

油气管道工程技术丛书



油气管道选材

YOUQI GUANDAO
XUANCAI

王引真 熊伟 王彦芳 等 编著



中国石化出版社

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



油气管道工程技术丛书

○ 油气管道选材

油气管道设计与施工

油气管道防腐蚀工程

油气管道检测与评价

油气管道维护与抢修

油气管道仪表与自动化

油气管道安全与风险评估

油气管道标准

责任编辑：龚志民

责任校对：李 伟

封面设计：七星工作室

ISBN 978-7-5114-0417-6



9 787511 404176 >

定价：35.00 元

油气管道工程技术丛书

油气管道选材

王引真 熊 伟 王彦芳等 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书系统阐述了油气输送管道选材的基本原则和方法,详细介绍了干线及支干线管道输送钢管的制造、性能要求、选型、失效及断裂控制;站场钢管的焊接、低温脆断及选材;感应加热弯管、管件的选材及制造;集输管道钢管、集输处理站场管件及容器的腐蚀及选材;海底管道、LNG管道的选材;管道钢管、管件的检验和质量控制等内容。

本书可供油气管道工程设计、施工技术人员及管理人员参考,也可作为大中专院校油气储运、材料科学与工程等相关专业本科生和研究生的参考教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

油气管道选材 / 王引真等编著. —北京: 中国石化出版社, 2010. 7
(油气管道工程技术丛书)
ISBN 978 - 7 - 5114 - 0417 - 6

I. ①油… II. ①王… III. ①石油管道 - 工程材料 ②天然气管道 - 工程材料 IV. ①TE973

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 103546 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

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

北京科信印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 13.25 印张 333 千字

2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

定价: 35.00 元

前 言

石油和天然气是主要的优质能源，也是保障国家政治、经济、军事安全的重要战略物资。随着人们对石油、天然气需求的不断增加，输送管道建设也得到了迅速发展。管道输送是石油天然气最经济、最合理的运输方式，被誉为国民经济五大运输方式之一。从最早的竹筒输送到现在的大口径钢管输送，管道输送经历了系列革新，管道材质也发生了重大变化。钢管输送是石油天然气的主要输送方式。随着石油天然气输送的迅猛发展，对管材的要求和等级也不断提高。输送压力从20世纪初的0.25MPa上升到90年代的10MPa以上，屈服强度则从170MPa提高到500MPa以上。随着开采的不断深入，高压输送或严酷的环境对输送钢管提出了更高的要求。为了满足不同类型、不同区域的油气管道输送的安全性、经济性和适用性的需要，油气管道选材就显得尤为重要。

油气输送管线的选材是管线设计及材料采购的重要环节，备受管道设计、施工、采购部门和材料科学工作者的重视。油气输送管线的设计规范、法规是选材的基本出发点。油气输送管线钢管选材就是要保证钢管的选用符合管线设计、使用要求，保证钢管满足服役条件要求和施工要求，并且最大限度地保证钢管的适用性、安全性和经济性。

本书详细阐述了油气管道选材的基本原则和方法，共分八章，详细介绍了油气管道选材导则；干线及支干线管道输送钢管的制造、性能要求、选型、失效及断裂控制；站场钢管的焊接、低温脆断及选材；感应加热弯管、管件的选材及制造；集输管道钢管、集输处理站场管件及容器的腐蚀及选材；海底管道、LNG管道的选材；管道钢管、管件的检验和质量控制等内容。本书由中国石油大学的王引真(第一章、第二章)、王彦芳(第三章、第六章)、王炳英(第四章)、熊伟(第五章、第七章)、冯涛(第八章)编写，由王引真、熊伟、王彦芳三位同志统稿整理完成。

本书由北京航空航天大学马朝利教授担任主审。本书的编写提纲由西安石油管材研究所李平全教授级高工提出，在编写过程中，硕士研究生钟娜、王瑞英、孙玉伟、丁杰、张旭等做了部分编辑工作，在此一并致谢。

