金属直管的壁厚确定方法如下:

(1) 直管的内压设计

直管的内压设计应符合下列规定:

1) 当 $t < D/6$ 时, 直管的计算厚度 t 按式 9.3.37-1 计算:

$$t = \frac{PD}{2 \times (S\Phi_w + PY)} \quad (9.3.37 - 1)$$

2) 当 $t \geq D/6$ 或 $P/S\Phi > 0.385$ 时, 计算时还应考虑失效机理、疲劳影响和温差应力等因素。

(2) 直管的外压(或真空)设计

直管的外压(或真空)设计应符合下列规定:

1) 应根据 D 、 L 、 T_e 值以及所用材料, 按现行国家标准《压力容器 第3部分: 设计》GB/T 150.3 等有关标准, 并按 $P \leq [P]$ 的准则确定计算厚度;

2) 对于 $L/D \geq 25$ 且 $D/T_e \geq 65$ 的碳钢、低合金钢、奥氏体不锈钢以及铸铁直管, 当设计温度不超过 300°C 时, 可按式 9.3.37-2 计算许用外压 $[P]$:

$$[P] = \frac{2.2}{3} E \left(\frac{T_e}{D} \right)^3 \quad (9.3.37-2)$$

以上式中 t ——计算厚度, 按内压或外压(或真空), 分别由公式计算而得的厚度, mm;

P ——设计压力, MPa;

D ——管外径, 取管子外径的名义值, 或由实测所得, mm;

S ——设计温度下管道组成件金属材料的许用应力, MPa;

$\Phi(\Phi_w、\Phi_c)$ ——焊件的纵向焊接接头系数或铸件质量系数, 见表 9.3.21-3;

Y ——计算系数, 当 $t < D/6$ 时, 按本部分表 9.3.37 查取; 当 $t \geq D/6$ 时, $Y = \frac{d+2C}{D+d+2C}$;

L ——外压(或真空)管道的计算长度, mm;

T_e ——有效厚度, 为名义厚度减去厚度附加量和材料厚度负偏差以后的厚度, mm;

E ——设计温度下材料的弹性模量, MPa;

[P]——许用外压, MPa;

3) 加强圈的设置和设计应符合现行国家标准《压力容器 第3部分:设计》GB/T 150.3的规定。

a) 对于直管,取两相邻支撑线之间的距离,按现行国家标准《压力容器 第3部分:设计》GB/T 150.3的规定确定;

b) 当直管带有焊接相连的(即相接处不作为支撑线)弯头或弯管、斜接弯头时,取直管包括弯头、弯管或斜接弯头的轴线在内的两相邻支撑线之间的距离;

c) 当直管带有异径管时,一般取包括异径管轴向长度在内,大端直管支撑线到小端直管支撑线之间的距离(见现行国家标准《压力容器 第3部分:设计》GB/T 150.3—2011图4-1)。

表 9.3.37 $t < D/6$ 时的 Y 值

材 料	温度/℃					
	≤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
其他延性材料	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
铸铁	0.0	—	—	—	—	—

三、管道应力分析

9.3.38 管道应力分析的一般规定有什么?

答:(1)本部分对各种可能存在的荷载,在管道元件中产生的应力给出分析方法和评定准则。如需考虑压力波动对管道元件产生的疲劳效应,可参照国家现行标准《压力容器分析设计标准》JB 4732 给出的分析方法和评定准则,并在本章第 9.3.45~9.3.49 条的柔性分析中,对式(9.3.47-1)、式(9.3.47-2)中许用应力范围的折减系数 f 取 1.0。

(2)本部分所述的柔性分析方法不适用于铸铁等脆性材料。

(3)在进行管道系统应力分析时,应计及膨胀节和其他管道元件的刚度。各种管道元件的柔性系数和应力增大系数可由国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分:设计和计算》GB/T 20801.3 附录 C 中表 C.1 所列出的公式计算,设计者亦可采用由实验或其他方法得到的更为精确的值。

(4)管道系统中支吊架的个数、位置和型式对管道系统的应力分布有很大影响。设计中,应慎重对待支吊架的布置,以减小管道的应力。管道系统设计应保证每个支吊架具有足够的强度和适当的刚度。

9.3.39 管道应力分析的范围及方法有哪些?

答:(1)所有管道均应做应力分析,工程设计中宜根据管道的温度、压力、口径及连接的设备类型确定分析方法和详细程度。

(2)符合下列条件之一的管道系统,可使用目测或简化分析方法。

1) 口径小于 $DN50$;

2) 设计温度高于 -46°C 低于 150°C ;

- 3) 设计温度高于等于 150℃, 低于 200℃, 口径大于等于 DN50, 小于等于 DN400;
- 4) 设计温度高于等于 200℃, 低于 350℃, 口径大于等于 DN50, 小于等于 DN200;
- 5) 符合本章第 9.3.48 条第(1)、(2)款规定的管道。

(3) 符合以下条件之一的管道系统应按本部分要求进行详细应力分析:

- 1) 设备管口有特殊的荷载要求;
- 2) 预期寿命内温度循环次数超过 7000 的管道;
- 3) 设计温度高于等于 350℃, 或低于等于 -46℃ 的管道;
- 4) 利用简化分析方法后, 表明需要进行详细分析的管道。

9.3.40 管道应力分析的荷载分类应符合哪些规定?

答: (1) 管道应力分析应计入本章第 9.3.5 条第(1)~(3)款等所列的管道荷载。

(2) 持久性荷载: 永久作用于管道系统的荷载, 如压力和重力荷载, 但不包括冰荷载和雪荷载。

(3) 偶然性荷载: 短时间作用于管道系统的荷载, 如风、地震、冰雪、阀门开、关时的反冲力和压力升高等荷载。

(4) 交变性荷载: 大小和方向随时间发生变化的荷载, 如温差、风力引起的端点位移(如高塔在风载作用下的摆动)、摩擦力等荷载。

9.3.41 管道应力分析的荷载组合工况应符合哪些规定?

答: (1) 本章 9.3.5 条第(1)款所述压力、重量(包括绝热层、管道组成件和管道中流体的重量)等持久性荷载同时作用。

(2) 本条第(1)款所述持续性荷载与本章第 9.3.5 条第(2)款第 1)项风荷载或第 2)项地震荷载等偶然性荷载同时作用(当计及地震荷载时, 仅需计入地震所产生的水平力)。必要时, 还需计及第(1)款第 2)项冰雪荷载、阀门关闭引起的压力短时升高、泄放阀打开时对管道的反冲力等荷载的作用。

(3) 因温度引起本章第 9.3.5 条第(3)款第 1)、3)、4)项的荷载及其他交变荷载。

(4) 必要时, 需计入本章第 9.3.5 条第(3)款第 2)项所述端点或支吊架永久性位移引起的荷载, 但在结构设计时应尽可能消除该荷载的影响。

9.3.42 管道应力分析对偶然性荷载的条件和要求是什么?

答: (1) 同时满足以下条件时, 应计及本章第 9.3.5 条第(2)款第 2)项地震荷载:

- 1) GC1 级管道以及介质为有毒或可燃的 GC2 类管道;
- 2) 地震设防烈度大于等于 6 度, 且设计基本地震加速度大于等于 0.10g。

(2) 如需计及本章第 9.3.5 条第(2)款第 1)项风荷载, 则风荷载和地震荷载无需同时与其他偶然性荷载构成组合工况。

(3) 如需计及因阀门开、关产生的荷载, 则该荷载与其他偶然性荷载(如地震荷载等)不耦合作用, 即无需构成组合工况。

9.3.43 持续荷载的应力强度条件是什么?

答: 对于本章第 9.3.41 条第(1)款所述的持续荷载组合工况, 管道和管道元件的应力

S_L 应不大于 S_h , 即满足下式(9.3.43-1)和式(9.3.43-2)的强度条件:

$$S_L \leq S_h \quad (9.3.43-1)$$

$$S_L = \sqrt{(|S_a| + S_b)^2 + 4S_t^2} \quad (9.3.43-2)$$

式(9.3.43-2)中的 S_b 、 S_a 、 S_t 应分别按式(9.3.43-3)、式(9.3.43-4)和式(9.3.43-5)计算:

$$S_b = \frac{\sqrt{(I_i M_i)^2 + (I_o M_o)^2}}{Z} \quad (9.3.43-3)$$

$$S_a = \frac{I_a F_a}{A_p} \quad (9.3.43-4)$$

$$S_t = \frac{I_t M_t}{2Z} \quad (9.3.43-5)$$

式中 S_a ——由持续纵向力产生的应力, MPa;

S_b ——由持续弯矩产生的应力, MPa;

S_t ——由持续扭矩产生的应力, MPa;

Z ——名义壁厚减去壁厚裕量的管道截面模量, mm^3 ;

M_i ——由持续载荷如压力和重力产生的平面内弯矩, $\text{N} \cdot \text{mm}$;

M_o ——由持续载荷如压力和重力产生的平面外弯矩, $\text{N} \cdot \text{mm}$;

I_i ——平面内持续弯矩系数, 在缺少更多可用数据时, 取 0.75 i_i 或 1.00 的较大值;

I_o ——平面外持续弯矩系数, 在缺少更多可用数据时, 取 0.75 i_o 或 1.00 的较大值;

I_a ——持续纵向力系数, 在缺少更多可用数据时, 取 1.00;

F_a ——由持续荷载如压力和重力产生的纵向力, N;

A_p ——名义壁厚减去壁厚裕量的管道横截面积, mm^2 ;

I_t ——扭矩系数, 在缺少更多可用数据时, 取 1.00;

M_t ——由持续荷载如压力和重力产生的扭矩, $\text{N} \cdot \text{mm}$;

注: 持续纵向力包括由压力产生的持续力 $P_i A_r$, P_i 为内压力, $A_r = \pi d^2/4$, d 为管道厚度减去裕度后的内径。如果管系中安装有膨胀节, 由设计确定内压力产生的持续纵向力。

S_h ——国家标准《压力管道规范 工业管道 第2部分: 材料》GB/T 20801.2 表 A.1 中与计算条件相应的温度所对应的许用应力值, MPa; 对于高温下工作的材料, 还应满足本章第 9.3.22 条的规定。用于式(9.3.47-1)、式(9.3.47-2)时, 对铸件应乘以相应的铸件质量系数 Φ_c , 对焊接件可不乘以纵向焊接接头系数 Φ_w , 且最大取 138MPa;

i_i ——平面内应力增大系数, 见国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分: 设计和计算》GB/T 20801.3 附录 C 表 C.1;

i_o ——平面外应力增大系数, 见国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分: 设计和计算》GB/T 20801.3 附录 C 表 C.1。

9.3.44 持续荷载与偶然性荷载组合工况的应力限制条件是什么?

答: (1) 对于本章第 9.3.41 条第(2)款规定的荷载组合工况, 管道和管道元件的应力应满足式(9.3.44-1)限制条件:

$$S_{12} \leq 1.33S_h \quad (9.3.44-1)$$

式中 S_{12} ——本章第 9.3.43 条中的 S_L 与风或地震等偶然荷载所产生的应力之和。

(2) 风荷载和地震荷载均属偶然性荷载, 设计时可不同时计及。

注: ① 压力试验工况不计及如风载、地震等偶然荷载。

② 如需考虑阀门关闭引起的压力短时升高, 应将该升高值计入压力 P 中。如需计入泄放阀打开时的反冲力, 应将其产生的应力计入偶然荷载产生的应力。阀门开、关对管道产生的反冲力和压力升高可按国家标准《压力管道规范 工业管道 第 3 部分: 设计和计算》GB/T 20801.3 附录 E 规定的方法进行计算, 或采用更精确的方法进行计算。

③ 奥氏体不锈钢和镍基合金的最高工作温度下的材料许用应力 S_h 应符合现行国家标准《压力管道规范 工业管道 第 2 部分: 材料》GB/T 20801.2 附录 A 的 A.5 之 f) 款的规定。

9.3.45 柔性分析的目的是什么?

答: 在本章第 9.3.41 条第(3)款所述的荷载组合工况的作用下, 所有管道系统都应具有足够的柔性以避免出现如下情况:

- (1) 由于应力超限或疲劳原因导致的管道或支吊架失效;
- (2) 管道连接部位发生泄漏;
- (3) 因存在过大的推力或弯矩, 而导致管道支吊架、管道元件或与管道连接的其他设备产生过大应力或荷载超限。

9.3.46 管道系统设计的基本要求是什么?

答: 管道系统设计应满足以下基本要求:

- (1) 管道系统中任何一处由位移引起的应力范围不应超过本章第 9.3.37 条规定的许用应力范围;
- (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。

9.3.47 柔性分析的许用应力范围是如何确定的?

