



高等院校“十一五”规划教材

油气管道工程

YOUQI GUANDAO GONGCHENG

康勇 编著

中国石化出版社

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

高等院校“十一五”规划教材

油气管道工程

康 勇 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书主要介绍油气管道输送系统的工艺设计、管道的机械设计、长输管道的建设施工、厂站管道的建设安装、城市燃气管网建设及运行的技术管理等内容。内容不仅涉及石油天然气长输管道、各种站库等管道的设计建设,而且还介绍了炼化厂等过程装备的配管及城市燃气管道的建设方法等各种技术问题。

本书力求收编更多更新的国内外管道工程方面的设计理论与建设方法,重点是加强理论基础,以工程实际应用为目标,不仅可以作为高校石油天然气储运专业和过程装备与控制工程专业的管道设计与建设课程的专业课教材,也可供从事油气管道设计、施工及管理的工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

油气管道工程/康勇编著. —北京:中国石化出版社,
2008

ISBN 978 - 7 - 80229 - 476 - 9

I. 油… II. 康… III. 油气运输 - 管道工程 IV. TE973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 008342 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

金圣才文化发展(北京)有限公司排版

北京科信印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 19.25 印张 477 千字

2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷

定价:38.00 元

前 言

油气管道工程技术是从事油气管道设计与建设的专业人员整体专业知识结构的一个重要组成部分。它是一个完整的技术体系，其中主要包括管道的设计及管道的施工两方面。本书以“加强基础，深浅相宜，注重实践”为规则，以解决工程中常见的问题为研究对象，全面介绍了油气管道工程所涉及的各方面问题。全书共分为7章，第1章：油气管道建设与发展概论；第2章：油气管道输送系统设计；第3章：油气管道机械设计；第4章：油气长输管道建设施工；第5章：厂站管道的建设安装；第6章：城市燃气管网建设；第7章：管道的技术管理。通过分析和讲解管道建设的基本方法以及对实际问题的处理过程，把如何进行管道的设计、如何组织具体的管道建设施工、如何在经济方面加以考虑等也进行了论述，使技术工程概念贯穿于全书。本书针对当前的油气管道工业发展方向，编入了国内外有关的新技术方法和科研成果。

当今国内外在管道建设与管理的技术水平已发生了非常大的变化，机械过程装备、自动化控制与测量方法及计算机应用、HSE管理等新理念和技术的引入使一系列新技术新方法已在管道建设中得到了全面的应用，管道技术与其他相关专业的相互渗透，使之所涉及的专业领域更宽，需要解决的问题更多。按照以上所述的变化和要求，本书介绍了国际上普遍采用的技术手段和管理方法，同时注意结合我国这方面的发展现状以及建设单位现行的普遍的做法，为读者较为方便快捷地了解国内外管道建设发展动向、掌握较为先进的技术手段和管理方法创造了条件。

本书的内容不仅涉及石油天然气长输管道、集油站、集气站、油气库等管道的设计与建设，而且还涉及了炼油厂、化工厂等过程装备的配管及城市燃气管道的安装建设方法等各种工程技术问题，是一本进一步拓展石油天然气储运专业和过程装备与控制工程专业面、培养能直接从事管道设计建设工作的各类人才的教材，也可供从事油气管道设计、施工及管理的工程技术人员阅读参考。

作者结合了国内外管道建设的现状与发展趋势，并在多年从事油气管道工程方面教学与科研经验的基础上编写而成。在编写过程中，得到同行专家的大力支持，他们对本书提出了许多宝贵意见，同时还得到了其他各方面的帮助和支持，在此谨表示衷心的感谢。由于参考引用的资料很多，限于本书的篇幅而不能一一列出，故作者对所涉及的单位及个人表示诚挚的谢意。

由于所涉及领域及资料较多，加之编写时间及编者的水平有限，错漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

目 录

第1章 油气管道建设与发展概论	(1)
1.1 管道运输的优势	(1)
1.2 国内外管道工业发展概况	(1)
1.2.1 国外管道工业发展概况	(1)
1.2.2 国内管道工业发展概况	(3)
1.3 管道的分类与分级	(5)
1.3.1 管子的分类	(5)
1.3.2 管道的分类	(6)
1.3.3 管道的分级	(7)
1.4 管道材料对管道性能影响	(9)
1.4.1 管道材料对管道性能及用途的影响	(9)
1.4.2 管材的物理特性	(12)
第2章 油气管道输送系统设计	(16)
2.1 油气管道的工艺设计计算	(16)
2.1.1 工艺设计计算主要解决的问题	(16)
2.1.2 影响工艺设计的主要因素	(16)
2.1.3 工艺设计计算的基本步骤	(18)
2.2 输油管道的水力计算	(19)
2.2.1 基本数据的计算	(19)
2.2.2 压力降的计算	(20)
2.2.3 等温输油管道的工艺设计	(26)
2.3 输气管道的水力计算	(29)
2.3.1 气体在管道中流动的基本方程	(30)
2.3.2 等温平坦输气管道的水力计算	(31)
2.3.3 不同地形输气管道的基本公式	(33)
2.3.4 水力摩阻系数与常用输气公式	(34)
2.4 输油管道的热力计算	(39)
2.4.1 加热输送的主要加热方法	(39)
2.4.2 加热输送的特点	(42)
2.4.3 输油管道热力计算	(42)
2.4.4 热输管道摩阻计算分析	(45)
2.4.5 总传热系数的计算	(46)

