



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

高等院校石油天然气类规划教材

天然气管道输送

(第三版)

李长俊 黄泽俊 等编著

石油工业出版社
Petroleum Industry Press

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
高等院校石油天然气类规划教材

天然气管道输送

(第三版)

李长俊 黄泽俊 等编著



石油工业出版社

内 容 提 要

本书是为油气储运工程专业编写的“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,全书共分九章,全面、系统地介绍了天然气管道输送工艺设计和运营管理等方面的基本概况和方法。本书浓缩了管道输送方面的经典理论,融入了管道设计和管理方面的先进理念、方法与技术,吸纳了作者多年来在管道仿真、优化与管理方面的科研成果,强化了输气管道设计和管理方面规范的应用,力求反映国内外天然气管道输送发展情况,并着重突出基本原理及工程实际应用。每章后附有习题。

本书可作为油气储运工程专业的教学用书,也可作为从事气体管道输送的科研、教学、设计和技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

天然气管道输送/李长俊等编著. - 3 版.
北京:石油工业出版社,2016. 11
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
ISBN 978-7-5183-1443-0

I. 天…

II. 李…

III. 天然气输送—管道运输—高等学校—教材

IV. TE832

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 203358 号

出版发行:石油工业出版社

(北京市朝阳区安华里 2 区 1 号楼 100011)

网 址:www. petropub. com

编辑部:(010)64523612 图书营销中心:(010)64523633

经 销:全国新华书店

排 版:北京苏冀博达科技有限公司

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2016 年 11 月第 3 版 2016 年 11 月第 12 次印刷

787 毫米×1092 毫米 开本:1/16 印张:25. 25

字数:646 千字

定价:50. 00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

第三版前言

天然气是一种清洁、优质的能源,提高它在一次能源构成中的比例对发展经济、改善生活、保护环境意义重大。据 2014 年统计,世界天然气在一次能源构成中所占比例达 23.7%,美国约为 30.2%,俄罗斯约为 54%,欧盟约为 21.6%,亚洲的日本约为 22.2%,而我国仅为 5.6% 左右。因此,优化我国能源结构,增加天然气在能源构成中的比例十分必要。近年来,我国天然气工业发展很快,天然气利用量从 2000 年的 $245.03 \times 10^8 \text{ m}^3$ 提高到现在的 $1650 \times 10^8 \text{ m}^3$;与此同时,兴建了以西气东输、川气东送等为代表的一批天然气长输管道,总里程达 $8.5 \times 10^4 \text{ km}$,将我国新疆、川渝等地区以及国外中亚地区、缅甸等国天然气输送到用户,对推动我国经济发展和人民生活水平改善起到了极大的作用。

目前,我国天然气管道工业发展方兴未艾,需要大批具有油气储运专业知识的技术人才。《天然气管道输送》是油气储运工程专业的主干专业课教材,21 世纪初,被教育部列为国家面向 21 世纪教材,于 2000 年 11 月首次出版;2006 年,被列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,并于 2008 年再版;2010 年,又被列为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。我们根据教育部关于“十二五”国家级规划教材的指示精神,结合历年来课程教学内容及课程改革的实践经验,并考虑到我国高等教育和天然气工业发展需要,对本教材进行了修订。

本版将第二版中的第三章输气管道水力计算和第四章输气管道热力计算进行了合并,并对各章内容进行了增删、修订。教材力求反映近年来国内外输气管道领域内的新技术、新工艺;既考虑教材的完整性,又尽量避免与本专业其他教材内容的重复;强调基础理论的实际应用,注意培养学生解决工程实际问题的能力。

本书的主要内容包括:第一章介绍了天然气管道系统组成、发展概况、主要线路工程及设计管理等内容;第二章介绍了天然气状态方程及物性计算方法、管道输送基本方程;第三章介绍了输气管道水力计算和热力计算方法与应用;第四章介绍了输气系统的设计方法、工况分析与调节、水合物生成预测与防护;第五章介绍了输气管道系统仿真方法与应用、国内外主要仿真软件特点与功能;第六章介绍了输气站的功能、组成、工艺流程及主要装置设备的设计选型计算方法;第七章介绍了储配气系统的组成、功能与设计方法;第八章介绍了天然气管道的自动监控和运营管理模式、特点及设计原理;第九章介绍了天然气管道完整性管理环节、内容及方法。

本书由西南石油大学组织编写,由李长俊任主编。具体编写分工如下:李长俊编写第一、二、五、六章及第四章主要内容,第三章第二、三、四、八、九节有关内容以及附录三、四;汪玉春编写第三章第四节部分内容及第四章第三节有关技术经济计算方面的内容;浙江大学陈祖泽编写第三章第一、五、六、七节及第四章第二节部分内容;梁光川编写第七章;中石油北京油气调控中心主任黄泽俊编写第八章及附录一;廖柯熹编写第九章及附录二。贾文龙、吴瑕博士参与了第一章、第三章、第六章部分内容的编写,黄茜博士参与了教材的打印、校勘工作,李松硕士绘制了教材中的大量插图。