答: 柔性分析的许用应力范围应按照下列要求确定:

- (1) 许用位移应力范围 S_A 一般应按式(9.3.47-1)计算:

$$S_A = f(1.25S_c + 0.25S_h) \quad (9.3.47-1)$$

- (2) 如果在本章第 9.3.41 条第(1)款规定的荷载组合工况下计算得到的管道元件的应力 S_L 小于材料在最高工作温度下的许用应力 S_h , 则许用位移应力范围 S_A 可按式(9.3.47-2)计算:

$$S_A = f[1.25(S_c + S_h) - S_L] \quad (9.3.47-2)$$

式中 S_c ——循环荷载作用下管道元件或管道材料在最低金属温度下的许用应力, 最大取 138MPa, MPa;

f ——许用应力范围系数, 按式(9.3.47-3)计算或通过图 9.3.47 查得;

$$f = 6.0(N)^{-0.2} \leq f_m \quad (9.3.47-3)$$

N ——预期工作寿命内, 以最大应力范围为基准的当量循环次数, 按式(9.3.47-4)计算:

$$N = N_E + \sum(r_i^5 N_i), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9.3.47-4)$$

f_m ——应力范围系数的最大值。对于规定最小抗拉强度小于等于 517MPa 且循环条件下最高金属温度低于等于 371℃ 时, 铁基材料应力范围系数的最大值为 1.2;

其他情况应力范围系数的最大值为 1.0;

N_E ——最大应力范围 S_E 的循环次数;

S_E ——最大的计算位移应力范围, MPa;

r_i ——应力范围的比值, $r_i = S_i/S_E$;

S_i ——小于最大位移应力范围 S_E 的某一个第 i 次计算位移应力范围值, MPa;

N_i ——位移应力范围 S_i 的循环次数。

注: 式(9.3.47-3)或图 9.3.47 不适用于膨胀节。

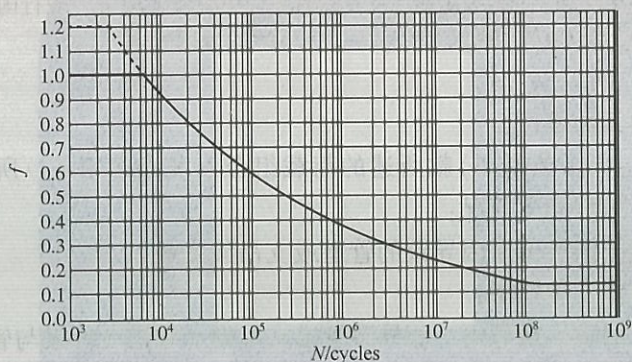


图 9.3.47 应力范围系数 f 与位移循环当量数 N 之间的关系

9.3.48 管道系统免除柔性分析的条件是什么?

答: 符合以下条件之一时, 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) 可以容易地判定, 所设计的管道系统的柔性不低于已经过柔性分析的管道系统;
- (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, 且满足式(9.3.48)。

$$\frac{D \cdot y}{(L-U)^2} \leq K_1 \quad (9.3.48)$$

式中 y ——管道系统所需吸收的总的线位移, mm;

L ——管道在两固定点间的展开长度, m;

U ——两固定点之间的直线距离, m;

K_1 —— $208\,000 S_A/E_a$, $(\text{mm/m})^2$;

E_a ——管道材料在 20℃ 时的弹性模量, MPa;

S_A ——由式(9.3.47-1)计算出的许用位移应力范围, MPa。

(4) 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在总位移量中占了大部分的管道。

9.3.49 管道柔性分析方法有什么规定?

答: 对于本章第 9.3.41 条第(3)款规定的荷载组合工况, 可按以下规定的方法进行应

力计算和校核。此外，也可以采用任何简化和近似的方法进行管道系统的柔性分析，只要该方法已被证明是偏安全的。在按以下方法进行详细的应力分析时，应对管道系统中所有的管道元件进行应力计算和校核，而不仅限于直管中的应力。

(1) 假定和要求

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。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。在分析中所采用的材料性能参数按国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分：设计和计算》GB/T 20801.3 中 7.5.4.3 的规定。

(2) 应力范围的计算及其限制条件

应首先按可能的工况，分别对管道系统中可能的危险部位计算其所受的轴向应力、弯曲应力和扭矩引起的剪应力，然后按式(9.3.49-1)计算组合应力范围：

$$S_E = \sqrt{(|S_a| + S_b)^2 + 4S_t^2} \quad (9.3.49-1)$$

计算得到的组合应力范围 S_E 应小于等于本章第 9.3.47 条规定的许用应力范围，即：

$$S_E \leq S_A \quad (9.3.49-2)$$

$$S_t = \frac{i_t M_t}{2Z} \quad (9.3.49-3)$$

$$S_a = \frac{i_a F_a}{A_p} \quad (9.3.49-4)$$

以上式中 S_E ——最大的计算位移应力范围，MPa；

S_a ——由位移应变产生的轴向应力范围，MPa；

S_b ——由位移应变产生的弯曲应力范围，MPa；

S_t ——由位移应变产生的扭转应力范围，MPa；

M_t ——要评估的两种工况之间，由位移应变产生的扭矩范围，N·mm；

Z ——管道截面模量， mm^3 ，柔性分析时应采用管道或管道元件的名义厚度和外径值；

F_a ——要评估的两种工况间，由位移应变产生的轴向力范围，N；

A_p ——管道横截面积， mm^2 ，柔性分析时应采用管道或管道元件的名义厚度和外径值；

i_a ——轴向应力增大系数，缺少更多可用数据时，对弯管、弯头、斜接弯头(单斜接、宽间距、窄间距斜接弯头)， i_a 取 1，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 附录 C 中的其他管道组件， $i_a = i_o$ ，即可采用附录 C 所给出的柔性系数 k 和应力增大系数值 i 进行柔性分析。对于国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分：设计和计算》GB/T 20801.3 附录 C 未列入的管道组成件，其应力增大系数和柔性系数可近似取国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分：设计和计算》GB/T 20801.3 附录 C 中结构形状相似的管道组成件的值；

i_t ——扭转应力增大系数，缺少更多可用数据时， i_t 取 1，可采用国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分：设计和计算》GB/T 20801.3 附录 C 所

给出的柔性系数 k 和应力增大系数值 i 进行柔性分析。

(3) 对弯头、斜接弯头、等径三通, 如图 9.3.49 所示, 式(9.3.49-1)中由位移应变产生的弯曲应力范围 S_b 按式(9.3.49-5)计算:

$$S_b = \frac{\sqrt{(i_i M_i)^2 + (i_o M_o)^2}}{Z} \quad (9.3.49-5)$$

式中 i_i ——平面内应力增大系数, 见国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分: 设计和计算》GB/T 20801.3 附录 C;

i_o ——平面外应力增大系数, 见国家标准《压力管道规范 工业管道 第3部分: 设计和计算》GB/T 20801.3 附录 C;

M_i ——要评估的两个工况间的平面内弯矩范围, $N \cdot mm$;

M_o ——要评估的两个工况间的平面外弯矩范围, $N \cdot mm$ 。

(4) 对异径三通, 式(9.3.49-1)中由位移应变引起的弯曲应力范围 S_b 按式(9.3.49-6)和式(9.3.49-7)计算, 如图 9.3.49 所示。

$$\text{主管端} \quad S_b = \frac{\sqrt{(i_i M_i)^2 + (i_o M_o)^2}}{Z}$$

$$\text{支管端} \quad S_b = \frac{\sqrt{(i_i M_i)^2 + (i_o M_o)^2}}{Z_e}$$

式中 Z_e —— $Z_e = \pi r^2 T_s$, 支管有效截面模量, mm^3 , 柔性分析时应采用管道或管道元件的名义厚度和外径值;

T_s ——三通支管有效厚度, 取 \bar{T}_h 和 $(i_i)(\bar{T}_b)$ 中的小者, mm ;

\bar{T}_b ——支管厚度, mm ;

\bar{T}_h ——三通主管厚度, 不包括主管补强厚度, mm ;

r^2 ——支管横截面的平均半径, mm 。

(5) 图 9.3.49 所示的弯矩方向为该弯矩的矢量方向。在计算应力范围时, 弯矩或扭矩都是指所需计算部位处的值。同时, 抗弯截面模数也是指该计算部位处的对应值。如果在焊缝处, 交变应力范围值超过 $0.8S_A$, 且荷载当量循环次数大于 7000, 则该焊缝应按本章第 9.5.3 条第(1)款规定的检查等级 I 级要求进行检查。

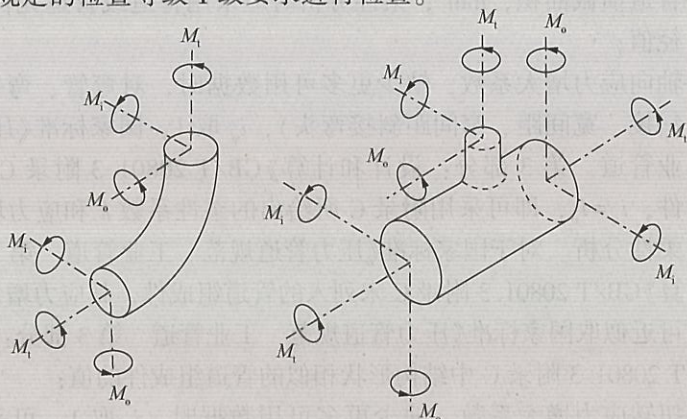


图 9.3.49 平面内和平面外弯矩和扭矩

第四节 制作与安装

一、管道元件及材料的检查与验收

9.4.1 管道元件的外观检查和材料检查有什么要求？

答：(1) 外观检查：管道元件及材料应按设计文件和产品标准的规定核对其材质、规格、型号和数量，并逐个进行外观质量和几何尺寸的检查验收，其结果应符合设计文件和相应产品标准的规定。

(2) 材质检查：对于铬钼合金钢、含镍低温钢、不锈钢以及镍及镍合金、钛及钛合金材料的管道组成件，在使用前应采用光谱分析(PMI)或其他方法对主要合金元素含量进行检查，其数量应满足以下要求：

1) 对于 GC1 级管道，检查数量应按每个检验批(同炉批号、同型号规格、同时到货，下同)的 10%且不少于 1 个管道组成件进行抽查；

2) 其他管道为每个检验批抽查 5%。

(3) 阀门压力试验

1) 阀门应进行压力试验，其数量应满足以下要求：

a) 用于 GC1 级管道的阀门，应逐个进行壳体压力试验和密封试验；

b) 用于 GC2 级管道的阀门，应按每个检验批抽查 10%进行壳体压力试验和密封试验，且不得少于 1 个；

c) 经设计者或业主同意，到制造厂逐件见证压力试验并有见证试验记录的阀门，可免除压力试验。

2) 阀门的压力试验方法、程序与试验结果应符合设计文件和供货合同的规定。当无规定时，应符合现行国家标准《工业阀门 压力试验》GB/T 13927 的规定。

3) 经设计者或业主同意，对于公称压力小于等于 $PN100$ 且公称直径大于等于 $DN600$ 的闸阀，可随管道系统进行压力试验，密封试验可采用色印方法。

4) 安全阀的校验应按特种设备安全技术规范《安全阀安全技术监察规程》TSG ZF001 和设计文件的规定进行。

5) 带夹套的阀门进行夹套压力试验时，其试验压力应为 1.5 倍的夹套设计压力。

(4) 其他检查：当设计文件对管道元件和材料提出其他检查与验收要求(如无损检测、硬度检查等)时，应予以满足。检查方法、数量及检查结果应符合设计文件和相关标准的规定。

9.4.2 管道元件及材料不合格品如何处置？

答：(1) 管道元件及材料进行抽样检查、检测或试验时，若有 1 件不合格，则该抽样检查、检测或试验所代表的这一检验批应视为不合格，该批管道元件及材料不得使用，或对该批管道元件及材料逐个进行检查、检测或试验，其中的合格者仍可使用。

(2) 管道元件及材料进行抽样检查、检测或试验时，应做好记录和材料识别标记，并对不合格品进行隔离处理。

二、管道制作

9.4.3 管子的切割与坡口加工应符合什么要求?

答:管道元件及材料的切割加工可采用冷切割或热切割方法。如采用热切割方法,切割后应采用机械加工或打磨方法清除表面熔渣和影响管道焊接质量的表面层。要求如下:

(1) 碳钢、碳锰钢可采用机械加工方法或火焰切割方法切割和制备坡口。低温镍钢和合金钢宜采用机械加工方法切割和制备坡口;

(2) 不锈钢、有色金属应采用机械加工或等离子切割方法切割和制备坡口。不锈钢、镍及镍合金、钛及钛合金、锆及锆合金采用砂轮切割或修磨时,应使用专用砂轮片;

(3) 管道元件及材料在加工制作、安装过程中应避免材料表面的机械损伤。对有严重伤痕的部位应进行补焊或修磨,修磨处的壁厚应不小于设计壁厚。

9.4.4 弯管制作时,应满足什么要求?

