



石油天然气管道局编

油气管道工程概论

石油工业出版社

832

216

石油工业出版社

登记号	087288
分类号	
种次号	

油气管道工程概论

中国石油天然气管道局 编



200429492

石油工业出版社



(京)新登字 082 号

内 容 提 要

本书全面深入浅出地讲述了油气管道工程概况。全书共分十章，主要内容包括原油、成品油、天然气管道的设计、施工、输送工艺、主要机械设备，以及生产管理等内容。为了使管道职工扩大知识面，还简要介绍了油田油气集输方面的内容。

本书可作为油气管道职工继续学习的教材，也可供石油院校有关专业师生学习参考。

油气管道工程概论

中国石油天然气管道局 编

*

石油工业出版社出版发行
(北京安定门外安华里二区一号楼)
河北省香河县印刷厂排版印刷

787×1092 毫米 16 开本 20.75 印张 516 千字 印 1—3000

1993 年 12 月北京第 1 版 1994 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0915-3/TE·854

定价：15.80 元



编写说明

《油气管道工程概论》是一部综合性的专业技术读物，叙述面较宽。主要内容有：油气管道输送工艺（包括油气集输），及有关的流体力学和热力学基础知识；油气管道的施工方法及主要设备；输油（气）站及主要生产设备；油气管道安全生产的基本知识；管道防腐的基本知识。

在内容的选择上，本书注重基本概念、基本知识和基本方法的表述，及其在实践中的应用，并力求通俗易懂。通过对本书的讲授与学习，能使学员（生）掌握油气管道生产和建设的基本技术理论，了解管道生产的实践过程，为在管道行业中从事管理工作打下良好基础。

本书的应用范围：①在油气管道、油田等生产岗位上工作的管理干部、政工干部和某些专职人员。为他们提供一本综合性的自学教材和技术参考书。②作为岗位培训、继续工程教育的选用教材。③作为管道职工学院、管道学校的非储运专业中“管道概论”课程的教材。

编写的具体分工是：主编罗塘湖，副主编肖冶、于树谦。绪论肖冶执笔；第一章，第七、八、九节于树谦执笔，其余由刘少庸执笔；第二章，第一、二节肖冶执笔，其余由茹慧灵执笔；第三章，第一、二、三节陈东执笔，其余由董持执笔；第四章罗塘湖执笔；第五章万淑芳执笔；第六章蒋连生执笔；第七章，第四节黄晓宇执笔，其余由肖冶执笔；第八章阎世华执笔；第九章于彤执笔；第十章沈积仁执笔。

全书由曲慎阳主审，副主审刘自文、张立福、宋桃印，参加审稿的还有孙树山、孙宏伟等同志。

在编写过程中，张福祿、邢振亚、**焦福林**等同志给予了大力支持，谨致谢意。限于编著者的水平，书中难免有不妥和疏漏之处，敬请读者批评指正。

中国石油天然气管道局教育培训处

一九九三年十二月

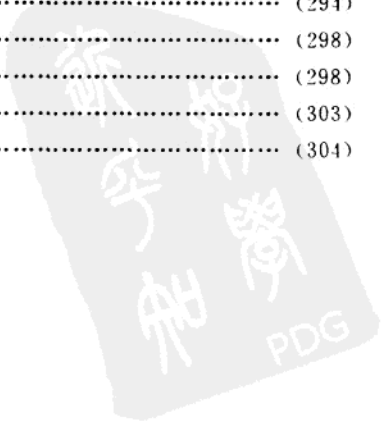


目 录

绪 论

第一节 管道输送的特点	(1)
第二节 管道工业的现状与发展趋势	(4)
第一章 管道输送的流体力学及传热学基础	(10)
第一节 流体及其主要物理特性	(10)
第二节 作用在流体上的力	(13)
第三节 流体静力学	(14)
第四节 流体运动学与动力学	(27)
第五节 流体运动时的摩阻和水头损失	(36)
第六节 管道的水力计算	(41)
第七节 稳态导热和非稳态导热	(44)
第八节 对流换热和辐射换热	(50)
第九节 传热	(57)
第二章 油气长距离输送前的收集与预处理	(61)
第一节 石油的生成	(61)
第二节 石油的主要性质	(63)
第三节 油气集输概述	(68)
第四节 油气集输流程选例	(70)
第五节 油气分离	(76)
第六节 油气混输管路	(79)
第七节 原油脱水与原油稳定	(85)
第八节 气体净化和轻油回收	(90)
第三章 原油和成品油的管道输送工艺	(99)
第一节 等温输送工艺	(99)
第二节 加热输送工艺	(109)
第三节 管道的输送方式和工作状况调节	(125)
第四节 顺序输送	(134)
第五节 输油站	(141)
第四章 高粘易凝原油管输工艺	(153)
第一节 原油流变特性及其评价	(153)
第二节 原油流变特性测量	(156)
第三节 输油工艺现状及其发展	(160)
第四节 原油热处理输送	(163)
第五节 原油添加降凝剂输送	(165)
第六节 原油添加减阻剂输送	(167)