由于编者水平有限,不妥之处在所难免,请读者批评指正。

李长俊
2016 年 8 月

第二版前言

我国国民经济快速发展对能源的需求量越来越大。正如其他发达国家一样,我国必定会经历一场能源结构的改变,即以煤为主逐步转向以石油、天然气为主。近若干年中国政府和广大人民群众非常关注环境保护,强调人与自然的和谐。2004年我国政府制定以“优化结构、提高效率、重视环保、保障供应、开发西部”为核心的新的能源战略,要求增加天然气在能源构成中的比例。2007年我国能源发展“十一五”规划中进一步提出,要重点发展石油天然气工业。与此同时,我国也加快了天然气勘探开发力度,2008年完成的新一轮全国石油、天然气资源评估结果显示我国天然气远景资源量56万亿立方米,地质资源量35万亿立方米,可采资源量22万亿立方米,在世界上名列前茅。我国正在进入天然气快速发展的历史时期。除了本国天然气生产外,我国还将从国外引进大量的天然气。在这个时期,需要建立完备的天然气工业体系,需要从上中下游一体化协调发展的原则出发,进行全局性的系统优化。因此,管道作为天然气开发和利用的纽带起着十分重要的作用,天然气管道系统的建设也将迎来前所未有的大好时机。

《天然气管道输送》是油气储运专业的主干专业课教材,该教材2000年11月首版由石油工业出版社出版,2006年教育部将该教材列入“十一五”国家级规划教材。我们根据教育部关于“十一五”国家级规划教材指示精神,结合多年来课程教学内容以及课程改革的实践经验,并考虑到21世纪我国高等教育改革的趋势和石油工业发展的需要,对本教材进行了修订。

本版仍按照第一版的编写方针,力求反映近年来国内外管道输送领域内的新技术、新工艺;既考虑本教材的完整性,又尽量避免同本专业其他教材内容的重复;强调基础理论的实际应用,注重培养学生解决工程实际问题的能力。

本版对全书进行了必要的改写,除了对2000年版的文字错误进行更正外,还增加了概述和天然气管道完整性管理两章内容,并对各章进行了不同程度的修订。

本书主要内容包括:概述;天然气物理化学性质;输气管道水力、热力计算;输气管道系统设计及工况分析;输气管道系统仿真;输气站;配气与储气;输气管道的自动监控和运营管理;输气管道完整性管理。

本书由西南石油大学组织编写,第一、二、四、六、七章及第三章第二节和第三节部分内容,第五章第三、四节及附录三、四由李长俊编写;第三章第四节及第五章第一节、五节和第八节部分内容由汪玉春编写;第三章第一、五、六、七节和第三节部分内容以及第五章第二、六、七节和第八节部分内容由浙江大学陈祖泽编写;第八章由梁光川编写;第九章及附录一由西气东输公司总经理黄泽俊编写;第十章及附录二由廖柯熹编写。全书由李长俊主编。

本书承蒙西南石油大学曾自强教授,中国石油工程公司西南分公司总经理、教授级工程师宋德奇,教授级工程师章申远对该教材第一版和第二版进行了主审。在教材编写过程中还得到了西南石油大学教材建设委员会的大力支持,谨此致以谢忱!

由于编者水平有限,不妥之处在所难免,请读者批评指正。

编者
2008年8月

第一版前言

我国是世界上天然气开采和利用最早的国家之一。当前,天然气的开发和利用又迎来了前所未有的大好时机。管道作为天然气开发和利用的纽带起着十分重要的作用。“天然气管道输送”是油气储运工程专业的主干课程,该课程的教材最早是由浙江大学陈祖泽教授于1985年编写的,并一直使用至今。十多年来,我国的管道事业有了很大发展,教学内容也几经改革。特别是21世纪科学技术发展和社会主义市场经济体制的建立对教育工作者提出了严峻的挑战。为了适应石油工业教育发展形势的需要,编者在原教材和多次讲义的基础上,编写了这本教材。

在本书的编写过程中,力求反映近年来国内外管道输送领域内的新技术、新工艺;既考虑本教材的完整性和独立性,又尽量避免同本专业其他教材内容的重复。其主要特点是,强调计算机技术在管道输送工艺上的应用,对以往用图解法或其他近似方法求解的某些问题,提供了电算方法;略去了气体流动基本方程的推导,避免了同流体力学内容的重复;加强了管道设计和管理的有关方法;补充了管道仿真技术和监控与运营管理的现代方法。

本书主要内容包括:天然气物理化学性质;输气管道水力、热力计算;输气管道系统设计与工况分析;输气管道系统仿真;输气站;输气管道的自动监控和运营管理;配气与储气。

本书由西南石油学院储运教研室组织编写,第一、三、五、六章及第四章三、四节和附录由李长俊编写;第二章、第四章一、二、五、六、七节由汪玉春、陈祖泽编写;第八章由梁光川编写;第七章由黄泽俊编写,项鸣春参与了部分工作。全书由李长俊主编。

本书由西南石油学院曾自强教授及四川石油设计院教授级高工章申远和高级工程师、副院长宋德奇主审。在教材的编写过程中还得到了姚安林教授、刘廷平副教授、郑悦明副教授的帮助,西南石油学院教材建设委员会给予了大力支持,谨此致以谢忱!

