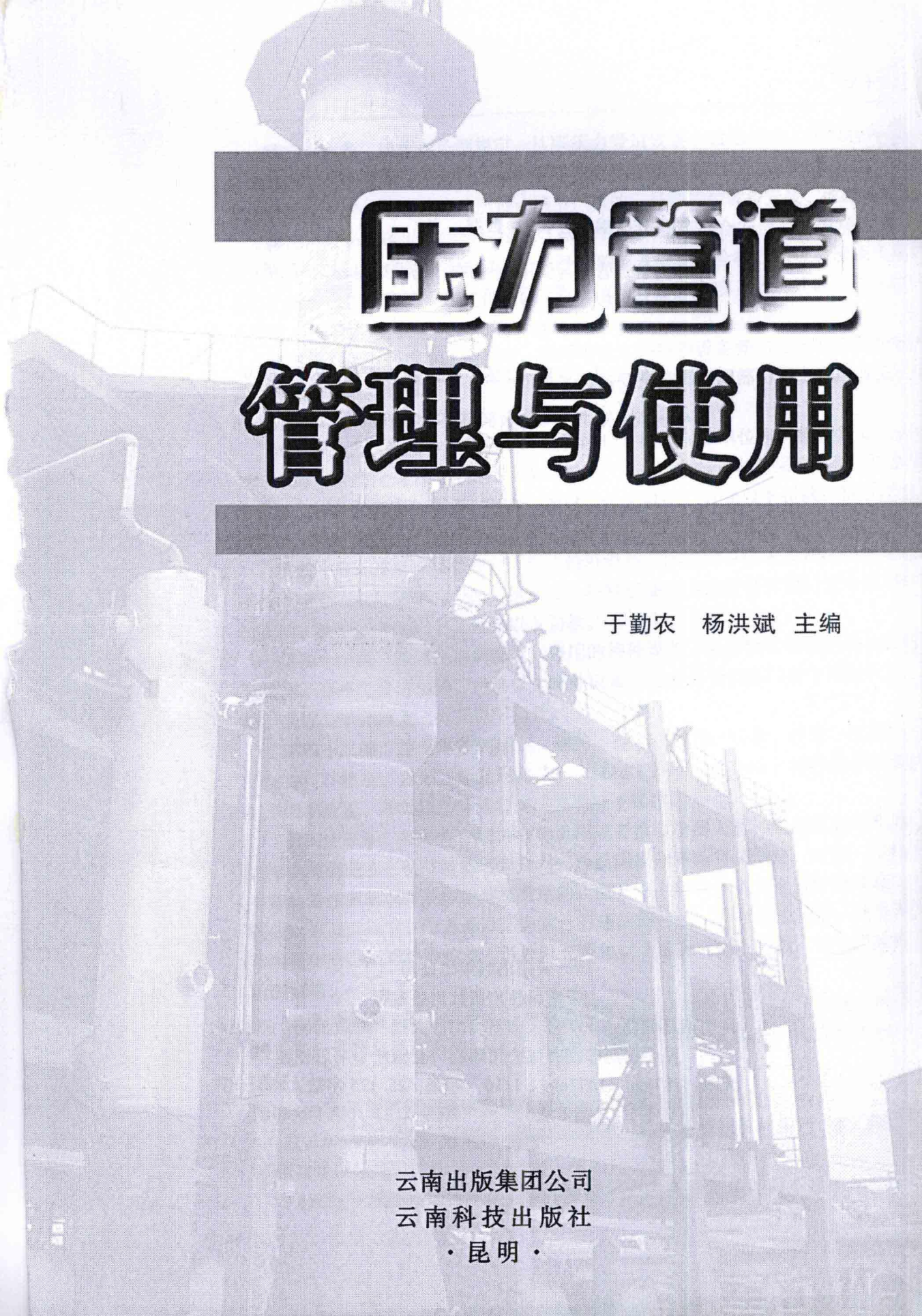




压力管道 管理与使用

于勤农 杨洪斌 主编

云南出版集团公司
云南科技出版社



压力管道 管理与使用

于勤农 杨洪斌 主编

云南出版集团公司
云南科技出版社
· 昆明 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

压力管道管理与使用/于勤农, 杨洪斌编著. —昆明:
云南科技出版社, 2009. 11

ISBN 978 - 7 - 5416 - 3517 - 5

I. 压… II. ①于…②杨… III. 压力管道 IV. U173.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 214481 号

云南出版集团公司

云南科技出版社出版发行

(昆明市环城西路 609 号云南新闻出版大楼 邮政编码: 650034)

