

# 压力管道结构 有限元分析及安全技术

李振庆 刘景新 刘红星 魏明业 编著

YALI GUANDAO JIEGOU  
YOUXIANYUAN FENXI JI ANQUAN JISHU



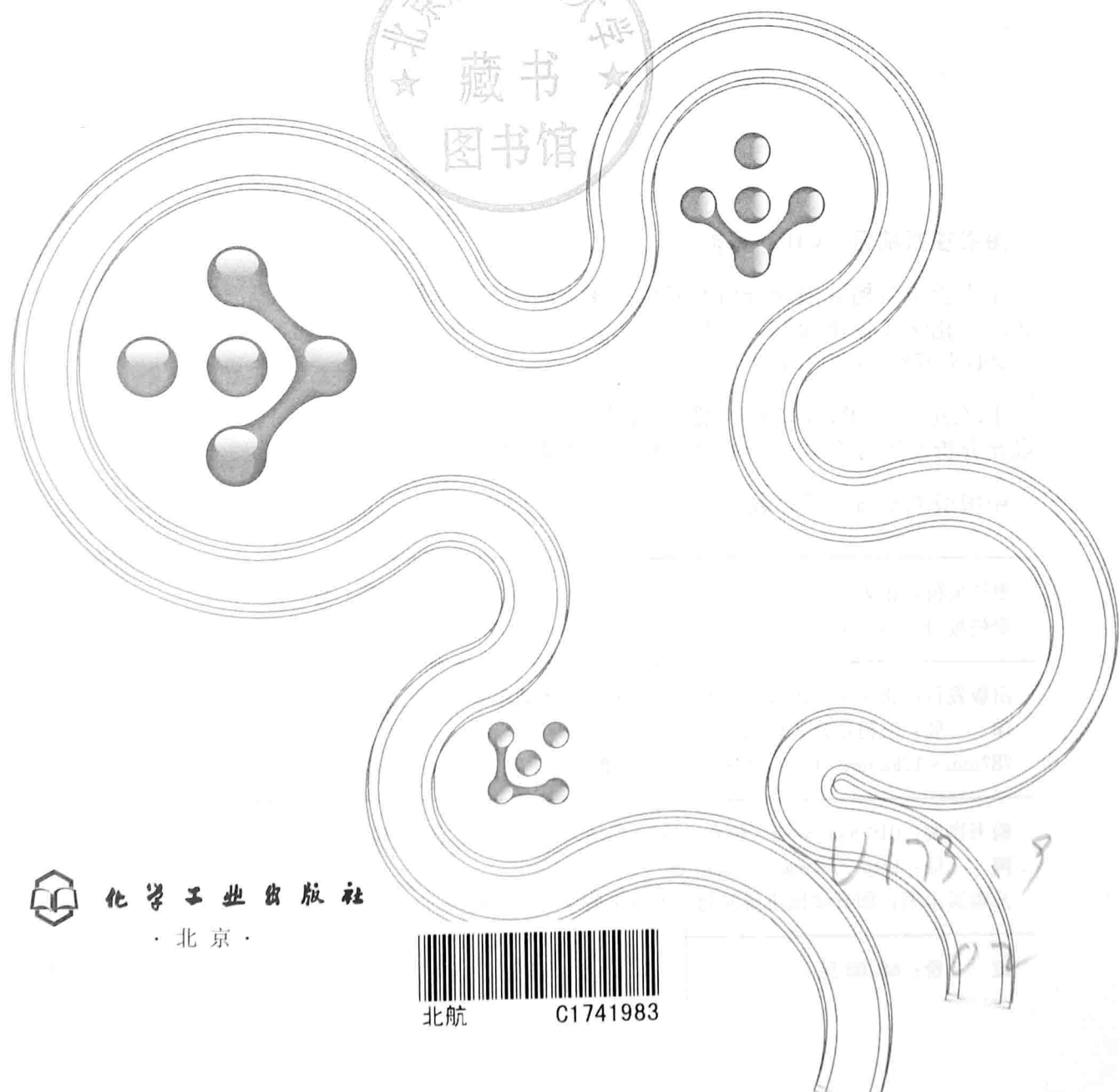
化学工业出版社

014056878

U173.9  
02

# 压力管道结构 有限元分析及安全技术

李振庆 刘景新 刘红星 魏明业 编著



化学工业出版社

· 北京 ·



北航

C1741983

U173.9  
02

878820110

本书采用理论分析与软件分析相结合的方法对涉及压力管道技术问题的分析方法进行了详细的介绍,使用了 ABAQUS 软件和 ANSYS Workbench 13.0 软件,对压力管道进行了线性静力分析、热应力分析、流固耦合分析、动态分析,同时结合压力管道的事故案例用有限元法对事故产生原因进行了分析,为避免类似事故的发生提供依据。书中所举的案例全都是实际压力管道或相关的实例,实用性强。

本书适合压力管理,压力容器设计、制造、使用、维修的工程技术人员使用,也可供高等院校相关专业师生参考。

普通工业 机械工业出版社

### 图书在版编目 (CIP) 数据

压力管道结构有限元分析及安全技术/李振庆等编著.  
北京:化学工业出版社,2014.7  
ISBN 978-7-122-20719-7

I. ①压… II. ①李… III. ①压力管道-结构分析-有限元分析②压力管道-安全技术 IV. ①U173.9②U179.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 100329 号

责任编辑:张兴辉  
责任校对:蒋宇

文字编辑:陈喆  
装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)  
印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张13 $\frac{3}{4}$  字数334千字 2014年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:68.00元