由于编者水平有限,而且对教学如何适应21世纪形势发展要求也处于探索阶段,书中难免存在一些缺点乃至错误,恳请读者批评指正。

编者

2000年5月

目 录

第一章 概述	1
第一节 输气管道概况	1
第二节 天然气管道线路工程	12
第三节 设计阶段的主要内容	14
习题	24
参考文献	25
第二章 天然气管道输送基础	26
第一节 天然气的组成	26
第二节 天然气的平均参数	27
第三节 天然气的 PVT 关系	30
第四节 天然气的焓	45
第五节 天然气的熵	49
第六节 天然气的比热容	51
第七节 焦耳-汤姆逊系数	54
第八节 天然气的燃烧热值	56
第九节 天然气的爆炸极限	57
第十节 天然气的黏度	57
第十一节 天然气的导热系数	60
第十二节 天然气烃露点、泡点及汽化率	64
第十三节 天然气饱和含水量和水露点	69
第十四节 气体在管道中流动的基本方程	73
习题	74
参考文献	75
第三章 输气管道的工艺计算	76
第一节 平坦地区输气管道的基本公式	76
第二节 同坡度输气管道的基本公式	79
第三节 地形起伏地区输气管道的基本公式	80
第四节 水力摩阻系数与常用输气公式	85
第五节 输气管道沿线压力分布与平均压力	92
第六节 主要工艺参数的特点	94
第七节 复杂输气管道的工艺计算	96
第八节 输气管道的温度变化规律	109
第九节 总传热系数与地温计算	112
习题	121
参考文献	121

第四章 输气干线系统的设计与工况分析	122
第一节 压缩机站的基本方程.....	122
第二节 输气管道调峰.....	136
第三节 输气管道工艺设计.....	144
第四节 输气管道运行分析与调节.....	177
第五节 输气管道的水合物生成条件预测.....	186
习题.....	199
参考文献.....	200
第五章 输气管道系统仿真	201
第一节 等温输气管道稳态仿真.....	201
第二节 非等温输气管道稳态仿真.....	207
第三节 等温输气管道动态仿真.....	213
第四节 非等温输气管道动态仿真.....	225
第五节 输气管道仿真软件.....	229
习题.....	231
参考文献.....	232
第六章 输气站	233
第一节 输气站布置.....	233
第二节 输气站工艺流程.....	236
第三节 压缩机及驱动设备.....	241
第四节 除尘设备.....	252
第五节 阀门.....	256
第六节 天然气流量计量.....	263
第七节 天然气分析测试方法.....	275
第八节 清管设备.....	277
习题.....	284
参考文献.....	284
第七章 配气与储气	286
第一节 配气系统的组成和配气站.....	286
第二节 配气管网.....	289
第三节 配气管网的水力计算.....	291
第四节 气体的储存.....	303
第五节 地下储气库.....	306
习题.....	316
参考文献.....	316
第八章 天然气管道的自动监控和运营管理	317
第一节 天然气管道的自动调节系统.....	317
第二节 天然气管道的自动计量与工艺运行参数监测.....	321
第三节 天然气管道输气设备的自动监控.....	323
第四节 天然气管道 SCADA 系统的配置和工作原理.....	331

第五节 自动化输气管道的运营管理	338
习题	342
第九章 天然气管道完整性管理	344
第一节 天然气管道完整性管理内容与数据	344
第二节 天然气管道高后果区识别	345
第三节 天然气管道风险评价	347
第四节 天然气管道完整性检测技术	351
第五节 天然气管道完整性评价	356
第六节 天然气管道缺陷修复	364
第七节 天然气管道完整性管理效能评价	365
习题	366
参考文献	366
附录一 清管器发送逻辑程序	368
附录二 ASME B31.6M—2015 标准钢管部分规格	371
附录三 API-5L 标准钢管部分规格	374
附录四 计量单位换算系数表	392

第一章

概述

第一节 输气管道概况

天然气是清洁的优质能源和化工原料,对改善人民生活、支持国民经济发展、保护环境方面发挥着重要作用。天然气管道系统是天然气生产和应用过程中的重要环节,其工程建设水平、运行管理水平直接关系到生产安全、环境保护及用户的切身利益。

一、输气管道的组成

天然气管道输送系统由气田集输管道、气体净化与加工装置、输气干线、输气支线、配气管网、储气系统和各种用途的站场所组成,包括采气、净气、输气、储气和供气五大环节,它们紧密联系、相互制约、互相影响,是一个统一的、密闭的水动力系统。天然气管道输送系统如图1-1所示,其中从井口到输气首站属于集输管道系统,从首站到末站属于长输管道系统,从末站到用户属于配气管道系统。