昆明锦润印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 25.125 字数: 580 千字

2009 年 11 月第 1 版

2009 年 11 月第 1 次印刷

定价: 68.00 元

第一章 压力管道基本知识

第一节 压力管道概念与特点

管道在工业生产和人民生活中有着重要的地位，主要是用来输送各种介质和物料，管道就像人的血管一样，遍布在城市、工厂。管道运输是与铁路、公路、水路、航空并列的五大运输行业。GB50316《工业金属管道设计规范》中管道的定义，管道是指由管道组成件、管道支吊架、隔热层和防腐层组成，用以输送、分配、混合、分离、排放、计量或控制流体流动的设备。在化工、冶金、动力、城市燃气等行业广泛应用的管道种类很多，使用工况复杂多变、环境恶劣，影响因素和环节比较多，特别是大部分管道，承载压力高，输送介质有毒有害，高温易燃，管道事故时有发生，严重影响着人民的生命和财产的安全。

压力管道的安全管理势在必行。为了确保压力管道安全使用，1996年劳动部以“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》的通知”，标志着我国压力管道的管理进入了法制管理阶段。2003年6月1日开始实施的《特种设备安全监察条例》，把涉及生命安全、危险性较大的锅炉、压力容器（含气瓶）、压力管道、电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施共七类设备，确定为特种设备并实行安全监察。通过法制管理，以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。

一、压力管道的定义与监察范围

《特种设备安全监察条例》为压力管道下的定义和范围是：“利用一定的压力，用于输送气体或液体的管状设备。其范围规定为最高工作压力大于等于0.1MPa（表压）的气体、液化气体、蒸汽介质或可燃、易爆、有毒、有腐蚀性、最高工作压力高于等于标准沸点的液体介质，且公称直径大于25mm的管道”。其余管道不属于特种设备安全监察范围。

这就是说，现在所说的“压力管道”，不但是指其管内或管外承受压力，而且其内部输送的介质是“气体、液化气体和蒸汽”或“可能引起燃爆、中毒或腐蚀的液体”物质。

根据《压力管道安全管理与监察规定》，属于安全监察范围的压力管道是具备下列条件之一的压力管道及其附属设施、安全保护装置等。

- (1) 毒性程度为极度危害的介质，不论压力、温度及状态；
- (2) 火灾危险性为甲、乙类的介质，不论压力、温度及状态；
- (3) 最高工作压力大于、等于0.1MPa的气（汽）体、液化气体介质，未规定性质及温

度，但《压力管道安全管理与监察规定》中规定不属于监察范围的除外。

(4) 最高工作压力大于、等于 0.1MPa 的易燃、易爆、有毒，有腐蚀性介质或最高工作温度高于、等于标准沸点的液体介质。

《压力管道安全管理与监察规定》中规定以下四类管道不属于监察范围：

①设备本体所属管道。

②军事装备，交通工具和核装置中的管道。

③无毒、不可燃、无腐蚀性的气体，公称直径小于 150mm 且最高工作压力小于 1.6MPa 的管道。

这里，所谓压力管道所属设施及安全保护装置的定义是：

①附属设施主要指用于压力管道的管道用设备、支吊架、阴极保护装置等。

②安全保护装置主要指超温、超压控制装置和报警装置等。

在《压力管道使用登记管理规则》（试行）中对压力管道、附属设施和安全保护装置的界定，明确为：

①压力管道指由管道组成件、管道支承件、安全保护装置和附属设施等组成的系统。用于输送气体或者液体的管状设备；

②附属设施指阴极保护装置、压气站、泵站、阀站、调压站、监控系统等；

③安全保护装置指压力管道上连接的安全阀、压力表、爆破片和紧急切断阀等。

二、压力管道的管理

国家对压力管道的管理与分类起步晚，综合管理薄弱。在《压力管道安全管理与监察规定》（1996 年 4 月 23 日，劳动部劳部发 [1996] 40 号发布）中规定：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：

①输送 GB5044《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 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为甲、乙类介质的管道；

③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；

④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。

⑤前四项规定的管道附属设施及其安全保护装置等。

注：GB5044 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）： $0.1\text{mg}/\text{m}^3 \sim 1\text{mg}/\text{m}^3$ ；

中度危害（Ⅲ级）： $1.0\text{mg}/\text{m}^3 \sim 10.0\text{mg}/\text{m}^3$ ；

轻度危害（Ⅳ级）： $10.0\text{mg}/\text{m}^3$ 。

注：GB50160 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)

注: GB50160 标准对液态烃、可燃液体的火灾危险性按如下分类:

甲 A 类: 15°C 时的蒸汽压力 $>0.1\text{MPa}$ 的烃类液体及其他类似的液体;

甲 B 类: 甲 A 类以外的可燃液体, 闪点 $<28^{\circ}\text{C}$;

乙 A 类: 闪点 $\geq 28^{\circ}\text{C}$ 至 $\leq 45^{\circ}\text{C}$ 的可燃液体;

乙 B 类: 闪点 $>45^{\circ}\text{C}$ 至 $<60^{\circ}\text{C}$ 的可燃液体;

丙 A 类: 闪点 $\geq 60^{\circ}\text{C}$ 至 $\leq 120^{\circ}\text{C}$ 的可燃液体;