油气管道选材是一项复杂的系统工程，涉及管道设计、施工、材质等多个方面，由于编者水平有限，难免有缺点、错误和不妥之处，恳请广大读者给予批评指正。

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 油气管道简介	(1)
第二节 油气管道的发展趋势	(4)
第三节 油气管道的基本要求	(10)
第二章 油气管道选材导则	(13)
第一节 油气管道系统及管道元件简介	(13)
第二节 油气管道的服役环境和载荷特性	(14)
第三节 油气管道选材的一般原则	(16)
第四节 油气管道选材的基本问题	(18)
第五节 对管道用钢的要求	(24)
第三章 干线及支干线管道输送钢管	(28)
第一节 管道输送钢管	(28)
第二节 管道用钢类型与钢管制造	(32)
第三节 管线钢管的力学性能要求	(40)
第四节 管径、壁厚、钢级的确定	(48)
第五节 管型的选择	(62)
第六节 管线刚性及稳定性计算	(64)
第七节 油气管道的失效及典型案例	(68)
第八节 管道的断裂控制	(78)
第九节 穿越管道的挤毁失稳破坏及选材	(85)
第十节 基于应力、应变设计对钢管的要求	(88)
第四章 站场钢管	(94)
第一节 站场环境与工况	(94)
第二节 钢管及焊接结构低温脆断特点及脆断机理	(97)
第三节 钢管和焊接结构低温韧性的影响因素	(103)
第四节 低温下可焊性、焊材及焊接工艺	(109)
第五节 站场钢管选材原则及韧性指标	(113)
第五章 感应加热弯管、管件的选材及制造	(119)
第一节 感应加热弯管母管的选材	(119)
第二节 感应加热弯管的制造工艺	(123)
第三节 感应加热弯管的铜污染	(125)
第四节 三通等管件的选材及制造工艺	(128)
第五节 大口径感应加热弯管、管件的开发和制造	(130)

第六章	集输管道钢管、集输处理站场管件及容器	(132)
第一节	集输管道和工艺管道	(132)
第二节	集输管道的腐蚀	(135)
第三节	含 CO ₂ 、H ₂ S、H ₂ O、Cl ⁻ 环境对钢的腐蚀机理	(141)
第四节	对材料的要求	(145)
第五节	材料的选择和制造工艺控制	(148)
第六节	抗 H ₂ S 并具有一定抗 CO ₂ 腐蚀的无缝管线钢管的开发	(153)
第七节	双相不锈钢集输管、管件、设备的应用	(158)
第七章	海底管道、LNG 管道	(162)
第一节	海底管道	(162)
第二节	海底管道的选材及对材料的要求	(164)
第三节	LNG 管道	(165)
第四节	LNG 接收管道和 LNG 大型储罐的选材	(168)
第八章	管道钢管、管件的检验和质量控制	(177)
第一节	焊接管理	(177)
第二节	外观及理化性能检验	(182)
第三节	无损检验	(184)
第四节	耐腐蚀性检验	(197)
附录	部分不锈钢牌号对照表	(204)
	参考文献	(205)

第一章 绪 论

第一节 油气管道简介

一、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的方式，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) 运输量大，便于管理 流体在压力驱动下沿管道向前运动，可连续输送，输送量大。根据管道口径的大小不同，其每年的运输量可达数百万吨到几千万吨，甚至超过亿吨。管道口径越大，运输量越大。例如一条 $\phi 1220\text{mm}$ 的管道年输油量约在 1 亿吨以上，其运行能力相当于两条双轨铁路的年运输量。此外，作为输送流体的管道及增压设备是处于静止不动的状态，因此便于管理，易实现全面自动化，劳动生产率高。

(2) 能耗少，运费低 管道运输是一种连续工程，不存在空载行程，运输效率高，能耗少。发达国家采用管道运输石油，每吨千米的能耗不足铁路的 $1/7$ 。在输送等量石油产品时，管道运输、水路运输、铁路运输的运费之比为 $1:1:1.7$ 。

(3) 建设投资低、占地面积少 管道与铁路和公路相比，受地形地物限制小，遇障碍物可穿越或跨越，一般不需绕行，长度较铁路、公路要短 $1/3$ 以上，其建设费用比铁路低 60% 左右；管道通常埋在地下(运输管道埋藏在地下的部分占管道总长度的 95% 以上)，投产后有 90% 的土地可以耕种，占地分别为公路的 3% 、铁路的 10% 左右。

(4) 密闭安全，对环境污染小 管道埋在地下，又采用密闭输送，基本上不受外界恶劣气候和交通事故的影响，可以长期安全可靠地运行；运输过程中油气损耗小，无噪声，无“三废”排放，对环境污染小。

但是，管道运输也有其一定的缺点和局限性，主要是不如车、船等运输方式灵活方便及运输产品的多样，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，而应用在更为广泛的领域，如煤浆、矿浆和其他介质的输送。

二、油气管道的分类

油气管道分类方法很多,按输送介质可分为输油管道、输气管道、油气混输管道等。输油管道又可分为原油管道与成品油管道两类。按铺设方式分为架空管道、地面管道和地下管道,其中以地下管道应用最为普遍。

按用途可分为集输管道、输油(气)管道和配油(气)管道三种:①集输管道,集输管道是指从油(气)田井口装置经集油(气)站到起点压力站的管道,主要用于收集从地层中开采出来的未经处理的原油(天然气);②输油(气)管道,以输气管道为例,它是指从气源的气体处理厂或起点压气站到各大城市的配气中心、大型用户或储气库的管道,以及气源之间相互连通的管道,输送经过处理符合管道输送质量标准的天然气,是整个输气系统的主体部分;③配油(气)管道,对于油品管道来说,它是指在炼油厂、油库和用户之间的管道;对于输气管道来说,是指从城市调压计量站到用户支线的管道,压力低、分支多、管网稠密、管径小,除大量使用钢管外,低压配气管道也可用塑料管或其他材质的管道。