版权所有 违者必究

# 前 言

压力管道是生产、生活中广泛使用的可能引起爆炸或中毒等危险性较大的特种设备。压力管道分布极广，凡是流体输送的场合一般都用压力管道。石油、天然气的长距离输送，城镇燃气和公用动力蒸汽的输送，各种石油、化工工业生产装置等都使用大量管道。确保压力管道安全使用，对保障人民生命和国家财产的安全具有特殊的意义。有限元法是随着计算机技术的进步而被广泛应用到工程上的一种分析方法，大型通用有限元分析软件的出现和高性能计算机的普及极大地促进了有限元法在工程上的应用，有限元法能对几乎所有的工程问题进行分析，并得到比较准确的结果。在已经出版的大量介绍有限元分析软件使用方法的资料或书籍中将有限元理论、软件使用、结构分析与评价等内容有机地结合起来，面向工程应用的书籍尚不多见，而实际分析工作中显然涉及这些内容。随着技术的进步，对压力管道的安全监察要求越来越高，对压力管道使用过程中出现的各种缺陷及失效形式需要从不同的角度进行解释和判断。

本书中所举的案例全都是压力管道或与压力管道相关的例子，同时本书对压力管道安全技术方面的内容也进行了比较全面的阐述。有限元法作为一种通用的工具，本书中采用的有限元分析法也可以应用到其他工程领域。本书对有限元分析过程有非常详细的介绍和分析，非常适合技术人员学习有限元软件的使用。

本书采用理论分析与软件分析相结合的方法对涉及压力管道的问题的分析方法进行了详细的介绍。本书使用了 ABAQUS 软件和 ANSYS Workbench 13.0 软件，对压力管道进行了线性静力分析、热应力分析、流固耦合分析、动态分析，同时结合压力管道的事故案例用有限元法对事故产生原因进行了分析，为避免类似事故的发生提供依据。

鉴于编者水平所限，不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

# 目 录

第 1 章 压力管道概况 .....	1
1.1 国内外压力管道的安全形势及监察体系 .....	1
1.1.1 国内压力管道安全形势 .....	1
1.1.2 压力管道安全监察体制及工作特点 .....	3
1.2 压力管道的监察范围及分类、构成 .....	7
1.2.1 压力管道的安全管理与监察范围 .....	7
1.2.2 压力管道的分类 .....	7
1.2.3 压力管道的构成 .....	9
1.3 压管道安全技术的现状及展望 .....	13
1.3.1 压力管道安全技术现状 .....	13
1.3.2 压力管道安全技术展望 .....	21
第 2 章 有限元概述及在压力管道方面的应用 .....	23
2.1 有限元概述 .....	23
2.1.1 有限元的基本概念 .....	23
2.1.2 ANSYS 有限元软件简介 .....	25
2.1.3 ABAQUS 有限元软件简介 .....	26
2.2 有限元的基础理论 .....	28
2.2.1 结构静力学问题的有限元法 .....	28
2.2.2 结构动力学问题有限元方法 .....	37
2.2.3 结构非线性有限元法 .....	39
2.2.4 热传导问题有限元法 .....	43
2.2.5 流体力学分析有限元法 .....	50
第 3 章 压力管道的强度及应力分析 .....	55
3.1 压力管道的载荷和应力分类 .....	55
3.1.1 载荷 .....	55
3.1.2 应力分类 .....	55
3.1.3 一般压力管道应力需用值的限定 .....	56
3.2 压力管道的强度分析 .....	58
3.3 压力管道强度有限元分析实例 .....	63
3.3.1 弯管的有限元强度分析 .....	63
3.3.2 三通强度有限元分析 .....	71
3.3.3 斜接弯管强度有限元 .....	72
3.3.4 异径管强度有限元分析 .....	73
3.3.5 不同单元性能的比较 .....	74
第 4 章 压力管道振动分析 .....	76
4.1 压力管道的振源分析及振动类型 .....	76
4.2 往复式机械进、出口管道的振动分析 .....	77
4.2.1 平面波动理论 .....	78



4.2.2	转移矩阵	79
4.2.3	气柱固有频率与共振管长	81
4.2.4	气流脉动	83
4.2.5	管道的固有频率与减振	85
4.3	管道的动态分析实例	87
4.3.1	管系的频率提取分析	87
4.3.2	管系瞬时模态动态分析	94
<b>第5章</b>	<b>压力管道焊缝的残余应力分析</b>	<b>100</b>
5.1	焊缝残余应力的分布	100
5.1.1	横向应力	100
5.1.2	纵向应力	101
5.1.3	厚板中的残余应力	102
5.1.4	圆筒纵焊缝、环焊缝中的残余应力	104
5.2	残余应力对管道的影响	105
5.2.1	残余应力对疲劳特性的影响	106
5.2.2	焊接残余应力对结构刚度的影响	108
5.2.3	焊接残余应力对静载强度的影响	110
5.2.4	焊接残余应力对应力腐蚀开裂的影响	110
5.2.5	焊接残余应力的消除	112
5.3	焊接残余应力的有限元分析	114
5.3.1	问题描述	114
5.3.2	模型的创建	115
5.3.3	定义材料、截面属性和装配件	116
5.3.4	设置分析步	117
5.3.5	定义温度场	117
5.3.6	定义边界条件	117
5.3.7	网格划分	118
5.3.8	提交分析作业	119
5.3.9	后处理	120
<b>第6章</b>	<b>压力管道的流体动力学分析</b>	<b>122</b>
6.1	流体动力学基础	122
6.1.1	理想流体运动的微分方程	122
6.1.2	质量守恒方程	123
6.1.3	动量守恒方程	124
6.1.4	能量守恒方程	124
6.1.5	湍流模型	124
6.2	流体动力学分析的流程	125
6.3	基于 Fluent 的弯管的流体动力学分析	126
6.3.1	问题描述	126
6.3.2	启动 Workbench 并建立分析项目 (Fluent)	126
6.3.3	导入几何体	127
6.3.4	划分网格	128
6.3.5	网格检查与处理	133
6.3.6	设置物理模型和材料	135

