



○ 岳进才 编著

# 压力管道技术

Pressure Piping Technology

(第二版)

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

# 压力管道技术

(第二版)

岳进才 编著

中国石化出版社

## 内 容 提 要

本书以《压力管道安全监察规定》为框架要求,从压力管道设计技术人员角度出发,较为系统地讲述了管道材料、管道机械、管子及其元件制造、管道施工、操作运行等方面的基本知识和工程要求。在内容安排上,按常规的设计思路安排各章节的次序,而每一环节又是按先介绍基本理论或基本知识,之后介绍工程应用原则,最后介绍一些工程应用的实际经验为思路,因此,本书不失为一本配管工程师、管道材料工程师和管道机械工程师很有用的参考书和工具书。同时,它也可供从事压力管道制造、施工、操作及压力管道安全监察管理人员参考之用。

### 图书在版编目(CIP)数据

压力管道技术/岳进才编著.—2版.  
—北京:中国石化出版社,2005  
ISBN 7-80164-944-3

I.压… II.岳… III.压力管道 IV.U173.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第150486号

### 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街58号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

\*

787×1092毫米 16开本 25.75印张 630千字

2006年3月第2版 2006年3月第2次印刷

定价:65.00元

# 前 言

在一个石油化工生产装置中，管道材料的费用约占整个工程投资的十分之一，而安装工作量约占整个工程总工作量的二分之一，设计工作量则约占整个工程总工作量的三分之一。由此可见，管道作为物料输送的一种特种设备在石油化工生产装置建设中占据着很重要的位置。然而，多年来由于管道问题而出现的事故时有发生，严重影响着人民的生命和财产的安全。为此，劳动部于1996年颁布了《压力管道安全监察规定》，将那些操作工况苛刻、事故危害性较大的管道冠以压力管道，并制定出相应的法规进行管理，从而使我国压力管道的管理进入了法制管理阶段。

由于压力管道安全管理刚刚起步，许多从事这方面工作的技术人员对这一事物还不太了解，技术基础工作也比较薄弱。1998年，作者有幸参加了作为压力管道设计认证试点单位的中国石油化工集团公司进行的设计认证工作，从中发现，一些设计单位在设计中还存在某些技术薄弱环节，尤其是在管道材料和管道应力方面，有关的技术人员配备还不到位，甚至一些设计单位没有专职的管道材料工程师和管道机械工程师，或者临时由工艺专业出身的技术人员兼职，技术规定也不完善。从事压力管道工作的技术人员都知道，管道材料和管道应力设计是影响管道可靠性的关键环节，也是难度较大、理论性较强的两个专业，因此，凡是在这两个方面比较弱的设计单位都无不亟待着能够改变现状。

现实中，既有理论知识介绍又有工程应用介绍的有关管道材料和管道应力方面的出版物较少，而针对压力管道设计、制造、安装、使用、检验和修理改造等环节进行系统介绍的出版物更少。有许多管道设计人员苦于找不到合适的参考书，甚至无从系统地了解有关管道材料和管道应力方面的研究内容。鉴于此，作者根据多年的工作体验和体会，有意识地针对上述的不足编写了本书，以期能够满足有关人员的需求。

本书第一章系统地介绍了压力管道的定义、特点和研究范畴以期给从事压力管道工作的技术人员一个轮廓性的概念；第二章至第五章系统地介绍了管道材料的相关理论知识和工程应用知识，并按照“应用标准选用—管道材料选用—管道压力等级的确定—管道器材元件的型式选用”这一设计思路编排各章节，其中“管道材料选用”部分同时给出了相关的基础理论和基本知识；第六章至第八

章系统地介绍了管道力学的相关理论知识和工程应用知识，并按照先基础理论后工程应用的顺序编排内容，其中基础理论部分则按照先难后易的顺序逐次编写，以利于读者的理解和接受；第九章系统地介绍了与管道元件制造和采购有关的理论知识和工程应用知识，它实际上是管道材料方面的延伸；第十章系统地介绍了管道施工方面的理论知识和工程应用知识，并且也是按照先基础理论后工程应用的顺序编排内容，它是配管工程师、管道材料工程师和采购工程师参考的重要内容；第十一章简单介绍了管道运行方面的知识、供配管工程师、操作人员、生产管理人员和管道材料工程师参阅。

本书在编写过程中得到了原北京石化工程公司于浦义高级工程师的热情帮助和指导，并于百忙之中仔细审阅了全书。同时，原中石化北京设计院的唐永进博士仔细审阅了书中的第四、第六、第七和第八章，并提出了宝贵意见。在此谨对两位专家以及曾支持过本书编写的朋友表示感谢。