按输送距离和经营方式可分为两大类:一类是属于企业内部,如油田内短距离的油气集输管道、炼厂及油库内部的输油管、城市配气管道等,一般距离短、管径小、输量小,不是独立的经营系统;另一类是长距离输送油气及石油产品的管道,如油田将原油送至较远的炼厂或码头的外输管道,将矿场附近净化厂出来的天然气输送到较远城市门站的输气干线等,一般管径大、运输距离长、输量大,有各种辅助配套工程。长距离管道是一个独立的企业,有自己完整的组织机构,单独进行经济核算。

本书仅介绍油气长距离管道选材的有关内容,若不特别说明,书中油气管道均指长输管道。

三、油气管道的组成

1. 输油管道

输油管道按所输油品的种类可分为原油管道与成品油管道两种。原油管道是指将油田生产的原油输送至炼厂、港口或铁路运转站的长距离输油管道,具有管径大、输送量大、运输距离长、分输点少的特点。成品油管道是将炼厂生产的各种油品送至各分输站、运转站或油库,具有输送品种多、批量多、分数点多的特点,多采用顺序输送。

长距离输油管道由输油站和线路两大部分组成,如图1-1所示。

输油站的基本任务就是供给油流一定的能量(其中包括压力能、热力能),以使油品保质保量、安全经济地输送到目的地。不同类型的输油站,担负着不同的输油任务。

输油站按其所处的位置分为首站、中间站和末站,中间站还可按照其所担负的任务不同,分为加热站(只提供热能)、加压站(只提供压能)及热泵站(既提供热能,又提供压能)。

输油管道的起站输油站称为首站,其任务是收集原油(计量、存储),经加压或加热后向下一站输送。由于来油和输油的不平衡及计量的需要,首站除了输油机泵和加热装置外,还必须设置较大容积的储油罐,以满足计量及调节来油与输油之间不平衡的需要。

原油沿管道不断向前流动,压力不断下降,就需在沿途设置中间输油站(其中包括泵站、加热站和热泵站),继续向管中原油提供所需的能量,直至原油送到终点。中间站的设施相比首站要少得多,特别是储油罐少。在管线沿途,有时为了供给其他单位用油或接收沿途油田的来油,还需要加设分输站以及在中间站或中间阀室考虑接收来油的措施。

输油管道的终点又称为末站,末站的任务是接收来油和把油品输给用油单位,或以其他

运输方式，如公路、铁路、水路运输等转运给用户。由于来油不平衡及运转的不平衡（例如用户用电量变化、海运遇台风停运等），所以末站也需要设有较大容量的储油罐和相应的计量、化验及运转设施。

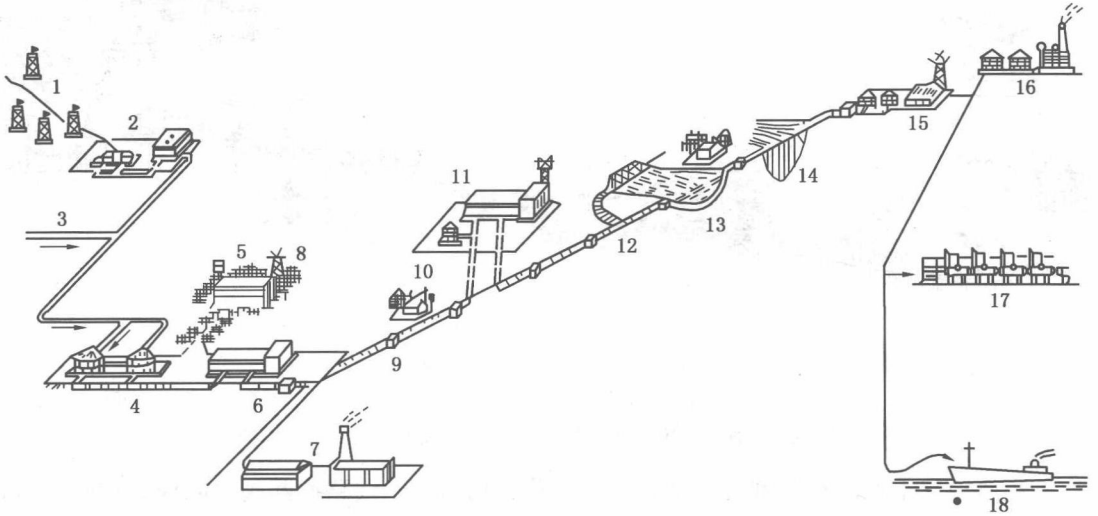


图 1-1 长距离原油管道的组成

- 1—井场；2—输油站；3—来自油田的输油管；4—首站罐区和泵房；5—全线调度中心；6—清管器发放室；
7—首站锅炉房；8—微波通讯塔；9—线路阀室；10—维修人员住所；11—中间输油站；12—穿越铁路；
13—穿越河流；14—跨越工程；15—车站；16—炼厂；17—火车装油栈桥；18—油轮码头