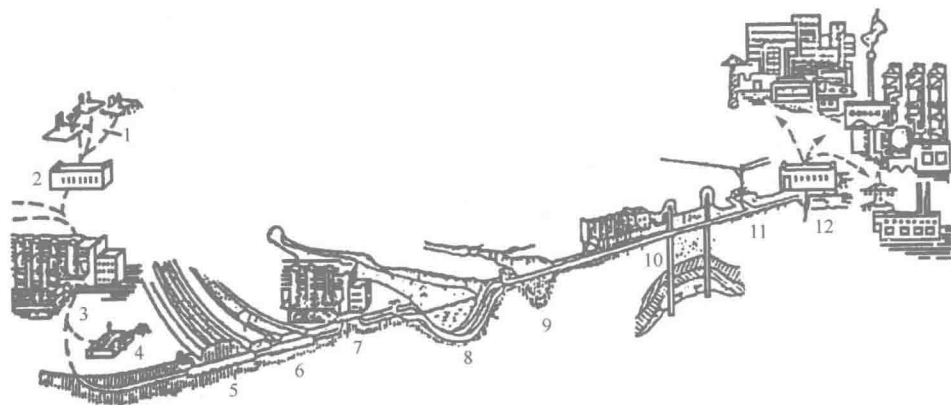


图 1-1 天然气管道输送系统

1—井场;2—集气站;3—天然气净化厂和压气站;4—到配气站的出口;5,6—铁路、公路穿越;7—中间压气站;
8—河流穿越;9—沟谷跨越;10—地下储气库;11—阴极保护站;12—重点配气站

天然气集输管道系统负责收集从井口开采出来的天然气,然后通过分离、计量、净化、配气、增压等一整套单元工艺装置的配合与合理安排,输送到用户或长输管道首站。天然气集输管道系统包括井场、集气管网、集气站、天然气处理场(厂)、总站或增压站等。

天然气长输管道系统是连接气田天然气或油田伴生气或液化天然气(Liquefied Natural Gas, LNG)终端与城市门站之间的管道,由输气站和线路两大部分组成。输气管道起点也称首站,负责收集集输管道系统的来气,通过除尘、计量后输往下站。如果从气田来气没有足够

高的压力,则需要在首站设置压缩机进行增压。如果管道较长,天然气在沿管道流动过程中,压力会不断降低,此时需要在管道中间设置增压站,以保证将天然气输送到终点。输气站终点又称为末站,其任务是接收来气,通过计量、调压后将天然气分配给不同的用户。在管道沿线还可能接受其他气源来气或需要向不同用户供气,因此,在沿线各站或中间阀室可能有集气点或分输点。在站内还设有除尘设施,以清除天然气中所携带的液滴和固体颗粒与粉末,防止堵塞仪表、设备;设有阴极保护设施,对管道实现防腐保护;设有通信和自控设施,对管道系统实现监测与控制;在首站设有清管器发送装置,在末站设有清管器接收装置,在中间站设有清管器发送和接收装置,便于管道投产试压、干燥和定期清除管道中的积液。对管道线路部分,管道外包有防腐绝缘层,与阴极保护系统一道起到防腐作用;管内设有涂层,降低管道内壁粗糙度,提高管输能力;沿线需要穿越、跨越结构通过河流、公路、铁路、山谷;每隔一段距离要设有截断阀,以便于管道的操作与维修;由于天然气生产过程的相对稳定性和用户用气的不均匀性,因此针对不同的情况,需要在管道末段部分考虑地上储气设施、地下储气库等进行调峰。地下储气库一般都设有与之配套的压气站和净化装置。压气站的作用是:当用气处于低谷时,将干线中多余的气体注入地下储气库;当用气处于高峰时,抽出储气库中的气体注入输气干线。净化装置的作用是对从库中采出的天然气进行净化处理。

天然气配气管道系统的任务是接收输气管道来的天然气,进行除尘、计量、调压、添味,然后把天然气送入各级配气管网,同时保持管网所需的压力,并将天然气分配给各用户单位。

二、输气管道的特点

表 1-1 从管道输送工艺参数、材质与管型、管道功能等方面对三类输气管道进行了比较。

表 1-1 三种天然气管道类型比较

管道名称	集输管道	长输管道	配气管道
输送介质	原料气可能含有硫化氢等未经净化的井口气	必须符合 GB 50251—2015《输气管道工程设计规范》标准的净化气	必须符合 GB 50028—2006《城镇燃气设计规范》标准的净化气,无臭味者应加臭
压力	根据地层压力而定,最高可超过 10MPa,开采后期压力很低甚至降到常压	一般在 4~15MPa 之间	从 4MPa 至 0.01MPa 严格地分为 7 个压力等级
输送量	单根管道变化很大,一般在 $1 \times 10^4 \sim 50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 之间,集气总干管输量为 $50 \times 10^4 \sim 100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	一般年输气量在几十亿立方米,大的可达 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上	以城市大小而定,按整个管网系统的输配能力来衡量
输送距离	支线一般在几千米以内,干线稍长一些,几十至上百千米也有	多数在几百至几千千米,有些支线短的为几十千米	以整个管网的总长度来衡量,根据城市规模确定
管型及材质	基本上都用无缝钢管	通常为高强度专用钢,以螺旋焊、直缝埋弧焊钢管居多	无缝、有缝钢管都用,0.4MPa 以上以 ERW 管居多;0.4MPa 以下,广泛使用 PE 管
管径	一般在 100~300mm 之间,总干管在 400mm 以上	一般在 500~1219mm 之间,干线多在 700mm 以上	城市外环都用 700mm 以上大口径,市内采用各种规格
管道布置	多为支状、放射形布置,从单井集气、多井集气到集气总站集中	从净化厂输送到用气城市,多为单线	各种压力级制的管道都布置成环