6.3.7	设置操作环境与边界条件	136
6.3.8	设置求解方法和控制参数	138
6.3.9	设置监视窗口和初始化	139
6.3.10	求解和退出	141
6.3.11	计算结果的后处理	142
6.3.12	保存与退出	146
6.4	基于 CFX 的弯管流体动力学分析	147
6.4.1	建立分析项目 (CFX)	147
6.4.2	划分网格 (CFX)	148
6.4.3	设置网格分析类型	149
6.4.4	设置流体域参数	150
6.4.5	设置边界条件	152
6.4.6	设置求解器	154
6.4.7	设置输出控制	155
6.4.8	运行求解器	157
6.4.9	计算结果的后处理	157
6.4.10	保存与退出	157
<b>第 7 章</b>	<b>压力管道的事故分析</b>	<b>160</b>
7.1	压力管道的破坏形式	160
7.1.1	压力管道破坏形式的分类	160
7.1.2	压力管道破坏的分析方法	160
7.2	几种常见压力管道破坏形式的破坏过程	161
7.2.1	韧性破坏	161
7.2.2	脆性破坏	164
7.2.3	腐蚀破坏	166
7.2.4	疲劳破坏	171
7.2.5	蠕变破坏	173
7.3	压力管道的事故分析	174
7.3.1	事故的现场处理	175
7.3.2	技术检验和鉴定	176
7.3.3	事故综合分析	177
7.4	事故案例有限元分析	180
7.4.1	埋地天然气管道断裂故障诊断分析	180
7.4.2	循环流化床锅炉过热器爆管诊断分析	184
<b>第 8 章</b>	<b>在用压力管道的安全管理和定期检验</b>	<b>188</b>
8.1	压力管道安全管理的工作要点及主要措施	188
8.1.1	压力管道管理机构与职责	188
8.1.2	压力管道的档案管理	190
8.1.3	压力管道状况分析和参数的统计	191
8.2	压力管道的定期检验	191
8.3	压力管道的检验方法	193
8.3.1	资料审查	194
8.3.2	宏观检查	194
8.3.3	测厚检验	194

8.3.4	无损检测 .....	195
8.4	压力管道的定期检验方案优化及修理后检验 .....	199
8.4.1	压力管道的定期检验方案优化 .....	199
8.4.2	压力管道的修理后检验 .....	201
8.4.3	压力管道未焊透缺陷安全评定 .....	202
8.4.4	压力管道腐蚀减薄后的评价 .....	204
8.5	公用管道的检验 .....	205
8.5.1	公用管道年度检验的项目与要求 .....	205
8.5.2	公用管道全面检验的项目和要求 .....	206
8.5.3	管道内检测 .....	209
<b>参考文献</b> .....		210

152 5.1.2... 第五中... ..

154 5.1.4... ..

155 5.2... ..

157 5.2.1... ..

157 5.2.2... ..

157 5.2.3... ..

160 5.2.4... ..

160 5.2.5... ..

160 5.3... ..

160 5.3.1... ..

161 5.3.2... ..

161 5.3.3... ..

164 5.3.4... ..

166 5.3.5... ..

171 5.3.6... ..

173 5.3.7... ..

174 5.3.8... ..

175 5.3.9... ..

176 5.4... ..

177 5.5... ..

180 6.1.1... ..

180 6.1.2... ..

181 6.1.3... ..

188 6.1.4... ..

188 6.1.5... ..

188 6.2... ..

190 6.3... ..

191 6.3.1... ..

191 6.3.2... ..

193 6.3.3... ..

194 6.3.4... ..

194 6.3.5... ..

194 6.3.6... ..



# 第 1 章 压力管道概况

本书所指的压力管道是 1996 年 4 月由原国家劳动部颁布的《压力管道安全管理与监察规程》限定范围内的管道。这里所说的管道不仅是简单意义上的受压管道，还包括使用中可能引起燃爆或中毒等危险性较大的特种设备。蒸汽管道，有毒、易燃、易爆介质的管道，煤气、天然气管道，长输石油、天然气管道，管内介质压力达到 0.1MPa 的管道都是压力管道。如管内介质是容易引燃、爆炸和强腐蚀性的介质，即使是常压，该管道仍作为压力管道管理；输送无毒、不可燃、无腐蚀性介质，只有压力大于 1.6MPa 时才按压力管道管理。在现代社会生活中压力管道的使用极为广泛，所以保证压力管道的安全运行意义十分重大。

## 1.1 国内外压力管道的安全形势及监察体系

在国际上，管道运输是与铁路、公路、水运、航空并列的五大运输方式之一。压力管道是在一定温度和压力下，用于运输流体介质的特种设备，广泛用于石油化工、冶金、电力等行业生产及城市燃气和供热系统等公用生活之中。这些介质有些是易燃、易爆、有毒的或对环境有破坏作用，一旦泄漏不仅会造成人员伤亡和财产损失，而且会严重污染环境进而造成巨大的经济损失，有时候还会影响附近居民的正常生活。随着工业生产的发展及城市燃气和热力管网的普及，各类管道的数量不断增加，特别是运输可燃、易爆及对人体和环境有害介质的管道数量逐年递增，这也使发生事故的可能性增大。

鉴于压力管道的上述特点和在经济、社会生活中特殊的重要性，其安全问题早已受到安全监察机构的重视。早在 1989 年，原劳动部锅炉压力容器安全监察局就已组织有关单位开展了三年的调查活动。调查结果表明，压力管道的安全管理应依法展开，在我国开展压力管道的安全监察是完全有必要的。通过强制性的国家监察，使压力管道如同锅炉压力容器一样，作为特种设备对待，指定专门的机构负责锅炉压力容器及压力管道的安全监察工作，并拟定一系列法规、规范、标准，供从事压力管道的设计、制造、安装、使用、检验、修理、改造等方面的工作人员共同遵循，并监督各环节对规范的执行情况，从而逐渐形成压力管道安全监察或监督管理体制，目的是使锅炉压力容器、压力管道事故控制到最低的程度。