第七节	原油液环输送	(169)
第八节	原油磁处理输送	(171)
第九节	原油稀释输送	(172)
第十节	原油伴热保温输送	(173)
第五章	天然气管路输送	(175)
第一节	天然气管路输送系统的组成及输气管分类	(175)
第二节	输气管的水力计算	(176)
第三节	输气管的热力计算	(185)
第四节	压缩机站的工作特性及与管路的联合工作	(191)
第五节	压缩机站	(198)
第六节	供气和储气	(202)
第六章	油气管道设备	(207)
第一节	泵	(207)
第二节	压缩机	(215)
第三节	管式加热炉	(220)
第四节	锅炉	(223)
第五节	换热器	(226)
第六节	阀门与管件	(228)
第七节	清管装置	(231)
第八节	驱动机及电气设备	(232)
第九节	测量及仪表(自动化)	(236)
第十节	通信及设备	(246)
第七章	储罐和管道	(253)
第一节	油罐的种类及发展趋势	(253)
第二节	油罐附件及其作用	(257)
第三节	油罐强度设计要点	(262)
第四节	储气设施及强度设计要点	(265)
第五节	管道的类型及用管	(270)
第六节	管道的强度计算	(273)
第八章	管道和储罐的施工及主要机械设备	(276)
第一节	陆地管道的施工	(276)
第二节	水下管道的施工	(279)
第三节	罐区的施工	(283)
第四节	施工中的主要机械和设备	(287)
第五节	焊接基本知识	(291)
第六节	工程质量检验	(294)
第九章	腐蚀与防腐	(298)
第一节	电化学腐蚀的基本原理	(298)
第二节	管道和储罐的腐蚀现象	(303)
第三节	涂层保护	(304)



第四节	阴极保护的基本操作与维护管理	(305)
第十章	油气管道的安全生产	(312)
第一节	安全生产管理与安全技术规定	(312)
第二节	输油管道事故	(314)
第三节	长输管道的维修和抢修	(317)
第四节	站库安全技术	(318)

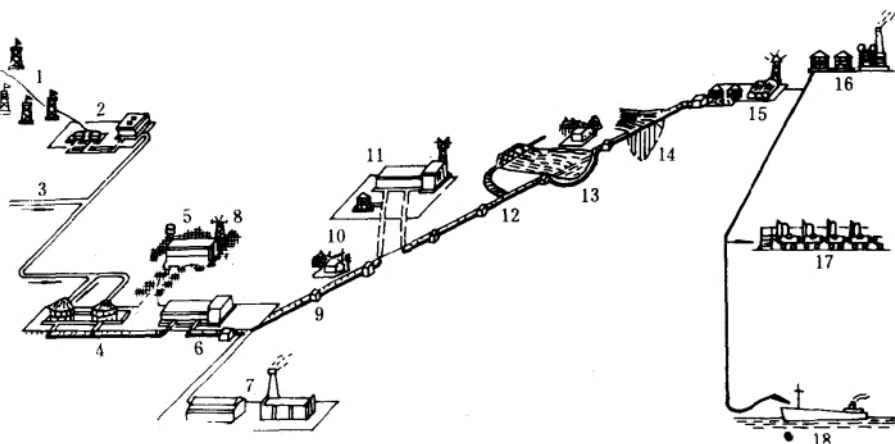


绪 论

第一节 管道输送的特点

石油和天然气是主要能源之一，迄今为止，已开发的石油、天然气田大多远离消费地区。因此，找到了一定储量油气田后，还必须解决原油及天然气外运的问题，采用何种方式运输为佳，一直是人们关注的课题。

目前的输油方式有：油轮、驳船、铁路槽车、汽车槽车、管道等。天然气输送几乎都是采用管道，虽有一些国家采用液化天然气油轮运输的方式，但由于经济和技术上的原因，受到了一定的限制。管道作为一种运输方式，与其它运输方式相比，具有很多优点，因此，当今世界各国都大力发展石油和天然气管道。图绪-1 所示为用管道长距离输送石油的流程图。



图绪-1 长距离输油管道流程

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

长距离输油管由输油站和线路两部分组成。输油管起点有首站，它的任务是收集原油，经计量后向下一站输送。原油在管道中流动，压力不断下降，需要沿途设中间泵站继续加压。输油管的终点称末站，它的任务是接受来油和向用油单位供油。长输管道的线路部分包括管道本身，沿线阀室，通过河流、公路、山谷的穿跨越构筑物，阴极保护等。

认识管道输送特点对我们正确地选择运输方式，合理地规划建设管道，全面地进行技术经济分析比较，均有着重要的意义。

一、管道输送的优点

管道输送较其它输送方式具有如下优点：

1. 运费低，能耗少

根据国内的统计资料，几种方式的输油成本及能耗列于表绪-1。

表绪-1 石油四种输送方式成本、损耗比较

项 目 \ 输 送 方 式	管 道	铁 路	水 运 ^①	公 路
燃料消耗	1	2	0.5	8.5
损耗率(%)	0.20~0.30	0.71	0.45	0.45
成本(元/t·km)	0.008	0.010	0.007	0.156