管道名称	集输管道	长输管道	配气管道
主要功能	集气,把气田各单井的气收集起来送往净化厂	输气,沿途可接收或分输气体	配气,把气体分配到各类用户
设计规范	《油田油气集输设计规范》 (GB 50350—2015)	《输气管道工程设计规范》 (GB 50251—2015)	《城镇燃气设计规范》 (GB 50028—2006)

输气管道具有如下特点:

(1)天然气开发、储运、销售系统一体化。天然气的开发、储运和销售构成了天然气工业上、中、下游一体化,三者相互联系,相互影响。在天然气输送过程中,集输管道系统、长输管道系统、配气管道系统是一个密闭的、连续的水力系统,因此,在天然气管输系统建设和调度管理过程中,必须综合各因素进行统一考虑。

(2)管道系统具有调峰功能。在不同时刻、不同季节用户的用气量是有区别的,有高峰也有低峰,但天然气的生产过程是相对稳定的,因此,管道输送长期处于一种不稳定状态。当用户用气处于低峰时,需要管道或其他储气设施储存多余的气体;而当用户用气处于高峰时,需要管道或其他储气设施释放储存的气体。

(3)距离长、压力高、输量大。从生产基地到用户之间距离决定了管输距离一般较长,如西气东输一线从新疆到上海输距达 4000km,而西气东输三线从新疆到福建就更长了,距离达 7378km。由于在高压下输送可以提高输量、减少运费,同时管道、设备生产水平和管理水平的提高保证了管道在高压下的运行,因此,管道输送压力一般都较高。由于管道连续输送,与压缩天然气、液化天然气的车船等其他输送方式相比,输量大得多。

(4)密闭安全。管道一般都埋在地下,无噪声、泄漏少,对环境污染小。

(5)能耗与运费随管长、压力、输量变化。与输油管道相比,天然气管道运费要高一些。图 1-2 为输送不同介质时不同距离的费用。从图中可以看出,超过 4000km 以上,液化天然气海运可能比陆上输气管道便宜。压力在 10~15MPa 的陆上天然气管道称为高压天然气管道。据研究,年输量在 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 时,采用高压输送可以节省成本。当运输距离为 5000 km、年输量在 $150 \times 10^8 \sim 300 \times 10^8 \text{ m}^3$ 之间时,采用高压输送比传统输送可节约运输成本 20%~35%。

(6)便于管理,易于实现自动化。

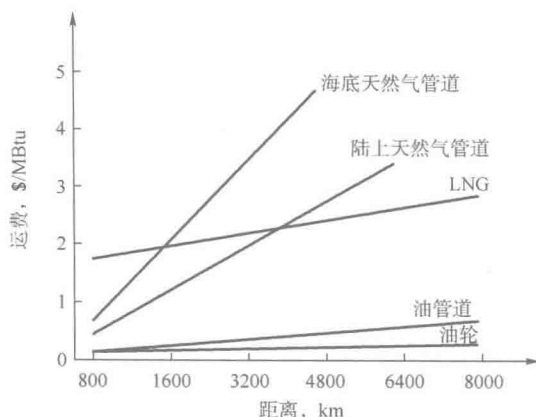


图 1-2 输送不同介质时不同距离的运费

三、输气管道的发展概况

1. 我国输气管道的发展概况

我国是最早采用管道输送的国家,早在公元 221—263 年的蜀汉时期,四川、重庆地区就采用楠竹管道输送卤水。在明末清初,就用楠竹管道输送天然气。

我国的第一条长距离输气管道是 1963 年在四川建成的从巴县石油沟到重庆孙家湾配气站(巴—渝线)。从此至 20 世纪 60 年代中期,我国输气管道开始起步,但管径小(273~426mm),距离短(几十千米),压力低,输量小,管材、设备质量差,建设技术水平低,输送工艺简单。自 20 世纪 60 年代中后期以来,随着天然气生产规模的逐渐扩大、制造业的发展及管道建设水平和工艺水平的提高,管道建设逐渐向大型化方向发展,并在区域内逐渐形成网络。1966 年四川建成威远至成都的输气管道,1987 年形成了以卧龙河和渠县脱硫厂为起点,成都为终点的南、北输气干线,管径达 720mm。此外,在全国其他地区建成了华北油田至北京的输气干线、大港油田到天津的输气管道、中原油田至沧州的输气管道、中原油田至开封的输气管道、天津至开封的输气管道、靖边至西安的输气管道、靖边至银川的输气管道、轮南至库尔勒的输气管道、吐鲁番至乌鲁木齐的输气管道。并且在中原油田至沧州输气管道上第一次采用燃气轮机驱动离心压缩机进行增压,输送压力为 2.5MPa。特别是 20 世纪 90 年代以来,随着我国国民经济的高速发展,通过技术引进与消化,天然气管道向着高压、大口径、长距离方向发展,并不断采用新设备、新材料、新工艺,管理向自动化方向发展。这一时期所建设的主要管道如下。