2.4.6	加热站数的计算	(47)
2.4.7	保温管道的热损失计算	(48)
2.4.8	管道最佳直径的计算	(49)
2.5	输气管道的热力计算	(52)
2.5.1	输气管道中气流温度变化规律和平均温度	(52)
2.5.2	埋地输气管道的总传热系数	(53)
第3章	油气管道机械设计	(57)
3.1	油气管道机械设计的主要参数	(57)
3.1.1	管道的设计参数	(57)
3.1.2	管道的应力参数	(58)
3.2	油气管道的机械设计	(60)
3.2.1	管道的机械设计目的与步骤	(60)
3.2.2	材料选取的原则	(61)
3.2.3	管道的壁厚设计	(62)
3.2.4	管道的强度与稳定性校核	(63)
3.2.5	管道的结构设计	(64)
3.2.6	管道的刚度和稳定性计算	(66)
3.2.7	风及地震载荷的计算	(70)
第4章	油气长输管道建设施工	(74)
4.1	管道线路选择及施工图准备	(74)
4.1.1	管道线路选择	(74)
4.1.2	施工图准备	(75)
4.2	施工勘测	(76)
4.2.1	管道的标桩	(76)
4.2.2	管道弯曲的弹性敷设	(77)
4.3	特殊地区的管道施工技术	(79)
4.3.1	陡坡工程	(79)
4.3.2	线路截断阀室	(83)
4.3.3	管路挡土墙及护坡	(84)
4.3.4	黄土沟蚀	(87)
4.3.5	冻土地区	(88)
4.4	长输管道基本施工方法	(89)
4.4.1	施工通道的修筑	(89)
4.4.2	施工场地的清理及坡度的平整	(92)
4.4.3	管道的储存、装卸与布管	(93)
4.4.4	挖沟作业	(95)
4.4.5	管道的净化	(98)
4.4.6	对口作业	(99)
4.4.7	弯管作业	(100)
4.4.8	管道的焊接工艺	(102)

4.4.9	防腐层的涂敷及缠绕	(108)
4.4.10	管道下沟及管沟回填	(109)
4.4.11	管道的对口连接及场地清理	(110)
4.5	管道的质量检验	(111)
4.5.1	焊缝的一般要求	(111)
4.5.2	管道的无损探伤	(113)
4.6	管道的穿越	(117)
4.6.1	铁路及公路的穿越	(117)
4.6.2	铁路及公路的开挖与非开挖穿越	(119)
4.6.3	河流的穿越	(120)
4.6.4	非开挖穿越	(123)
4.6.5	水下管道稳定保护结构	(127)
4.7	管道的水压试验	(129)
4.7.1	管道水压实验的一般过程	(129)
4.7.2	管道的水压试验	(131)
4.7.3	管道内部的清理和检测	(132)
4.7.4	管道的空气试压	(133)
4.7.5	管道运行前的检查与调试	(134)
4.7.6	天然气管道的净化	(135)
4.7.7	管道竣工信息记录	(137)
4.8	管道的跨越	(139)
4.8.1	跨越结构简介	(139)
4.8.2	跨越技术发展展望	(142)
第5章	厂站管道的建设安装	(143)
5.1	装置的布置设计	(143)
5.1.1	装置布置设计的一般要求	(143)
5.1.2	防火防爆要求	(145)
5.1.3	建筑物、构筑物及通道的布置	(146)
5.1.4	装置的平面布置原则	(148)
5.1.5	管廊及其管道布置设计	(149)
5.2	塔及加热炉布置	(154)
5.2.1	塔的布置	(154)
5.2.2	反应器的布置	(155)
5.2.3	容器的布置	(156)
5.2.4	加热炉的布置	(157)
5.2.5	塔器的管道布置	(158)
5.2.3	加热炉的管道布置	(160)
5.3	冷换设备及其管道布置设计	(161)
5.3.1	管壳式换热器或冷却器的布置	(161)
5.3.2	套管式换热器的布置	(162)