随着压力管道安全监察规定的实施，相关的标准规范逐渐完善起来，从事这方面工作的技术人员的水平也在不断提高，因此有必要对本书中一些引用过时的标准规范进行更正，并逐渐增加一些内容的深度，使其能跟上读者的需要。本书在修订过程中，得到了SEI公司的张德姜教授级高工的指导，并于百忙之中审阅了全书内容。SKT公司的王斌工程师全面参与了本书的修订规程，并提供了许多有益的素材，在此谨表感谢。

由于编写时间仓促，作者知识水平有限，书中可能存在一些不足之处，敬请读者批评指正。

作者

# 目 录

第一章 绪论	( 1 )
第一节 压力管道的特点	( 1 )
一、压力管道的定义及分类	( 1 )
二、压力管道的特点	( 5 )
第二节 压力管道的研究范畴	( 6 )
一、设计	( 6 )
二、制造	( 11 )
三、安装	( 12 )
四、应用(运行)	( 12 )
第三节 压力管道的基本要求	( 13 )
一、安全性	( 13 )
二、经济性	( 14 )
第四节 关于压力管道的法规及规范	( 15 )
一、统领性法规文件	( 15 )
二、与设计有关的法规及规范	( 16 )
三、与制造有关的法规及规范	( 16 )
四、与施工/安装有关的法规及规范	( 16 )
五、与检验有关的法规及规范	( 16 )
六、与使用有关的法规及规范	( 16 )
第二章 应用标准体系	( 18 )
第一节 国际上常用的标准体系	( 19 )
一、德国及前苏联应用标准体系	( 19 )
二、美国及日本应用标准体系	( 20 )
三、国际标准化组织的应用标准体系	( 22 )
四、英国和法国应用标准体系	( 23 )
第二节 国内常用的标准体系	( 23 )
一、石化行业应用标准体系	( 24 )
二、化工行业应用标准体系	( 25 )
三、机械行业应用标准体系	( 26 )
四、中国国家应用标准体系	( 27 )
第三节 常用压力管道应用标准体系配伍表	( 28 )
附录 F2-1 常用的管子标准及其外径尺寸对比	( 30 )
第三章 管道材料	( 32 )
第一节 金属材料的基本知识 (一)	( 32 )

一、金属的微观结构	( 32 )
二、金属材料的基本性能	( 39 )
三、温度对金属材料性能的影响	( 42 )
四、常见元素对金属材料性能的影响	( 57 )
第二节 常用金属材料	( 63 )
一、常用黑色金属材料	( 63 )
二、常用有色金属材料	( 70 )
第三节 石油化工生产过程中常见的腐蚀环境	( 72 )
一、常见的腐蚀类型及其定义	( 73 )
二、常见的几种腐蚀介质	( 76 )
三、常见的几种腐蚀环境	( 82 )
第四节 压力管道常用金属材料的基本限制条件	( 101 )
一、一般限制条件	( 101 )
二、常用材料的应用限制	( 103 )
三、其他方面对材料的限制	( 105 )
第五节 常用非金属材料	( 106 )
一、常用工程塑料及其衬里管	( 107 )
二、常用橡胶衬里管子	( 110 )
三、其他非金属及其衬里管子	( 111 )
四、非金属材料及其衬里的设计与施工	( 112 )
附录 F3-1 常用金属材料的物理参数	( 113 )
<b>第四章 管道压力等级</b>	( 118 )
第一节 设计条件	( 118 )
一、设计压力	( 118 )
二、设计温度	( 119 )
第二节 影响管道压力等级确定的因素	( 120 )
一、影响公称压力等级确定的因素	( 120 )
二、影响壁厚等级确定的因素	( 121 )
第三节 压力等级的确定方法	( 125 )
一、管道压力等级确定的原则	( 125 )
二、公称压力等级的确定方法	( 126 )
三、壁厚等级的确定方法	( 128 )
第四节 特殊管道元件的强度设计	( 129 )
一、法兰强度设计	( 129 )
二、常用非标准管件的壁厚确定	( 136 )
三、管道的开孔补强	( 139 )
附录 F4-1 常用垫片的比压力 $y$ 和垫片系数 $m$	( 142 )
附录 F4-2 盲板或平盖封头的计算直径和结构特征系数	( 143 )