答:(1) 制作弯管时,应根据管子材料性能、输送流体工况和管子弯曲半径,采用适当的弯曲工艺和装备。

(2) 制作弯管可采用热弯和冷弯两种方法。

(3) 当采用焊管制作弯管时,焊缝应避免受拉(压)区。

(4) 弯管的不圆度、褶皱和减薄应满足以下要求:

1) 不圆度应满足以下要求:

a) 弯管的不圆度 u (%) 应按式(9.4.4-1)计算:

$$u = \frac{2(D_{\max} - D_{\min})}{D_{\max} + D_{\min}} \times 100 \quad (9.4.4-1)$$

式中 u ——弯管的不圆度;

D_{\max} ——同一截面的最大实测外径, mm;

D_{\min} ——同一截面的最小实测外径, mm。

b) 对于承受内压的弯管,其不圆度应不大于 8%;对于承受外压的弯管,其不圆度应不大于 3%;

2) 弯管内侧褶皱高度 h_m 应不大于管子外径 D_1 的 3%,且波浪间距 a 应不小于 $12h_m$ 。其中, h_m 为相邻两个褶皱的平均高度,并按图 9.4.4 和式(9.4.4-2)计算:

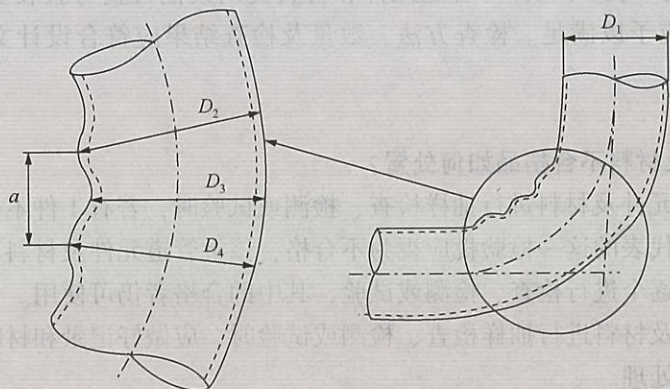


图 9.4.4 弯管的褶皱和波浪间距

$$h_m = \frac{D_2 + D_4}{2} - D_3 \quad (9.4.4-2)$$

式中 h_m ——褶皱高度, mm;
 D_2 ——褶皱凸出处外径, mm;
 D_3 ——褶皱凹进处外径, mm;
 D_4 ——相邻褶皱凸出处外径, mm;

3) 弯管制作前的管子壁厚宜符合表 9.4.4 的规定。弯管制作后的最小厚度不得小于直管的名义厚度。

表 9.4.4 弯管制作前的管子壁厚

mm		mm	
弯曲半径 R	弯管制作前壁厚	弯曲半径 R	弯管制作前壁厚
$R \geq 6D$	$1.06t_d$	$4D \leq R < 5D$	$1.14t_d$
$5D \leq R < 6D$	$1.08t_d$	$3D \leq R < 4D$	$1.25t_d$

注: D 为管子外径, t_d 为直管的设计厚度。

(5) GC1 级管道的弯管弯制后, 应逐件对弯曲部位进行磁粉检测或渗透检测, 且应符合现行国家标准《压力管道规范 工业管道 第 5 部分: 检验与试验》GB/T 20801.5 的规定。发现的线性缺陷应予以修磨, 修磨后的壁厚不得小于直管的设计厚度。

9.4.5 板焊管的制作应符合什么规定?

答: (1) 板焊管的制作应符合设计文件和产品标准的规定。

(2) 制作和安装公称直径不小于 400mm 的板焊管时, 应符合以下规定:

1) 单个筒节的长度应不小于 300mm, 相邻筒节纵缝应错开 100mm 以上。支管外壁距焊缝不宜小于 50mm;

2) 同一筒节上的纵向焊缝应不大于两条, 纵缝间距应不小于 200mm;

3) 对于有加固环的板焊管, 加固环的对接焊缝应与管子纵向焊缝错开, 其间距应不小于 100mm, 加固环距管子的环焊缝应不小于 50mm;

4) 板焊管的周长及管端直径应符合表 9.4.5-1 的规定:

表 9.4.5-1 板焊管的周长公差及直径公差

mm						mm
公称直径	≤ 800	$> 800 \sim 1200$	$> 1200 \sim 1600$	$> 1600 \sim 2400$	$> 2400 \sim 3000$	> 3000
周长公差	± 5	± 7	± 9	± 11	± 13	± 15
直径公差	4	4	6	8	9	10

注: 直径公差为管端(100mm 以内)最大外径与最小外径之差。

5) 纵向焊缝处的棱角度(用弦长等于 $1/6D_i$ 且不小于 300mm 的样板在管内壁测量)和环向焊缝处的棱角度(在管内壁和外壁用直尺检查), 其 E 值应不大于壁厚的 10% 加 2mm, 且不大于 5mm。见国家标准《压力管道规范 工业管道 第 4 部分: 制作与安装》GB/T 20801.4 中图 2;

6) 对接焊缝的错边量应符合表 9.4.5-2 及下列规定:

a) 只能从单面焊接的纵向和环向焊缝, 其内壁错边量不应大于壁厚的 25%, 且不应超过 2mm;

b) 复合钢板组对时, 应以复层表面为基准, 错边量不应大于钢板复层厚度的 50%, 且不大于 1mm;

表 9.4.5-2 板焊管对接焊缝的错边量

mm

母材厚度 T	错边量	
	纵向焊缝	环向焊缝
$T \leq 12$	$\leq T/4$	$\leq T/4$
$12 < T \leq 20$	≤ 3	$\leq T/4$
$20 < T \leq 40$	≤ 3	≤ 5
$40 < T \leq 50$	≤ 3	$\leq T/8$
$T > 50$	$\leq T/16$, 且 ≤ 10	$\leq T/8$, ≤ 20

7) 板焊管的直度允差应不大于其单根长度的 0.2%;

8) 板焊管的焊接、焊后热处理和检查、检验应符合本部分相应章节及现行国家标准《压力管道规范 工业管道 第 5 部分: 检验与试验》GB/T 20801.5 的相关规定;

9) 板焊管应逐根进行压力试验, 试验压力应符合国家标准《压力管道规范 工业管道 第 5 部分: 检验与试验》GB/T 20801.5 的相应规定。经业主或设计者同意, 可采用国家标准《压力管道规范 工业管道 第 5 部分: 检验与试验》GB/T 20801.5 规定的用纵向焊缝、环向焊缝 100% 射线照相或 100% 超声检测代替板焊管的压力试验的方法。

9.4.6 夹套管的制作应符合什么规定?

答: (1) 夹套管及其部件的结构形式与制作应符合设计文件和相关标准的规定。

(2) 夹套管制作过程中应确保内管的焊缝裸露可见, 在内管检验合格前不得进行外管封闭焊接。

(3) 夹套弯管的外管组焊, 应在内管制作完毕并经检验合格后进行。夹套弯管的外管和内管的同轴度偏差不得大于 3mm。

(4) 外管与内管间的间隙应均匀, 并按设计文件的规定安装定位板。定位板的安装应不妨碍夹套内介质流动和内管与外管的胀缩, 其材质应与内管相同。定位板的几何尺寸、安装位置、间距等应符合设计文件和相关标准的规定。

(5) 夹套管的焊接、热处理、检查、检验与试验应符合本部分相应章节及现行国家标准《压力管道规范 工业管道 第 5 部分: 检验与试验》GB/T 20801.5 的相关规定。

三、焊接

9.4.7 焊接材料的使用应注意哪些问题?

答: (1) 焊接材料应符合设计文件和相关标准的规定, 且通过焊接工艺评定验证。当设计无规定时, 焊接材料的选用应按照母材的化学成分、力学性能、焊接性能、焊前预热、焊后热处理、使用条件及现场施工条件等因素综合确定, 且符合下列规定:

1) 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低母材的下限值;

2) 焊缝金属的化学成分应与母材相近。对于两种不同化学成分的母材相互焊接, 除奥氏体钢与铁素体钢相互焊接外, 焊缝金属的化学成分应与其中任何一个母材一致或介于两者之间;

3) 当奥氏体钢与铁素体钢相互焊接时, 焊缝金属应有显著的奥氏体晶体结构, 可选用 25Cr-13Ni 型或含镍量更高的焊接材料。当设计温度高于 425℃ 时, 宜选用镍基焊接材料;

4) 焊接材料的焊接工艺性能应良好。

(2) 焊接材料(包括焊条、焊丝、焊剂及焊接用气体)使用前应按设计文件和相关标准的规定进行检查和验收, 且应具有质量证明文件和包装标记。

(3) 焊接材料的储存应保持适宜的温度及湿度, 相对湿度应不超过 60%。焊接材料库应保持干燥、清洁。

(4) 库存期超过规定期限的焊条、焊剂及药芯焊丝, 应经复验合格后方可使用。焊接材料库存的规定期限应在焊接材料质量证明书或说明书上注明。

(5) 应按焊接材料说明书的要求对焊条、焊剂和药芯焊丝进行烘干, 焊丝使用前应按规定进行除油、除锈及清洗处理。

(6) 使用过程中应注意保持焊接材料的识别标记, 以免错用。

9.4.8 焊接时对焊接环境有什么要求?

答: (1) 焊接环境温度应能保证焊件的焊接温度和焊工技能不受影响。环境温度低于 0℃ 时, 应符合本章第 9.4.10 条第(1)款的规定。

(2) 应采取防风措施保证焊接时的风速不大于以下规定值:

1) 对于焊条电弧焊、自保护药芯焊丝电弧焊和气焊, 规定风速为 8m/s;

2) 对于钨极惰性气体保护电弧焊和熔化极气体保护焊, 规定风速为 2m/s。

(3) 焊接电弧周围 1m 范围内的相对湿度应符合以下规定:

1) 铝及铝合金的焊接, 相对湿度应不大于 80%;

2) 其他材料的焊接, 相对湿度应不大于 90%。

(4) 在雨雪天气施焊时, 应采取有效防护措施, 否则禁止施焊。

9.4.9 管道焊缝的设置应符合什么规定?

答: 管道(夹套管除外)焊缝的设置应避免应力集中区, 且应符合以下规定:

(1) 当公称直径大于或等于 150mm 时, 直管段上两对接环焊缝中心面之间的距离应不小于 150mm; 当公称直径小于 150mm 时, 该距离应不小于管子外径, 且不小于 50mm;

(2) 管道环焊缝距离弯管(不包括弯头)起弯点的距离应不小于 100mm;

(3) 管道环焊缝与支吊架的净距离应不小于 50mm。需要热处理的焊缝与支吊架的距离应不小于焊缝宽度的 5 倍, 且应不小于 100mm;

(4) 不宜在焊缝及其边缘上开孔。当无法避免在焊缝上开孔或开孔补强时, 应对以开孔中心为中心、在 1.5 倍开孔直径或补强板直径范围内的焊缝进行无损检测, 检测合格后方可进行开孔。补强板覆盖的焊缝应磨平。管孔边缘不应存在焊接缺陷;

(5) 管道环焊缝距离支管或管接头的开孔边缘应不小于 50mm, 且应不小于孔径;

(6) 焊接管及焊接管件组对时, 应尽量避免十字焊缝。当无法避免十字焊缝或焊缝的错开距离小于 100mm 时, 该部位焊缝应经射线检测或超声检测合格。

9.4.10 材料的预热温度应符合什么规定?