长距离输油管道的线路部分包括管道本身、干线阀室及通过河流、山谷、铁路、公路的穿(跨)越构筑物、阴极保护设施、沿线的简易公路、通讯与自控线路、巡线人员住所等。

输油管道由钢管焊接而成，除跨越段外全线一般都埋地敷设。为防止土壤对钢管的腐蚀，管外都包有防腐绝缘层，并采用外加电流阴极保护措施。为了防止含硫原油对管内壁的腐蚀，有时采用内壁涂层。内壁涂层还有降低粗糙度、提高输量的作用。

长输管道上每隔一定距离设有截断阀门，进、出站处及大型跨越构筑物两端也有。一旦发生事故可以关阀，及时截断管内介质流动，防止事故扩大和便于抢修。

输油管道的配套辅助设施，如通讯系统、道路、水电供应系统、维修中心等是不可缺少的设施。有线或无线通讯是其中之一，它是生产调度和指挥的重要工具。近年来，除微波技术外，通讯卫星和光缆被广泛应用，使通讯和信息传输更加快捷和可靠。

2. 输气管道

天然气从气井开采出来后，经过矿场集输管道集中到净化厂处理后，由长输管道送至城市管网，供给工业或民用的用户。由气井至用户，天然气都在密闭状态下输送，形成一个输气系统。长输管道是连接矿场集气系统和城市门站(或配气站)的干线输气管道，具有输送距离长、管径大、压力高的特点。

干线输气管道是由站场、线路和辅助工程设施组成，如图 1-2 所示。

首站是输气干线的起点，它接受气田处理厂来的天然气，经过升压、计量后输往下一站。

输气过程中沿程压力不断下降，一定距离后需设中间压气站增压。末站为终点配气站，

将天然气计量、调压后供给城市配气管网。为满足沿线地区用气，在中间压气站或分输站引出分气，也可以接收其他气田的进气支线。

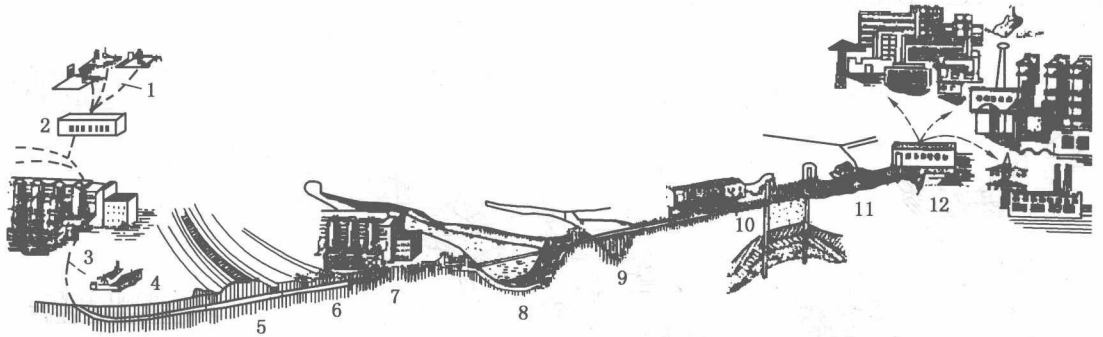


图 1-2 输气管道的组成

1—井场；2—集气站；3—有净化装置的压气首站；4—支线配气站；5，6—铁路和公路穿越；7—中间压气站；8，9—河流穿越和跨越；10—地下储气库；11—阴极保护站；12—终点配气站

长距离输气干线的线路部分包括管道、穿跨越构筑物、线路截断阀、阴极保护站、清管站等。由于压气站的站间距很大，而清管间距常在 100 ~ 130km 左右，除了压气站设清管器收发装置外，往往站间还设有专门收发清管器的清管站，以实现分段清管。

除了站场及线路外，干线输气管道也有相应的配套辅助设施，如通讯系统、道路、水电供应系统、维修中心等。

在接近天然气消费中心设有大型储气库，担负调节供气与用气不平衡的调峰任务。在气源或输气系统检修时或故障时，储气库可以保证系统正常供气。

第二节 油气管道的发展趋势

一、国内外油气管道发展现状

管道运输始于 19 世纪中叶，1865 年美国宾夕法尼亚州建成第一条原油管道，直径 50mm、全长 10km，管身为丝扣连接的铸铁管。20 世纪初，由于出现了钢管和焊接技术，管道运输有了进一步发展，但真正具有现代规模的长距离管道建设则始于第二次世界大战时期。由于战争的需要，美国政府资助建设了一条直径 630mm、全长 2240km 的原油管道，以及一条直径 529mm、全长 2360km 的成品油管道，显示了大型管道在经济效益方面的优越性。战后，随着石油工业的发展，一些长距离输油管道在世界各地相继建成。