<b>第五章 管道元件应用</b> .....	(144)
<b>第一节 管子</b> .....	(144)
一、焊接钢管.....	(144)
二、无缝钢管.....	(146)
三、复合管和衬里管.....	(148)
四、其他类管子.....	(149)
<b>第二节 管件</b> .....	(149)
一、连接形式.....	(150)
二、对焊管件.....	(151)
三、承插焊和螺纹连接管件.....	(152)
四、其他管件.....	(155)
<b>第三节 法兰及紧固件</b> .....	(156)
一、法兰.....	(156)
二、螺栓/螺母.....	(156)
三、垫片.....	(157)
四、盲板、“8”字盲板、限流孔板和混合孔板.....	(159)
<b>第四节 阀门及其他管道设备</b> .....	(159)
一、对阀门的一般要求.....	(159)
二、闸阀、截止阀、止回阀.....	(163)
三、蝶阀、球阀、疏水阀.....	(166)
四、仪表调节阀和安全阀.....	(168)
五、其他管道设备.....	(169)
<b>第六章 管系静应力分析</b> .....	(171)
<b>第一节 静力分析的基础知识</b> .....	(171)
一、基本概念.....	(171)
二、管道元件变形的几种基本形式.....	(174)
三、强度理论.....	(180)
四、强度分析.....	(186)
<b>第二节 管系静应力的计算与评定</b> .....	(191)
一、管系静应力分析的目的及任务.....	(191)
二、管系静应力的分析方法.....	(192)
三、ASME B31.3 简单判断法.....	(195)
四、CAESAR II 详细应力分析法.....	(196)
<b>第三节 管系的热胀及柔性设计</b> .....	(206)
一、热膨胀的概念.....	(207)
二、管系柔性的概念.....	(209)
三、影响管系柔性的因素.....	(211)
四、管系的柔性设计.....	(212)
<b>附录 F6-1 常用管件的应力增强系数和柔性系数</b> .....	(217)



<b>第七章 管系动应力分析</b> .....	(219)
<b>第一节 机械振动理论</b> .....	(219)
一、基本概念.....	(219)
二、机械振动研究的目的是方法.....	(220)
三、机械振动理论.....	(221)
<b>第二节 往复压缩机管道的振动分析与设计</b> .....	(227)
一、第一振系的分析与设计.....	(228)
二、第二振系的分析与设计.....	(229)
三、第三振系的分析与设计.....	(233)
四、第五振系的分析与设计.....	(237)
五、管道振动设计的其他问题.....	(238)
<b>第三节 其他常见的管道振动设计</b> .....	(239)
一、两相流介质呈柱塞流时引起的管道振动分析及设计.....	(239)
二、水锤引起的管道振动分析及其设计.....	(240)
三、介质涡流引起的管道振动分析及设计.....	(241)
四、转动机械动不平衡引起的管道振动分析及设计.....	(241)
五、风载荷引起的管道振动分析与设计.....	(241)
六、地震载荷引起的管道振动分析及设计.....	(242)
<b>第四节 管道的低循环疲劳破坏及设计</b> .....	(242)
一、基本概念.....	(243)
二、低循环疲劳的分析与计算.....	(245)
三、低循环疲劳设计时应注意的问题.....	(247)
<b>附录 F 7-1 常见材料的设计疲劳曲线</b> .....	(248)
<b>第八章 管道支撑</b> .....	(250)
<b>第一节 概述</b> .....	(250)
一、管道支吊架的分类.....	(250)
二、支吊架的结构组成.....	(252)
<b>第二节 支吊架的型式选用</b> .....	(255)
一、一般选用原则.....	(255)
二、常用支吊架型式及其选用.....	(256)
三、弹簧支吊架.....	(264)
<b>第三节 支吊架的位置确定</b> .....	(271)
一、支吊架位置确定的原则.....	(271)
二、管道允许跨距的确定.....	(273)
<b>第四节 支吊架的载荷计算及强度设计</b> .....	(276)
一、载荷的分类及计算.....	(276)
二、管道支撑件的强度设计.....	(281)
<b>第九章 采购与制造</b> .....	(285)
<b>第一节 金属材料的基本知识 (二)</b> .....	(285)