答: (1) 预热温度应符合设计文件的要求。当设计文件无规定时, 各种材料的最低预热

温度应符合表 9.4.10 的规定。

表 9.4.10 预热温度

母材类别	较厚件的名义壁厚/mm	附加限制条件	要求的最低预热温度/℃
碳钢、碳锰钢(C-Mn)	≤25	母材最小抗拉强度≤450MPa	10
	>25	母材最小抗拉强度≤450MPa	95
	全部	母材最小抗拉强度>450MPa	95
合金钢(C-Mo、Mn-Mo、Cr-Mo) Cr≤0.5%	≤13	母材最小抗拉强度≤450MPa	10
	>13	母材最小抗拉强度≤450MPa	95
	全部	母材最小抗拉强度>450MPa	95
合金钢(Cr-Mo) 0.5%<Cr≤2%	全部	无	120
合金钢(Cr-Mo) 2.25%≤Cr≤10%	全部	母材最小抗拉强度≤415MPa	150
	全部	母材最小抗拉强度>415MPa	200
	≤13	Cr>6%	200
马氏体不锈钢	全部	无	200
低温镍钢(Ni≤2.5%)	全部	无	120
3.5Ni 钢	全部	无	150
5Ni 钢	全部	无	10
8Ni、9Ni 钢	全部	无	10
27Cr 钢	全部	无	150
9Cr-1Mo-V 钢	全部	无	200
所有其他材料	全部	无	10

(2) 对于预热温度要求不同的材料焊接时, 应选用表 9.4.10 中较高的预热温度。

(3) 对于需要预热的多层(道)焊焊件, 其道间温度应不低于预热温度, 但应符合如下要求:

- 1) 碳钢和低合金钢的道间温度不宜高于 315℃;
- 2) 奥氏体不锈钢和镍及镍合金的道间温度不宜高于 150℃;
- 3) 钛及钛合金的道间温度不宜高于 150℃;
- 4) 27Cr 钢的道间温度应保持在 150℃ 和 230℃ 之间;
- 5) 马氏体不锈钢的道间温度应不高于 315℃;
- 6) 双相不锈钢的道间温度应不高于 50℃ (≤3mm), 70℃ (≤6mm), 100℃ (≤10mm), 120℃ (>10mm)。

(4) 定位焊缝的母材温度应不低于表 9.4.10 规定的最低预热温度, 预热范围应为距离定位焊缝两端不小于 25mm。

(5) 对于返修补焊, 其预热温度应比原焊缝适当提高。

(6) 预热区域应以焊缝中心为基准, 每侧距离应不小于焊件厚度的 3 倍, 且不小于 100mm。

9.4.11 弯曲和成型后的热处理应符合什么规定?

答: (1) 铬钼合金钢、马氏体不锈钢材料在热弯和热成型后, 应按表 9.4.11-1 的规定

进行热处理。

(2) 管道制作采用冷弯和冷成型时,符合下列情况之一者应按表 9.4.11-1 的规定进行热处理:

1) 对碳钢、碳锰钢、铬钼合金钢、马氏体不锈钢材料,冷弯和冷成型后,成型应变率(在最大变形方向)超过该材料标准所规定的最小延伸率的 50%时。但如能证明所选用的管子和弯曲或成型的方法能保证在冷弯和冷成型后,应变最大的材料仍保持有至少为 10%的延伸率,则可不进行热处理;

2) 任何要求进行低于 0℃ 低温冲击试验的材料,弯曲或成型后其成型应变率超过 5%;

3) 设计文件规定时。

(3) 高温及超低温使用的奥氏体不锈钢或镍基合金材料,在冷、热弯曲或成型后,应按表 9.4.11-2 的规定进行热处理。

表 9.4.11-1 焊后热处理和弯曲、成型后的热处理基本要求

母材类别	名义厚度/mm	母材最小规定抗拉强度/MPa	金属热处理温度/℃	保温时间		布氏硬度 ^② ≤		
				≤50mm	>50mm			
碳钢、碳锰钢(C-Mn)	≤20	全部	无	1h/25mm, 最少 60min	2h+(15min/ 增加 25mm)	200 ^②		
	>20		595~650 ^⑦					
合金钢 (C-Mo、Mn-Mo、Cr-Mo) Cr≤0.5%	≤20	≤490	无					
	>20	全部	595~650					
	全部	>490						
合金钢(Cr-Mo) 0.5%<Cr≤2%	≤13	≤490	无					
	>13	全部	650~705					
	全部	>490						
合金钢(Cr-Mo) 2%≤Cr≤3%和 C≤0.15%	≤13	全部	不要求			1h/25mm, 最少 2h	2h+(15min/ 增加 25mm)	241
	>13	全部	675~760					
合金钢(Cr-Mo) 3%<Cr≤10%或 C>0.15%	全部	全部	675~760					
	全部	全部	730~775 ^④					
9Cr-1Mo-V 钢	全部	全部	760~800	—	≤125mm, 1h/25mm; >125mm, 5h+ (15min/增加 25mm)			250
马氏体不锈钢	全部	全部	760~800					241
铁素体不锈钢	全部	全部	无	—	2h+(15min/ 增加 25mm)	—		
奥氏体不锈钢和镍基合金 ^⑤	全部	全部	无			187 ^②		
低温镍钢(Ni≤4%)	≤20	全部	无	0.5h/25mm, 最少 60min	2h+(15min/ 增加 25mm)	—		
	>20	全部	595~650 ^⑦					
5Ni 钢 ^③	>51	全部	550~585	1h/25mm, 最少 60min	2h+(15min/ 增加 25mm)	—		
8Ni、9Ni 钢 ^③	≤51	全部	不要求					
	>51	全部	550~585					
双相不锈钢 ^①	全部	全部	无	0.5h/25mm, 最少 30min	—	—		

续表

母材类别	名义厚度/mm	母材最小规定抗拉强度/MPa	金属热处理温度/℃	保温时间		布氏硬度 ^② ≤
				≤50mm	>50mm	
锆合金(Zr+2.5Nb) ^⑥			540~595	≤25mm, 1h/25mm, 最少 60min	>25mm, 1h+ (1.2h/增加 25mm)	

注：① 双相不锈钢是否应进行焊后热处理不做具体规定，如需热处理，应为固溶快冷。

② 硬度要求应符合本章第 9.4.14 条的规定。碳钢、奥氏体不锈钢和镍基合金的硬度检查仅适用于特定工况，设计有规定时，可按本表取值。

③ 对于 5Ni、8Ni、9Ni 钢材料，热处理保温后应以大于 170℃/h 的冷却速度冷至 300℃。

④ 填充金属 Ni+Mn 应不大于 1.20%。如 Ni+Mn<1.0%，最高热处理温度应≤800℃。如 1.0%≤Ni+Mn≤1.5%，最高热处理温度应≤790℃。热处理温度高于上述规定时将降低焊接接头的高温强度，应去除焊缝金属及热影响区后重焊及重新进行焊后热处理。

壁厚≤13mm 的 9Cr-1Mo-V 钢最低热处理温度可为 675℃。

采用 Cr≤3.0% 或镍基、奥氏体不锈钢焊接材料进行异种钢焊接时，最低热处理温度可为 720℃。

⑤ 奥氏体不锈钢和镍基合金是否应进行焊后热处理不做具体规定。为防止应力松弛裂纹，壁厚大于 13mm 且使用温度高于 540℃ 的含 Nb、Ti、Al 奥氏体不锈钢和镍基合金，可根据具体情况，选择固溶、稳定化或不完全退火等焊后热处理工艺。

⑥ 焊后 14 天后进行焊后热处理，热处理后应炉冷或控制冷速≤280℃/h，直至 425℃ 后可空冷。

⑦ 按本章第 9.4.12 条，焊后热处理的温度下限可不低于 550℃。

表 9.4.11-2 高温及超低温使用的奥氏体材料弯曲、成型后的热处理要求

材料类别及使用条件	成型应变率/% ^①	热处理与否
设计温度高于 540℃，但低于 675℃ 的奥氏体不锈钢及镍合金 (600、617、800、800H、800HT)	>15	固溶处理
设计温度高于等于 675℃ 的奥氏体不锈钢(H 级)及镍合金 (600、617、800、800H、800HT)	>10	固溶处理 ^②
设计温度低于等于 -100℃ 的奥氏体不锈钢	>10	固溶处理 ^②

注：① 采用管子扩口、缩口、引伸、墩粗时，成型应变率为本表规定值的一半。

② 固溶处理的保温时间为 20min/25mm 或 10min，且取其中的较大者。

9.4.12 焊后热处理的基本要求是什么？

答：焊后热处理应符合下列基本要求：

(1) 应按设计文件的规定进行焊后热处理。当设计文件无规定时，焊后热处理应符合表 9.4.11-1 的规定；

(2) 表 9.4.11-1 所列焊后热处理的温度范围较宽，业主或设计者可根据具体工况，规定指定的焊后热处理温度，但不能超出表 9.4.11-1、表 9.4.12 及本条规定的限值；

(3) 碳钢、碳锰钢、低温镍钢可按表 9.4.12 所示降低焊后热处理温度，但应相应延长保温时间；

(4) 为改善焊接接头强度和低温韧性，并经相应焊接工艺评定证实，碳钢、碳锰钢、低温镍钢的焊后热处理的温度下限可不低于 550℃，而无需延长保温时间；

(5) 正火+回火或调质钢的焊后热处理温度应比材料的回火温度降低至少 10℃；

(6) 表 9.4.11-1 所列铬钼合金钢可采用比材料回火温度或表列温度更高的焊后热处理温度，但应计及由此而引起的高温强度下降；

(7) 铁素体钢之间的异种钢焊接接头的焊后热处理, 应按表 9.4.11-1 两者之中的较高热处理温度进行, 但不应超过另一侧钢材的临界点 A_{c1} ;

(8) 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。任何焊后热处理的温度控制都应满足焊接工艺评定的要求;

(9) 当管道焊缝焊后不立即进行热处理时, 应控制焊接冷却速度, 或采用其他措施防止对管道的有害影响;

(10) 对 $2\% < Cr \leq 10\%$ 的铬钼合金钢、9Cr-1Mo-V 钢以及马氏体不锈钢管道, 焊后应及时进行热处理。当不能及时进行焊后热处理时, 应在焊后立即均匀加热至 $200 \sim 350^\circ\text{C}$ 进行后热处理, 并保温缓冷。保温时间应根据后热温度和焊缝金属的厚度确定, 一般不少于 30min。后热保温范围应与焊后热处理要求相同。

表 9.4.12 碳钢、碳锰钢、低温镍钢焊后热处理降温延时要求

降低焊后热处理温度/ $^\circ\text{C}$	保温时间	
	$\leq 25\text{mm}$	$> 25\text{mm}$
30	2h	增加 15min/增加 25mm
55	4h	

9.4.13 焊后热处理厚度应符合什么规定?

答: 按表 9.4.11-1 及表 9.4.12 进行焊后热处理时, 热处理厚度应为下列厚度:

- (1) 对焊接头——较厚的工件厚度;
- (2) 填角焊缝——有效厚度;
- (3) 部分焊透焊缝——坡口深度;
- (4) 焊补焊缝——坡口深度;
- (5) 支管连接时, 热处理厚度应是主管或支管的焊缝厚度, 而不计及支管连接件(包括整体补强或非整体补强件)的厚度。但如果任一截面上支管连接的焊缝厚度大于表 9.4.11-1 所列厚度的 2 倍时, 应进行焊后热处理。支管连接的焊缝厚度计算应符合表 9.4.13 的规定(支管与主管的焊接连接应符合图 9.4.13 所示的支管连接焊缝形式和焊缝尺寸的规定);

表 9.4.13 支管连接结构的焊缝厚度

支管连接结构形式	焊缝厚度
焊接支管(安放式), 见图 9.4.13(a)	$\bar{T}_b + t_c$
焊接支管(插入式), 见图 9.4.13(b)	$\bar{T}_h + t_c$
补强圈补强的焊接支管(安放式), 见图 9.4.13(c)	$\bar{T}_b + t_c$ 或 $\bar{T}_r + t_c$, 取较大者
补强圈补强的焊接支管(插入式), 见图 9.4.13(d)	$\bar{T}_h + \bar{T}_r + t_c$
鞍形补强件补强的焊接支管见图 9.4.13(e)	$\bar{T}_b + t_c$
支管座见图 9.4.13(f)	$\bar{T}_m + t_c$

(6) 对用于平焊法兰、承插焊法兰、公称直径小于等于 50mm 的管子连接角焊缝和螺纹接头的密封焊缝以及管道支吊架与管道的连接焊缝, 如果任一截面的焊缝厚度大于本章表 9.4.11-1 所列厚度的 2 倍, 应进行焊后热处理。但下述情况可不要求焊后热处理:

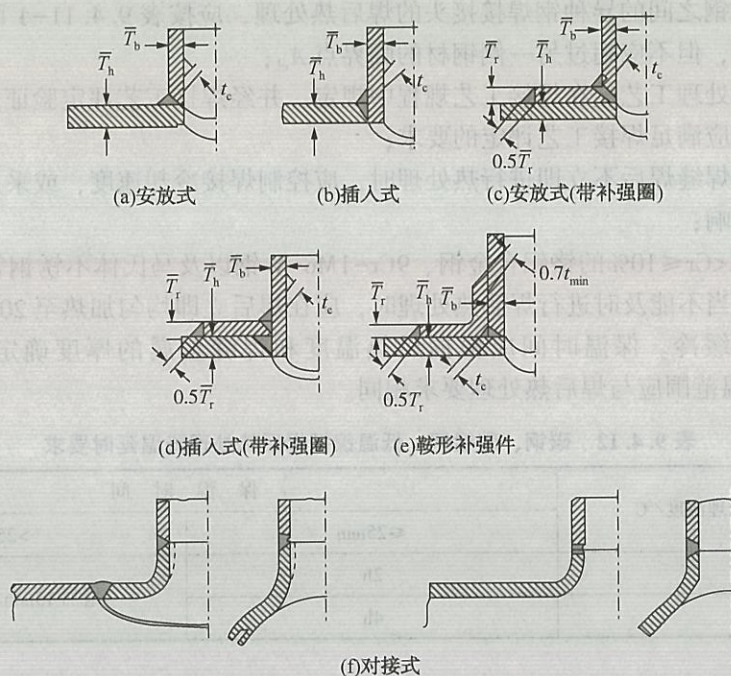


图 9.4.13 支管连接的焊接接头形式

t_c —填角焊缝有效厚度, 取 $0.7T_b$ 或 6.4mm 中的较小者; T_h —支管名义厚度; T_b —主管名义厚度;

T_r —补强圈或鞍形补强件的名义厚度; t_{\min} — T_b 或 T_r , 取较小者。

1) 碳钢材料, 当焊缝厚度小于或等于 16mm 时, 任意厚度的母材都不需要进行焊后热处理;

2) 铬钼合金钢材料 ($\text{Cr} \leq 10\%$), 当焊缝厚度小于或等于 13mm 时, 如果预热温度不低于表 9.4.10 的规定值, 且母材规定的最小抗拉强度小于 490MPa , 则任意厚度的母材都不需要进行焊后热处理;

3) 对于铁素体钢材料, 当焊缝采用奥氏体或镍基填充金属时, 不需要进行焊后热处理。

9.4.14 焊后热处理的硬度检查应符合什么规定?