5.3.3	重沸器的布置	(162)
5.3.4	空气冷却器的布置	(162)
5.4	泵及其管道布置设计	(162)
5.4.1	泵的布置形式	(162)
5.4.2	泵的布置要求	(163)
5.4.3	泵的间距	(163)
5.4.4	泵的基础	(163)
5.5	压缩机及其管道的布置	(164)
5.5.1	压缩机的布置	(164)
5.5.2	压缩机的管道布置	(165)
5.6	液化烃管道布置设计	(168)
5.6.1	管道布置设计	(168)
5.6.2	管道器材的选用	(169)
5.7	可燃气体排放管道设计	(169)
5.7.1	排入火炬总管的可燃气体管道	(169)
5.7.2	向大气排放的可燃气体管道布置	(170)
5.8	设备平面布置设计方法	(171)
5.8.1	设计前的准备	(171)
5.8.2	设计时必需的资料	(172)
5.9	管道支吊架	(173)
5.9.1	管道自然补偿和支架的设计	(173)
5.9.2	管道支吊架的位置及类型	(173)
5.9.3	管道支吊架计算及选用	(175)
5.9.4	管道支吊架在应力分析中的作用	(177)
5.9.5	管道支吊架荷载计算	(179)
5.9.6	管道最大允许跨距的计算	(187)
5.10	阀门等附件的安装设计	(189)
5.10.1	管廊上管道、阀门和仪表元件的布置	(189)
5.10.2	管道上常用阀门及其安装设计	(190)
5.11	设备布置图的绘制	(192)
5.11.1	设备平面布置图的内容及表示方法	(192)
5.11.2	设备竖面布置图的内容及表示方法	(193)
第6章	城市燃气管网建设	(194)
6.1	配气管网的组成与分类	(195)
6.1.1	配气系统的组成	(195)
6.1.2	根据配气管网形状分类	(195)
6.1.3	根据输气压力分类	(196)
6.2	城市配气管网系统及其选择	(197)
6.2.1	城市配气管网系统分类	(197)
6.2.2	采用不同压力级制的原因	(197)

6.2.3	常见的城市配气管网系统	(197)
6.2.4	城市配气管网系统的选择	(200)
6.3	城市配气管网的布置	(201)
6.3.1	室外燃气管道的布置	(201)
6.3.2	室内燃气管道的布置	(206)
6.3.3	室内燃气管道安装	(208)
6.4	城市管网管道材质的选用	(212)
6.5	输气与调压配气	(213)
6.5.1	输气及输气站	(213)
6.5.2	配气站	(218)
6.5.3	调压器的作用及工作原理	(220)
6.5.4	燃气的储存与配气	(222)
6.6	城市燃气管网运行可靠性分析	(223)
6.6.1	城市燃气管网可靠性评价原理与方法	(223)
6.6.2	提高燃气管网系统安全可靠措施	(225)
6.7	城市配气管网技术经济计算方法	(226)
6.7.1	方案比较法	(226)
6.7.2	不确定性分析	(227)
6.7.3	数学分析方法	(227)
第7章	油气管道运行技术管理	(229)
7.1	管道流量的计量	(229)
7.1.1	流量计的类型及选用	(229)
7.1.2	容积式流量计	(232)
7.1.3	速度式流量计	(235)
7.2	管道的自动化控制	(240)
7.2.1	管道的自动化计量	(240)
7.2.2	SCADA 系统	(241)
7.2.3	长距离管道瞬变流动控制系统	(244)
7.3	管道的防护技术	(245)
7.3.1	管道的清管作业	(245)
7.3.2	清管器种类及结构	(246)
7.3.3	清管器的检测作用	(252)
7.3.4	清管器收发装置及作业前的准备	(254)
7.3.5	清管器收发及转发操作	(257)
7.3.6	清管站和远程控阀室 RTU 系统组成	(258)
7.3.7	清管器清管操作要点	(258)
7.4	管道的腐蚀及防腐方法	(259)
7.4.1	腐蚀的危害	(259)
7.4.2	腐蚀的类型	(260)
7.4.3	腐蚀的原理及过程	(260)

7.4.4	管道的防腐	(263)
7.4.5	管道的外壁防腐	(268)
7.4.6	管道内壁防腐	(271)
7.4.7	管道的阴极保护	(273)
7.4.8	防腐设施的运行与管理	(277)
7.5	管道泄漏检测技术	(279)
7.5.1	基于硬件的方法	(279)
7.5.2	基于软件的方法	(283)
7.5.3	泄漏检测方法的综合评定和选择	(285)
7.5.4	管道的安全性管理与评价	(286)
7.6	管道的带压开孔及堵漏	(287)
7.6.1	管道的带压开孔方法	(287)
7.6.2	不停输带压开孔封堵技术设备	(289)
7.6.3	管道的带压堵漏和开孔举例	(291)
7.7	HSE 作业指导	(292)
7.7.1	管理方针及目标	(292)
7.7.2	管道项目工程的组织机构与职责	(293)
7.7.3	能力评估	(294)
7.7.4	HSE 培训	(294)
7.7.5	HSE 管理	(295)