1) 西气东输一线输气管道

西气东输一线输气管道于 2002 年 7 月全线开工,2004 年 10 月全线投产。管道西起新疆的轮南,途经新疆、甘肃、宁夏、陕西、山西、河南、安徽、江苏及浙江 10 个省市 66 个县至上海,主干线全长 3856 km,管径 1016mm,设计输气压力 10MPa,管材为 X70,其中壁厚 14.6mm 以下为螺旋焊缝钢管,壁厚 17.5mm、21mm 和 26.3mm 为直缝钢管,设计年输量为 $120 \times 10^8 \text{ m}^3$,全线共设工艺站场 35 座,其中压缩机站 10 座(燃驱压缩机站 6 座、电驱压缩机站 4 座)、线路截断阀室 137 座。

2) 西气东输二线输气管道

西气东输二线西起新疆霍尔果斯口岸,南至广州,东达上海,途经新疆、甘肃、宁夏、陕西、河南、湖北、江西、湖南、广东、广西、浙江、上海、江苏、安徽等 14 个省市,由 1 条主干线和 8 条支干线组成,全线长 8794km,设计压力 12MPa,设计年输量为 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。干线长 4945km,管径 1219mm,一级地区壁厚 18.4mm,采用 X80 管材;支干线全长 3849km,采用 X70 管材。沿线设 3 座储气库,分别为河南平顶山储气库、湖北云应盐穴储气库和南昌麻丘水层储气库,总库容为 $45 \times 10^8 \text{ m}^3$,工作气量为 $22 \times 10^8 \text{ m}^3$,以及一座 $200 \times 10^4 \text{ t/a}$ 的液化天然气调峰站。

3) 西气东输三线输气管道

西气东输三线工程全线包括 1 条干线和 8 条支干线,总长度为 7378km,干支线沿线经过新疆、甘肃、宁夏、陕西、河南、湖北、湖南、江西、福建和广东共 10 个省、自治区。干线设计压力 10~12MPa,管道直径为 1016~1219mm,设计输量为 $300 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

西气东输三线的主供气源为新增进口中亚土库曼斯坦、乌兹别克斯坦、哈萨克斯坦三国天

然气,补充气源为新疆煤制天然气,其中,新增进口中亚天然气 $250 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,新疆伊犁地区煤制天然气 $50 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

4) 陕京输气管道

陕京输气管道西起陕西省靖边的天然气净化厂首站,终至北京石景山区衙门口北京末站,途经陕西、山西、河北、北京 3 省 1 市 22 个县市,全长 918.42 km,其中干线 853.23km,支干线 65.19km,主干线管径 660mm,管材为 X60,采用螺旋焊缝钢管和部分直缝焊钢管,设计压力 6.4 MPa,设计年输量为 $36 \times 10^8 \text{ m}^3$,是 20 世纪国内陆上距离最长和自动化控制水平最高的输气管道。

5) 陕京二线输气管道

陕京二线输气管道西起陕西省榆林首站,经陕西、山西、河北和北京,止于北京市大兴区采育末站,全线总长 851km,主干线管径 1016mm,壁厚 26.2mm,设计压力 10MPa,设计年输气量为 $120 \times 10^8 \text{ m}^3$,陕京二线管道主要供应北京市的工业及生活用天然气。

6) 陕京三线输气管道

管道干线始于陕西省榆林市榆林首站,止于北京市大兴区北京末站,途经陕西、山西、河北和北京 4 省(市),全长约 920km,设计压力 10MPa,管径 1016mm,设计年输量 $150 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。沿线共设中间站场 8 座,分别为榆林首站、临县压气站、阳曲压气站、正定分输站、石家庄压气站、安平分输站、永清分输站和北京末站,其中临县压气站为新建,其余站场与陕京二线已有站场合建。

7) 涩宁兰输气管道

涩宁兰输气管道起自青海省涩北气田,经过西宁市,终至甘肃省兰州市,是目前位于青藏高原上距离最长的天然气管道。2000 年 4 月 27 日开工,10 月 31 日完成主体工程。2001 年 5 月 21 日连通西宁,9 月 6 日全线连通,为西宁市和兰州市工业和居民供气。管道全长 953km,管径 660mm,设计压力 6.4MPa,年输气能力为 $20 \times 10^8 \text{ m}^3$,采用 X60 螺旋焊缝钢管,煤焦油磁漆防腐和三层 PE 防腐。站间采用管道专用卫星通信系统,全线实现自动控制。