①多为近海运输

与国外统计资料相比(表绪-2)，由于我国管道工程尚属初期，输送管口径小，压力低，管理水平欠完善，计价也不尽合理，因此，管输成本是铁路成本的80%，而国外管输成本仅为铁路输送成本的22%。

表绪-2 国外各种输送方式的成本、能源消耗比

项 目 \ 输 送 方 式	管 道	铁 路	内 河	海 运	公 路
成本价格比	1	4.6	1.4	0.4	20
能源消耗比	1	2.5	2.0	0.53	8

今后，随着我国管道建设的发展，技术管理水平的提高，管道输送的成本必然会大大下降。水运虽然经济效益高，但受地理条件的限制，只能作为沿海或远洋运输。

2. 运输量大，劳动生产率高

管道动输不同于车、船等其它运输方式，流体在压力驱动下沿管道向前运动，因而可连续输送，输量大。在不同的管径和压力下，管道的输油量大致如表绪-3所示。

表绪-3 不同管径和压力下的输油量

管径(mm)	529	720	920	1020	1220
压力(MPa)	54~65	50~60	46~56	46~56	44~54
输油量(10 ⁶ t/a)	6~8	16~20	32~36	42~52	70~80

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。以一条输量为 7×10^6 t/a的管线为例，按100km为基数，则直接参加运输的操作人员，管道为铁路的一半，为汽车运输的1/9。

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，遇障碍可穿越或跨越，一般不需绕行，长度较铁路、公路短，其建设投资和施工周期均不到铁路的1/2。管道埋在地下，投产后有90%的土地可以耕种，占地只有铁路的1/9。

4. 受外界影响小，安全性高

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，可以长期安全可靠的运行。管道运输的人员伤亡事故也较其它运输方式少。1978年美国国家安全运

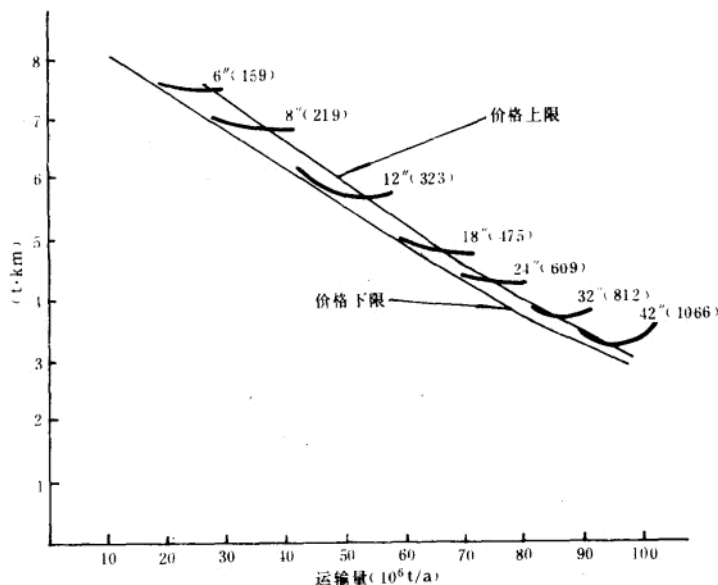
输委员会公布了一份资料，该年在运输线上的死亡人数为 55 083 人，其中：公路 51 209 人；铁路 832 人；海运 1300 人；航空 1709 人；管道 33 人。

二、管道输送的缺点

管道运输也有不足之处，例如它只适用于定点、量大的流体单向运输，不如车、船等运输方式灵活。其主要缺点是：

1. 管道输送量的经济范围小

各种不同直径的管道均有合理的经济输量范围，称为输送价格曲线，如图绪-2 所示。



图绪-2 管输价格曲线

价格曲线是由两条线组成，下面的一条曲线为各种不同管径价格的包络线，是价格的下限，另一条线是价格的上限，两曲线之间为价格的合理范围。如以直径 1020 毫米的管道为例，最佳输油量为 42×10^6 t/a，增加或减少输量都会造成价格上涨，超过一定范围，则会造成管道输送不合理。我们前面关于管道输送成本低的论述，是以合理的输量为前提的，离开这一前提，管道输送费用可能会比其它输送方式更高。

为此，就要求设计输量与实际输量比较接近，但要准确地确定管道输量是一个很困难的问题。它涉及多方面的因素，如油气田资源的可靠程度、开发建设的速度、炼厂和转运基地的分布、已建管网运量的分配，铁路交通网的配合等。如果确定的输量不合理，必然会造成管道建设的不合理。确定的输量过大，管道的利用率降低，基建回收期拖长，运输成本增加，不但管道输送的优点显不出来，还会造成经济上的重大损失。

2. 管道输送量的极限范围小

管道最大输量受泵的能力、加压站间距、管子强度及直径等限制。最小输量，对热油输送管道而言，受加热站间距的限制。由于这种限制，要想临时增加或减少输量往往是很困难的，而对于火车或汽车运输则很容易解决。

国外有些输油管道，在开始投入使用的最初十多年内，均能在经济输量的范围内运行；到

了后期,由于油田减产,输量逐渐减少,这时若采用间歇输送的方法,例如输三天停两天,则在运行时仍采用最佳输量输送。对于热油输送来说,由于不能停输,为了防止凝油,只能进行反输。反输是一种极不合理的现象,应力求避免。