第1章 油气管道建设与发展概论

1.1 管道运输的优势

在石油天然气工业中,管道运输在当前世界范围内发展迅速。在五大运输方式中(铁路运输、公路运输、水路运输、航空运输及管道运输),对于石油及天然气行业而言,管道运输是最佳的选择。原油、成品油、天然气及各种具有常温状态下呈现流体性质的各类化工产品的运输主要都是依靠管道运输方式来实现。利用管道把石油及其产品和各种气体从产地输送到炼厂或用户已逐渐成为最安全、最经济和对环境破坏最小的运输方式。在五大运输方式中,对于油品及天然气的运输,采用水路运输当前逐渐被认为是最为经济方式,但它要受到地理条件等自然环境的制约及各种人为因素的干扰;公路运输虽然较为灵活,但因其运量小且运费高,一般用于少量且短途的区域运输;铁路运输成本比较高,对于大量的油气运输是不经济的,而且铁路总的运力有限也使油气的运输量受到限制;航空运输虽然快捷,但因其高昂的运输价格使其只有在特殊的情况下偶尔被采用。因此,管道运输与铁路、公路、水路运输等其他常用的运输方式相比,主要表现为以下几个方面的优点:

(1) 输送费用低,输送同等量石油产品时,其费用不及铁路运输的一半,这里还不算火车油罐车常有空载返程等额外费用;

(2) 输送能力大,综合经济效益好,例如一条 $\phi 1220\text{mm}$ 管道的年输油量约在1000万吨以上,其运力分别相当于两条双轨铁路的年运输量;

(3) 作业方便,不用转运,没有消耗,极少因事故发生泄漏,对环境污染很小;由于采用密闭输送,能够长期连续稳定运行;受恶劣气候的影响小,无噪音,安全可靠,相对受外界条件的影响因素很小;

(4) 建设费用低,施工期限短,设备维修量小;便于管理,易于实现远程集中监控;现代化管道运输系统的自动化程度很高,劳动生产率高。

但管道运输也有其一定的缺点和局限性,主要是不如车、船等运输方式更灵活方便及产品的多样,故主要适合于大量、单向、定点运输的流体货物。

正是由于长输管道在输送流体介质时具有上述的诸多优越性,因此,近年来长输管道的应用已不局限于石油及其产品、化工产品和天然气等介质的输送,而应用在了更为广泛的领域,如煤浆、矿浆和其他介质的输送。

1.2 国内外管道工业发展概况

1.2.1 国外管道工业发展概况

现代管道运输始于19世纪中叶。1820年,英国人建成数条直径48in低压煤气铸铁管道,压力管道开始出现。1879年,美国建成从宾夕法尼亚州的格里维尔到威廉港的直径为50mm、长近10km及日输能力为 1580m^3 的原油管道,被喻为世界上第一条长距离输油

管道。实际上，直到 20 世纪初，管道运输才有进一步发展，但真正具有现代规模的长距离输油管道则始于第二次世界大战。战后随着石油工业的发展，管道建设进入了一个新阶段，各产油国都建设了不少长距离输油管道。20 世纪 60 年代开始，输油管道向着大管径、长距离方向发展，前苏联—东欧的“友谊”输油管道和美国的横贯阿拉斯加的输油管道就是两个典型代表。沙特阿拉伯的东—西原油管道和阿尔及利亚—突尼斯的原油管道都穿过了浩瀚的沙漠地区。随着英国北海油田的开发，兴建了一批海洋原油管道，最长的已达 358km，在深 100 多米的海底铺设。这些管道的建设成功，标志着管道已可以通过极为复杂的地质、地理条件与气候恶劣的地区。到目前为止，全世界各种石油及天然气管道的总长度估计有近 300 多万公里。随着管道输送油、气方法所表现出的高效率和经济优势，世界管网得到了迅速发展。美国、俄罗斯和中东地区输油管道比较集中。世界几条比较著名的规模较大的输油管道是：

(1) 俄罗斯“友谊”输油管道(Friendship Line) 它是世界上最长的输油管道之一，其北、南线长度分别为 4412km 和 5500km，管径为 $\phi 426 \sim 1220\text{mm}$ ，年输原油量超过 1 亿吨，管道工作压力 4.9 ~ 6.28MPa。该国际输油管道的建设协议于 1959 年 12 月 18 日由当时的经济互助委员会(经互会)成员国前苏联、匈牙利、捷克斯洛伐克、波兰和民主德国共同签署。该石油管道建设分两期进行，管道二期工程建成后使前苏联的石油出口规模提高 1 倍以上。输油管道的起点位于俄罗斯萨马拉州，途经俄罗斯 8 个州，最终从布良斯克州进入白俄罗斯，输油管道主干线在白俄罗斯的莫济里市形成北部和南部支线，北部支线经白俄罗斯延伸至波兰和德国，南部支线经白俄罗斯、乌克兰延伸至捷克、斯洛伐克和匈牙利。此外，该输油管道从俄罗斯布良斯克州的乌涅恰市还分出一条经过白俄罗斯通往立陶宛和拉脱维亚的支线，将俄罗斯西伯利亚的石油输往东欧和西欧国家。