丙 B 类: 闪点 $>120^{\circ}\text{C}$ 的可燃液体。

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、疏水器、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《压力管道安全管理与监察规定》的执行和管理, 国家质量技术监督局以质技监局锅发 [1999] 272 号文颁发了《压力管道设计单位资格认证与管理办法》(以下简称《管理办法》), 《管理办法》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:

(1) 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 $\geq 200\text{km}$ 且管道公称直径 $\text{DN} \geq 300\text{mm}$ 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 $\text{DN} \geq 150\text{mm}$ 的管道。

(2) 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 $P < 1.6\text{MPa}$ 的管道;

②GA1 范围以外的长输管道;

③GA1 范围以外的长输管道;

2. 公用管道为 GB 类, 级别划分:

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:

(1) 符合下列条件之一的工业管道为 GC1 级:

①输送 GB5044《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 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。

(2) 符合下列条件之一的工业管道为 GC2 级:

①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。

注: 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。

在 GB/T20801.1-2006 系“压力管道规范-工业管道”的第 1 部分, 规定了工业金属管道的适用范围和管道分级。管道分级规定是:

工业金属压力管道按其安全等级划分为 GC1、GC2、GC3 三级。其中 GC1 级安全等级最高; GC3 级安全等级最低。

1. 符合下列条件之一的工业压力管道为 GC1 级:

(1) 输送 GB5044 及 HG20660 中, 毒性程度如下所列介质的管道:

①极度危害介质 (但苯除外);

②高度危害气体介质 (包括苯);

③工作温度高于标准沸点的高度危害液体介质。

(2) 输送 GB50160 及 GBJ16 中规定的火灾危险性如下所列, 且设计压力大于或等于 4.0MPa 的管道:

①甲、乙类可燃气体;

②甲类可燃液体 (包括液化烃)。

(3) 输送流体介质且设计压力大于或等于 10.0MPa 的管道, 以及设计压力大于或等于 4.0MPa 且设计温度高于或等于 400°C 的管道。

2. 符合下列条件的工业压力管道为 GC2 级:

除 4.3 条规定的 GC3 级管道外, 介质毒性危害程度、火灾危险 (可燃性)、设计压力和设计温度低于 4.1 条规定 (GC1 级) 的管道。

3. 符合下列条件的工业压力管道为 GC3 级:

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

4. 涉及毒性或可燃性不同的混合介质时, 应按其中毒性或可燃性危害程度最大的介质考虑。

当某一危害性介质含量极小时, 应按其危害程度及其含量综合考虑, 由业主或设计决定混合介质的毒性或可燃性类别。

三、《压力容器压力管道设计许可规则》中压力管道的分类、分级

为了加强压力管道的安全管理, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局下发了《压力容器压力管道设计许可规则》(TSG R1001-2008), 于 2008 年 4 月 30 日施行, 将压力管

道的管理从设计抓起，确保压力管道的设计质量。在本规则的附则中，将压力管道的分类和分级确定为：

(1) 按用途分类

长输管道：GA

公用管道：GB

工业管道：GC

动力管道：GD

(2) 按用管道的危险性分级

①长输管道分两级：GC1、GC2

②公用管道分两级：GB1、GB2

③工业管道分三级：GC1、GC2、GC3

④动力管道分两级：GD1、GD2

(3) 压力管道类别、级别

①GA类（长输管道）：长输（油气）管道是指产地、储存库、使用单位之间的用于输送商品介质的管道，划分为GA1级和GA2级。

GA1级

符合下列条件之一的长输管道为GA1级：

输送有毒、可燃、易爆气体介质，最高工作压力大于4.0MPa的长输管道；

输送有毒、可燃、易爆液体介质，最高工作压力大于或者等于6.4MPa，并且输送距离（指产地、储存地、用户间的用于输送商品介质管道的长度）大于或者等于200km的长输管道。

GA2级

GA1级以外的长输（油气）管道为GA2级。

②GB类（公用管道）：公用管道是指城市或者乡镇范围内的用于公用事业或民用的燃气管道和热力管道，划分为GB1级和GB2级。

GB1级

城镇燃气管道。

GB2级

城镇热力管道。

③GC类（工业管道）：工业管道是指企业、事业单位所属的用于输送工艺介质的工艺管道、公用工程管道及其他辅助管道，划分为GC1级、GC2级、GC3级。

GC1级

符合下列条件之一的工业管道为GC1级：

输送GB5044-85《职业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、高度危害气体介质和工作温度高于标准沸点的高度危害液体介质的管道；

输送GB50160-1999《石油化工企业设计防火规范》及GB50016-2006《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（包括液化烃），并且设计

压力大于或者等于 4.0MPa 的管道；

输送流体介质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，并且设计温度大于或者等于 400℃ 的管道。