3. 起输量高

从价格曲线看出,输量越大,输送费用越低,这是管道本身属性所决定的。如按上述价格曲线,输量为 $2000 \times 10^4 \text{t/a}$ 时,运费为 $0.35 \sim 0.40 \text{分}/(\text{t} \cdot \text{km})$; $1000 \times 10^4 \text{t/a}$ 时,运费为 $0.65 \sim 0.80 \text{分}/(\text{t} \cdot \text{km})$ 。 $100 \times 10^4 \text{t/a}$ 时,运费为 $1.59 \sim 2.5 \text{分}/(\text{t} \cdot \text{km})$ 。以此类推,至某一输量时,管道输送不如铁路,甚至不如公路运输经济。因此,国外长输管道已很少采用直径 159mm 及 219mm 的管道。

由于“起输量高”这一特点,使小油田或大油田开发初期难于采用管道输送。为了克服管道输送的这些缺点,就要求在确定“是否要建管道?”,“什么时候建管道?”,“建多大口径的管道?”等这些问题上特别慎重。管道工程一次性投资大,钢材消耗多,对国民经济的影响面广,因而做好管道建设前期的可行研究工作,具有特别重要的意义。

第二节 管道工业的现状与发展趋势

一、管道输送的历史及现状

管道运输的发展与石油工业的发展密切相关,现代管道运输始于19世纪中叶。1965年在美国宾夕法尼亚州建立了第一条输油管道,直径 50mm ,全长 9km ,材质是丝扣连接的铸铁管。这条管道建成后,曾数次遭牲畜联运商破坏,因为以牲畜作运输工具无法同管道竞争。此后不久,该州于1874年又建立了一条直径 100mm ,长度 96km 的管道,开始了与铁路的竞争。为了与管道竞争,铁路公司不准管道穿越铁路,致使一些管道只好在铁路两侧中断,用马车装油进行接力,但在竞争中管道终于获胜。

在第一次世界大战前,开始出现了能承受较大压力的钢管,机械接头已由焊接取代,但钢管大量地被采用还是在第二次世界大战时期。由于战争的关系,美国政府资助建立了一条直径 630mm ,全长 2240km 的原油管道,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和效率方面的优越性。自此以后,管道建设进入了一个新时期。战后,于1949年在中东建成的泛阿拉伯大油管,直径 720mm ,全长 1700km ,投资20亿美元,由沙特阿拉伯经叙利亚到达黎巴嫩的西顿港,是中东石油生产国铺设的大型管道的先驱。

目前,全世界大型长输管道的总长已超过200万公里,相当于地球到月球距离的5倍,并以每年 $(4 \sim 5) \times 10^4 \text{km}$ 的速度增长。主要产油国前苏联(年产原油 $586 \times 10^6 \text{t}$),美国(年产原油 $479 \times 10^6 \text{t}$)的管道建设一直处在领先的地位,美国已建成管道 $68 \times 10^4 \text{km}$ (输气管 $42 \times 10^4 \text{km}$,油管 $26 \times 10^4 \text{km}$),前苏联达到 $19 \times 10^4 \text{km}$ (输气管 $13 \times 10^4 \text{km}$,油管 $6 \times 10^4 \text{km}$)。美国1977年建成投产的横贯阿拉斯加的原油管道最引人注目。该管道全长 1276.8km ,管径 1220mm ,设计输油能力为 $92 \times 10^6 \text{km/a}$ 。这是世界上第一条进入北极地区的原油管道,经过的地方气候恶劣,地质条件复杂,施工也困难,其中 615km 采用高架铺设。总投资达77亿美元。原苏联1964年建设的第一条“友谊”输油管(原苏联—东欧),第一次采用 1020mm 管径的钢管,全长 5500km 。1977年又修建了第二条“友谊”输油管,全长 4412km ,管径 1220mm 。两条总长 9912km ,共建44座输油站,输油能力约 $100 \times 10^6 \text{km/a}$ 。1983年乌连戈伊—波马雷—乌连戈罗德干线投入使用,这条管道第一次把苏联的天然气送到了西欧。该管道长达

4450km，直径 1420mm，工作压力 7.5MPa，全线 40 座压气站，总功率 $300 \times 10^4 \text{kW}$ ，天然气输送能力 $320 \times 10^6 \text{m}^3$ ，总投资 76 亿卢布。这条管道充分显示了原苏联在管道设计和建造方面的实力。

1983 年 1 月投产的沙特阿拉伯的东西原油管道引起各国注意。该条管道自东向西横贯沙特阿拉伯中部地区，全长 1202km，管径 1220mm，穿越了浩瀚的沙漠地区，耗资 24 亿美元。随着英国北海油田的开发，兴建了一批海洋原油管道，总长度已达 4000 余公里，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。