### 1.1.1 国内压力管道安全形势

压力管道分布极广，但至今人们对它的安全性尚不十分重视。油、气输送管线、管道是工程的主体，在设计、制造、安装等方面应比较重视。但工业管道在装置中与主体设备相比就显得很简单，对其重视的程度显然不能与对主要机器、设备的重视程度相比。在设计、制造、安装、检验、运行、维护与检修等各个环节都不同程度地存在一些问题。在我国，压力容器与锅炉安全管理已建立有一整套安全保证体系，质量技术监督部门与各主管部门都有相应的管理规范，近年来安全事故已大为减少。但压力管道安全管理尚有不少漏洞，安全事故时有发生，造成的经济损失和人员伤亡事故相当严重。

压力管道应用极广，化工、石油、制药、能源、航空、环保、钢铁、公用工程等各类工业企业都不同程度地用到压力管道。长期以来，一方面由于对压力管道安全管理的认识不足，另一方面由于压力管道安全管理的复杂性，所以至今还没有形成一个完善的压力管道安

全管理体系，多年来一直处于部门分割管理的状态，由于各行业使用的压力管道输送的介质不同，工作压力、温度不同，在生产环节中所处的位置不同，管理技术队伍的素质不同，因此安全技术管理水平差异很大。压力管道的安全管理相对于锅炉、压力容器，在法律、法规、标准规范的建设方面均不够完善，各行业自行设计、制造、安装、检验、运行管理等的各个环节自成体系，制定了一些行业标准。除长输管道和城市燃气管道外，压力管道从属于压力容器一并管理。不少企业的压力管道管理处于从属位置，有的甚至处于有机构无人员的状态。随着市场经济的发展，企业自主性加强，主管部门对企业的约束力减弱，疏于管理的现象不同程度地存在。下面仅以石化、冶金、化工、电力系统工业管道和城市燃气管道、石油天然气运输管道为例分析我国压力管道安全形势，这些行业是压力管道比较集中的行业，管道的使用管理情况基本反映出我国压力管道的安全状况。

#### (1) 石化系统

石油化工生产具有高温高压、易燃易爆、有毒有害、技术密集和连续生产的特点，对安全生产比较重视，先后颁布了《工业管道维护检验规定》和《工业管道技术管理规定》，使压力管道的安全管理有章可循。根据上述规定，有关使用单位对压力管道建立技术档案，实行定期检验和巡检制度，多数企业建有锅炉压力容器检验站并从事压力管道的定期检验工作。

检验后的管道发现的问题大部分是焊接质量问题，约占总缺陷的80%以上。因此加强管道安装施工环节的质量监督很有必要。目前石化系统对于易燃易爆管道的设计和施工普遍予以重视。

#### (2) 冶金系统

压力管道中氧气管道是钢铁企业使用较多且危险性较大的管道，因设计不合理，选用材料不当和违反操作规程的误操作而引发的管道爆炸事故时有发生。为此，原冶金部颁发了《钢铁企业氧气管网的若干技术规定》和《氧气安全规程》，对氧气管道的安全起到了重要的作用。

#### (3) 化工系统

化工系统的压力管道主要集中在化肥生产企业。一个30万吨合成氨厂就要有工艺管道约70km，焊口5万多个，各类管件约2万件。化工系统压力管道的安全问题主要集中在中小型化肥厂，管道事故较多。

化工系统对高压管道的管理仍是比较严格的，原化工部曾颁布《化工高压工艺管道保护检修规程》和《化工企业压力管道管理规定》。依照规定，许多企业对高压管道建立了档案并实行定期检查制度，一些大型企业设立锅炉压力容器检验站，检验项目包括压力管道的定期检验。

#### (4) 电力系统

电力系统是我国压力管道管理较为严格和完美的行业，由于火力发电厂压力管道拥有高温、高压、危险性较大的特点，电力部门从20世纪60年代开始对介质工作温度大于或等于450℃或介质工作压力大于5.88MPa的汽水管道和部件开展了安全监察工作，并于1983年颁布了《火力发电厂安全技术监督规程》，对高温高压的部件提出了安全要求，从而保证了安全运行。从发生的事故看，主要原因是腐蚀减薄，大多是发生在超期服役的管线上。不同时期安装的管线，受当时历史条件的制约，不同程度地存在质量问题，致使管道存在先天缺陷。据火力发电厂高温高压蒸汽管道事故调查统计，78%的管子故障、76%的阀门故障、54%的三通故障、60%的弯管故障、75%的焊缝故障，是由制造和安装质量问题所引起的。

#### (5) 城市燃气管道

近年来，随着“西气东输、海气登陆、海外进口、陆气补充”的天然气多元化供应格局

的形成,我国城市燃气结构开始发生重大改变,天然气在城市燃气行业中所占的比例逐步增大。2013年,中国天然气产量1210亿立方米,同比增长9.8%;天然气进口量534亿立方米,同比增长25.6%。

城市燃气迅速发展,不仅极大地便利了大众生活,提高了人们的生活质量,还大大地降低了空气污染,提高了城市环境质量。与此同时,随着城市燃气事业的发展,燃气管道迅速增加,其安全问题越来越引起人们的重视。改革初期,我国城市燃气管道输配系统大多数是低压管道枝状输配系统。近几年来,依附技术提高,引进消化接收了许多国外先进的燃气生产与输配技术,城市燃气的输配系统由低压管网发展到高、中、低压三级环网,加强了安全供气的牢靠性。由于燃气种类的变化,钢管和高密度聚乙烯管的用量呈回升趋势,燃气管道的设计、安装技术发生变更,技术要求日益提高。