(2) 美国阿拉斯加输油管道(Alaska Petroleum Pipeline) 从美国阿拉斯加州的普拉德霍湾到瓦尔迪兹，全线长为 1200km，采用 $\phi 1220$ 管径，年输量 6000 万 ~ 10000 万吨，工作压力为 8.2MPa，沿线有 10 座泵站。它是世界上第一条深入北极圈的输油管道，不仅是在北极圈以北的地区，而且大部分线路所经过的很长的冻土地带，半数以上干线采用地上架设，泡沫塑料保温。全线集中控制，有比较完善的抗地震和管线保护措施。

(3) 科洛尼尔成品油管道(Colonial Product Pipeline) 从管道酝酿建设开始，到 1979 年建成 40in 的管道复线，历经 26 年。从美国得克萨斯州的休斯顿到新泽西州的终点林登，干线全长为 4618 km，支线为 3435km，干线段共设 53 个泵站，支线上有 30 个泵站。日输成品油 333873 m^3 ，之后复线建成后，这两条管道的系统可顺序输送各种成品油 118 种，年输量达到 93000000t。

(4) 阿意输气管线(Algeria - Italy Gas Pipeline) 该输气管线是由阿尔及利亚到意大利，总长 2506km，年输气量 125 亿立方米，建设投资为 35 亿美元，于 1983 年初全部建设投产。该管线的特点为是第一条连接非洲与欧洲的洲际输气管道，也是穿越地中海首创建了水深 600m 的海底管道。

(5) 沙特阿拉伯东—西输油管道(Saudi Arabia East - West Crude Oil Pipeline) 该输油管道于 1969 年动工，1983 年投产。横贯沙特阿拉伯中部地区，管道全线集中控制，全长 1202km。采用 $\phi 1220$ 管径，每天输送原油 376000 m^3 。沿线有 11 泵站，采用 X65 管子，工作压力为 5.88MPa。

在近代，石油、天然气逐渐代替了煤炭，出现了天然气增长速度超过原油的趋势，这是

因为天然气具有品质优良、使用方便、技术经济性突出和有利环境等优点。目前，气制液 (GTL) 技术也成为一项新兴技术得到各国的重视。

特别是 20 世纪末和 21 世纪初，科技进步更是日新月异，各种新技术及工艺、方法层出不穷，极大地提高了管道建设的科技含量，不仅建设了油气管道，还建设了输送矿浆、LNG、煤层气等多介质管道，陆上管道翻越崇山峻岭、沙漠戈壁、水网河海，穿越永冻土，同时海底管道也迅猛发展。管道的设计到施工，从布管、弯管、挖沟、管子除锈防腐绝缘、管子对口、焊接、焊缝检测、回填、试压到压气站、配气站、输油站安装建设等工序均全部实现机械化或部分自动化，施工机具达到标准化、系列化、管道运行自动化，能够适应各种复杂的自然气候及地理环境下的建设和管理输送管道，管道建设已进入现代化、智能化、网络化时代。现代化的管道工程建设已达到工艺设计先进、仪表设备高效、施工安装机械化、运行管理自动化。今后管道建设总的发展趋势是长距离、高压、高度自动化、形成大型供气管网系统，向极地和海洋延伸，加强管道建设的科研和技术手段等方面发展。

1.2.2 国内管道工业发展概况

我国是最早使用管子输送流体的国家。据历史史料记载，公元前的秦汉时代，我国的先民们就已经用打通了竹节的竹子连接起来输送卤水，随后又用于输送天然气。1958 年，我国才建成了第一条原油管道——新疆克拉玛依至独山子管道，由此揭开了我国油气管道建设的篇章。该管道全长 147km，管径为 150mm。此后，我国的管道工业开始蓬勃的发展起来。虽然与世界油气管道比我国的油气管道工业起步晚，但发展较快，从无到有、从小到大，走出了一条靠科技创新与引进相合的中国特色的自我发展之路。如 20 世纪 70 年代建设大口径管道时，根据管道需要试制了管道专用输油泵、阀门、管子，满足了当时管道建设的需要，并且解决了长距离用管道输送凝固点高、高黏度原油的一系列技术难题。80 年代以后，我国的石油、天然气输送专用管线建设进入全面发展的阶段。到了 90 年代，我国油气输送管道建设坚持发展与提高并重的原则，在管线设计、运行管理、钢管制造、施工安装等各方面，力争与国际通用规范接轨，使管道技术有了长足的进步。1997 年建成全长 918km 的陕北至北京天然气管道。2001 年建成全长 953km 的青海涩北—西宁—兰州天然气管道。2004 年建成西气东输管道，西起新疆轮南首站，东至上海白鹤末站，途经新疆、甘肃、宁夏、陕西、山西、河南、安徽、江苏、浙江、上海等 10 个省(区)市、66 个县，穿越戈壁、沙漠、黄土塬、山区、平原、水网等各种地形地貌，经历多种气候环境，施工难度世界少有。管道干线全长约 4000km，设计输气量 $120 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，干线输气压力 10MPa，管径 $\phi 1016\text{mm}$ ，全线采用 X70 材质的管道输送用管，它的建成标志着我国陆上石油管道建设跨入国际先进行列。以后又建成了全长 1328km 的重庆忠县至武汉、全长 932km 的陕北至北京复线和全长 1400km 的河北至南京天然气管道。到 2004 年为止我国的输油管道及输气管道的总长度及运力如表 1-1 及表 1-2 所示。