8) 忠武输气管道

忠武输气管道自重庆市忠县至湖北省武汉市(原川汉管道),由 1 条主干线、3 条支干线组成,线路总长 1375.4km。线路途经重庆、四川、湖北 3 省(市)15 市、31 县,设计年输量为 $30 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。干线全长 718.9km,管径 711.2mm,管材为 X60 钢,采用聚乙烯三层复合结构和熔结环氧粉末分段防腐,设计压力 6.3~7.0MPa。三条支线分别为荆州至襄樊、武汉至黄石、湖北潜江至湖南湘潭,长度分别为 238.1km、77.9km 和 340.5km,管径分别为 406.4mm、323.9mm 和 610mm,设计压力 6.3MPa,采用 X52 和 X60 钢材。共设工艺站场 21 座,线路阀室 39 座,其中远传阀室(计算机控制终端)5 座。

9) 中缅天然气管道

中缅天然气管道起于缅甸皎漂市,从南坎进入中国境内的云南省瑞丽市,经贵阳市到达广西贵港市。管道干线全长 2519km,缅甸段 793km,国内段 1726km,设计年输量为 $120 \times 10^8 \text{ m}^3$,管径为 1016mm。

中缅油气管道境内段途经云南、贵州、广西和重庆的 23 个地级市、73 个县市,穿越或跨越大中型河流 56 处、山体隧道 76 处。沿线地形地貌、地质条件复杂,地质灾害频发,是目前我国

管道建设史上难度最大的工程之一。

10) 中贵天然气管道

中卫—贵阳天然气管道起自宁夏中卫,经甘肃、陕西、四川、重庆,止于贵州贵阳,干线全长 1613km,其中中卫—南部段 903km,南部—贵阳段 710km;还配套建设陇西支线、陇南支线和天水支线 3 条,其中陇西支线全长 142km,陇南支线全长 85km,天水支线全长 46.1km。设计压力 10MPa,管径为 1016mm,管材为 X80,设计输气能力为 $150 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。干线管内壁采用减阻内涂层的工艺输送方案。

中贵天然气管道气源来自于西气东输一线和西气东输二线天然气,主供川渝地区,并通过中缅天然气管道贵阳—南宁段、西气东输二线广东西干线进一步输送至广东。中卫—贵阳天然气管道将我国三大气区连通,并把国内多条东西走向的干线管道相互联网,形成全国和区域的不同层次的大型环状管网,提高了管网调配的灵活性,是保障供气安全的输气联络线管道。

11) 川气东送管道

川气东送管道始于四川省达州市普光首站,止于上海末站,途经四川省、重庆市、湖北省、安徽省、江苏省、浙江省和上海市,线路总长 2203km,是继西气东输一线管道后又一条贯穿我国东西部地区的管道大动脉。工程包括 1 条干线、4 条支线和 1 条专线。干线全长 1702km,管径 1016mm,管材为 X70,壁厚为 21~30.4mm。川维、南京、常州和苏州 4 条支线总长 422km,达州专线 81km。干线及各支线设计年输量为 $120 \times 10^8 \text{ m}^3$,达州专线设计年输量为 $30 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

12) 榆济天然气管道

榆林—济南管道起于陕西省榆林市榆阳区,止于山东省德州市齐河县,横贯陕西、山西、河南、山东四省,共经过 8 个地市、23 个县区。榆济输气管道全长约 942km,年设计输量为 $30 \times 10^8 \text{ m}^3$,预留远期规模为 $40 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。其中榆林—南乐段设计管径为 711mm,管材为 X60,设计压力为 10MPa;南乐—齐河段和南乐—清丰段设计管径为 610mm,设计压力为 8MPa。

13) 南海崖 13-1 气田至香港输气管道

该管道从气田海上井口平台起至香港烂角嘴上岸点止,全长 778km,管径为 28in (711.2mm),壁厚为 17.12mm,管材为 X65,设计压力为 8MPa,年输气量为 $34.7 \times 10^8 \text{ m}^3$,输送介质为干气,所经海域共穿越 10 条海底电缆和 3 条航道,平均水深 100 多米,其中深水段为 707m。这条管道是我国目前最长的海底输气管道。

14) 东海平湖至上海输气管道

该管道是 1999 年投产的湿天然气管道,从平湖油气田海上平台至南汇新港乡天然气处理厂,总长 388.8km(其中海管长 366.8km),管径 355.6mm,壁厚 11.1mm,管材 X52,入口压力 9MPa,海底管道可承受百年一遇的临界环境条件(包括台风、波浪力和海流),使用寿命在 30 年以上。

2. 国外输气管道的发展概况

世界第一条输气管道是 1886 年由美国建成的从宾西法尼亚州的凯恩到纽约州的布法罗,全长为 140km,管径为 200mm。现代输气管道的发展始于 20 世纪 40 年代末,田纳西天然气公司建设了一条从西部到东海岸的输气管道,全长为 2035km,管径为 609mm。下面给出了世界上几条天然气管道情况。

1) 横贯加拿大输气管道(Trans-Canada Gas Pipeline, TCPL)