GC2 级

除本规定 B3.3 规定的 GC3 级管道外，介质毒性危害程度、火灾危险性（可燃性）、设计压力和设计温度小于 B3.1 规定的 GC1 级管道。

GC3 级

输送无毒、非可燃流体介质，设计压力小于或者等于 1.0MPa，并且设计温度大于 -20℃ 但是小于 185℃ 的管道。

(4) GD 类（动力管道）

火力发电厂用于输送蒸汽、汽水两相介质的管道，划分为 GD1 级、GD2 级。

GD1 级

设计压力大于等于 6.3MPa，或者设计温度大于等于 400℃ 的管道。

GD2 级

设计压力小于 6.3MPa，且设计温度小于 400℃ 的管道。

随着我国压力管道安全管理体系的不断完善，我国国家质检总局将不断下发相关规程、规则，使压力管道的管理规范化、制度化，分类清晰，标准统一。

自 2009 年 8 月 1 日施行《压力管道安全技术监察规程—工业管道》，从工业管道的材料、设计、制造、安装、使用、改造、维修、检验以及安全保护装置等方面提出了压力管道的安全性能的基本要求，以达到规范压力管道监管工作的目的。由此看来，国家对于压力管道的管理更加规范，分类更明晰。

《压力管道安全技术监察规程—工业管道》中对于工业管道的分类，与《压力容器压力管道设计许可规则》（TSG R1001—2008）中 GC 类（工业管道）的分类是相同的。

四、管道的特点

- ①压力管道种类多，数量大；
- ②压力管道长细比大，跨越距离长，受力情况复杂；
- ③压力管道设计要考虑因素较多、设计复杂；
- ④管内流体流动状态复杂，缓冲余地小，工作条件变化频率大；
- ⑤管道的组成件种类繁多，材料复杂；
- ⑥管道输送介质物料多样，腐蚀和疲劳等不良影响因素较多；
- ⑦管道距离长短不一，管道布置复杂，可能发生泄漏点多；
- ⑧管道在布置、安装、使用和检验方面与压力容器存在差别；
- ⑨管道作为输送介质的运输工具，其运行成本低，损失率低；
- ⑩操作和运行人员少，劳动强度低，易产生人员伤害。

第二节 压力管道的技术参数

一、压力

压力是指垂直作用在单位面积上的力，通常叫压力（实际上是压强）。用符号 P 表示，单位是“MPa”。

当人们在烂泥路上步行时，两脚常会陷得很深，如果在路面上铺一块木板，人从木板上走，两脚就不会下陷。由此可见，是否会陷入路面不仅与路面承受的压力大小有关而且与受力的面积有关。因此应以单位面积上所受到的压力来进行比较。我们把单位面积上承受的力叫做“压强”。

若用 P 表示压强； F 表示压力； S 表示受力面积。则：

P （压强）= F （压力）/ S （受力面积）

力的单位用“N（牛顿）”表示；面积的单位用“ m^2 ”和“ cm^2 ”表示。压强的法定计量单位是“帕斯卡”，简称“帕”，用“Pa”表示。

1 帕斯卡 = 1 牛顿/米²，即 $1Pa = 1N/m^2$ 。

从上述分析可知，压力与压强是两个概念不同的物理量，但在压力容器、压力管道上或一般工程技术上，人们习惯于将压强称为“压力”。因此，在未加说明时，本书中以后所说的压力实际上就是压强。

1. 大气压力

地球表面被一层很厚的大气包裹着。大气受地心的吸引产生重力，所以包围在地球外面的大气层对地球表面及其上的物体便产生了大气压力，即所谓大气压。大气层越厚，压力就越大；反之就越小。所以大气压力不是恒定不变的，高山上的大气压就比海平面上的小。

大气压力是指空气作用在地球表面上的质量力。由于 $1m^3$ 空气 $0^\circ C$ 时的质量为 1.29 千克，所以地球上部的大气层表面有一定的压力，这个压力叫大气压力。为了使计算有个统一基点，我们将 $0^\circ C$ 时在北纬 22.5° 的海平面上（即海拔零米处）大气压力规定为 0.1033MPa，工程上常用工程大气压，它是每千克质量的物质作用在 $1cm^2$ 面积上的力，数值是 0.0981MPa，工程上常把二者简化为同一数值，约为 0.1MPa。

另外，随着使用的场合不同，度量压力的单位还有水银柱高度（mmHg）、水柱高度（ mH_2O ）等，其换算关系如下：

$0.0981MPa = 0.9678$ 物理大气压 $= 735.6mmHg = 10mH_2O = 1kgf/cm^2$

2. 绝对压力、表压力与负压力

管道、容器内介质（液体或气体）的压力高于大气压时，介质处于正压状态；如低于大气压时，则介质处于负压状态。

绝对压力是指以压力为零作为测量起点的，即实际压力。

当容器内介质的压力等于大气压力时，压力表的指针指在零位，或 U 形管压力表内的液面高度相等。

当容器内介质的压力大于大气压力时，压力表的指针才会转动，表上才有读数，或 U 形管压力表的液面被容器内介质压向通大气的一端，形成液柱差 H 。此时压力表的读数或液柱差 H 的压力值就是容器内介质压力超出大气压力的部分，即表压力，简称表压。