燃气管道的特点是:多埋于地下,经过人口密集区,施工与检验、检修难度较大;因地理条件的限制及外界原因,易发生火灾、爆炸或中毒事故,可能造成较大的社会影响及危害。为保证城市燃气管道的安全运行,国家建设部于1983年颁布了《城市燃气安全管理暂行规定》;1986年发出《加强城市煤气安全工作的通知》;1990年颁布了《城市燃气输配工程施工及验收规范》,其中要求凡从事燃气管道焊接的焊工,必须经过考核合格并取得劳动部门锅炉压力容器安全监察机构颁发的合格证书;1991年国家建设部、劳动部、公安部联合颁布了《城市燃气安全管理规定》,对燃气管道的安全提出了明确要求。

#### (6) 石油天然气输送管道

我国的长输管道主要是原油管道、天然气管道和成品油管道。我国陆上石油运输基本上实现了管道运输。随着陕北及新疆等地气田的开发,天然气产量将逐步增长,输气管道数目也会迅速增加。从石油工业的发展趋势看,成品油管道有着广阔的发展前景。因为管道运输有着安全、经济等特点,随着我国经济的发展,在今后的一段时期内,我国成品油管道将会有很大的发展,这对管道安全将提出更加严格的要求。

### 1.1.2 压力管道安全监察体制及工作特点

#### 1.1.2.1 压力管道安全监察体制

我国的压力管道安全监察工作与国外工业发达国家相比,历史较短。这项工作是在1994年政府机构改革后开展起来的。将压力管道如同锅炉压力容器一样,作为具有爆炸危险的特种设备对待,纳入锅炉压力容器安全监察体系,并设专门机构进行监督管理,在原有的锅炉压力容器安全监察职能中增加压力管道安全监察职能。1994年政府机构改革时新成立了压力管道安全监察处,设在当时的劳动部职业安全卫生与锅炉压力容器监察局。在1994年的机构改革中将压力管道的安全监察职能随锅炉压力容器划归国家质量技术监督局,成立了压力管道与特种设备处,负责压力管道的安全监察工作。

压力管道与特种设备处的主要职责是:

- 对压力管道和特种设备(包括起重机、电梯、客运架空索道、厂内机动车辆、游艺机及游乐设施、防爆电器等)的设计、制造、安装、使用、检验、修理、改造等环节以及所用材料、安全附件实行安全质量监察监督工作,开展使用环节的现场安全监察工作。
- 研究拟订压力管道与特种设备安全质量监察监督工作规划、计划,并组织实施工和监督检查。
- 参加有关法规、标准的起草和审定工作。
- 综合管理压力管道与特种设备设计、制造、安装单位以及有关中介组织的资格认可工作,颁发许可证和安全注册证书。
- 组织重大事故的调查、处理和批复,提出预防措施。
- 负责指导全国压力管道特种设备标准化技术委员会工作。

- 承担压力管道和特种设备有关的社团业务指导和协调工作。
- 指导地方开展压力管道和特种设备的安全质量监察监督工作。

除在国家质量技术监督局设立压力管道与特种设备处以外，国家在各级人民政府质量技术监督行政部门的锅炉压力容器安全监察机构中增加压力管道安全监察职能。这些机构负责所辖地区的压力管道安全监察工作。作为压力管道安全监察工作的技术支持，还有许多技术研究和检验单位从事压力管道的技术检验和安全评定工作，以及有关压力管道安全技术问题的研究。安全监察行政机构和技术机构有机地结合起来，构成压力管道的安全监察体系。

#### 1.1.2.2 工作特点和基本做法

压力管道安全是一门系统工程。实行压力管道安全监察是为了达到预防事故，保证安全运行，促进安全生产之目的。因此不能只从个别环节着眼，而应逐步建立健全安全监察体系。对压力管道从设计、制造、安装、使用、检验、修理、改造的整个过程实行全面监察，建立起中国的压力管道安全监察工作体系。

压力管道的安全监察职能划归质量技术监督系统后，除了应继续做好安全监察工作外，还应加强质量监督工作。主要工作有：组织起草有关法规和行政规章，进行有关综合管理工作，同时进行监督检查。

保证压力管道的设计符合安全技术要求是安全监察的第一步，合理的设计是压力管道安全使用的前期保证。压力管道设计环节的安全监察采取的办法是：对压力管道设计单位审查条件进行资格认可，由主管部门批准，报同级安全监察机构备案。未经备案的压力管道设计单位，不准从事压力管道设计工作。

具体做法是对压力管道用管子、管件、阀门、法兰、补偿器、安全保护装置等产品制造单位实行安全注册制度。由制造单位按有关规定向安全监察行政部门提交申请报告；安全监察行政部门受理其申请后委托评审机构对制造单位的质量保证体系、人员、工装设备等进行评审，经审查合格的制造单位，由受理安全注册申请的行政部门向制造单位颁发《压力管道元件制造单位安全注册证》，允许使用安全标记钢印 GA。取得安全注册的制造单位必须在产品上标注安全标记。无安全标记的产品，不得使用。

实施安装资格认可制度，经评审机构评审合格后，分别由国家和省级安全监察行政部门颁发压力管道安装许可证。为了提高压力管道安装质量，由有资格的检验单位对新建、扩建、改建的压力管道安装工程实施安装质量监督检验。