石油勘探中早期发现的天然气，由于运输问题往往放空烧掉。1872 年美国第一次使用铁管建成管径为 50.8mm、长 8km 的天然气管道，年输量为 $11 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。由于热值高、环境污染小，天然气的使用规模不断扩大，尤其是在发达国家。经过 100 多年的努力，以煤炭为主的燃料结构转变为以天然气为主，天然气管道也随之有了突飞猛进的发展，从 20 世纪 80 年代开始，天然气管道建设占据了主导地位。

与此同时，成品油管道也获得迅速发展。成品油管道采用密闭和顺序输送方式，沿途多处收油和发油，故多建成区域性管网系统。

除了陆上管道外，世界海底管道业也十分发达。目前世界上较长的海底管道，多分布在

北欧地区，运输从北海油田开发的油气资源。挪威是欧洲仅次于俄罗斯的第二大天然气出口国，也是世界上海底管道最多的国家之一。世界上已建成的最长的海底管道，就是从挪威开发的北海海上油田到比利时泽布鲁格的 Zeepipe 海底天然气管道，该管道全长 814km，管径 8186mm。

截至 2003 年底，世界管道总长度已超过了铁路总里程，达到 230 多万 km，其中美国、前苏联、中东地区、西欧占有管道长度较大。美国干线总长约 50 多万 km，其中输油干线 10 多万 km，输气干线 40 多万 km。前苏联约 20 多万 km，其中输油干线约 10 万 km，输气干线 10 万多 km，世界上比较著名的几条长输管道的情况如表 1-1 所示。

表 1-1 国际上几条著名长输管道概况

序号	管道名称	建成时间	输送介质	全长/km	管径/mm	最高设计压力/MPa	输送能力	特 点
1	前苏联“友谊”管道；起点苏联阿尔梅季耶夫斯克，北线到波兰，南线到捷克和匈牙利	1973 年	原油	北线 4412 南线 5500	分别为 1220、 1020、820、 720、529、 426	4.9~6.28	$1.0 \times 10^8 \text{ t/a}$	① 距离最长、管径最大的输油管道 ② 全线密闭输送 ③ 泵站采用自动化与遥控管理
2	美国阿拉斯加管道：阿拉斯加北部普拉霍湾到该州南部瓦尔迪兹港	1977 年	原油	1287	1210	8.23	$1.0 \times 10^8 \text{ t/a}$	① 伸入北极圈 ② 12 座泵站，1 个末站 ③ 全线集中控制 ④ 较完善的抗地震和管线保护措施
3	沙特东-西管道：自近东海岸的阿卜凯克到西海岸延布市	1983 年	原油	1202	1219	5.88	$1.37 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$	① 11 座泵站 ② 燃气轮机带动离心泵 ③ 全线集中控制
4	美国西-东管道：从西部圣巴巴拉到休斯敦	1988 年	原油	2731	762		$4770 \text{ m}^3/\text{d}$	① 输送高黏原油，为世界最长热油管道 ② 21 座泵站及加热站，其中 6 座用燃气轮机带离心泵，其他站用电机带离心泵
5	美国科洛尼尔成品油管道系统	1979 年	100 多个品级和牌号的成品油	4613	1020, 920, 820, 750		$1.4 \times 10^8 \text{ t/a}$	世界上最大的成品油管道系统
6	美、加合建阿拉斯加输气系统		天然气	主干线 总长 7800	914~1420	9.8	66.63~ $90.6 \text{ Mm}^3/\text{a}$	为保护永久冻土层，将天然气降温至 -17°C 后输送

中国是世界上最早生产天然气的国家之一，也是最早用管道(竹木管)输送流体的国家。但直到解放前，全国没有建设一条真正现代意义的长距离管道。解放后，随着克拉玛依油田的开发和独山子炼油厂的扩建，于1957年建设克拉玛依到独山子的输油管道，全长147km，管径150mm，这是中国第一条长距离管道。经过20世纪70年代、80~90年代及20世纪末三次管道建设高潮，我国已初步形成了“北油南运”、“西油东进”、“西气东输”、“海气登陆”的油气输送格局和初具规模的跨区域油气管网，这标志着中国管道工业的发展速度和技术水平跨入了世界先进行列。截至2006年底，中国已建成长输油气管道总长度超过5万km，其中天然气管道约3万km，原油管道约1.5万km，成品油管道约0.56万km，形成了初具规模的跨区域油气管网，中国主要油气管道如表1-2所示。