当容器内介质的压力低于外界大气压力时，则 U 形管压力表的液面被大气压力压向与容器相连的一端，形成液柱差 H' ， H' 的压力值即为介质的压力低于大气压力的部分，称为负压力或真空，简称负压。

表压力是指以大气压力作为测量起点，即压力表指示的压力。表压力不是实际压力，因为当压力表指针为零时，实际上已受到周围一个大气压力的作用力，所以压力表指的数值是指超过大气压力的部分。

表压力与绝对压力的关系：

$$P_{\text{绝}} = P_{\text{表}} + (0.1013 \text{ MPa})$$

$$P_{\text{表}} = P_{\text{绝}} - (0.1013 \text{ MPa})$$

$$P_{\text{负}} = P_{\text{大气}} - P_{\text{地}}$$

只有当表压力是负数时，绝对压力才有可能小于大气压力，而出现负压力 $P_{\text{负}}$ 。人们通常所说的容器压力或介质压力均指表压力而言。

真空度：当压力小于 1 个大气压的值称为真空度或称负压。

绝对压力、相对压力与真空度的关系，如图 1-1 所示。

当绝对压力大于当地大气压力时：

$$\text{绝对压力} = \text{大气压力} + \text{相对压力}$$

当绝对压力小于当地大气压力时：

$$\text{真空度} = \text{大气压力} - \text{绝对压力}$$

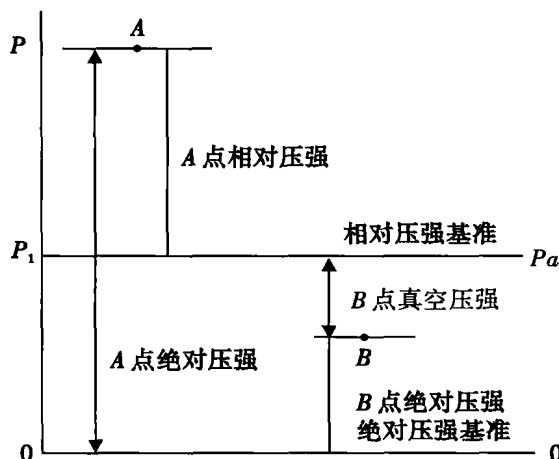


图 1-1 压强关系图

3. 公称压力

管道组成件的公称压力是指与其机械强度有关的设计给定压力，它一般表示管道组成件在规定温度下的最大许用压力。目前，国内外管道组成件的公称压力已经标准化，各国管道元件公称压力虽然不同，但基本上可分为两个系列，即美洲系列和欧洲系列。

二、温度

温度是指物体冷热的程度（通常用符号 t 表示）。测量温度常用的单位是摄氏度，用 $^{\circ}\text{C}$ 表示。在锅炉设计计算中，常用绝对温度单位，用 K 表示。绝对温度的零度为零下 273 摄氏度（ $^{\circ}\text{C}$ ）。如果以 T 表示绝对温度的值，以 t 表示摄氏温度的值，其转换公式为： $T = t + 273\text{K}$

温度通常用摄氏温度（用符号 $^{\circ}\text{C}$ 表示）和华氏温度（用符号 $^{\circ}\text{F}$ 表示）。目前我国常用的是摄氏温度。

（1）摄氏温度：以水在一个大气压下开始沸腾时的温度（即沸点）为 100°C ，水开始结冰时的温度（即冰点）为 0°C ，中间分成 100 格，每格为 1 摄氏度。

（2）华氏温度：以水的沸点为 212°F ，冰点为 32°F ，中间分成 180 格，每格为 1 华氏度。

两种温度的换算关系如下： $t^{\circ}\text{C} = (5/9) (^{\circ}\text{F} - 32)$

三、流体

物质常见的存在状态是固态、液态和气态，处在这三种状态下的物质分别称为固体、液体和气体。液体和气体，统称为流体。流体力学是力学的一个分支，它研究流体静止和运动的力学规律及其在工程技术中的应用。流体在管道工程中应用非常广泛。

1. 流体的特性

物质有三种形态：固态、液态和气态。液体和气体统称为流体。固体和流体有根本的区别，固体有一定的形状和体积，具有抗拉、抗压、抗剪的能力。而流体则不同，流体没有固定的形状。流体的抗剪能力很小，当流体受到微小的剪切力作用时，会发生连续不断的变形，流体质点之间必然产生相对运动，因此，流体具有流动性，也是流体适宜作为介质便于采用管道输送的主要原因。另一方面，流体和固体一样，能够承受较大的压力。

液体与气体又有质的差别，液体没有固定的形状，但有一定的体积。这是因为液体各质点间的内聚力很小，不能承受拉力和抵抗剪切变形，所以不能有固定的形状，而气体既没有固定的形状，也没有一定的体积。气体各质点间的内聚力很小，不能承受压力，在外力作用下，很容易被压缩。