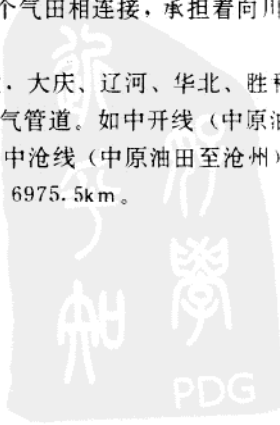
我国是最早使用管子输送液体的国家。公元前的秦汉时代，已经用打通了竹节的竹子连接起来输送卤水，随后又用于输送天然气。但直到解放，全国没有建设一条长距离输油管。1957 年，随着克拉玛依油田的开发和独山子炼油厂的扩建，建设了克拉玛依到独山子的输油管道，这是我国第一条较长的输油管道。这条管道全长 147km，管径 150mm。1965 年，胜利油田开始建设由东营至辛店炼油厂（现齐鲁石油化工公司炼油厂）的输油管道。管径 426mm，全长约 80km，是我国第一次在盐碱腐蚀地带建设的原油管道。从 70 年代起，我国开始大规模地进行长距离输油管道建设。为了解决大庆油田十分迫切的原油外输问题，1970 年 8 月 3 日，国家批准在东北地区兴建管道，即著名的“八三工程”。这条管道的第一期工程是从大庆到抚顺，干线全长 593km，管径 720mm，年输油能力 $2000 \times 10^4 \text{t}$ 。

第四个五年计划期间，我国共建成长距离输送原油管道 14 条，总长 3760km，平均每年建成 752km。其中，在中国东北地区共建成 8 条输油管道，总长近 2400km，基本上形成较完整的输油管网。第五个五年计划期间，为进一步改善原油运输状况，又建成了不同长度和口径的原油管道 14 条，总长 2440km。其中华北、华东管网 1788km。该管网中，最长的为鲁宁线（山东临邑至江苏仪征），管径 720mm，全长 662km，对解决华北油田、胜利油田和中原油田的原油外输问题，起了重要的作用。第六个五年计划期间，为扩大原油外输量，向新炼油厂供油，又建了 5 条共 500 余公里的管道，进一步完善了东部管网。到 1990 年，中国累计成长距离的原油管道 219 条共 8155km，管道输送量约占原油总运输量的 61.4%。

解放后铺设的第一条输气管道，是 1958 年建成的从四川省永川黄瓜山气田至永川化工厂的原料天然气管道，全长 20km，管径 159mm。随着四川天然气工业的迅速发展，从 1963 年至 1979 年先后建成了威远至成都、德阳、泸州至威远，泸州至重庆，卧龙河至重庆等四条输气干线。1978 年建成了管径 720mm、总长 104km 的中青线（中坝至青白江）。1979 年建成佛两线（合江佛荫至重庆两路口），管径 720mm，全长 166.7km。1981 年建成卧两复线（卧龙河脱硫总厂至两路口），与佛两线相接。至此，川东、川南、川西南、川西北四个产区区联成一体，形成四川盆地南半环的供气系统。1984 年又开始建设从川东渠县到成都的全长 400km，管径 720mm 的北半环长输管道及相应的天然气处理和集输系统工程。到 1985 年底，在四川地区已形成的输气干、支线延展总长度达 3525km，可与 54 个气田相连接，承担着向川、滇、黔 3 省 13 个地区 600 多个用户的供气任务。

除四川地区外，70 年代后，随着油田天然气资源的开发，大庆、辽河、华北、胜利、大港、中原等油田，都相应建成了一批向城市供气的长距离输气管道。如中开线（中原油田至开封）、辽鞍线（辽河油田至鞍山）、东辛线（东营至辛店）、中沧线（中原油田至沧州）和北京供气工程等。到 1990 年为止，我国共建成输气管 214 条，6975.5km。

二、国外管道工业的发展



1. 增加管道直径, 提高工作压力

在同样输量的情况下, 建设一条高压大口径管道比平行建几条低压小口径管道更为经济。例如, 一条输送压力为 7.5MPa, 直径 1400mm 的输气管道可代替 3 条压力 5.5MPa, 直径 1000mm 的管道, 但前者可节省投资 35%, 节省钢材 19%。因此, 近十余年来扩大管道的直径已成为管道建设的科学技术进步的标志。输气管道的口径已从 60 年代初的 910mm, 发展到目前的 1420mm, 输油管道已从 50 年代的 720mm, 发展到目前的 1220mm。

此外, 在一定范围内提高输送压力可以增加经济效益。以 1020 毫米的输气管道为例, 操作压力从 5.5MPa 提高到 7.5MPa, 输气能力提高 41%, 节约钢材 7%, 投资降低 23%。计算表明, 如能把输气管的工作压力从 7.5MPa, 进一步提高到 10~12MPa, 输气能力将进一步增加 33%~60%。美国横贯阿拉斯加的输气管道压力高达 11.8MPa, 输油管道达到 8.3MPa, 是目前操作压力最高的管道。

管径的增加和输送压力的提高, 均要求管材有较高的强度。近年来, 在保证可焊性和冲击韧性的前提下, 管材的强度有了很大提高。50 年代管道用钢多采用碳素钢, 钢材的屈服强度一般为 295~360MPa (相当于 API 标准的 X42~X52 级钢), 60 年代采用低合金钢, 屈服强度提高到 392~457MPa (相当于 API 标准的 X56~X65 级), 70 年代以后, 通过控制轧制使晶粒细化, 已能生产屈服强度达 482MPa (X70 级) 以及屈服强度 551.2~689MPa (X80~X100) 的管道用钢。