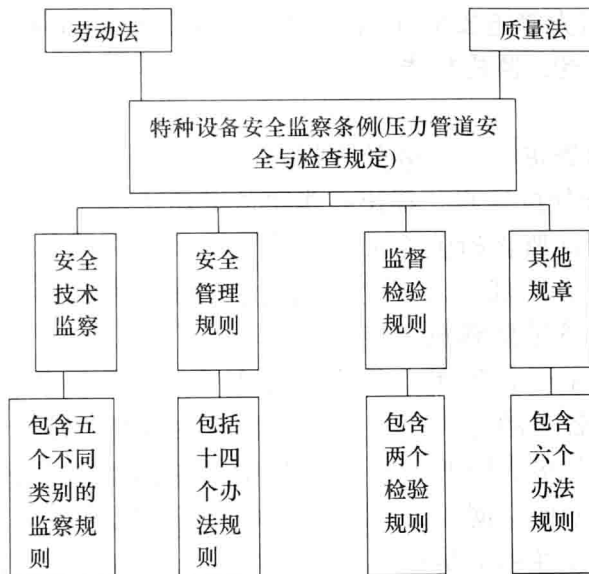
使用环节的安全监察具体做法是：督促压力管道使用单位建立压力管道安全管理制度；严格落实登记建档制度；对压力管道操作人员进行培训考核发证；建立巡线检查制度；督促使用单位制订压力管道定期检验计划并安排检验和检修工作。

对检验单位进行资格认可，对检验人员进行培训考核发证，促使提高检验工作质量，提高定期检验率，及时发现和消除事故隐患，保证安全运行。主要是对修理、改造质量的监督。要求修理和改造压力管道的单位必须具备必要的工装设备、技术力量和检验手段。

压力管道安全立法是安全监察与管理的一项基础工作，同时也是安全监察与管理活动的依据。因此，压力管道安全监察机构一经设立，即着手开始了各项规章的起草工作，并提出了压力管道法规标准体系表。该法规标准体系表描述了压力管道法规标准的立法规划及制度框架，是压力管道法规、标准编写与工作的规划性文件。

压力管道法规标准体系表参考了国外发达国家的法规标准体系，并参照了锅炉压力容器法规标准体系；同时结合我国压力管道安全状况特点，根据设想的安全监察与安全管理模式而提出来的。





上图表示了从压力管道法规体系的结构层次上分为法律（劳动法、质量法）、行政法规（特种设备安全监察条例，目前为《压力管道安全管理与监察规定》）、规章（规程、规则、办法等）三个层次；内容上又有安全技术规程、安全管理规则、监督检验规则及其他规章四个系列。这四个系列的规章，又包含了若干个规程、办法、规则、细则等具体规定。现分述如下。

① 压力管道安全技术监察规程。该规程目前正在起草过程中，将对压力管道的设计、元件制造、材料、安装、使用、检验以及事故处理各环节提出具体技术要求。包括三个不同分类的分篇：工业管道、公用管道、长输管道。

② 在用压力管道安全技术检验规程。

③ 安全管理规则（包括了13项规则和办法）。

a. 压力管道设计单位资格认可及管理规则。该规则规定了从事压力管道设计单位应达到的条件，设计资格的分级、申请、受理、审查、批准发证程序，各有关管理部门的责权。

b. 压力管道元件制造安全注册办法。规定压力管道元件制造单位资格认可的程序。

c. 压力管道安装单位资格认可办法。规定压力管道安装单位资格认可的要求及程序。

d. 在用压力管道使用登记办法。规定压力管道使用登记的要求。

e. 锅炉压力容器压力管道焊工考试规则。在原《锅炉压力容器焊工考试规则》中补充压力管道的内容要求，如PE管焊接。

f. 锅炉压力容器压力管道无损检测人员资格鉴定考核规则。在原考核规则中补充压力管道的内容。

g. 锅炉压力容器压力管道检验员资格鉴定考核规则。在原规则中补充压力管道的内容。

h. 锅炉压力容器压力管道检验机构资格认可规则。在原规则中增补压力管道检验资格项目。

i. 压力管道使用单位管理和操作人员考核规则。规定操作人员必须经过培训考核，持证上岗，以及考核办法、考核内容、考核程序等。

j. 压力管道元件制造单位安全注册评审员考核办法。规定评审员应具备的条件、考核内容、方法、程序等。

k. 压力管道安装单位资格认可评审员考核办法。

l. 压力管道元件制造单位安全注册评审单位资格。

m. 压力管道形式试验单位资格认可办法。规定相应的压力管道元件制造形式试验单位应具备的条件、认可内容、程序等。



④ 监督检验规则。压力管道安装工程安全质量监督检验规则。规定压力管道安装中监督检验要求、种类、监检点、监检报告等。

⑤ 其他规章。包括：

- a. 锅炉压力容器压力管道设备事故处理规定。
- b. 压力管道事故调查分析导则。提出各类事故分析方法。
- c. 进出口压力管道元件监督检验方法。
- d. 入户燃气管道安全管理规定。规定居民用燃气管道设计、安装、定期检查要求。
- e. 锅炉压力容器压力管道监察员考核办法。

压力管道标准的结构主要是以工业管道、公用管道、长输管道三大管理领域为主。目前，在这三个领域中使用各自的标准。另外加上通用性标准，如管子、管件、阀门等。制订一项标准需要考虑的因素是多方面的。在技术上应该体现成熟的技术成果，反映当前的技术水平；管理上应力求尽量简便；同时还要考虑技术经济问题，在理想的管理标准和经济效益之间选择最佳点，而法规标准制定是一个较为复杂和长期的过程，是各方面利益进行磨合的过程。在法规标准制定过程中，政府部门主要起组织协调作用，组织规范委员会，成立起草小组，筹集所需经费，制订编写计划，检查进度等。起草人员应是社会上公认的技术专家，以保证法规标准编写水平。标准完成后也要定期活动，解答执行中的问题，以减轻行政部门的工作压力。在编制法规标准体系时，主要以适宜的范围和实施对象为考虑因素，做到不交叉，以避免产生矛盾。法规标准的质量主要靠广泛征求意见来保证。另外，根据我国对特种设备监察管理的现状，在制定压力管道法规时尽量考虑靠拢现行的锅炉压力容器法规体系，对于共性的要求和做法，建立统一的法规制度，在现行的管理办法中增加压力管道的内容，以取得事半功倍的效果。