一、冶炼方法及其对材料性能的影响	(285)
二、加工变形及其对材料性能的影响	(288)
三、热处理及其对材料性能的影响	(291)
第二节 检测技术	(299)
一、化学成分分析	(299)
二、机械性能试验	(300)
三、耐腐蚀性试验	(304)
四、宏观组织检验	(305)
五、微观组织检验	(308)
六、无损检测	(310)
第三节 管道及其元件的常用制造方法	(316)
一、铸造	(316)
二、压力变形加工	(319)
第四节 管道元件的采购和技术要求	(323)
一、编写询标技术文件	(324)
二、参加技术谈判	(325)
三、编写订货技术文件	(328)
四、中间技术资料确认	(328)
附录 F9-1 常用的检查试验标准	(330)
附录 F9-2 布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度对照表	(332)
<b>第十章 施工安装</b>	<b>(334)</b>
第一节 金属焊接的基本知识 (一)	(334)
一、金属焊接的分类	(334)
二、电弧焊接过程的金属理论	(338)
三、焊接接头缺陷	(343)
四、焊接接头的检查与试验	(348)
第二节 金属焊接的基本知识 (二)	(350)
一、焊接技术	(350)
二、常用材料的焊接	(358)
第三节 常用压力管道施工规范介绍	(361)
一、适用范围及管道分类	(362)
二、管道及其元件安装前的检验	(363)
三、管道的焊接与检验	(364)
四、管道的压力及密封试验	(367)
第四节 设计人员在施工中的任务	(370)
一、设计文件的技术交底	(370)
二、处理施工中与设计有关的技术问题	(371)
三、一些常见的施工问题	(372)
附录 F10-1 常用管道焊接坡口型式及尺寸	(376)

附录 F10-2 常用管道施工标准 .....	(377)
<b>第十一章 运行使用</b> .....	(379)
<b>第一节 运行前的检查</b> .....	(379)
一、竣工文件检查 .....	(379)
二、现场检查 .....	(385)
三、建档、标识及数据采集 .....	(387)
<b>第二节 运行中的检查和监测</b> .....	(391)
一、运行初期检查 .....	(391)
二、巡线检查及在线监测 .....	(393)
三、末期检查及寿命评估 .....	(393)
<b>第三节 压力管道事故的呈报及分析</b> .....	(396)
一、压力管道事故的呈报 .....	(396)
二、压力管道事故的分析 .....	(396)
三、工程引例 .....	(399)
<b>参考文献</b> .....	(400)

# 第一章 绪 论

1996年原国家劳动部以“劳部发[1996]140号”文发出“关于颁发《压力管道安全管理与监察规定》(以下简称《监察规定》)的通知”,标志着我国压力管道的管理进入了法制管理阶段。《监察规定》就压力管道的定义及压力管道的设计、制造、安装、使用、检验和修理改造等方面作出了安全管理和监察的框架规定,以期最大限度地减少压力管道运行中的事故发生,有效地保障压力管道的安全运行,保护人民生命和财产的安全。

在实际的生产实践中,压力管道安全事故时有发生。有文献报道,就我国的压力管道事故来说,有32%的事故是属于安全管理问题,其中因管理人员缺乏专业知识而造成的事故占比例约40%。另外,因管道元件(包括管子、管件、阀门等)制造质量问题而引发的事故占27.3%,安装/施工质量问题占18%(其中焊接质量问题占88.6%),设计问题占11%,腐蚀问题占10.6%。由此可见,压力管道的安全问题是一个系统问题,每一个环节都可能出现问题,而每一个环节出现问题,都会影响到压力管道的安全运行。因此,压力管道的安全管理应从每个环节抓起。建立、健全压力管道的安全管理制度,提高相关人员的技术水平和管理水平,是搞好压力管道安全管理的基础。

由于压力管道安全管理刚刚起步,许多从事这方面工作的技术人员对这一事物还不太了解,有关这方面的出版物也比较少。为了便于从事压力管道设计、制造、安装、使用、检验和修理改造的人员了解有关压力管道的基本知识和技术,特编写了本书,以满足他们的需求,同时相信它对《监察规定》的贯彻和实施也会有一定的帮助作用。

## 第一节 压力管道的特点

管道作为物料输送的一种特种设备在现代化工业生产和人民生活中起着很重要的作用,它就像人体中的血管一样,没有它,人的生命就不复存在。然而,实际应用的管道种类很多,使用工况也千差万别,影响因素和环节也比较多,管道事故时有发生,严重影响着人民的生命和财产的安全。为此,相关部门将那些操作工况苛刻、事故危害性较大的管道冠以压力管道,并制定出相应的法规进行管理。本章第四节给出了有关部门颁布的相关法律、法规、文件。