表 1-1 输油管道长度

输油管道里程/km	输油能力/ 10^4t	输油量/ 10^4t	输油周转量/ $10^4\text{t} \cdot \text{km}$
17089	49438.6	21970.1	6963028.7

表 1-2 输气管道长度

输气管道里程/km	输气能力/ 10^4t	输气量/ 10^7m^3	输气周转量/ $10^7\text{m}^3 \cdot \text{km}$	备注
21115	5311.8	2763.7	1186139.3	输气量按 1km^3 折 1t 计算

在输油管道中，原油管道总长为 13680 km，输送原油能力为 40372.9 万吨，成品油管道 3409km，成品油输油能力为 9065.7 万吨。在输气管道中，除输送天然气外，输送其他气体管道长度为 529 km，输气能力为 522.2 万吨。目前石油产品及天然气的管道输送已经成为我国石油天然气运输的主要支柱产业。

针对我国原油特点，研究发展具有我国特色的输油工艺技术，达到节能降耗、安全输油的目的，是我国管道科技工作者的重要任务。多年来，我国在含蜡原油流变性及输油新工艺研究方面做了大量工作，在简易热处理输送、加剂综合处理输送等方面取得了重大成果，达到国际先进水平。

长输管道线路沿线地质灾害对长输管道的影响及其防治也逐步在设计阶段得以充分的重视，灾害性地质的防治和建设管道期间对环境的影响这一现代理念已为每一位技术人员所接受并实践，最能体现这一环保意识的就是长输管道的水土保护设计和在工程设计同时进行的管道建设的环境评价报告。

成品油管道在我国 20 世纪的前半叶一直是基本上处于空白，但随着技术水平的提高和对成品油需求的日益增加，使得建设成品油管道在我国也是方兴未艾。20 世纪 60 年代建于世界屋脊青藏高原上，穿过永久冻土带等地质条件极为复杂地区的格尔木至拉萨成品油管道，全长 1080km，管径 150mm，主要输送汽油和柴油，是我国最长的一条顺序输送管道。

70 年代中期以前，我国油气管道的设计、施工、管理技术落后，设备效率低，能源消耗高，并且全是人工操作，与国外油气管道的设计、施工、管理技术相差了 50 多年。改革开放后，我国的油气管道工业广大科技人员积极主动地学习国外先进技术和先进管理经验，经过 20 多年的努力奋斗，赶上了发达国家花了 100 多年所达到的水平，使我国的油气管道在设计、施工等主要方面，从整体上达到了 20 世纪末的世界先进水平，管道设计、施工和运行管理技术得到了很大发展，原油常温输送、原油减阻降凝输送、自动控制、高强度管道钢应用、管道防腐保温、储气库调峰、管道流水施工作业、大型河流定向钻穿越等技术都得到了广泛应用，并取得了较好的效果，主要表现在以下几个方面：

(1) 采用高新技术进行管道的勘察设计：如卫星遥感图像优选线路走向、卫星遥感资料分析灾害地质影响的应用，比人工测绘地图、机械钻取工程地质资料方法提高了工作效率；

(2) 采用更加节能、高效及环保的输送工艺：如建设大口径、高压力的大型输油管道。因为增大口径、提高管道工作压力，可以增加输量、增大泵站间距、减少泵站数、使投资减少、输油成本降低；目前大部分管线已经实现了密闭输送，输油站采用“先泵后炉”的工艺措施；

(3) 先进的工艺设备的制造及其广泛地使用：如采用高强度、韧性及可焊性良好的管材；国产 X80 级钢管的成功应用，标志着我国高等级管线钢和钢管制造技术实现了质的飞跃；半自动化、全自动化焊管机组，提高焊管速度，全自动超声波检测技术得到了广泛应用；

(4) 采用高效的管道综合防腐蚀措施：如煤焦油瓷漆、黄夹克防腐层、环氧煤沥青、环氧粉末涂层、两层 PE、三层 PE 等等一系列防腐措施与手段，满足了长输管道在不同的地区、不同的地质条件情况下的防腐特性与要求，更加重视管道建设的前期工作及环保问题；