#### 1.1.2.3 主管部门和使用单位的职责

对压力管道的安全管理和监察，质量技术监督部门要与各主管部门协同进行。压力管道的安全管理工作由主管部门与使用单位负责，压力管道的安全监察由质量技术监督部门负责。

主管部门的职责主要有：

① 贯彻执行有关安全法律、法规和压力管道的技术规程、标准，建立、健全本部门压力管道安全制度。

② 组织审定本部门新建、改建、扩建压力管道工程项目设计，督促检查施工质量，并组织竣工验收。

③ 制订本部门压力管道安全管理的年度计划和长期规划，组织并帮助有关单位对压力管道重大事故隐患进行检查、安全评估和整改，消除隐患，保障安全。

④ 及时报告压力管道事故，并参加或组织事故调查和处理。

⑤ 组织本部门压力管道安全检查、考核，总结、交流、推广压力管道先进的安全科学技术和安全管理工作经验。

⑥ 开展压力管道安全宣传教育，组织对压力管道安全管理人员的培训。

压力管道使用单位的职责：

① 贯彻执行有关安全法律、法规和压力管道安全管理制度。

② 安排专职或兼职专业技术人员负责压力管道安全管理工作。

③ 按国家有关规定验收新建、改扩建的压力管道。

④ 建立技术档案，并到企业所在地的地（市）级或其委托的县级质量技术监督部门登记。

⑤ 对压力管道的操作人员、检查人员组织安全技术培训。

⑥ 制订压力管道定期检验计划，安排附属仪器仪表、安全保护装置、测量调控装置的

定期校验和检修工作。

⑦ 对事故隐患及时采取措施整改，重大事故隐患应以书面形式报告省级以上（含省级）主管部门和质量技术监督部门。

⑧ 对输送可燃、易爆或有毒介质的压力管道应建立巡线检查制度，制订应急措施和救援方案，根据需要建立抢险队伍，并定期演练。

⑨ 按有关规定及时、如实地向主管部门和当地质量技术监督部门报告压力管道事故，并协助做好事故调查和善后处理工作。

## 1.2 压力管道的监察范围及分类、构成

### 1.2.1 压力管道的安全管理与监察范围

本书中压力管道限于原劳动部 1996 年 4 月颁布的《压力管道安全管理和监察规定》限定的范围，是指在生产、生活中使用的可能引起燃烧爆炸或中毒的等危险性较大的特种设备，按其用途划分为工业管道、公用管道和长输管道。

具备下列条件之一的管道及附属设施属压力管道：

① 输送 GB 5044《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、乙类介质的管道。

③ 最高工作压力大于或等于 0.1MPa（表压，下同），输送介质为气（汽）体、液化气体的管道。

④ 最高工作压力大于或等于 0.1MPa，输送介质为可燃、可爆、有毒、有腐蚀性的或最高温度高于或等于标准沸点的液体的管道。

⑤ 前四项规定的管道的附属设施及安全保护装置等。

不包括下述管道：

① 设备本体所属管道（该类管道的安全管理与监察按有关规定执行）。

② 军事装备、交通工具上和核装置中的管道。

③ 输送无毒、不可燃、无腐蚀性气体，其管道公称直径小于 150mm，且其最高工作压力小于 1.6MPa 的管道。

④ 入户（居民楼、庭院）前的最后一道阀门之后的生活用燃气管道及热力点之后（不含热力点）的热力管道。

### 1.2.2 压力管道的分类

压力管道根据不同的特性有各种不同的分类方法。根据管道承受内压的不同可以分为真空管道、中低压管道、高压管道、超高压管道；根据输送介质的不同分为蒸汽管道、燃气管道、工艺管道等。其中工艺管道又以所输送介质的名称命名为各种管道，按材料分有合金钢管道、不锈钢管道、碳钢管道、有色金属管道、非金属管道和复合材料管道等，其中又包含多种不同材料，如有色金属管道中有铜管道、铝管道等，复合管道有金属复合管道；非金属复合管道、金属与非金属复合管道等。从设计或施工要求、安全管理不同角度出发，由于压力管道所处环境不同，组成结构千差万别，若用同样的高标准要求所有压力管道，难免有不合理的情况出现。我国不同部门根据不同情况分别对所管辖的压力管道进行分类管理。原劳动部从压力管道监察的需要出发，在《压力管道安全管理和监察规定》中，界定了压力管道管理范围后又将压力管道分为工业管道、公用管道和长输管道三类。根据三类管道特点提

出不同的安全监察制度和相应的安全管理办法。

在国家质量监督检验检疫总局颁布的 TSG D7003—2010《压力管道定期检验规则——长输（油气）管道》中将长输管道归为 GA 类，级别划分如下。

① 符合下列条件之一的长输管道为 GA1 级：

- a. 输送有毒、可燃、易爆气体介质，设计压力  $p > 1.6\text{MPa}$  的管道。
- b. 输送有毒、可燃、易爆液体流体介质，输送距离（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） $\geq 200\text{km}$  且管道公称直径  $DN \geq 300\text{mm}$  的管道。
- c. 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。

② 符合以下条件之一的长输管道为 GA2 级：

- a. 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。
- b. GA1 中 b 范围以外的管道。
- c. GA1 中 c 范围以外的管道。