答: (1) 要求焊后热处理的焊接接头、弯曲和成型加工的管道元件, 热处理后应测量硬度值。焊接接头的硬度测定区域应包括焊缝和热影响区, 热影响区的测定区域应紧邻熔合线。

(2) 炉内热处理的每一热处理炉次应至少抽查 10% 进行硬度值测定, 局部热处理者应 100% 进行硬度值测定。

(3) 除设计另有规定外, 焊接接头以及弯曲和成型加工的管道元件在热处理后的硬度值应符合下列规定:

1) 硬度值应符合表 9.4.11-1 的规定;

2) 表 9.4.11-1 中未注明硬度值要求的材料, 焊缝和热影响区的硬度值为: 碳钢不应大于母材硬度值的 120%; 其他材料不应大于母材硬度值的 125%;

3) 异种金属材料焊接时, 两侧母材和焊接接头均应符合表 9.4.11-1 规定的各自硬度值。

9.4.15 设计有静电接地要求的管道，静电接地安装应满足什么要求？

答：(1) 设计有静电接地要求的管道，当每对法兰接头、螺纹接头或其他接头间电阻值大于 0.03Ω 时，应设导线跨接。

(2) 管道系统的接地电阻值、接地位置及连接方式应符合设计文件的规定。接地引线宜采用焊接形式。

(3) 设计有静电接地要求的不锈钢管或有色金属管道，导线跨接或接地引线不得与管道直接连接，应采用同材质连接板过渡。

(4) 静电接地安装完毕后，应进行测试，电阻值超过规定时应进行调整。

第五节 检验与试验

一、检查要求及检查方法

9.5.1 管道安装的检查应符合什么要求？

答：(1) 一般规定如下：

1) 对管道安装进行了规定，包括每个组成件及其制作加工工艺进行检查的要求，任何工程设计要求的附加检查以及验收标准。国家标准《压力管道规范 工业管道 第2部分：材料》GB/T 20801.2 表 A.1 中铬钼合金钢管道的检查应在全部热处理结束后进行，对于支管的焊接以及承压焊接接头的返修都应在补强圈或鞍形补强件焊接之前完成；

2) 由工厂加工的管道组成件(或其组件)的检查试验应符合相关产品标准和设计文件的要求。

3) 检查试验要求为基本安全要求，当设计文件有特殊检查试验要求时，应按设计文件的要求进行检查试验和验收；

4) 当发现受检件有超过本部分验收准则的缺陷时，应予返修或更换。新件应按原件的要求用相同的方法，在相同的范围用相同的验收准则检查。

(2) 当局部或抽样检查发现有超标缺陷时，应按以下要求处理：

1) 另取两个相同件(如为焊接接头，应为同一焊工所焊的同一批焊接接头)进行相同的检查；

2) 如1)项要求的两个被检件检查合格，则附加检查所代表的批应视为合格，但有缺陷件应予返修或更换并重新进行检查；

3) 如1)项要求的两个被检件中任何一件发现有超标缺陷，则针对每个缺陷项应增加两个相同件进行检查；

4) 如3)项要求的两个被检件检查合格，则附加检查所代表的批应视为合格，但有缺陷件应予返修或更换并进行重新检查；

5) 如3)项要求的两个被检件中任何一件发现有超标缺陷，则该批应全部进行检查，不合格者应进行返修或更换并进行重新检查；

6) 如缺陷件经过返修或更换后进行重新检查时再次发现有超标缺陷，则针对在修复中发现的缺陷，不需按照1)、3)、4)项继续进行累进检查，但是有超标缺陷件应当进行返修或更换并进行复查，直到满足本部分的可接受准则。如果可能的话，也可以对其他未检查的焊接接头进行局部或抽样检查。

(3) 对于现场制作、焊接的检查试验，如果没有特殊指明，应由施工单位负责实施。检

验人员应符合以下要求:

- 1) 应由独立于制造、制作和安装部门的人员担任,且应为具备相关专业技能或资质的专职人员;
- 2) 应做好检查和试验记录,提出评价结果,并予以妥善保存以备检验人员评审。

9.5.2 管道安装的检查方法有什么?

答:(1) 检查方法的一般规定如下:

1) 本条规定了符合本节、工程设计或检验人员要求的主要检查方法。如使用本条规定以外的方法,则应在工程设计中规定其验收标准;

2) 检查的比例包括 100% 检查、抽样检查和局部检查,并应符合以下规定:

- a) 在指定的一批管道中,对某一具体项目进行全部检查,称作 100% 检查;
- b) 在指定的一批管道中,对某一具体项目的某一百分数进行全部检查,称作抽样检查;
- c) 在指定的一批管道中,对某一具体项目的每一件进行规定的部分检查,称作局部检查。

注:① 指定批是本节中用于检查要求考虑的管道数量。指定批数量和程度宜由合同双方在工作开始前协议规定。指定批的确定原则是:④“批”的数量不宜过大;⑤相同管道级别、相同材质或者相同检测比例的被检件可组成同一“批”;⑥对于焊接接头焊接时间宜控制在 2 周以内;⑦对不同种类的管道制作、安装工作,可以规定不同的“批”。

② 抽样或局部检查将不保证制造产品质量水平。在被代表检查的一批管道中,未检查部分可能在进一步检查中会暴露缺陷。如果要对某一批管道,要求不存在射线检测规定的超标焊接缺陷时,应规定 100% 的射线检测检查。

(2) 目视检查是指对易于观察或能做外观检查的组成件、连接接头及其他管道元件的部分在其制造、制作、装配、安装、检查或试验之前、进行中或之后进行的观察。目视检查应包括核实材料、组件、尺寸、接头的制备、组对、焊接、粘接、钎焊、法兰连接、螺纹或其他连接方法、支承件、装配以及安装等的质量是否达到相关标准和工程设计的不要求。目视检查应按国家现行标准《承压设备无损检测 第 7 部分:目视检测》NB/T 47013.7 的规定进行。

(3) 焊接接头的无损检测分为射线检测、超声检测、磁粉检测、渗透检测、衍射时差法超声检测、X 射线数字成像检测,检测方法应按下列国家现行标准的规定进行:

- 1) NB/T 47013.1 承压设备无损检测 第 1 部分:通用要求;
- 2) NB/T 47013.2 承压设备无损检测 第 2 部分:射线检测;
- 3) NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第 3 部分:超声检测;
- 4) NB/T 47013.4 承压设备无损检测 第 4 部分:磁粉检测;
- 5) NB/T 47013.5 承压设备无损检测 第 5 部分:渗透检测;
- 6) NB/T 47013.10 承压设备无损检测 第 10 部分:衍射时差法超声检测;
- 7) NB/T 47013.11 承压设备无损检测 第 11 部分:X 射线数字成像检测。

(4) 对焊接接头、热弯以及热成型组件应进行硬度检查,以检查热处理工艺的可靠性。硬度检查的数量和要求应符合现行国家标准《压力管道规范 工业管道 第 4 部分:制作与安装》GB/T 20801.4 的有关规定。

二、检查范围

9.5.3 压力管道的检查等级是如何划分的?

答:(1) 压力管道按管道级别、材料类别和公称压力等划分为 I、II、III、IV、V 五个

检查等级，当压力管道按本条第(2)~(6)款划分为不同的检查等级时，应按较高的检查等级确定其检查等级。当设计文件有特殊要求时，还应符合相关设计文件的要求。

(2) 符合下列条件之一的压力管道的检查等级为Ⅰ级：

- 1) 设计文件注明为剧烈循环工况的管道；
- 2) GC1级管道；
- 3) 高温蠕变工况使用的管道；
- 4) 钛及钛合金、镍及镍基合金、高铬镍钼奥氏体不锈钢管道、锆及锆基合金；
- 5) 公称压力大于 $PN160$ 的管道；
- 6) 夹套管的内管；
- 7) 按国家标准《压力管道规范 工业管道 第5部分：检验与试验》GB/T 20801.5 中 9.1.7 的规定可以免除压力试验的管道；
- 8) 设计要求进行焊接接头 100%无损检测的管道。

(3) 符合下列条件之一的压力管道的检查等级为Ⅱ级：

- 1) 公称压力大于 $PN50$ 的碳钢(本节要求冲击试验)管道；
- 2) 公称压力大于 $PN110$ 的奥氏体不锈钢管道；
- 3) 低温含镍钢、铬钼合金钢、双相不锈钢、铝及铝合金管道；
- 4) 设计要求进行焊接接头 20%无损检测的管道。

(4) 符合下列条件之一的压力管道的检查等级为Ⅲ级：

- 1) 毒性程度为有毒介质的 GC2 级管道；
- 2) 设计要求进行焊接接头 10%无损检测的管道。

(5) 符合下列条件之一的压力管道的检查等级为Ⅳ级：

- 1) 除本条第(4)款第(1)项以外的 GC2 级管道；
- 2) 公称压力不大于 $PN50$ 的碳钢管道(本节无冲击试验要求)；
- 3) 设计要求进行焊接接头 5%无损检测的管道。

9.5.4 压力管道的目视检查的范围应符合哪些规定？

答：(1) 目视检查的内容应符合下列规定：

1) 对于 GC2 级管道，应符合本章第 9.5.2 条第(2)款的规定，对以下项目进行目视检查：

a) 随机选择足够数量的材料和管道组成件，使检查人员满意地认为它们都符合技术要求且无缺陷；

b) 100%的纵向焊接接头，但按国家标准《压力管道规范 工业管道 第2部分：材料》GB/T 20801.2 附录中表 A.1 和《压力管道规范 工业管道 第3部分：设计和计算》GB/T 20801.3 表 13 中管道组成件所含的纵向焊接接头除外；

c) 抽样检查螺纹、螺栓连接和其他接头的组件，当需进行气压试验时，对所有的螺纹、螺栓连接及其他接头均应进行检查；

d) 管道安装时的抽样检查，包括组对、支撑件和冷紧的检查；

e) 检查已安装管道，找出需返修或者更换的缺陷以及不符合设计要求的明显偏差；

2) 除应符合本条第(1)款的规定外，GC1 级管道的目视检查还应符合以下规定：

a) 除本条第(1)款的规定外，对所有制作和安装的焊接接头均应进行 100%目视检查；

b) 对所有螺纹、螺栓以及其他连接接头均应进行 100% 目视检查;

3) 剧烈循环工况管道以及国家标准《压力管道规范 工业管道 第 3 部分: 设计和计算》GB/T 20801.3 的 3.13 所示高温蠕变工况的管道, 其目视检查除符合本条第(2)款的规定外, 还应校核所有安装管道的尺寸和偏差。支架、导向件和冷紧点都应检查以保证管道的位移能适应开车、操作和停车等所有的工况, 而不能发生卡住和意外约束的现象;

4) 焊接接头目视检查的比例应符合表 9.5.5-1 的要求, 应对每一焊工或焊接操作工的焊接接头进行目视检查。

(2) 目视检查验收准则应符合下列规定:

1) 焊接接头目视检查应按照国家现行标准《承压设备无损检测 第 7 部分: 目视检测》NB/T 47013.7 的规定执行, 检查内容和合格指标不低于表 9.5.4 的规定;