目前, 国外建设的一些大口径管道多采用高强度钢, 如阿拉斯加输油、输气管道; 北海油田的输油管道均采用 X65 级钢。原苏联及加拿大的输气管道均采用 X70 级钢。除采用高强度钢管外, 原苏联研究成一种新的钢管结构——多层钢管。多层管的优点是: 薄钢板及由这些薄钢板组成的多层板的机械性能, 比相同钢材的厚钢板的机械性能高得多。由于多层管结构上的特点, 在原则上可制造任何直径, 能承受很高压力, 及在很宽的低温范围内工作, 并有良好的韧性。

2. 采用先进的输送工艺

国外原油多为低凝固点, 一般都是常温输送。对高粘易凝原油采用两种方式输送: 一是加热输送; 另一是常温输送。

加热输送采用直接加热和间接加热两种加热方式。此外, 还有利用原油在高流速下摩擦所产生的热能来补偿沿途热损失, 以及采用集肤效应加热等。

常温输送可采用原油热处理、稀释、伴水、添加化学药剂等方法。

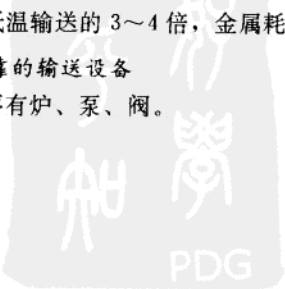
除上述的一些先进工艺外, 国外的输油工艺流程多采用泵—泵密闭输送。

在天然气输送方面, 把低温技术应用于输气管以提高输气量, 也是当前天然气管道输送工艺方面的一个新发展。这包括两个方面: 即低温输送和液化输送。

低温输送必须综合考虑温度和压力两个因素。以管径为 1420mm 的管道为例, 当工作压力 7.5MPa 时, 在 35℃ 时的输气量为 $264 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$; 在零下 60~70℃ 时, 输气量为 $425 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 即在低温下提高输量 61%。进一步提高压力, 输量还可以大幅度提高。如对天然气进行冷却, 冷到临界温度以下 (甲烷的临界温度为 -82℃), 天然气就变成液态。天然气液态输送, 输量将为低温输送的 3~4 倍, 金属耗用量仅为气态输送的 $\frac{1}{2.5} \sim \frac{1}{3}$ 。

3. 高效和可靠的输送设备

输油设备主要有炉、泵、阀。



加热炉——国外对加热炉的热效率特别关注，多采取了烟道气余热回收、过剩空气自动控制等措施，加热炉热效率有的高达 92%（我国新近设计制造的加热炉热效率一般为 85% 以上）。

泵——国外的输油泵有以下特点：品种、价格齐全，设计者有充分选择余地。效率高，泵效均在 85% 以上（我国输油泵泵效为 61%~73%）。可调性好，即 $\eta-Q$ 曲线中高效区宽。可靠性好，寿命可达 20 年，大修间隔为 2~3 万小时，并可露天安装。

阀门——国外管道阀门已全部自成系列，平板闸阀口径达 1200mm，球阀口径达 1400mm，工作压力可达 10MPa。耐久性和可靠性高，出厂前一般要检查轴向力和进行横向弯曲试验、耐久性试验（开闭万次不漏，我国自制 DN900 毫米新型球阀，开闭 200 次泄漏）以及耐压试验等。平板阀及球阀均用浮动密封圈，采用双道自紧式密封，能做到不漏且开关灵活。

输气设备主要是燃气轮机和压缩机。

燃气轮机有占地面积小，建设周期短、启动快、自动化水平高、不耗水、可燃用管道内的气体等优点，国外输气管线都以它作压气站动力。国外燃气轮机的特点是热效率高、使用寿命长、有充分的可靠性，并且配套等。

国外早期工业燃气轮机的热效率为 26% 左右，近代新型回热式机组已达 34%，简单循环的航空型已达 37%，联合循环时超过 40%（国产燃气轮机的热效率一般为 16%~22%）。

国外燃气轮机的使用寿命一般在 30 年以上，大修周期 3~4 年，即 25000~30000 小时，停机更换火焰筒的时间间隔为 1~2 年，即 8000~15000 小时。国产燃气轮机使用寿命为 10 年，大修周期 4000~8000 小时。

此外，由于国外对燃气轮机积累了丰富的加工和运行经验，因此机组可靠性高，可达到 99.7%。燃气轮机与离心式压缩机已达到标准化、系列化生产，两者的润滑油和密封油系统、连接尺寸等已做到通用，因此配套极其方便。

4. 自动化程度高

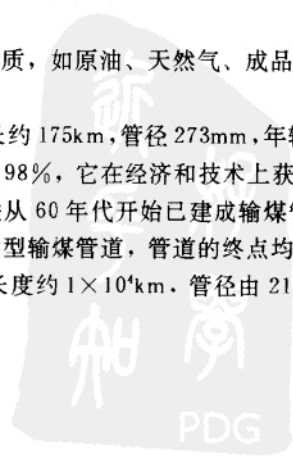
国外新建的管道多为全线集中控制设计，旧管道也在逐步改造。自动化水平的提高为节能、节省人力和安全运行均带来好处。在总控制室可以通过微波监控各站主要运行参数及状态，根据运行情况的变化或报警信号，由电子计算机提出合理处理方案，调度人员分析判断后下达指令调整运行参数，或由计算机实行闭环控制。据 1971 年美国统计，世界已有 247 条管道采用电子计算机控制。