(5) 高度自动化的运行管理系统：采用计算机监控与数据采集(SCADA)系统，实现了集中控制，设备自动启停，工艺参数自动调节；管线内检测技术、智能清管、内检测机械损

伤检查、清管器运行实时监控技术、实时检测监控技术、直升机巡线和管道完整性监控技术等的应用,使我国天然气管道工业提升到一个新的水平;

(6) 科学的施工组织管理和先进的施工技术装备:在 50 年代末期我国建设第一条长输管道期间,近 150km 的输油管道的建设周期一年半左右,而现在我国每年长输管道的设计与建造能力在 3000km 以上,半自动焊接和全自动焊接技术的引入与逐步地完善,不仅大大地提高了施工的工效,而且大幅度地提高了施工的质量,在为管道的运行管理带来了极大的便利的同时也获得了巨大的经济效益和社会效益。

但我国长输管道与国外先进水平相比,在自动化水平、主要设施等方面还存在一定的差距。如管材质量、机泵及加热系统效率及可靠性、阀门质量、施工机具及施工技术、管道防腐技术等多方面还待于提高,对高黏易凝原油采用加热输送时热能损失较大,加上设备效率不高及自动化程度低限制,使管道的总能耗较高。一些中小管径不满负荷运行的管道,由于输油能力利用率低、热损失大,单位能耗很高。所以今后需要在输油工艺的新型、多样和综合应用上进一步深入研究。

1.3 管道的分类与分级

管道是由各种组件连接成用来输送流体或传递压力的系统,主要由管子、管件、阀门及专用设备等组成。由于在实际生产中所输送介质、操作环境、重要程度和危险性的不同,使管道所具有的物性参数也是多样的。不同类型的管材有其适用的场所。目前工程设计中采用的管道分类及分级的办法,按照其级别和类型分别提出了不同的设计、制造和施工验收要求,以保证各种管道均能在其设计条件下可靠安全地运行,并能合理归并管道附件的品种,简化管道系统的备件,避免管道工程过分复杂。

1.3.1 管子的分类

管子的分类方法很多。

按用途分类,可分为流体输送用、传热用、结构用和其他用等。按形状分类,可分为套管、翅片管、各种衬里管等。按材质分类,可分为金属管、非金属管,见表 1-3。

表 1-3 管子按材质分类

大分类	中分类	小分类	管子名称举例
金属管	铁管	铸铁管	承压铸铁管(砂型离心铸铁管、连续铸铁管)
	钢管	碳素钢管	B ₃ F 焊接钢管, 10、20 号钢无缝钢管, 优质碳素钢无缝钢管
		低合金钢管	16Mn 无缝钢管, 低温钢无缝钢管
		合金钢管	奥氏体不锈钢管, 耐热钢无缝钢管
	有色金属管	铜及铜合金管	控制及挤制黄铜管、紫铜管、铜镍合金(蒙乃尔等)
		铝管	铝管, 铝镍合金管
		铝管	冷拉铝及铝合金圆管, 热挤压铝及铝合金圆管
		钛管	钛管及钛合金管(Ti-2Al-1.5Mn, Ti-6Al-6V-2Sn-0.5Cu-0.5Fe)
非金属管	橡胶管	输气胶管, 输水吸水胶管, 输油、吸油胶管, 蒸汽胶管	
	塑料管	酚醛塑料管, 耐酸酚醛塑料管, 硬聚氯乙烯管, 高、低密度聚乙烯管, 聚丙烯管, 聚四氟乙烯管, ABS 管, PVC/FRP 复合管, 高压聚乙烯管	
	石棉水泥管		
	石墨管	不透性石墨管	

续表

大分类	中分类	小分类	管子名称举例
非金属管		玻璃管陶瓷管	化工陶瓷管(耐酸陶、耐酸耐温陶、工业瓷管)
		玻璃钢管	聚酯玻璃钢管, 环氧玻璃钢管, 酚醛玻璃钢管, 呋喃玻璃钢管
	衬里管		橡胶衬里管, 钢塑复合管, 涂塑钢管

1.3.2 管道的分类

GB 50235—97 中对管道所输送的流体有明确的定义与划分。剧毒流体相当于现行国家标准 GB 5044—85《职业性接触毒物危害程度分级》中 I 级危害程度的毒物, 有毒流体相当于 II 级以下危害程度的毒物, 可燃流体为在生产操作条件下可以点燃和连续燃烧的气体或可以汽化的液体。GB 50235—97 对输送以上各种流体的管道规定了不同的检验和施工要求。

对管道组成件本身, 如阀门的试验, GB 50235 将输送剧毒流体、有毒流体、可燃流体的阀门和输送设计压力大于 1MPa 或设计压力小于等于 1MPa, 且设计温度小于 -29°C 或大于 186°C 的非可燃流体、无毒流体管道的阀门划成一类; 输送压力小于等于 1MPa 且设计温度为 -29°C 到 186°C 的非可燃流体、无毒流体管道的阀门划分为一类。