表1-2 国内主要长输管道概况

序号	管道名称	建成时间	输送介质	全长/km	管径/mm	最高设计压力/MPa	输送能力	特 点
1	克拉玛依-独山子炼油厂(两条并行)	1958年	原油	300	159		100Mt/a	① 我国第一条原油管道 ② 主要利用油田剩余压力输送 ③ 我国自行设计
2	铁大线(铁岭-大连)	1970年	原油	460	720		1200Mt/a	① 部分引进国外技术，全线集中控制 ② 16Mn 螺旋焊管
3	铁秦线(铁岭-秦皇岛)	1970年	原油	454	720		1700Mt/a	① 自行研制计算机控制系统 ② 16Mn 螺旋焊管
4	格尔木-拉萨	1977年	成品油	1080	159×6	6.4	694.4t/a	① 我国最长成品油管道，年输送能力25万t ② 国内首次采用顺序输送工艺 ③ 海拔最高(最高处达5281m)，其中560km处在常年冻土地带 ④ 沿线设泵站11座，分输站1座
5	川北输气管网(若干线组成)	1987年	天然气	330	720	4.0	20×10 ⁸ m ³ /a	① 计算机程控计量 ② 密闭正反输流程，不停输程控清管 ③ 大型电动球阀、气液联动操作、事故自动截断 ④ 数字微波通信 ⑤ 计量站、清管站、阴极保护站、截断阀室共18座
6	东黄线(复线)	1990年	原油	248.9	711.2	0.7	2000Mt/a	① 国外引进技术、全线远距离监视、中间站可无人值守 ② 超前水击保护，密闭输送，变壁厚设计，热输送 ③ 首末站各一座，间站两座 ④ X60 直缝焊管

续表

序号	管道名称	建成时间	输送介质	全长/km	管径/mm	最高设计压力/MPa	输送能力	特 点
7	库鄯线(库 尔勒-鄯善)	1995年	原油	491				<ul style="list-style-type: none"> ① 国内首次采用高压、大站距方案 ② 全线集中控制、首站变频调速 ③ 首次采用钢级为 X65 的钢管 ④ 密闭输送、水击控制 ⑤ 微波、光纤、卫星、UHF 通讯
8	鄯乌线(鄯 善-乌鲁木 齐)	1997年	天然气	301.625	457	3.4	$6 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$	<ul style="list-style-type: none"> ① 国内自动化程度较高的输气管道 ② 国内首次采用环氧粉末喷涂防腐 ③ 国内首次采用同沟敷设有通信光缆 ④ S360 螺旋焊缝钢管 ⑤ 阴极保护站 9 座, 通信站点 10 座, 快速截断阀室 6 座
9	涩宁兰线 (青海省涩北 气田-西宁- 甘肃)	2001年	天然气	953	660	6.4	$20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$	<ul style="list-style-type: none"> ① X60 螺旋焊缝钢管 ② 煤焦油瓷漆防腐和三层 PE 防腐 ③ 自动化控制
10	崖城 13-1 气田-香港		干气	778	711.2	15.5		<ul style="list-style-type: none"> ① 我国最长的海底输气管道, 深水段为 707m, 长度居世界第二 ② 材质 X65
11	陕京线(长 庆油田靖边 -北京)	2000年	天然气	918.4	660	6.4	$33 \times 10^{12} \text{ m}^3/\text{a}$	<ul style="list-style-type: none"> ① 20 世纪国内陆上距离最长和自动控制水平最高管线 ② X60 螺旋焊缝钢管和部分直缝钢管
12	兰成渝管 线(兰州-成 都、重庆)	2002年	成品油	干线 1250	508 457 323.9	10	$500 \times 10^4 \text{ t/a}$	<ul style="list-style-type: none"> ① 是国内目前线路最长、管径最大、输量最多、运行工况条件最复杂、自动化程度最高的成品油管线 ② 支线 11 条, 总长 78.19km, 均为双线或三线同沟敷设 ③ 穿越隧道 28 条, 共计 21.4km
13	重庆忠县 -武汉	2004年	天然气	干线 718.9	711.2	6.3~7	$30 \times 10^{12} \text{ m}^3/\text{a}$	<ul style="list-style-type: none"> ① 全线包括 3 条支线, 全长 1375.4km ② 国内天然气管道首次采用全线高强度抗硫管道钢 ③ 全线采用国际先进的超声波流量计、涡轮流量计 ④ 全线采用 SCADA 系统, 实行自动控制管理

续表

序号	管道名称	建成时间	输送介质	全长/km	管径/mm	最高设计压力/MPa	输送能力	特 点
14	西气东输 (库尔勒-上海)	2004年	天然气	3856	1016	10	120 × 10 ¹² m ³ /a	① 主干线是迄今为止国内距离最长、管径最大、管材等级最强和设计压力、输气能力、自动化控制程度最高 ② 辐射地域最广、中下游支线最多 ③ 系统构成从优化和施工工艺等各方面都达到了当今国际上天然气管道设计、建设的先进水平