2) 其他要求应符合相关产品标准和工程设计规定。

表 9.5.4 焊接接头目视检查质量验收标准^①

检查等级	I			II			III			IV			V		
	环向、斜接坡口和支管连接 ^②	纵向坡口 ^③	角接 ^④	环向、斜接坡口和支管连接 ^②	纵向坡口 ^③	角接 ^④	环向、斜接坡口和支管连接 ^②	纵向坡口 ^③	角接 ^④	环向、斜接坡口和支管连接 ^②	纵向坡口 ^③	角接 ^④	环向、斜接坡口和支管连接 ^②	纵向坡口 ^③	角接 ^④
表面裂纹、未熔合	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
表面未焊透	A	A	N/A	A	A	N/A	B	A	N/A	B	A	N/A	C	A	N/A
表面气孔或暴露的夹渣 ^⑤	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
咬边	A	A	A	A	A	A	D	A	D	D	A	D	E	A	D
根部表面凹陷	F	F	N/A	F	F	N/A	F	F	N/A	F	F	N/A	F	F	N/A
余高或根部凸出	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	H	H	H

注: ① 本表是针对所要求的检查, 工程设计也可规定更严格的要求。

② 支管连接焊接接头包括支管和翻边接口的承压焊接接头。

③ 纵向接头包括直缝接头和螺旋缝接头, 但国家标准《压力管道规范 工业管道 第 2 部分: 材料》GB/T 20801.2 附录 A 中表 A1 和《压力管道规范 工业管道 第 3 部分: 设计和计算》GB/T 20801.3 表 13 所列管道组件材料和型式尺寸标准制造的产品中所含纵向接头除外。

④ 角接接头包括承插焊和密封焊以及平焊法兰、支管补强和支管件的连接焊接接头。

⑤ 仅评价公称壁厚 ≤ 5mm 焊接接头的缺陷。

⑥ 两个极限数值用“和”分开时, 其中较小者为合格值, 两组数值用“或”分开时, 则较大者为合格值。

⑦ T 是对焊接接头中两个连接件厚度较薄者的名义厚度。

⑧ 对没有额外填充金属的坡口环向接头, 其外部凹陷深度不得小于 1mm 或 10% 接头名义厚度, 焊缝金属应当平滑过渡到组件表面, 焊缝总厚度(包括焊缝补强)不得小于最小名义厚度。

表中符号说明:

A: 缺陷范围: 无明显缺陷;

B: 未焊透累计长度^⑥: 每 150mm 长度范围内 ≤ 15mm 和 10% 焊缝总长度;

C: 未焊透累计长度: 每 150mm 长度范围内 ≤ 20mm 和 20% 焊缝总长度;

D: 咬边深度: ≤ 1mm 和 T/4^⑦;

E: 咬边深度: ≤ 1.5mm 和 (T/4 或 1mm);

F: 根部表面凹陷深度: 接头总厚, 包括焊缝补强; ≥ T^⑧;

G: 焊缝余高或内凸起的高度;

T/mm	H/mm
≤6	≤1.5
>6, ≤13	≤3.0
>13, ≤25	≤4.0
>25	≤5.0

H: 焊缝余高或内凸起的高度; 范围为上述 G 相应值的 2 倍。

N/A: 表示对于这种类型的缺陷, 本部分未规定验收准则或不要求评价。

9.5.5 焊接接头的无损检测方法应符合哪些规定?

答: (1) 无损检测方法应符合下列规定:

1) 压力管道焊接接头的无损检测应当采用国家现行标准《承压设备无损检测》NB/T 47013 规定的方法, 包括射线检测(包括胶片感光或者数字成像)、超声检测[包括衍射时差法超声检测(TOFD)、可记录的脉冲反射法超声检测和不可记录的脉冲反射法超声检测]、磁粉检测、渗透检测等, 当采用不可记录的脉冲反射法超声检测时, 应当采用射线检测或者衍射时差法超声检测作为附加局部或抽样检测;

2) 管道的名义厚度小于或等于 30mm 的对接接头, 应优先采用射线检测, 采用超声检测代替射线检测应经设计者和业主同意; 名义厚度大于 30mm 的对接接头可采用超声检测代替射线检测;

3) 有色金属制压力管道对接接头应当优先采用 X 射线检测;

4) 焊接接头的表面裂纹应当优先采用表面无损检测;

5) 铁磁性材料制压力管道焊接接头的表面检测应当优先采用磁粉检测。

(2) 焊接接头的射线检测和超声检测要求如下:

1) 除设计文件另有规定外, 现场焊接的管道及管道组成件的对接接头、支管连接接头应进行射线检测或超声检测。检查数量应符合以下规定:

a) 管道的公称直径小于 500mm 时, 可根据环向对接接头数, 按表 9.5.5-1 的检查比例进行抽样检测, 且不得少于 1 个环向对接接头。凡进行检测的环向对接接头, 应包括其整个圆周长度。固定焊的环向对接接头抽样检测比例应不少于检测数量的 40%;

b) 管道的公称直径大于或等于 500mm 时, 对每条环向对接接头应按表 9.5.5-1 的检查比例进行局部检测, 检查长度不得少于 150mm;

c) 纵向对接接头应按表 9.5.5-2 的检查比例进行检测, 局部检测检查长度不得小于 150mm;

d) 对高温蠕变工况使用的铬钼合金钢管子和管件的焊接接头应进行 100%射线检测或超声检测;

e) 选择被检焊接接头时应包括每个参加产品焊接的焊工或焊接操作工所焊的焊接接头, 同时应在最大范围内包括与纵向焊接接头的交叉点。当环向焊接接头与纵向焊接接头相交时, 应包括检查长度不小于 38mm 的相邻纵向焊接接头;

2) 射线检测应按照国家现行标准《承压设备无损检测》NB/T 47013 的规定执行, 质量要求和合格级别如下:

a) 进行全部无损检测的焊接接头, 射线检测技术等级不低于 AB 级, 合格级别不低于 II 级;

b) 进行局部或抽样的焊接接头, 射线检测技术等级不低于 AB 级, 合格级别不低于

Ⅲ级；

3) 超声检测应按照国家现行标准《承压设备无损检测》NB/T 47013 的规定执行，质量要求和合格级别如下：

a) 进行全部无损检测的焊接接头，脉冲反射法超声检测技术等级不低于 B 级，合格级别为 I 级；

b) 进行局部或抽样的对接接头，脉冲反射法超声检测技术等级不低于 B 级，合格级别不低于 II 级；

c) 采用衍射时差法超声检测的焊接接头，检测技术等级原则上不低于 B 级，合格级别不低于 II 级；

4) 当采用射线、超声等方面进行组合无损检测时，质量要求和合格级别按照各自执行的标准确定，并且均应当合格。

表 9.5.5-1 焊接接头检查方法和比例^①

检查等级	检查方法	焊接接头类型及检查比例/%		
		环向对接接头	角接接头 ^②	支管连接 ^③
I	目视检查	100	100	100
	磁粉/渗透检测	100 ^④	100	100
	射线检测/超声检测	100	—	100 ^⑤
II	目视检查	100	100	100
	磁粉/渗透检测	20 ^④	20	20
	射线检测/超声检测	20	—	20 ^⑤
III	目视检查	100	100	100
	磁粉/渗透检测	10 ^④	—	10
	射线检测/超声检测	10	—	—
IV	目视检查	100	100	100
	射线检测/超声检测	5	—	—
V	目视检查	10	100	100

注：① 根据业主或工程设计要求，可采用较表 9.5.5-1 更严格检查等级代替较低检查等级。

② 表中角接接头包括承插焊和密封焊以及平焊法兰、支管补强和支架的连接焊接接头。

③ 表中支管连接焊接接头包括支管和翻边接头的承压焊接接头。

④ 对碳钢、不锈钢及铝合金无此要求。

⑤ 适用于大于或等于 DN100 的管道。

表 9.5.5-2 制作过程中纵向焊接接头检查方法和检查比例

纵向焊接接头系数 Φ_w	目视检查比例/%	射线检测/超声检测比例/%
≤ 0.85	100	—
0.90	100	10
1.00	100	100

注：国家标准《压力管道规范 工业管道 第 2 部分：材料》GB/T 20801.2 附录 A 中表 A.1 和国家标准《压力管道规范 工业管道 第 3 部分：设计和计算》GB/T 20801.3 表 13 中所含的纵向焊接接头除外。

三、压力试验

9.5.6 工业管道的液压试验应符合什么规定？

答：工业管道的液压试验应符合下列规定：

(1) 试验流体一般应使用洁净水。当对奥氏体不锈钢管道或对连有奥氏体不锈钢组成件或容器的管道进行试验时，水中氯离子含量不得超过 50mg/L。如果水对管道或工艺有不良影响并有可能损坏管道时，可使用其他合适的无毒液体。当采用可燃液体进行试验时，其闪点不得低于 49℃，且应考虑到试验周围的环境。试验时流体的温度应不低于 5℃；

(2) 内压管道除本条第(5)款规定外，系统中任何一点的液压试验压力均应按下述规定：

1) 不得低于 1.5 倍设计压力；

2) 设计温度高于试验温度时，试验压力应不小于式(9.5.6)的计算值：

$$p_T = 1.5pS_1/S_2 \quad (9.5.6)$$

式中 p_T ——试验压力，MPa；

p ——设计压力，MPa；

S_1 ——试验温度下，管子许用应力，MPa；

S_2 ——设计温度下，管子许用应力，MPa。

(3) 如果管道系统中未包含管子，则可根据其他管道组成件(不包括管道支承件和连接螺栓)的许用应力来确定 S_1/S_2 的值。如果管道系统由多种材料组成，则可根据多种材料的 S_1/S_2 最小值来确定；

(4) 如果上述规定试验压力，在试验温度下的周向应力或纵向应力(基于最小管壁厚度)会超过材料屈服强度，或在试验温度下的试验压力大于 1.5 倍组成件的额定值，则可将试验压力降低到试验温度下不导致超过材料屈服强度或 1.5 倍组成件额定值的最大压力；

(5) 管道与容器作为一个系统时，液压试验应符合以下规定：

1) 当管道试验压力不大于容器的试验压力时，应按管道的试验压力进行试验；

2) 当管道试验压力大于容器的试验压力，且无法将管道与容器隔开，且容器的试验压力不小于 77%按式(9.5.6)计算所得的管道试验压力时，经业主或设计者同意，可按容器的试验压力进行试验。

9.5.7 工业管道的气压试验应符合什么规定？

答：工业管道的气压试验应符合下列规定：

(1) 如果采用气压试验，必须对管道系统的完整性进行风险评估和危害辨识，气压试验的安全操作程序应经过审核。气压试验时，应将脆性破坏的可能性减小至最小程度，应考虑试验温度的影响。气压试验温度至少要比管道系统材料的最低允许金属温度高 17℃。材料的最低允许金属温度不明时，试验温度不得低于 17℃。试验系统中不得包括铸铁等脆性材料；

(2) 试验时应装有压力泄放装置，其设定压力不得高于 1.1 倍的试验压力；

(3) 用作试验的介质应是干燥洁净的空气、氮气或其他不易燃和无毒的气体；

(4) 承受内压的金属管道，气压试验压力应不低于 1.1 倍设计压力，同时不超过下列压力的较小者：

- 1) 1.33 倍设计压力;
- 2) 试验温度下产生超过 90%屈服强度周向应力或纵向应力(基于最小管壁厚度)时的试验压力;

(5) 应按以下步骤进行气压试验:

- 1) 试验前应进行预试验, 预试验的压力宜为 0.2MPa;
- 2) 试验时, 应逐级缓慢增加压力, 当压力升至试验压力的 50%时, 应进行初始检查, 如未发现异常或泄漏, 继续按试验压力的 10%逐级升压(每级应有足够的保压时间以平衡管道的应变), 每级稳压 3min 直至达到规定的试验压力。再将压力降至设计压力, 应用发泡剂检验有无泄漏, 停压时间应根据查漏工作需要确定。

9.5.8 什么情况下可免除管道的压力试验?

答: 同时满足下列要求时, 可免除压力试验:

- (1) 按下述规定进行检查的焊接接头:
 - 1) 环向、纵向以及螺旋焊焊接接头均应进行 100%的射线检测或 100%超声波检测;
 - 2) 所有未包括在上述 1) 中的焊接接头, 包括附件的连接焊接接头, 应进行 100%的磁粉或渗透检测;
- (2) 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 的有关规定, 已通过柔性分析的管道系统;
- (3) 已按本章第 9.5.9 条第(2)款的要求进行敏感性泄漏试验的管道系统。

9.5.9 工业管道的泄漏试验应符合什么规定?