### 一、压力管道的定义及分类

《监察规定》明确指出:压力管道是指在生产、生活中使用的可能引起燃爆或中毒等危险性较大的特种设备,它具体指具有下列属性的管道:

a. 输送 GB 5044<sup>①</sup>《职业性接触毒物危害程度分级》中规定的毒性程度为极度危害介质的

<sup>①</sup> GB 5044 标准将介质的毒性程度分为四级,其最高允许浓度分别为:

极度危害(I级):  $< 0.1\text{mg}/\text{m}^3$ ;  
高度危害(II级):  $0.1 \sim 1\text{mg}/\text{m}^3$ ;  
中度危害(III级):  $1.0 \sim 10.0\text{mg}/\text{m}^3$ ;  
轻度危害(IV级)  $> 10.0\text{mg}/\text{m}^3$ 。

管道；

b. 输送 GB 50160<sup>①②</sup>《石油化工企业设计防火规范》及 GBJ 16《建筑设计防火规范》中规定的火灾危险性为甲、乙类介质的管道；

c. 最高工作压力大于等于 0.1MPa(表压,下同),输送介质为气(汽)体、液化气体的管道；

d. 最高工作压力大于等于 0.1MPa,输送介质为可燃、易爆、有毒、有腐蚀性的或最高工作温度等于高于标准沸点的液体管道。

e. 前四项规定的管道附属设施及其安全保护装置等。

其中,第 e 项中所述的“管道附属设施”是指压力管道体系中所用的管件(包括弯头、大小头、三通、管帽、加强管嘴、加强管接头、异径短节、螺纹短节、管箍、仪表管嘴、漏斗、快速接头等)、连接件(包括法兰、垫片、螺栓/螺母、限流孔板、盲板、法兰盖等)、管道设备(包括各类阀门、过滤器、阻火器、视镜等)、支撑件(包括各种类型的管道支吊架)和其他安装在压力管道上的设施。

为了便于《监察规定》的执行,就像压力容器那样宜将压力管道按不同的操作工况和不同的用途进行分类与分级,并针对不同类型、不同级别的压力管道,根据其危险性分别提出技术和管理方面的要求,分别进行安全管理。为此,国家质量监督检验检疫总局以国质检锅[2002]235号文颁发了《压力容器压力管道设计单位资格许可与管理规则》(以下简称《管理规则》),《管理规则》给出的压力管道分类、分级方法如下:

(1) 长输管道为 GA 类,级别划分如下:

a. 符合下列条件之一的长输管道为 GA1 级:

① 输送有毒、可燃、易爆气体介质,设计压力  $P > 1.6\text{MPa}$  的管道;

② 输送有毒、可燃、易爆液体介质,输送距离<sup>③</sup>  $\geq 200\text{km}$  且管道公称直径  $DN \geq 300\text{mm}$  的管道;

③ 输送浆体介质,输送距离  $\geq 50\text{km}$  且管道公称直径  $DN \geq 150\text{mm}$  的管道。

b. 符合下列条件之一的长输管道为 GA2 级:

① 输送有毒、可燃、易爆气体介质,设计压力  $P \leq 1.6\text{MPa}$  的管道;

② GA1②范围以外的长输管道;

③ GA1③范围以外的长输管道;

(2) 公用管道为 GB 类,级别划分如下:

燃气管道为 GB1 管道;

热力管道为 GB2 管道。

(3) 工业管道为 GC 类,级别划分如下:

- ① GB 50160 标准对可燃气体的火灾危险性分为甲、乙两类:  
甲类气体为可燃气体与空气混合物的爆炸下限  $< 10\%$  (体积);  
乙类气体为可燃气体与空气混合物的爆炸下限  $\geq 10\%$  (体积)
- ② GB 50160 标准对液态烃、可燃液体的火灾危险性按如下分类:  
甲<sub>A</sub>类: 15℃时的蒸汽压力  $> 0.1\text{MPa}$  的烃类液体及其他类似的液体;  
甲<sub>B</sub>类: 甲<sub>A</sub>类以外的可燃液体,闪点  $< 28\text{℃}$ ;  
乙<sub>A</sub>类: 闪点  $\geq 28\text{℃}$  至  $\leq 45\text{℃}$  的可燃液体;  
乙<sub>B</sub>类: 闪点  $> 45\text{℃}$  至  $< 60\text{℃}$  的可燃液体;  
丙<sub>A</sub>类: 闪点  $\geq 60\text{℃}$  至  $\leq 120\text{℃}$  的可燃液体;  
丙<sub>B</sub>类: 闪点  $> 120\text{℃}$  的可燃液体。
- ③ 输送距离指产地、储存库、用户间的用于输送商品介质管道的直接距离。

a. 符合下列条件之一的工业管道为 GC1 级:

- ① 输送 GB 5044《职业性接触毒物危害程度分级》中, 毒性程度为极度危害介质的管道;
- ② 输送 GB 50160《石油化工企业设计防火规范》及 GBJ 16《建筑设计防火规范》中规定的火灾危险性为甲、乙类可燃气体或甲类可燃液体介质且设计压力  $P \geq 4.0\text{MPa}$  的管道;
- ③ 输送可燃流体介质、有毒流体介质, 设计压力  $P \geq 4.0\text{MPa}$  且设计温度  $\geq 400^\circ\text{C}$  的管道;
- ④ 输送流体介质且设计压力  $P \geq 10.0\text{MPa}$  的管道。

b. 符合下列条件之一的工业管道为 GC2 级:

- ① 输送 GB 50160《石油化工企业设计防火规范》及 GBJ16《建筑设计防火规范》中规定的火灾危险性为甲、乙类可燃气体或甲类可燃液体介质且设计压力  $P < 4.0\text{MPa}$  的管道;
- ② 输送可燃流体介质、有毒流体介质, 设计压力  $P < 4.0\text{MPa}$  且设计温度  $\geq 400^\circ\text{C}$  的管道;
- ③ 输送非可燃流体介质、无毒流体介质, 设计压力  $P < 10.0\text{MPa}$  且设计温度  $\geq 400^\circ\text{C}$  的管道;
- ④ 输送流体介质, 设计压力  $P < 10.0\text{MPa}$  且设计温度  $< 400^\circ\text{C}$  的管道。

关于压力管道的分类、分级, 虽然《管理规则》已经给出了上述的分法, 但仍尚未达到统一分类并一贯性执行下去的目的。主要原因如下:

(1) 作为设计规范的 GB 50316 标准因先于《管理规则》出版, 故其分类、分级方法与《管理规则》不统一。管道分类、分级的目的在于根据管道的性质及危险性, 提出不同的设计、制造、安装、检验及使用的要求, 从而做到主次分明, 更加有效的、有针对性的进行安全管理。如果各个环节的分类、分级方法不统一, 就失去了连贯性, 不利于安全管理的实行。

GB 50316 标准等效采用了 ASME B31.3 标准的分类方法, 即简单的将流体分为 A1、A2、B、C、D 五类。详见表 1-1。

表 1-1 GB 50316—2000 的分类方法

流体类别	适用范围
A1 类	剧毒流体, 相当于 GB 5044 中极度危害毒物
A2 类	有毒流体, 相当于 GB 5044 中高度、中度和轻度危害毒物
B 类	能点燃并在空气中连续燃烧的流体, 这些流体在环境或操作条件下是气体或可闪蒸产生气体的液体
C 类	不包括 D 类流体的不可燃、无毒的流体
D 类	设计压力小于 $1.0\text{MPa}$ 、设计温度在 $-20 \sim 180^\circ\text{C}$ 的不可燃、无毒流体

这样主要通过流体性质将压力管道进行分类的方法过于简单, 因为压力管道的危险性除与流体性质有关外, 还与流体的压力和温度有关。

(2) 我国的压力管道标准体系归属不同部门管理, 各成体系, 相互衔接不够。如管道用阀门标准归阀门协会编制和管理; 钢管标准归钢铁协会编制和管理; 检验方法等标准归压力容器协会标准和管理; 设计标准多数归建设部编制和管理。而各行业协会如石化行业协会、全国化工行业协会也都编制了许多设计、元件应用、施工等标准。这些标准既有相互重复的地方, 又都构不成完整的体系, 因此造成了目前标准混乱的局面。这其中许多标准涉及到了压力管道分类及分级。由于这些标准多数都先于《管理规则》出版, 且又缺少统一管理, 故其分类、分级方法可谓五花八门。

(3) 许多学者对于《管理规则》的压力管道分类、分级方法存有疑义,认为其分类、分级方法仍然较粗,不能将流体的性质(包括毒性、易燃性、介质的腐蚀危险性等)、流体的压力、流体的温度(包括低温和高温)、管道所处的环境条件等更紧密地与管道级别挂钩,也不便于结合管道级别更有针对性的对设计、制造、安装、检验及使用等环节提出科学有效的技术要求和管理工作要求。与之相比,压力容器的分级方法显得更科学、更便于操作。