2. 流体的主要物理性质

（1）密度和相对密度

①流体的密度：流体的密度是流体的重要属性之一，它表征流体在空间某点质量的密集程度，流体的密度定义为：单位体积流体所具有的质量，用符号 ρ 来表示。

对于流体中各点密度相同的均质流体，其密度

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中： ρ —流体的密度， kg/m^3 ；

m —流体的质量， kg ；

V —流体的体积， m^3 。

对于各点密度不同的非均质流体，在流体的空间中某点取包含该点的微小体积 ΔV ，该体积内流体的质量 Δm 则该点的密度为

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV} \tag{1-2}$$

②流体的相对密度：流体的相对密度是指某种流体的密度与 4℃ 时水的密度的比值，用符号 d 来表示。

$$d = \frac{\rho_f}{\rho_w} \tag{1-3}$$

式中： ρ_f —流体的密度， kg/m^3 ；

ρ_w —4℃ 时水的密度， kg/m^3 。

表 1-1 和表 1-2 列出了一些常用液体、气体在标准大气压强下的物理性质。

表 1-1 常用液体、气体在标准大气压强下的物性质

液体种类	温度 (℃)	密度 (kg/m^3)	相对密度	动力黏度 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)
纯水	20	998	1.00	10.1
海水	20	1026	1.03	10.6
20% 盐水	20	1149	1.15	—
乙醇 (酒精)	20	789	0.79	11.6
苯	20	895	0.90	6.5
四氯化碳	20	1588	1.59	9.7
氟利昂-12	20	1335	1.34	—
甘油	20	1258	1.26	14900
汽油	20	678	0.68	2.9
煤油	20	808	0.81	19.2
原油	20	850 ~ 958	0.85 ~ 0.93	72
润滑油	20	918	0.92	—
氢	-257	72	0.072	0.21
氧	-195	1206	1.21	2.8
水银	20	13555	13.58	15.6

表 1-2 在标准大气压和 20℃ 常用气体性质

气 体	密度 (kg/m^3)	动力黏度 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)	气体常数 [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{m}^3)$]	气 体	密度 (kg/m^3)	动力黏度 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)	气体常数 [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{m}^3)$]
空 气	1.205	1.80	287	氮	1.16	1.76	297
二氧化碳	1.84	1.48	188	氧	1.33	2.00	260
一氧化碳	1.16	1.82	297	甲 烷	0.668	1.34	520
氢	0.166	1.97	2077	饱和水蒸气	0.747	1.01	462
氦	0.0839	0.90	4120				

(2) 流体的压缩性和膨胀性

随着压强的增加, 流体体积缩小; 随着温度的增高, 流体体积膨胀, 这是所有流体的共同属性, 即流体的压缩性和膨胀性。

①流体的膨胀性: 在一定的压强下, 流体的体积随温度的升高而增大的性质称为流体的膨胀性。流体膨胀性的大小用体积膨胀系数来表示, 它表示当压强不变时, 升高一个单位温度所引起流体体积的相对增加量, 即

$$\alpha_v = \frac{1}{V} \frac{dV}{dt} \quad (1-4)$$

式中: α_v —流体的体积膨胀系数, $1/^\circ\text{C}$, $1/\text{K}$

dt —流体温度的增加量, $^\circ\text{C}$, K ;

V —原有流体的体积, m^3 ;

dV —流体体积的增加量, m^3 。

实验指出, 液体的体积膨胀系数很小, 例如在 $9.8 \times 10^4 \text{Pa}$ 下, 温度在 $1 \sim 10^\circ\text{C}$ 范围内, 水的体积膨胀系数 $= 14 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$; 温度在 $10 \sim 20^\circ\text{C}$ 范围内, 水的体积膨胀系数 $\alpha_v = 150 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ 。在常温下, 温度每升高 1°C , 水的体积相对增量仅为万分之一点五; 温度较高时, 如 $90 \sim 100^\circ\text{C}$, 也只增加万分之七。其他液体的体积膨胀系数也是很小的。

流体的体积膨胀系数还取决于压强。对于大多数液体, 随压强的增加稍为减小。水的在高于 50°C 时也随压强的增加而增大。

②流体的压缩性: 在一定的温度下, 流体的体积随压强升高而缩小的性质称为流体的压缩性。流体压缩性的大小用体积压缩系数 K 来表示。它表示当温度保持不变时, 单位压强增量引起流体体积的相对缩小量, 即

$$K = - \frac{1}{V} \frac{dV}{dp} \quad (1-5)$$

式中: K —流体的体积压缩系数, m^2/N ;

dp —流体压强的增加量, Pa ;

V —原有流体的体积, m^3 ;

dV —流体体积的增加量, m^3 。

由于压强增加时, 流体的体积减小, 即 dp 与 dV 的变化方向相反, 故在上式中加个负号, 以使体积压缩系数 K 恒为正值。

实验指出, 液体的体积压缩系数很小, 例如水, 当压强在 $(1 \sim 490) \times 10^7 \text{Pa}$ 、温度在 $0 \sim 20^\circ\text{C}$ 的范围内时, 水的体积压缩系数仅约为二万分之一, 即每增加 10^5Pa , 水的体积相对缩小约为二万分之一。