近些年来，国外一些管道上开始使用可编程控制器，或称可编程逻辑控制器。它是传统的继电器式的控制器和小型计算机相结合的一种控制装置。这种控制器可自动扫描、监视、显示和调节泵站或压缩机站系统的机组参数等。

5. 输送介质多样化

近年来，长输管道除输送传统的介质，如原油、天然气、成品油外，已开始输送煤、矿石等。

1957 年美国俄亥俄州建设了一条长约 175km，管径 273mm，年输煤 130×10^4 t 的管道。该条管道成功运行了 6 年，有效使用率达 98%，它在经济和技术上获得成功，足以证明输煤管道可与地面运输工具相抗衡。原苏联从 60 年代开始已建成输煤管道 943km，管道直径为 305mm~350mm。美国正在筹建 6 条大型输煤管道，管道的终点均为发电站。除一条外，其它各条管道的长度都超过 1300km，总长度约 1×10^4 km，管径由 219mm 至 1220mm，年输煤



重达 $8500 \times 10^4 \text{t}$ 至 $12000 \times 10^4 \text{t}$ 。

1977 年巴西建成了一条铁矿石管道，管道直径 508mm，长度 396km、年输送 $1200 \times 10^4 \text{t}$ 赤铁矿。1978 年又投产了一条磷酸盐矿浆管道，该国还在筹建另外两条铁矿石管道和三条磷酸盐管道。除巴西外，土耳其和美国的铜矿管道、特立尼达和哥伦比亚的石灰石管道，以及墨西哥的铁矿石管道也相继投入生产。

近年来，国外又发展了一种容器式管道输送系统，这是管道输送的另一项革命。这种系统靠鼓风机在管道内建立起气体压力差，以此推动带有轮子的容器列车在管道内运行。装在容器内的物料在装载站自动定量装入容器中，并在卸载站自动卸下。英国、德国曾用这种输送方式来运送邮件。原苏联在哈萨克建立了 70 条总长 650km 的容器管道运送粮食。日本也建成了一条输送熔烧石灰的容器管道。

由于容器管道具有污染小（尤其是输送石灰、水泥等）、占地少、动力消耗少（每吨公里耗电只为煤浆管道的 $1/4$ ）等优点，预计未来容器管道会有一定的发展。

三、我国管道工业今后的任务

我国管道建设已初具规模，但在数量与技术上与国外工业先进国家相比尚有相当的差距。为了提高我国管道工业的水平，我们面临的任务是：

1. 对现有管道进行技术改造

我国现有管道大约只有国外 50 年代末和 60 年代初的水平，特别是管道的主体设备，如加热炉、机、泵、阀等均比较落后，直接影响管道输送的能源消耗和经济效益，需逐步加以改造和更换。

我国现有管道有不少是不满负荷运行的，有的实际输量不及设计输量的一半，有的达不到按热力条件所确定的最低输量，因而需要返输，造成管道经济效益很低。如何解决低输量条件下热输管线的节能问题，是很重要的。国内曾作过原油热处理试验，以及间歇输送和低排量输送的研究和试验，取得一些较好的结果，但有待进一步推广和应用。

采用泵到泵的密闭输送是减少轻质油损耗，充分利用上站余压的有效措施。考虑到改为密闭输送后，可能会因水击而使管道破裂，故必须采取妥善的泄压保护措施，同时密闭输送也要求全线有较高的自动化水平。目前，铁大线引进国外技术，已改为密闭输送，但尚待总结经验，逐步推广。

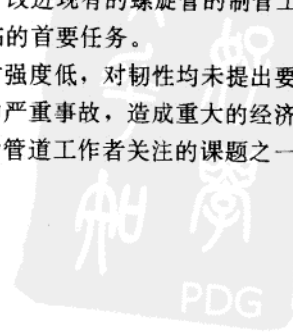
提高输气管道的通过能力，降低单位输气能力的费用指标，也是我国管道工作者面临的一项课题。

此外，清管是节约电能的措施之一。我国在清管技术方面，包括清管器和清管器跟踪器的研制有了较大的进步，但也有待提高。

2. 为建造第二代管道做好准备

我国管道大多数是在 70 年代建成的，管材以 16Mn（相当于 API 标准的 X52 级）为主，管型基本上是螺旋焊缝管，制管质量较差，金属耗量大，工作压力低（一般为 $4.0 \sim 5.0 \text{MPa}$ ）。国外新建的一些大口径管道，均采用 X60~X70 级高强度钢，且 80% 的管道采用 UO 成型的直缝管。因此，研制 X60 级以上的高强度钢，改进现有的螺旋管的制管工艺，引进和发展 UO 成型的直缝管，是建造我国第二代管道面临的首要任务。