答: (1) 泄漏试验应符合以下规定:

- 1) 对于 GC1 级(毒性、易燃性)的管道, 应按本条第(2)款进行敏感性泄漏试验;
- 2) 泄漏试验应在压力试验合格后进行。泄漏试验时, 应重点检查阀门填料函、法兰或螺纹连接处、放空阀、排气阀和排凝阀等部位。除另有规定外, 敏感性泄漏试验应符合相应检漏方法的试验灵敏度要求;
- 3) 经本章第 9.5.7 条气压试验合格, 且在试验后未经拆卸过的管道系统可不进行泄漏试验。
- 4) 经业主、设计者以及安装、检验者同意, 可采用本条第(3)款气密性试验代替本条第(2)款进行泄漏试验, 以无可察泄漏为合格。

(2) 敏感性泄漏试验应符合下列规定:

- 1) 除业主或设计者另有规定外, 本款规定的敏感性泄漏试验为符合国家现行标准《承压设备无损检测 第 8 部分: 泄漏检测》NB/T 47013.8—2012 附录 A 规定的气泡泄漏检测——直接加压技术。试验介质可采用空气, 试验灵敏度相当于 $10^{-4}(\text{Pa} \cdot \text{m}^3)/\text{s}$ 。泄漏试验应能满足以下要求:
 - a) 根据业主或设计者的要求, 试验压力应不小于 105kPa 或 25%设计压力(取较小值);
 - b) 应将试验压力逐渐增加至 0.5 倍规定的试验压力或 170kPa(取较小值), 然后进行初检, 再分级逐渐增加至试验压力, 每级应有足够的保压时间以平衡管道的应变;
 - c) 无重复或连续的气泡出现;
- 2) 根据业主或设计的要求, 可采用下列检测灵敏度更高的检漏方法:

a) 按国家现行标准《承压设备无损检测 第8部分: 泄漏检测》NB/T 47013.8—2012 附录 C 的要求, 采用漏率型检漏仪进行的卤素泄漏试验, 试验压力按 9.2.1 a) 的规定, 试验灵敏度不应低于 $10^{-5}(\text{Pa} \cdot \text{m}^3)/\text{s}$;

b) 按国家现行标准《承压设备无损检测 第8部分: 泄漏检测》NB/T 47013.8—2012 附录 D 的要求, 采用氦质谱仪泄漏检测——吸枪技术进行的氦检漏, 试验压力按 9.2.1 a) 的规定, 试验气体为氦气或含 1% 或 10% 氦的混合气体, 试验灵敏度不应低于 $10^{-5}(\text{Pa} \cdot \text{m}^3)/\text{s}$ (如采用混合气体, 应按氦的比例相应提高灵敏度);

c) 按国家现行标准《承压设备无损检测 第8部分: 泄漏检测》NB/T 47013.8—2012 附录 E 的要求, 采用氦质谱仪泄漏检测——示踪探头技术进行的氦检漏, 待检管道或元件内抽真空, 在待检部位外用氦气或含 1% 或 10% 氦的混合气体吹扫, 试验灵敏度不应低于 $10^{-6}(\text{Pa} \cdot \text{m}^3)/\text{s}$ (如采用混合气体, 应按氦的比例相应提高灵敏度);

d) 按国家现行标准《承压设备无损检测 第8部分: 泄漏检测》NB/T 47013.8—2012 附录 G 的要求, 充入 10%~30% 或 1% 氦气进行氦泄漏检测, 试验压力及试验方法按国家现行标准《承压设备无损检测 第8部分: 泄漏检测》NB/T 47013.8—2012 附录 G 的要求。

(3) 气密性试验压力应为设计压力, 真空管道试验压力应为内压 0.1MPa, 试验介质可采用空气。除试验压力外, 气密性试验按本章第 9.5.7 条气压试验的相关要求进行。经业主或设计者同意, 气密性试验可按最高工作压力或结合试车一并进行。

(4) 真空度试验要求如下:

1) 真空或外压管道的压力下试验应符合下列规定:

a) 真空或外压管道应以内外压力差的 1.5 倍, 但不小于 105kPa 进行内压压力试验;

b) 经业主或设计者同意, 真空管道可采用真空度试验来代替 a) 项所列内压压力试验, 但应制订相应试验规程;

2) 除本款第 1) 项 b) 的情况外, 真空管道系统在压力试验合格后, 还应按设计文件的規定进行 24h 的真空度试验, 增压率应不大于 5%。增压率应按式(9.5.9)计算:

$$\Delta p = \frac{p_2 - p_1}{p_1} \times 100 \quad (9.5.9)$$

式中 Δp ——24h 的增压率, %;

p_1 ——试验初始压力, MPa;

p_2 ——试验最终压力, MPa。

第六节 安全防护

一、安全泄放装置

9.6.1 安全泄放装置的一般要求有哪些?

答: (1) 安全泄放装置应防止独立压力系统中的任一部分发生超压事故。设计人员宜采用各种过程危险源评价(PHA)方法, 研究具体工艺过程所有可能的超压工况。识别各种超压工况时, 应遵循下列准则:

1) 任何单个事件是可信的;

2) 两个顺序发生的相关事件是可信的;

3) 同时发生的两个或两个以上不相关的独立事件是不可信的。

(2) 自动控制仪表和报警联锁装置不得替代安全泄放装置作为系统的超压保护设施。当不允许排放或不能安装安全泄放装置时, 可通过过程危险源评价及分析所有的超压工况, 采用系统设计方法, 即本质安全设计或高完整性保护系统(HIPS), 消除系统的超压原因或者进行系统超压保护。

(3) 符合下列情况的设备或管道系统, 应设置安全泄放装置:

- 1) 设计压力小于外部压力源的压力, 出口可能被关断或堵塞的设备和管道系统;
- 2) 出口可能被关断的容积式泵和容积式压缩机出口管道系统;
- 3) 冷却水或回流中断、再沸器输入热量过多而引起超压的蒸馏塔顶气相管道系统;
- 4) 不凝气体聚集产生超压的设备和管道系统;
- 5) 加热炉出口管道中, 切断阀或调节阀的上游管道系统;
- 6) 两端切断阀关闭后, 受环境温度、阳光辐射或伴热影响, 产生热膨胀或汽化的管道系统;
- 7) 冷却或搅拌失效、有催化作用的杂质进入、反应抑制剂中断, 导致放热反应失控的反应器出口处切断阀上游的管道系统;
- 8) 凝汽式汽轮机的蒸汽出口管道系统;
- 9) 蒸汽发生器等产汽设备的出口管道系统;
- 10) 低沸点液体(液化气等)容器的出口管道系统;
- 11) 管程破裂或泄漏可能导致超压的热交换器低压侧的出口管道系统;
- 12) 风扇故障导致冷却负荷下降的空冷器管程的出口管道系统;
- 13) 可能暴露于外部火灾的设备和容器的出口管道系统。

(4) 独立压力系统应在适当的位置设置一个或多个并联的安全泄放装置。

(5) 安全泄放装置相关压力的确定应按第1)~3)项的规定:

1) 独立压力系统中, 设备或管道的安全泄放装置相关压力的确定应以系统设计压力或最大允许工作压力(MAWP)为基准, 且应符合以下规定:

(a) 安装一个安全泄放装置时, 设定压力应不大于系统设计压力或 MAWP。非火灾工况的最大泄放压力应不大于系统设计压力或 MAWP 的 110% 和系统设计压力或 MAWP 加 20kPa 中的较大者; 火灾工况的最大泄放压力应不大于系统设计压力或 MAWP 的 121%;

(b) 当并联设置分级设定的多个安全泄放装置时, 除一个基本安全泄放装置的设定压力应不大于系统设计压力或 MAWP 外, 还应符合下列要求(表 9.6.1):

表 9.6.1 在非火灾和火灾工况下单个或多个并联设置的安全泄放装置设定压力和最大泄放压力的限制^①

事故类型		单个装置		多个并联装置	
		设定压力	最大泄放压力	设定压力	最大泄放压力
非火灾工况	单个装置或基本装置	100	110 ^②	100	116 ^③
	一个或多个附加装置	—	—	105	116 ^③
火灾工况	单个装置或基本装置	100	121	100	121
	一个或多个附加装置	—	—	105	121
	一个或多个辅助装置	—	—	110	121

注: ① 表中所有数值是系统设计压力或最大允许工作压力(MAWP)的百分数。

② 取 100% 系统设计压力或 MAWP 的 110% 和系统设计压力或 MAWP 加 20kPa 中的较大者。

③ 取 116% 系统设计压力或 MAWP 和系统设计压力或 MAWP 加 30kPa 中的较大者。

a) 非火灾工况下, 附加安全泄放装置设定压力应不大于系统设计压力或 MAWP 的 105%, 且基本安全泄放装置和附加安全泄放装置最大泄放压力应不大于系统设计压力或 MAWP 的 116% 和系统设计压力或 MAWP 加 30kPa 中的较大值;

b) 火灾工况下, 辅助安全泄放装置设定压力应不大于系统设计压力或 MAWP 的 110%, 且基本安全泄放装置、附加安全泄放装置和辅助安全泄放装置最大泄放压力应不大于系统设计压力或 MAWP 的 121%;

2) 单纯管道系统的超压保护, 除本款第 3) 项的规定外, 设定压力和最大泄放压力应符合本款第 1) 项的规定;

3) GC2 级的单纯管道系统超压保护应符合下列规定:

(a) 防止两端关闭的液体管道系统受热膨胀的超压工况, 设定压力允许超过系统设计压力, 但应不大于系统设计压力的 120% 和系统试验压力中的较小值;

(b) 在符合国家标准《压力管道规范 工业管道 第 3 部分: 设计和计算》GB/T 20801.3 中 4.2.3.3 要求的条件下, 压力泄放导致的压力变动按国家标准《压力管道规范 工业管道 第 3 部分: 设计和计算》GB/T 20801.3 中 4.2.3.4 规定:

a) 每次不超过 10h, 且每年累计不超过 100h, 最大泄放压力不超过系统设计压力的 133%;

b) 每次不超过 50h, 且每年累计不超过 500h, 最大泄放压力不超过系统设计压力的 120%。

(6) 背压影响和限制应符合本款第 1)~2) 项的规定:

1) 安全泄放装置的背压限制如下:

(a) 普通型安全阀积聚背压超过 10% 设定压力时, 泄放量快速下降, 并发生颤振或频跳。平衡型安全阀总背压不超过约 50% 设定压力, 可稳定操作, 泄放量有所降低。先导型安全阀的操作和泄放量不受背压影响;

(b) 爆破片装置没有积聚背压的问题, 变动附加背压可能导致爆破片提前或滞后破裂, 需要增设背压或真空支架, 或者在其下游串联爆破片装置或平衡型安全阀;

(c) 爆破针阀没有积聚背压的问题, 且设计成不受背压影响的平衡型结构。背压不影响其操作性能;

2) 安全泄放装置的背压都会提高泄放压力, 应防止背压超过最大泄放压力造成超压事故。

9.6.2 安全泄放量和最小泄放面积是如何确定的?

答: (1) 典型超压工况下, 安全泄放量按表 9.6.2 准则确定:

1) 系统的某个部位有几种超压工况时, 应分别计算每种超压工况的安全泄放量, 并取其中的最大值为该部位的安全泄放量;

2) 安全泄放量的计算可按国家标准《压力管道规范 工业管道 第 6 部分: 安全防护》GB/T 20801.6 附录 A 规定。附录 A 中未规定的其他超压工况的安全泄放量计算, 可参照《石油、石油化工和天然气工业—泄压和减压系统》ISO 23251 的相应规定。

(2) 最小泄放面积应符合下列要求:

1) 安全泄放装置最小泄放面积应根据安全泄放量、最大泄放压力、泄放流体温度、安全泄放装置有效泄放系数和校正系数以及流体物理性质确定;

2) 最小泄放面积可按国家标准《压力管道规范 工业管道 第6部分:安全防护》GB/T 20801.6 附录 C 的规定计算;