二、油气管道发展趋势

自20世纪70年代以来,世界上新开发的大型油气田多远离消费中心,同时国际油气贸易量也日益增加,因此从世界范围看,长距离油气管道的总体发展趋势是:大口径、高压力,采用高强度、韧性及可焊性良好的管材,运行监控高度自动化,同时对不同的输送介质有相应的发展重点。

1. 原油管道

目前,世界各国尤其是盛产含蜡黏性原油的大国,都在大力进行长距离管道常温输送工艺的试验研究。随着含蜡高黏原油开采量的增加以及原油开采向深海发展,各国都特别重视含蜡高黏原油输送及流动保障技术研究。挪威、法国、英国、美国等石油工业发达国家在含蜡高黏原油流变性及其机理、管道蜡沉积预测等方面达到很高水平,并将带来应用技术的新突破。

我国已掌握了国际上通用的常温输送、加热输送、加剂输送、顺序输送、间歇输送及密闭输送等各种先进的管输工艺。特别在高凝点、高黏度、高含蜡原油的加热输送,原油热处理以及加剂输送等方面已达国际水平。通过不断的摸索与实践,我国在埋地金属管道和储罐的防腐保温、阴极保护和腐蚀探测等研究领域也接近国际水平。

2. 成品油管道

世界成品油管道技术主要发展趋势是:①成品油管道正向着大口径、大流量、多批次方向发展,除输送成品油外,还输送其他液体烃类化合物;②广泛采用管道优化运行管理软件系统,合理安排各批次油品交接时间;在极短的时间内系统可自动生成调度计划,对管内油品的流动过程进行动态图表分析,远程自动控制泵和阀门的启停,实现水击的超前保护;③顺序输送的混油界面检测以超声波检测法为发展趋势,美国在这方面保持着技术领先地位。

目前我国成品油顺序输送技术尚处于初级水平,且自动化程度较低,无法全面体现成品油管道的输送特点和优势。随着国民经济对成品油需求的不断增长,我国应逐步建立起长距离成品油管道干线和区域性成品油管网。因此必须对解决复杂地形下大落差动、静压控制,防止管道出现不满流,以及顺序输送的混油界面监控等技术难题进行联合攻关。

3. 天然气管道

1) 高压输气与高强度、超高强度管材的组合是新建管道发展的最主要趋势

高压管道是指运行压力在 10 ~ 15MPa 之间的陆上天然气管道。根据专家研究成果, 年输量在 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上时, 采用高压输气可节省运输成本。当运输距离为 5000km、年输量在 $150 \times 10^8 \sim 300 \times 10^8 \text{ m}^3$ 之间时, 采用高压输气比传统运输方式可节约运输成本 20% ~ 35%。采用高压输气可减小管径, 通过高钢级管材的开发和应用可减小钢管壁厚, 进而减轻钢管的重量, 并减少焊接时间, 从而降低建设成本。例如采用管材 X100 比采用 X65 和 X70 节约费用约 30%, 节约管道建设成本 10% ~ 12%。

目前 X100 管道钢管已由日本 NKK、新日铁、住友金属、欧洲钢管等公司开发出来。另外, 复合材料增强管道钢管正在开发, 即在高钢级管材外部包敷一层玻璃钢和合成树脂。采用这种管材, 可进一步提高输送压力, 降低建设成本, 同时可增加管输量, 增加管道抵抗各种破坏的能力和安全性。当管材钢级超过 X120 及 X125 时, 单纯依靠提高钢级来减少成本已十分困难, 必须采用复合材料增强管道钢管。X100 及以上管道钢管目前还未得到商业应用的主要原因是材料性能、安装技术和现场试验还需进一步验证和更好地了解。

2) 高压富气输送技术及断裂控制

高压富气输送是指在输送过程中采用高压使输送气体始终保持在临界点上, 保证重组分不呈液态析出。采用高压富气输送能取得很大的经济效益, 但富气输送时天然气的热值较高, 要求管材不但能防止裂纹的启裂, 而且还要具有更高的防止延性裂纹扩展的止裂韧性。以 Alliance 管道为代表的高压富气输送是天然气输送技术的重大创新, 其断裂控制是该管道的关键技术之一。

深入了解高钢级管道钢管的断裂控制是未来以低成本建设管道的前提。由 ECSC、CSM、SNAM 和 European 联合进行的项目, 就是研究大口径 X100 管道在 15MPa 的高压下的断裂行为。

3) 多相混输技术

20 世纪 70 年代, 各发达国家相继投入了大量资金和人力, 进行多相流领域的应用基础与应用技术研究, 取得了不少成果。目前, 这些成果已在上百条长距离混输管道上得到了应用。

近年来, 英国、美国、法国及挪威等国相继建成了不同规模的试验环道, 采用多种先进测量仪表和计算机数据采集系统, 在大量高质量的试验数据基础上进行多相流研究。已有的多相流商业软件中, 著名的 OLGA 软件可以进行多相流稳态和瞬态流动模拟。