其次，过去我国建设的管道由于口径小，管材强度低，对韧性均未提出要求。由于近年来国内外的一些管道曾发生多起脆性和延性断裂的严重事故，造成重大的经济损失，大量的事故教训了人们，因此如何防止管道的断裂已成为管道工作者关注的课题之一。



随着我国西北地区油气资源的开发，建设一条自西向东的，横贯我国西北地区并直抵中原的管道大动脉，已提到议事日程。这条管道沿线地形复杂，自然条件十分恶劣，解决管道经高寒区、地震区、穿盐碱沼泽、过沙漠戈壁的设计和施工中技术难题，将是我国管道建设所面临的极其艰巨的任务。

3. 开辟管道工业的新领域

据统计，目前世界能源的总消费量大约为 95 亿吨标准煤。其中石油占 50%，煤占 26%，天然气占 17%，水力和核电站占 7%。预计到 2000 年，石油将从总能源的 50% 下降到 35%，只有煤炭大量增加产量才能弥补石油的短缺。现已探明的煤储量为 7000 亿吨，其中中、美、苏三国占去 3/4。我国煤的产量 1990 年已达 10 亿吨，居世界各国之首。煤炭的运输以铁路为主，给铁路压力很大。例如，陇海线郑州—徐州段运煤占 46%，京广线的许昌—武昌段占 62%，京包线和石太线则高达 80%。随着我国煤产量进一步增加，即使再扩建铁路也无法改善一些地区缺煤的状况，因此，发展管道运煤已是一个急待解决的课题。目前，山西平朔至天津的输煤管道已着手进行，其它的一些输煤管道也正在筹划之中。

随着我国海上石油的勘探和开发，在莺歌海海域、渤海海域、珠江口海域等地，均发现了较大的油气田，海洋管道的集输问题也已经提到议事日程上来。鉴于海洋的特殊环境，管道的设计，铺设和维护等课题都需进行研究。

参 考 文 献

- [1] 潘家华等。《油罐及管道强度设计》，石油工业出版社，1986 年 4 月。
- [2] 严大凡。《输油管道设计与管理》，石油工业出版社，1986 年。
- [3] John L. Kennedy. 《Oil and Gas Pipeline Fundamentals》，Penn well Publishing Company, 1986。



第一章 管道输送的流体力学及传热学基础

流体力学是应用力学基本原理,研究流体平衡和运动规律的一门科学。

流体是气体和液体的统称。也可以说流体力学是研究气体和液体在静止和流动时的规律,用这些规律来解决实际工程问题的一门实用工程科学。

传热学是研究热量传递的规律,也就是研究物体之间或物体内两部分热量传递的规律。只要有温度差存在,热量必然从高温处传向低温处。因为温度差普遍存在于自然界中,所以热量的传递是极为普遍的自然现象。

流体力学、传热学在实际生产中被广泛的应用,工业、农业、国防等部门工程技术问题都与其紧密的联在一起。尤其是石油天然气储运工程设计、施工和管理方面有关问题,必须应用流体力学和传热学的理论来解决。为此,本章就石油天然气储运工程所涉及的流体受力、热量传递问题,从基础理论上进行简述。

第一节 流体及其主要物理特性

流体的主要特性是具有很强的流动性,极小的凝聚力,以及抵抗外力改变形状的阻力非常小。即流体不能抵抗拉力和切力(剪力),只能承受压力。所以,当受到微小的切力作用,流体就将发生连续不断的流动。

液体和气体都是流体,除具有上述共性外,还有个性。液体不易压缩,占有一定的体积,与空气接触处形成自由面(液面);气体有弹性、易压缩、易膨胀,所以气体能充满整个容器,没有自由面。

自然界流体(实际流体)在流动时具有粘滞性,各种流体的粘滞性是不同的。象机油、原油的粘滞性就较大,水、酒精的粘滞性就较小,而气体的粘滞性就更小了。

流体是由分子组成的,分子之间存在着空隙,而分子却不停的作无规则复杂的微观运动。但是流体力学并不研究流体分子的微观运动,只研究流体的宏观运动规律,比如研究输油管道油流的运动规律。因此,把流体设想为一种无空隙充满其存在的整个空间的连续介质。即把流体看成是均匀连续体,而不是由分子组成的离散体;流体的运动系指流体质点(分子团)运动,而不是分子运动。把流体设想为连续介质,实际证明所得到的理论结果完全符合实际要求,为研究流体运动规律(特殊问题除外)给予了极大的方便。

通过前面的介绍,我们了解了流体的概念。现将流体的主要物理性质分述如下。

一、惯性和万有引力特性

流体与所有物质一样,也具有惯性和万有引力特性。惯性是物体要保持原来运动状态不变的性质;万有引力特性是物体间具有相互吸引的性质。

用以表示流体惯性和万有引力特性的大小的物理量是它的质量。质量越大,越难以改变流体原有的运动(流动)状态,流体与其它物体间的引力也越大。地球对其表面上一切物质均有引力,用以表示地球引力大小的物理量叫重力。重力是影响流体运动的一个主要外因,比如液体,在无外力作用时,它总是自然地由高处流向低处。流体(物体)所受的重力,对其