3) 选用安全泄放装置产品的额定泄放量应不小于安全泄放量。

表 9.6.2 典型超压工况下确定安全泄放量准则

序号	超压工况	液体泄放 ^①	蒸气泄放 ^①
1	设备出口关闭	最大液体泵入流量	水蒸气和蒸气总进入量, 加上泄放条件下产生的水蒸气和蒸气
2	冷却器冷却水故障	—	在泄放条件下进入冷凝器的蒸气总量
3	塔顶回流故障	—	水蒸气和蒸气总进入量, 加上泄放条件下产生的水蒸气和蒸气减去被侧线回流冷凝的蒸气
4	侧线回流故障	—	泄放条件下进入蒸气和排出蒸气之差额
5	至吸收塔的贫油故障	—	通常没有
6	不凝气体的积聚	—	在塔中产生的结果与第 2 项相同, 在其他设备中产生的结果与第 1 项相同
7	高挥发物的进入;	—	采用替代防护方法避免这种情况。见本表第 15 项 a)
	a) 水进入热油		
	b) 轻烃进入热油		
8	储罐或缓冲罐装料过满	最大液体泵入流量	—
9	自动控制故障	—	逐个分析各种情况(如进口和出口控制装置、旁路、故障保持阀位的阀门或节流阀故障)
10	异常工艺热量或蒸气进入	—	估计因过热产生的最大的蒸气量和不凝气体量
	a) 异常工艺热量进入		
	b) 阀门误操作开启		
	c) 节流阀故障		
11	内部爆炸或瞬变压力冲击(如水锤、汽锤或冷凝液锤击)	常规泄压装置不适用	常规泄压装置不适用。可燃气体或粉尘爆燃(不包括爆轰)泄放量计算按 NFPA 68 和 GB/T 15605 的规定
12	化学反应	—	从正常和失控两种条件来估计蒸气产生量, 需考虑两相的影响
13	液体膨胀:	按被关闭的冷液体受热膨胀确定要求的泄放量	—
	a) 冷液体关闭在里面		
	b) 工艺装置区域外部管线液体关闭在里面		
14	外部火灾	—	按暴露于外部池火中设备内液体浸润面积吸收的热量产生蒸汽和气体量(按 ISO 23251)
15	传热设备故障	穿过破裂处的液体流量等于 1 根管子里内横截面积 2 倍的流量	穿过破裂处的水蒸气或蒸气流量等于 1 根管子里内横截面积 2 倍的流量
	a) 换热器管子破裂		
	b) 套管		
	c) 板和框		

序号	超压工况	液体泄放 ^①	蒸气泄放 ^①
16	动力故障(水蒸气、电或其他):	—	分析装置情况,以确定动力故障的影响,按可能出现的最坏情况来确定安全泄放量
	a) 蒸馏塔	—	所有的泵失效,导致回流和冷却水故障
	b) 反应器	—	考虑搅拌或搅动、淬冷或抑制物流故障,按失控反应产生的蒸气确定安全泄放量
	c) 空冷器	—	风扇故障,按正常和紧急事故的负荷差额确定安全泄放量
	d) 缓冲罐	最大液体进入流量	—

注: ① 需考虑泄放压力高于操作压力引起泄放量的减少。

9.6.3 安全泄放装置进、出口阀门和管道的设置有什么要求?

答: (1) 安全泄放装置的进、出口不宜安装切断阀, 确因安全泄放装置检测、维修需要安装时, 应符合下列要求:

- 1) 切断阀应采用全通径的, 或压力降不影响安全泄放装置的正常工作和安全泄放量;
- 2) 安全泄放装置正常工作时, 切断阀应锁定或铅封在全开位置。

(2) 安全泄放装置入口管道应符合下列要求:

1) 管径应不小于安全泄放装置的进口尺寸, 管道长度尽可能短, 管道的总压力降不宜超过安全阀的 3% 设定压力;

2) 在容积式压缩机排出口管道上安装安全泄放装置时, 阻尼器或孔板至安全泄放装置的直管段距离应不小于 10 倍管径。

(3) 安全泄放装置的出口管道应符合下列要求:

1) 泄放至大气的管道出口应位于安全地点, 安全泄放装置、泄放管道及其支承应有足够的强度承受泄放反力;

2) 排放至密闭系统(排气筒、火炬系统、收集容器或其他处理系统)的出口管道和泄放总管背压应不超过安全泄放装置允许的最大背压;

3) 应考虑液化气等低沸点液体降压闪蒸时产生骤冷对管道材料的低温脆裂影响。

9.6.4 安全泄放装置的选用应符合什么规定?

答: (1) 安全泄放装置应计及泄放介质、过程超压工况以及安全泄放装置的性能, 选用合适的安全泄放装置形式, 见国家标准《压力管道规范 工业管道 第 6 部分: 安全防护》GB/T 20801.6 附录 B。安全泄放装置的选用应符合相关标准的规定。

(2) 安全泄放装置产品应符合特种设备安全技术规范《安全阀安全技术监察规程》TSG ZF001 和《爆破片装置安全技术监察规程》TSG ZF003 以及现行国家标准《压力释放装置 性能试验规范》GB/T 12242 等相关标准的规定。

二、阻火器

9.6.5 阻火器的应用和设置有什么要求?

答: (1) 阻火器产品和应用应符合《阻火器—性能要求、试验方法和应用限制》ISO

16852 和《阻火器选用导则》PD CEN/TR 16793 等相关标准的规定。

(2) 在工艺装置中, 有大量潜在爆炸性环境的非电气设备以及管道系统。阻火器是非电气设备防爆的主要安全防护装置, 具有防止爆炸、阻止爆炸通过管道蔓延以及防止爆燃发展成爆轰的作用。阻火器的类别和选用见国家标准《压力管道规范 工业管道 第 6 部分: 安全防护》GB/T 20801.6 附录 D。

(3) 下列设备和管道系统应设置阻火器:

1) 可燃液体常压储罐, 以及液态烃、LNG 等低温储罐的通气口和呼吸阀进、出口及其气相连通管;

2) 火炬、焚烧炉、氧化炉等燃烧设备入口;

3) 有持续点燃源和 0 区的风机、真空泵、压缩机等机械设备进、出口;

4) 装卸可燃液体或气体终端站、槽船和槽罐车的呼吸阀, 以及气体置换和平衡管线;

5) 沼气系统、污水处理和垃圾填埋气系统中间气体储罐的呼吸阀以及气体总管;

6) 加工可燃化学品的并联设备系统(如反应器)、可燃溶剂回收系统、可燃气体和蒸气回收系统、可燃尾气处理系统的单台设备或系统的气体 and 蒸气出口, 以及集合总管进入火炬、焚烧炉、氧化炉、活性炭吸附槽等处理设备进口;

7) 可能发生失控放热反应、自燃、自分解的反应器或容器至大气或不耐爆炸压力的容器的出口;

8) 输送可能发生爆燃或爆轰的爆炸性气体和蒸气的管道系统;

9) 可燃气体在线分析设备的放空总管;

10) 进入爆炸性气体环境危险区域的内燃发动机的排气总管。

(4) 按 MESG (最大试验安全间隙) 数值将可燃气体和蒸气分为七个爆炸级别, 如表 9.6.5 所示。阻火器的间隙必须小于可燃气体和蒸气的 MESG 值。纯组分与多组分可燃气体与蒸气的 MESG 和爆炸级别见国家标准《压力管道规范 工业管道 第 6 部分: 安全防护》GB/T 20801.6 附录 E。

表 9.6.5 爆炸级别和相对应的 MESG 及试验气体

爆炸级别	MESG/mm	空气中试验气体体积分数/%
II A1	≥ 1.14	甲烷 8.4 \pm 0.2
II A	> 0.90	甲烷 4.2 \pm 0.2
II B1	≥ 0.85	乙烯 5.2 \pm 0.2
II B2	≥ 0.75	乙烯 5.7 \pm 0.2
II B3	≥ 0.65	乙烯 6.6 \pm 0.3
II B	≥ 0.5	氢 45.0 \pm 0.5
II C	< 0.5	氢 28.5 \pm 2.0

三、安全防护

9.6.6 对安全防护有什么要求?

答: (1) 采取安全防护措施时, 应考虑以下因素:

1) 由流体性质以及操作压力和操作温度确定的流体危险性;

- 2) 由管道材料、结构、连接形式及其安全运行经验确定的管道安全性;
- 3) 管道一旦发生损坏或泄漏, 导致流体的泄漏量及其对周围环境、设备造成的危害程度;
- 4) 管道事故对操作人员、维修人员和一切可能接触人员的危害程度。

(2) 对工厂布置中的安全防护要求如下:

1) 露天化的设备布置应符合以下规定:

a) 生产区和居民区之间、装置之间, 建、构筑物之间以及设备之间应保持一定的安全距离;

b) 装置内的主要行车道, 消防通道以及安全疏散通道的设置应符合现行国家标准《石油化工工厂布置设计规范》GB 50984、《石油化工企业设计防火标准》GB 50160 和《建筑设计防火规范》GB 50016 的规定;

c) 应对接近生产装置的人员予以控制;

d) 应设置必要的坡度、排放沟、防火堤和隔堤;

2) 可燃、有毒流体应排入封闭系统内, 不得直接排入下水道及大气;

3) 密度比环境空气大的可燃气体应排入火炬系统, 密度比环境空气小的可燃气体, 在不允许设置火炬及符合卫生标准的情况下, 可排入大气;

4) 可燃气体管道的放空管管口及安全泄放装置的排放位置应符合现行国家标准《石油化工企业设计防火规范》GB 50160、《石油化工工厂布置设计规范》GB 50984 及现行国家标准《石油化学工业污染物排放标准》GB 31571 的规定;

5) 架空管道穿过道路、铁路及人行道等的净空高度, 以及外管廊的管架边缘至建筑物或其他设施的水平距离应符合现行国家标准《石油化工企业设计防火规范》GB 50160、《建筑设计防火规范》GB 50016 及《石油化工工厂布置设计规范》GB 50984 的规定, 管道与高压电力线路间交叉净距应符合架空线路相关标准的规定;

6) 位于通道、道路和铁路上方的管道不应安装阀门、法兰、螺纹接头以及带有填料的补偿器等可能发生泄漏的管道组成件;

7) 在可通行管沟内不得布置 GC1 级管道。

(3) 对生产管理中的安全防护要求如下:

1) 应建立各项安全生产管理制度, 包括生产责任制, 安全生产和维修人员教育和培训制度, 有危险性工作的操作许可制度(如动火规程等), 安全生产检查制度, 事故调查、报告和责任制度以及安全监察制度等;

2) 应制定安全可靠的开、停车和正常操作的规程, 以及停水、停电等情况下事故停车的程序, 以尽可能减少对管道的损害和减少操作人员、维修人员及其他人员接触危险性管道的可能性;

3) 建立管道管理系统数据库, 包括管道目录库、管道故障记录库、管道检测报告库以及管道检修报告库等。

9.6.7 对安全防护设施和措施有什么要求?

答: (1) 灭火消防系统和喷淋设施应包括建构筑物的防火墙、防爆墙等防火结构, 去除有毒、腐蚀性或可燃性蒸气的通风装置、遥测和遥控装置以及储存或回收装置、火炬或焚烧炉等紧急处理有害物质的设施。

(2) 在脆性材料管道系统或法兰、接头、阀盖、仪表或视镜处应设置保护罩,以限制和减小泄漏的危害程度。

(3) 当充满液体的管道可能发生“水锤”现象,或在存有可压缩性流体的管道中可能发生“汽锤”的情况下,宜根据流体力学分析结果,采取适当的防护措施。

(4) 应采用自动或遥控的紧急切断、过流量阀、附加的切断阀、限流孔板或自动关闭压力源等方法限制流体泄漏的数量和速度。

(5) 处理事故用的紧急放空、事故隔离、消防蒸汽、消防栓等阀门,应布置在安全、明显、方便操作的地方。

(6) 进出装置的可燃、有毒物料管道,应在界区边界处设置切断阀,并在装置侧设“8”字盲板,以防止发生火灾时相互影响。

(7) 应设置必要的防护面罩、防毒面具、应急呼吸系统、专用药剂、便携式可燃和有毒气体检测报警系统等卫生安全设备,在可能造成人体意外伤害的排放点或泄漏点附近应设置紧急淋浴和洗眼器。

(8) 有辐射性的流体管道,应设置屏蔽保护和自动报警系统,并配置专用的面具、手套和防护服等。

(9) 对爆炸、火灾危险场所内可能产生静电危险的管道系统,均应采取静电接地措施。如可通过设备、管道及土建结构的接地网接地,法兰跨接。其他防静电要求应符合现行国家标准《防止静电事故通用导则》GB 12158 的规定。

(10) 盲板设置应符合下列规定:

1) 当装置停运维修时,对装置外可能继续运行的管道,在装置边界处除设置切断阀外,还应在阀门靠装置一侧的法兰处设置盲板;

2) 当运行中的设备需切断检修时,应在阀门与设备之间法兰接头处设置盲板。当有毒、可燃流体管道、阀门与盲板之间装有放空阀时,对于放空阀后的管道,应保证其出口位于安全范围之内。

(11) 蒸汽、空气、氮气等公用工程管道与 GC1 级、GC2 级管道连接时,应符合下列规定:

1) 连续使用的公用工程管道上应设置回阀,并在其根部设切断阀;

2) 间歇使用的公用工程管道上应设两道切断阀,并在两阀间设检查阀。

(12) 生产装置内的建、构筑物防雷措施应符合现行国家标准《建筑物防雷设计规范》GB 50057 的规定。露天布置的塔器、容器,或可燃气体、液体和粉尘的储罐与料仓,可能泄放或泄漏可燃气体或粉尘的储罐和料仓,防雷措施和/或防雷接地设施应符合现行国家标准《建筑物防雷设计规范》GB 50057 的规定。