由国家质量监督检验检疫总局组织编写的《压力管道规范 工业管道》,提出了新的工业压力管道分类、分级的方法,它比《管理规则》的分类、分级方法更细,也将更便于操作。在此给出其分类、分级方法。

《压力管道规范 工业管道》将工业管道划分为4级,即GC1级、GC2级、GC3级、GC4级:

a. 符合下列条件之一的工业管道为GC1级:

① 输送GB 5044《职业性接触毒物危害程度分级》中,毒性程度如下所列介质的管道:

- a) 极度危害介质;
- b) 高度危害气体介质;
- c) 工作温度高于标准沸点的高度危害液体介质。

② 输送GB 50160《石油化工企业设计防火规范》及GBJ 16《建筑设计防火规范》中规定的火灾危险性如下所列,且设计压力 $P \geq 4.0\text{MPa}$ 的管道:

- a) 甲、乙类可燃气体;
- b) 甲类可燃液体(包括液化烃)。

③ 输送流体介质且设计压力 $P \geq 10.0\text{MPa}$ 的管道,以及设计压力 $P \geq 4.0\text{MPa}$ 且设计温度 $\geq 400^\circ\text{C}$ 的管道。

④ 设计温度低于 $-46^\circ\text{C}$ 的铁素体钢管道或设计温度低于 $-196^\circ\text{C}$ 的奥氏体钢、镍基合金、铜合金、铝合金管道。

b. 符合下列条件之一的工业管道为GC2级:

① 输送GB 5044《职业性接触毒物危害程度分级》中,毒性程度如下所列介质的管道:

- a) GC1级以外的高度危害介质;
- b) 中度危害介质。

② 输送GB 50160《石油化工企业设计防火规范》及GBJ 16《建筑设计防火规范》中规定的火灾危险性如下所列,且设计压力 $P < 4.0\text{MPa}$ 的管道:

- a) 甲、乙类可燃气体;
- b) 甲类可燃液体(包括液化烃)

③ 输送GB 50160《石油化工企业设计防火规范》及GBJ 16《建筑设计防火规范》中规定的火灾危险性如下所列的管道:

- a) 乙类可燃液体;
- b) 工作温度高于闪点的可燃液体。

④ 输送流体介质且设计压力 $P \geq 4.0\text{MPa}$ 或设计温度 $\geq 400^\circ\text{C}$ 的管道。

⑤ 输送流体介质且设计温度低于或等于 $-20^\circ\text{C}$ 但不低于 $-46^\circ\text{C}$ 的铁素体钢管道(不包括低温低应力工况管道)。

c. 符合下列条件之一的工业管道为GC3级:

① 输送 GB5044《职业性接触毒物危害程度分级》中, 毒性程度低于中度危害的流体管道;

② 输送 GB50160《石油化工企业设计防火规范》及 GBJ16《建筑设计防火规范》中规定的火灾危险性低于乙类可燃液体的管道。

③ 输送流体介质, 设计压力  $P < 4.0\text{MPa}$  且设计温度  $< 400^\circ\text{C}$  的管道。

d. 符合下列各项条件的工业管道为 GC4 级:

输送无毒、非可燃流体介质, 设计压力  $P \leq 1.0\text{MPa}$  且设计温度高于  $-20^\circ\text{C}$  但不高于  $+186^\circ\text{C}$  的管道。

## 二、压力管道的特点

实际的工业生产中, 所使用的压力管道种类是很多的, 以一套石油加工装置为例, 它所包含的压力容器不过几十台, 多者百余台, 但它包含的压力管道将多达数千条, 所用到的各种管道附件将达上万件, 而且这些管道及其元件往往分散于几十家甚至上百家生产厂制造。另外, 管道的安装又多是现场进行。因此, 与压力容器相比, 压力管道的安全管理要复杂的多。归纳起来, 压力管道与压力容器相比较, 具有以下主要特点:

1) 种类多, 数量大, 设计、制造、安装、应用管理环节多

我们知道, 环节越多, 出现问题的几率就越高; 环节越多, 影响因素就越多, 包容的信息量就越大, 从而造成压力管道安全管理和安全监察的多元性和复杂性。

2) 长细比大, 跨越空间大, 边界条件复杂

这表明管道的强度计算不能仅仅根据设计条件利用成熟的薄膜应力公式或中径公式来计算, 还应考虑与它相连的机械设备对它的要求, 中间支承条件的影响, 自身热胀冷缩和振动的要求等。因此, 在管道布置设计时除应满足工艺流程要求外, 还应综合考虑各相关设备、支撑条件、地理条件(对长输管道)、城市整体规划(对城市公用管道)等因素的影响。