对于管道焊缝射线检验, GB 50235 将各种管道划分为 3 种情况, 管道焊缝需 100% 射线照相检验, 质量不低于 II 级的为一类。属于这一类的管道有:

- (1) 输送剧毒流体的管道;
- (2) 输送设计压力大于等于 10MPa 或设计压力大于等于 4MPa 且设计温度大于等于 400°C 的可燃流体, 有毒流体的管道;
- (3) 输送设计压力大于等于 10MPa 且设计温度大于等于 400°C 的非可燃流体, 无毒流体的管道;
- (4) 设计温度小于 -29°C 的低温管道。

另一类为焊缝可不进行射线照相的管道, 输送设计压力小于等于 1MPa 且设计温度小于 400°C 的非可燃流体和无毒流体的管道属于此类。

第三类为焊缝射线照相检验抽检比例不低于 5%, 质量不低于 III 级的管道, 这类管道即为除上述两类管道以外的其他管道。

在弯管制造方面, 按弯管成品本身的质量要求, 将输送剧毒流体和设计压力大于等于 10MPa 钢管划为同一类。此类管道的弯管制作有明确具体的质量、探伤和管理要求。

GB 50235—97 规定输送剧毒流体、有毒流体、可燃流体的管道必须进行泄漏性试验。因而对泄漏性试验而言, 输送以上 3 种流体的管道又被合并为同一类。

GB J235—82 的另一种管道分类方法是按照管道材质和工作温度、工作压力将管道分成 5 类, 见表 1-4。这种分类方法主要用于管道焊接, 由管道类别确定焊缝等级, 不同的焊缝等级各有不同的焊缝表面、焊缝内部质量标准 and 不同的焊缝探伤数量及合格指标要求。

表 1-4 按管道材质和工作温度、工作压力分类

管道材质	工作温度/ $^{\circ}\text{C}$	工作压力/MPa				
		I	II	III	IV	V
碳素钢	≤ 370	> 32.0	$> 10.0 \sim 32.0$	$> 4.0 \sim 10.0$	$> 1.6 \sim 4.0$	≤ 1.6
	> 370	> 10.0	$> 4.0 \sim 10.0$	$> 1.6 \sim 4.0$	≤ 1.6	—

续表

管道材质	工作温度/℃	工作压力/MPa				
		I	II	III	IV	V
合金钢及不锈钢	≤ -70 或 ≥450	任意	—	—	—	—
	> -70 ~ 450	>10.0	>4.0 ~ 10.0	>1.6 ~ 4.0	≤1.6	—
铝及铝合金	任意	—	—	—	≤1.6	—
铜及铜合金	任意	>10.0	>4.0 ~ 10.0	>1.6 ~ 4.0	≤1.6	—

按 GB50316《工业金属管道设计规范》国家标准将输送流体分成5类, 输送这5类流体的管道类别分别与流体类别对应, 但并不完全等同, 见表1-5。

表1-5 管输流体类型分类表

流体类别	适用范围
A1类	某种剧毒流体, 相当于GB5044《职业性接触毒物危害程度分级》中I级(极度危害)的毒物
A2类	相当于GB5044《职业性接触毒物危害程度分级》中II级及以下(高度、中度、轻度危害)的毒物
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一种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	设计压力不大于1.0MPa和设计温度高于-20℃至186℃之间的不可燃、无毒流体

1.3.3 管道的分级

1) 按设计压力的分级

在实际管道应用中, 管道输送流体的设计压力和设计温度等是管道工程检验、施工和验收的必要条件, 这些条件应由设计者提供。为规范压力管道管理, 《压力管道安全管理与监察规定》将压力管道进行了分级。GB 50235—97《工业金属管道工程施工及验收规范》中的分级以设计压力为主要参数, 将管道分为4级, 见表1-6。这种分级方法主要用于管道组成件检验、管道加工、管道安装、管道系统试验和工程验收等方面, 各种级别的管道分别有不同的要求。

表1-6 工业管道设计压力分级表

级别名称	设计压力/MPa	级别名称	设计压力/MPa
真空管道	< 0	中压管道	1.6 < p ≤ 10.0
低压管道	0 < p ≤ 1.6	高压管道	> 10.0

2) 按管道用途的分级

《压力管道安全管理与监察规定》将工业压力管道按用途进行了分级, 它将压力管道按用途划分为长输管道、公用管道和工业管道。长输管道指产地、储存库、用户间的用于输送商品介质的管道, 为GA类, 级别划分为GA1级 GA2级。公用管道包括燃气管道和热力管道, 为GB类, 级别划分为GB1和GB2级。石油化工管道属工业管道, 为GC类。

(1) 长输管道

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 ≥ 6.4MPa 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直接距离) ≥ 200km 的长输管道。

GA1级以外的长输管道为GA2级。