气体的压缩性要比液体的压缩性大得多, 这是由于气体的密度随着温度和压强的改变将发生显著的变化。对于完全气体, 其密度与温度和压强的关系可用热力学中的状态方程表示, 即

$$\frac{P}{\rho} = RT \quad (1-6)$$

式中: P —气体的绝对压强, Pa ;

ρ —气体的密度, kg/m^3 ;

T —热力学温度, K ;

R —气体常数, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

常用气体的气体常数见表 1-2。

在工程上, 不同压强和温度下气体的密度可按式计算:

$$\rho = \rho_0 \frac{273}{273 + t} \frac{P}{101325} \quad (1-7)$$

式中 ρ_0 为标准状态 (0°C , 101325Pa) 下某种气体的密度。如空气的 $\rho_0 = 1.293\text{kg}/\text{m}^3$; 烟气的 $\rho_0 = 1.34\text{kg}/\text{m}^3$ 。 ρ 为在温度 $t^\circ\text{C}$ 、压强 $P\text{N}/\text{m}^2$ 下, 某种气体的密度。

(3) 可压缩流体和不可压缩流体

压缩性是流体的基本属性。任何流体都是可以压缩的, 只不过可压缩的程度不同而已。液体的压缩性都很小, 随着压强和温度的变化, 液体的密度仅有微小的变化, 在大多数情况下, 可以忽略压缩性的影响, 认为液体的密度是一个常数。 $d\rho/dt = 0$ 的流体称为不可压缩流体, 而密度为常数的流体称为不可压均质流体。

气体的压缩性都很大。从热力学中可知, 当温度不变时, 完全气体的体积与压强成反比, 压强增加一倍, 体积减小为原来的一半; 当压强不变时, 温度升高 1°C 体积就比 0°C 时的体积膨胀 $1/273$ 。所以, 通常把气体看成是可压缩流体, 即它的密度不能作为常数, 而是随压强和温度的变化而变化的。我们把密度随温度和压强变化的流体称为可压缩流体。

把液体看作是不可压缩流体, 气体看作是可压缩流体, 都不是绝对的。在实际工程中, 要不要考虑流体的压缩性, 要视具体情况而定。例如, 研究管道中水击和水下爆炸时, 水的压强变化较大, 而且变化过程非常迅速, 这时水的密度变化就不可忽略, 即要考虑水的压缩性, 把水当作可压缩流体来处理。又如, 在锅炉尾部烟道和通风管道中, 气体在整个流动过程中, 压强和温度的变化都很小, 其密度变化很小, 可作为不可压缩流体处理。再如, 当气体对物体流动的相对速度比声速要小得多时, 气体的密度变化也很小, 可以近似地看成是常数, 也可当作不可压缩流体处理。

(4) 流体的黏性

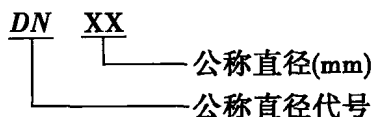
黏性是流体抵抗剪切变形的一种属性。由流体的力学特点可知, 静止流体不能承受剪切力, 即在任何微小剪切力的持续作用下, 流体要发生连续不断地变形。但不同的流体在相同的剪切力作用下其变形速度是不同的, 它反映了抵抗剪切变形能力的差别, 这种能力就是流体的黏性。

影响黏性的因素: 流体黏性随压强和温度的变化而变化。在通常的压强下, 压强对流体的黏性影响很小, 可忽略不计。在高压下, 流体 (包括气体和液体) 的黏性随压强升高而增大。流体的黏性受温度的影响很大, 而且液体和气体的黏性随温度的变化是不同的。液体的黏性随温度升高而减小, 气体的黏性随温度升高而增大。造成液体和气体的黏性随温度不同变化的原因是由于构成它们黏性的主要因素不同。分子间的吸引力是构成液体黏性的主要因素, 温度升高, 分子间的吸引力减小, 液体的黏性降低; 构成气体黏性的主要因素是气体分子作不规则热运动时, 在不同速度分子层间所进行的动量交换。温度越高, 气体分子热运动越强烈动量交换就越频繁, 气体的黏性也就越大。

四、公称直径 (DN)

公称直径表示管子、管件等管道器材元件的名义上的直径,同一公称直径的管子采用不同的标准体系,外径则可能有差异。对于同一标准、公称压力和公称直径相同的管子和法长是相同的连接尺寸。公称直径的单位,美国采用英寸,中国采用毫米,日本则并列两种单位。公称直径用 DN 表示。

公称直径的标记方法,例如:



GB/T1047 ~ 2005《管道元件 DN〔公称尺寸〕的定义和选用》DN: 用于管道系统元件的字母和数字组合的尺寸标识。它由字母 DN 和后面无量纲的整数数字组成。这个数字与端部连接件的孔径或外径 (用 mm 表示) 等特征尺寸直接相关。

说明如下。

①除在相关标准中另有规定,字母 DN 后面的数字不代表测量值。也不能用于计算目的。

②采用 DN 标识系统的标准。应给出 DN 与管道元件的尺寸关系,如 DN/OD 或 DI/T/ID。

OD 是 outside diameter 外径 (公称外径); ID 是 Inner Diameter 内径。

GB/T1047《管道元件 DN (公称尺寸) 的定义和选用》DN 系列优先选用的 DN 数值如下: DN6、DN8、DN10、DN15、DN20、DN25、DN32、DN40、DN50、DN65、DN80、DN100、DN125、DN150、DN200、DN250、DN300、DN350、DN400、DN450、DN500、DN600、DN700、DN800、DN900、DN1000、DN1100、DN1200、DN1400、DN1500、DN1600、DN1800、DN2000、DN2200、DN2400、DN2600、DN2800、DN3000、DN3200、DN3400、DN3600、DN3800、DN4000。

第三节 压力管道基本术语

压力管道依据不同标准和规范,管道的基本术语也不尽相同,设计、安装、运行等过程中,可以按照相应标准执行。

①管道: 由管道组成体和管道支承件组成,用于输送、分配、混合、分离、排放、计量、控制或制止流体流动的管子、管件、阀门、法兰、垫片、螺栓连接和其他组成件或受压部件的装配总成。

②公称直径: 用标准的尺寸系列表示管子、管件、阀门等口径的名义内直径。

③公称压力: 管子、管件、阀门等在规定温度下允许承受的以标准规定的系列压力等级表示的工作压力。

④工作压力: 管子、管件、阀门等等管道组成件在正常运行条件下承受的压力。

⑤设计压力: 在正常操作过程中①,在相应设计温度下,管道可能承受的最高工作压力。

- ⑥强度试验压力：管道强度试验的规定压力。
- ⑦密封试验压力（严密性试验压力）：管道密封试验的规定压力。
- ⑧工作温度：管道在正常操作条件下的温度。
- ⑨设计温度：管道在正常操作过程中，在相应设计压力下，管道可能承受的最高或最低温度。
- ⑩适用介质：在正常操作条件下，适合于管道材料的介质。
- ⑪正常操作过程：是相对意外事故而言的，但包括允许的波动、再生情况。
- ⑫试验压力：以液体或气体为介质，对管道逐步加压，达到规定的压力，以检验管道强度和密封性的试验。
- ⑬泄漏性试验：以气体为介质，在设计压力下，采用发泡剂、显色剂、气体分子感应仪或其他专门手段等检查管道系统中泄漏点的试验。
- ⑭管道系统（管系）：单独一组设计条件相互联系的管道。
- ⑮管道组成件：用于连接或装配成管道系统的元件，包括管子、管件、法兰、阀门、支撑件以及补偿器等。
- ⑯管子表号：工作压力与工作温度下的管子材料许用应力的比值乘以一个系数，并经圆整后的数值，是表征管子壁厚系列的代号。
- ⑰无缝钢管：钢坯经穿孔轧制或拉制成的管子，以及用浇注方法制成的管子。
- ⑱有缝钢管：由钢板、钢带等卷制，经焊接而成的管子。
- ⑲电阻焊接钢管：具有纵向对接焊缝的钢管，利用管子的电阻热经加压将预先成型的管坯焊合而成。
- ⑳电熔焊接钢管：具有纵向对接焊缝的钢管，利用人工或自动电弧焊将预先成型的管坯焊合而成。
- ㉑双面埋弧焊接钢管：具有纵向对接焊缝的钢管，利用埋弧焊双面焊接而成。
- ㉒螺旋焊缝钢管：用卷材制成的、焊缝为螺旋形的钢管。
- ㉓镀锌焊接钢管：管壁镀锌的焊接钢管。
- ㉔渗铝钢管：管壁表面层渗铝的钢管。
- ㉕金属软管：用金属薄板等制成的、管壁呈波纹状的并用金属编制物铠装的柔性管。
- ㉖有色金属管：用铝、铜、铅等非铁金属材料制成的管子。
- ㉗衬里管：在内壁设置保护层或隔热层的管子。
- ㉘总管（主管）：汇合支管或分出支管的管道。
- ㉙支管（分管）：从总管上分出的或向总管汇合的管道。
- ㉚袋形管：呈“U”形，流体不能自行排尽的管段。
- ㉛盘管：螺旋形或排管形的管子。
- ㉜架空管道：离开地面敷设的、一般在下方可通过行人或车辆的管道。
- ㉝沿地管道：接近地面或贴地敷设的管道。
- ㉞管沟管道：敷设在管沟中的管道。
- ㉟埋地管道：埋设在地下的管道。