在国家质量监督检验检疫总局颁布的 TSG D7004—2010《压力管道定期检验规则——公用管道》中将公用管道归为 GB 类，级别划分如下。

① GB1 为燃气管道。其级别划分如下（ $p$ ，单位为 MPa）：

- a. GB1-I 级（ $2.5 < p \leq 4.0$ ）、GB1-II 级（ $1.6 < p \leq 2.5$ ）高压燃气管道。
- b. GB1-III 级（ $0.8 < p \leq 1.6$ ）、GB1-IV 级（ $0.4 < p \leq 0.8$ ）次高压燃气管道。
- c. GB1-V 级（ $0.2 < p \leq 0.4$ ）、GB1-VI 级（ $0.1 < p \leq 0.2$ ）中压燃气管道。

② GB2 为热力管道。

在国家质量监督检验检疫总局颁布的 TSG D7001—2009《压力管道定期检验规则——工业管道》中将长输管道归为 GC 类，级别划分如下。

a. 符合下列条件之一的工业管道为 GC1 级：

- 输送 GB 5044《职业性接触毒物危害程度分级》中规定毒性程度为极度危害介质的管道。
- 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。
- 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。
- 输送流体介质且设计压力  $p \geq 10.0\text{MPa}$  的管道。

b. 符合以下条件之一的工业管道为 GC2 级：

- 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  $p < 4.0\text{MPa}$  的管道。
- 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  $\geq 400^\circ\text{C}$  管道。
- 输送非可燃流体介质、无毒流体介质，设计压力  $p < 10\text{MPa}$  且设计温度  $\geq 400^\circ\text{C}$  的管道。
- 输送流体介质，设计压力  $p < 10\text{MPa}$  且设计温度  $< 400^\circ\text{C}$  的管道。

c. 符合以下条件之一的 GC2 级管道划分为 GC3 级：

- 输送可燃流体介质、有毒流体介质，设计压力  $p < 1.0\text{MPa}$  且设计温度  $< 400^\circ\text{C}$  的管道。
- 输送非可燃流体介质、无毒流体介质，设计压力  $p < 4.0\text{MPa}$  且设计温度  $< 400^\circ\text{C}$  的管道。

工业和信息化部颁布的 SH 3501—2011《石油化工有毒、可燃介质钢制管道工程施工及

验收规范》规定管道分级除应符合表 1-1 的规定外,还应符合下列规定。

① 输送氧气介质管道的级别应根据设计条件按本规范表 1-1 中乙类可燃气体介质确定。

② 输送毒性不同的混合介质管道,应根据有毒介质的组成比例及其急性毒性指标(LD<sub>50</sub>、LC<sub>50</sub>),采用加权平均法获得混合物的急性毒性指标,然后按照毒性危害程度分级原则,以毒性危害级别最高者确定混合物的毒性危害级别,并据此划分管道的级别。

③ 输送同时具有毒性和可燃性的介质管道,应按本规范表 1-1 中 SHA 和 SHB 的规定分别划分管道级别,并按两者级别的较高者确定。

表 1-1 管道分级

序号	管道级别	输送介质	设计条件	
			设计压力 $p/\text{MPa}$	设计温度 $t/^\circ\text{C}$
1	SHA1	极度危害介质(苯除外)、光气、丙烯腈	—	—
		苯、高度危害介质(光气、丙烯腈除外)、中度危害介质、轻度危害介质	$p \geq 10$	—
			$4 \leq p < 10$	$t \geq 400$
2	SHA2	苯、高度危害介质(光气、丙烯腈除外)	$4 \leq p < 10$	$-29 \leq t < 400$
			$p < 4$	$t \geq -29$
3	SHA3	中度危害、轻度危害介质	$4 \leq p < 10$	$-29 \leq t < 400$
		中度危害介质	$p < 4$	$t \geq -29$
		轻度危害介质	$p < 4$	$t \geq 400$
4	SHA4	轻度危害介质	$p < 4$	$-29 \leq t < 400$
5	SHA5	甲类、乙类可燃气体介质和甲类、乙类、丙类可燃液体介质	$p \geq 10$	—
			$4 \leq p < 10$	$t \geq 400$
			—	$t < -29$
6	SHA6	甲类、乙类可燃气体介质和甲 A 类、甲 B 类可燃液体介质	$4 \leq p < 10$	$-29 \leq t < 400$
		甲 A 类可燃液体介质	$p < 4$	$t \geq -29$
7	SHA7	甲类、乙类可燃气体介质、甲 B 类可燃液体介质、乙类可燃液体介质	$p < 4$	$t \geq -29$
		乙类、丙类可燃液体介质	$4 \leq p < 10$	$-29 \leq t < 400$
		丙类可燃液体介质	$p < 4$	$t \geq 400$
8	SHA8	丙类可燃液体介质	$p < 4$	$-29 \leq t < 400$

注: 1. 常见的毒性介质和可燃介质参见本规范的附录 A。

2. 管道级别代码的含义为: SH 代表石油化工业, A 为有毒介质, B 为可燃介质, 数字为管道的质量检查等级。

### 1.2.3 压力管道的构成

管道元件是指连接或转配成管道系统的各个零件的总称,包括管道组成件和管道支撑件。压力管道的构成并非千篇一律,由于它所处的位置不同,功能有差异,所需要的元器件就不同。

管道组成件是用于连接或装配管道的管道元件。包括管子、管件、法兰、密封件、紧固件、阀门、安全保护装置以及诸如膨胀节、挠性接头、耐压软管、疏水器、过滤器、管路中的节流装置和分离器等。

管道支撑件是将管道的自重、输送流体的质量、由于操作压力和温差所造成的载荷以及振动、风力、地震、雪载、冲击和位移应变引起的载荷等传递到管架结构上去的管道元件。包括吊杆、弹簧吊架、恒力支吊架、斜拉杆、平衡锤、松紧螺栓、支撑杆、链条、导轨、锚固件、鞍座、垫板、滚柱、托座、滑动支承、管吊、吊耳、卡环、管夹、U 形夹和夹板等。

PN 标记法兰及 Class 标记法兰的类型及代号分别见表 1-2、表 1-3。