4) 天然气水合物 (NGH) 储运技术

据专家保守估计, 世界上天然气水合物所含天然气的总资源量约为 $1.8 \times 10^{16} \sim 2.1 \times 10^{16} \text{ m}^3$, 能源总量相当于全世界目前已知煤炭、石油和天然气能源总储量的两倍, 被认为是 21 世纪最理想、最具商业开发前景的新能源。天然气水合物潜在的战略意义和经济效益, 已为世界许多国家所重视。目前, 世界范围内正在兴起从海底开发天然气水合物新能源的热潮。虽然目前世界上还没有高效开发天然气水合物的技术, 但许多国家已制定了勘探和开发天然气水合物的国家计划。美国 1998 年将天然气水合物作为国家发展的战略能源列入长远计划, 准备在 2015 年试开采。日本、加拿大、印度等国都相继制定了天然气水合物的研究计划。

第三节 油气管道的基本要求

一、国内外油气输送管道重大失效事故

随着管道的大量敷设和长期运行,管道事故时有发生。例如1950年美国一条直径为610mm(24in)的管线在试气时发生破裂;1996年美国 Transwstem 公司的一条 X56 钢级的762mm(50in)输气管线发生破裂事故,破裂长度达13km。1965年美国路易斯安纳州发生一起严重的输气管道爆裂事故,当场炸死17人,钢管爆裂8m。1989年6月在前苏联乌拉尔山隧道附近由于对天然气输送管线维护不当造成天然气泄漏,随后引起大爆炸,烧毁了2列铁路列车,死伤800多人,成为1989年震惊世界的灾难性事故。1989年5月,美国加州发生一起355.6mm(14in)成品油输送管线泄漏着火事故,造成2人死亡,31人受伤。1989年10月,离美国德州海岸0.8km处,一条406.4mm(16in)天然气管线破裂,泄漏气体爆炸着火使附近一条渔船遇难。加拿大 Transcanada 公司在1985年到1995年间,曾发生7次重大油气管道应力腐蚀破裂事故,其中几起事故引起爆炸或着火。

根据美国管道运输安全办公室的统计结果,从1970~1984年,共发生天然气输送管线失效事故5872起,平均每年404起。美国运输部对1982~1991年成品油输送管线的统计表明,10年内共发生管道失效事故1901起。美国从1985至1992年,共发生天然气管道失效事故1906起,其中包括146起灾害事故和721起伤害事故。在同一时期发生液体管道失效事故1591起,其中包括24起灾害事故和18起伤害事故,直接经济损失超过3500万美元。加拿大每年发生油气管道失效事故30~40起。英国天然气协会的统计表明,在1975~1980年间 gasunie 运营的管线发生失效事故158起。欧洲陆上输油管线在1971~1994年间,平均每年发生油气管道失效事故13.8起,1994年发生11起泄漏事故,到1995年底,清理费用超过970万美元。1986~1990年前苏联发生输气管线事故235起,其中着火130起。1981~1996年,前苏联发生输气管线失效事故752起。

根据统计资料,1976~1986年欧洲的荷、比、法、意、英等国陆上输气管道事故率为0.06~1.44次/($10^3\text{km}\cdot\text{a}$);加拿大1975~1982年长输管道事故率为1.2次/($10^3\text{km}\cdot\text{a}$);美国1930~1939年所建输气管道1970~1984年事故率为2次/($10^3\text{km}\cdot\text{a}$),1950~1975年所建输气管道同期事故率为0.6次/($10^3\text{km}\cdot\text{a}$),1982~1991年成品油输送管道事故率为0.56次/($10^3\text{km}\cdot\text{a}$)。

在我国,油气输送管线失效事故也屡有发生。1971~1976年,东北曾发生过3次输油管道破裂事故。1974年,大铁复线嫩江穿越段用气体试压时发生爆炸,爆裂长度达2km。铁岭-秦皇岛管线(巨流河跨越段)在水压试验时由于高点有气而发生爆裂。1992年,轮库输油管道在试压时发生爆裂事故14次。1999年,采石输油管道在试压时发生爆裂事故12次。四川输气管网南干线1971~1990年的20年内,发生失效事故108起,每次事故停输处理时间超过24h,全川经济损失约达1亿元。威成线1971年先后发生2次爆管事故(局部减薄);佛纳线1979年8月至1987年3月共发生12次爆管事故(螺旋焊缝);佛两线1979年1月至1989年1月共发生爆管事故18次(螺旋焊缝);沪威线1970年12月至1995年1月共发生14次爆管事故(螺旋焊缝);达卧线1986年10月至1996年12月共发生30次爆管事故(其中27次发生于环焊缝)。

我国四川输气管网13条管线,从1967~1994年近25年中发生事故造成停输61次,平