3) 现场安装工作量大

压力容器基本上是在工厂制造的, 其制造环境条件和制造设备保证均较好。而压力管道现场安装工作量大, 环境条件较差, 因此安装质量相对较差, 从而要求投入更多的管理与监察。

4) 材料应用种类多, 选用复杂

压力容器用的较多的是板材和锻材, 而且也比较成熟。压力管道除用到板材和锻材之外, 还经常配套用到管材和铸件。对一些操作工况下要想配齐这些材料是比较困难的, 也就是说, 对于某一介质环境而选定的合适材料, 板材和锻材有时容易获得, 而铸件就不见得容易获得, 反之亦然。例如  $0\text{Cr}18\text{Ni}10\text{Ti}$  材料, 其管材、板材和锻材均容易获得, 而铸件却不容易获得, 这是因为材料中的钛元素极易被氧化, 而一般的铸造厂缺乏相应的保障手段使钛在铸造时不被氧化, 故 ASTM 材料标准中干脆不列这种材料的铸造牌号。基于这样的原因, 工程上有时不得不对同一管路上不同的元件取不同的材料, 从而导致异材连接等不利现象的出现。另外, 因为设备长细比较小, 它可以采用复合板材或堆焊层来解决防腐问题, 而管道则不易做到。有时, 同一根管道可能同时连接两个或两个以上的不同操作条件的设备, 因此管道选材要考虑对各设备的材料都能适应。

5) 管道及其元件生产厂的生产规模较小, 产品质量保证较差

许多管道元件的生产技术并不复杂, 生产设备要求也不高, 许多小的生产厂也能生产。



但它们当中有些技术力量较差,生产设备配置不全,生产管理也不健全,所以产品质量不易得到保证。

✱  
思  
考  
题  
✱

1. 什么叫压力管道?设计中常见的压力管道附属设施主要有哪些?
2. 《压力容器压力管道设计单位资格许可与管理规则》中是如何将压力管道进行分类分级的?
3. GB5044 标准对介质的毒性程度是如何分级的?
4. GB50160《石油化工企业防火设计规范》对可燃气体的火灾危险性是如何分类的?
5. GB50160《石油化工企业防火设计规范》对流态烃、可燃液体的火灾危险性是如何分类的?
6. 试述压力管道和压力容器相比有何特点?

## 第二节 压力管道的研究范畴

要实现一条压力管道安全、长周期地运行,同时又是最经济的,必须从设计、制造、安装和应用四个环节进行把握,而且缺一不可。所以对压力管道的研究也就是围绕着这四个环节进行的研究。

由上节的介绍可知,由于压力管道的操作条件、应用环境、应用时间、应用空间、制造和施工环节等方面的多样性,决定了管道研究的复杂性。它不仅涉及到金属材料学、金属腐蚀学、理论力学、材料力学、机械振动学、流体力学等基础学科,还涉及到了石油加工工艺学等工程学科。前者是研究问题的基础,而后者则是研究问题和解决问题的主题。显然,要全面、详细的在一本书中介绍这些问题是不现实的,而现实的工程中在各个环节上也都是有分工的。本书则试图从设计这个角度来介绍压力管道设计、制造、安装和应用等方面的基础知识和技术,这不仅因为设计这一环节贯穿了整个压力管道安全管理的全过程,而且它是实现压力管道技术先进、经济合理和安全可靠的基础。

### 一、设计

目前,在压力管道的工程设计中,无论是国内还是国外的工程公司或设计院,大家已普遍认同的是将压力管道工程设计分成管道布置、管道材料设计和管道机械设计三个部分,或者说分成这三个专业来完成。三个专业即相互独立又相互联系,它是一个内容中的三个分支,或者说是一个过程中的三个工序,管道材料设计是基础,管道布置是目的,而管道机械设计是保障。在过去的粗放型压力管道设计中,这种分工是不明确的,因此造成各设计单位对管道材料和管道机械方面研究的较少,从而使压力管道的设计表现为盲目性和经验性,而其科学性不足。目前,仍有许多设计单位对压力管道的管道材料和管道机械设计不够重视,人员也不配套。为此,中石化集团在压力管道设计认证中向各设计单位明确提出了应配置管道材料和管道机械专业专职或兼职技术人员的要求。作者认为这一要求是正确的、及时的,因为管道材料和管道机械设计是压力管道设计的基础和保障,又是目前大多数设计单位的薄弱环节。