该管道是加拿大自西向东的大型输气管道系统,全长 8500km,管径 500~1000mm,工作压力 6.1~6.5MPa,年输气量达 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$,沿线设有 46 座压缩机站和 2 座移动式压缩机组。管道由 1 个主体工程、4 个系统及一条经北美五大湖区向美国出口天然气的复线组成。主体工程自艾伯塔省(Alberta)和萨斯喀彻温省(Saskatchewan)的边界至魁北克省(Quebec)的蒙特利尔(Montreal),全长 3600km。4 个系统为自艾伯塔省边界至曼尼托巴省(Manitoba)温尼伯(Winnipeg)的西部系统、自温尼伯至多伦多(Toronto)的安大略(Ontario)系统、自多伦多至蒙特利尔的蒙特利尔系统,以及自曼尼托巴省的埃默森(Emerson)经五大湖区的美国 7 个州,再进入加拿大,在多伦多附近与管道主体工程相连的五大湖系统。管道始建于 1956 年,1975 年全部完工。美国境内段管道 1977 年投产。整个系统实现了全自动化,在多伦多设中心控制室,对整个管道和压缩机站进行遥控。

2) 艾伯塔输气管道系统(Alberta Gas Pipeline System)

该管道系统总长 7000 多公里,管径为 800~1000mm,压缩机站 27 座,总功率为 $31 \times 10^4 \text{ kW}$,末段由 4 条平行管道组成。除在艾伯塔省内供气外,同时在东部边界向 TCPL 系统输气,在西部边界向西岸供气系统输气,将天然气输至不列颠哥伦比亚(British Columbia)的分配商及美国的苏马斯(Sumas)、华盛顿(Washington)以便出口。在伊斯特波特(Eastport)、爱达荷(Idaho)处,通过 TCPL 合资的莱斯布里奇(Lethbridge)—不列颠哥伦比亚(British Columbia)将天然气输至美国边界。

3) 美加联盟输气管道(Alliance Pipeline)

该管道起自加拿大西部不列颠哥伦比亚省(British Columbia)的产气区,终至美国伊利诺斯州(Illinois)的芝加哥(Chicago),干线全长 2988km(加拿大境内 1559km,美国境内 1429km),管径为 914mm 和 1067mm。管材为 X70,设计压力为 12MPa,设计年输量为 $150 \times 10^8 \text{ m}^3$,全线共设压缩机站 14 座(加拿大境内和美国境内各 7 座)、计量站 35 个。该管道采用热值高达 $44.2 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ 的富气组分和压力高达 12MPa 富气输送工艺提高了管道输送效率。

4) 阿拉斯加公路输气管道(Alaska Highway Gas Pipeline)

该管道系统建于 1986 年,全长 7800 多公里,管径为 914~1420mm,管材为 X70,输气支管线管径为 863mm,管道长 1240km,设 59 座压缩机站,运行压力为 6.3~10MPa,年输气能力为 $248 \times 10^8 \sim 330 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。该管道起于阿拉斯加北坡(Alaska North Slope)的普拉德霍湾(Prudhoe Bay)气田,向南经阿拉斯加与加拿大育空(Yukon)的边界,并由此进入加拿大育空自治区(Yukon Territory)的哥伦比亚(Columbia),在詹姆斯河(James River)镇分为东西两路。西到美国西海岸市场,终点靠近三藩市(San Francisco);东到美国中西部、东海岸和南部市场,终点在路易斯安那(Louisiana)州的德威特(DeWitt)。该管道从北到南,中间又分东西两向,贯通了整个北美管网。

5) 美国湾流天然气管道(Gulfstream Gas Pipeline)

该管道系统起自密西西比(Mississippi)和亚拉巴马(Alabama)港湾的天然气处理厂,穿越墨西哥湾(Gulf of Mexico)海底到达佛罗里达(Florida)西部。管道长约 934.8km,年输量为 $116.8 \times 10^8 \text{ m}^3$,管材为 X70。其中,穿越墨西哥湾到达佛罗里达的管道长 691.9km、管径为 914mm,陆地管道长 260.7km、管径为 406~914mm。这是美国最大的穿越墨西哥湾的天然气

管道。该管道在美国创造了6个第一:仅在亚拉巴马设置一座压缩机站;出口压力为15MPa;是墨西哥湾最大的管道;是墨西哥湾最大的洲际管道;第一条到达佛罗里达的海底管道;第一条新建的向佛罗里达输送天然气的管道。

6) 乌连戈依—中央输气系统

该输气系统是俄罗斯主要的输气系统之一,也是世界上最大的输气系统。全系统管道总长 2×10^4 km,管径为1020mm、1220mm、1420mm,管材为X70。1981年开始建设,1985年投产,当年全系统输气量达到 $1800 \times 10^8 \text{ m}^3$,供国内外用气。它由以下6条输气管道组成:

(1) 乌连戈依—乌日哥罗德输气管道系统。该管道是由俄罗斯出口到欧洲的德国、法国和意大利的输气管道。全长9000km(在俄罗斯境内长4451km),管径为1420mm,工作压力为7.5MPa。1982年10月动工建设,1984年4月投产。共建压缩机站41座,设有压缩机组134台,总装机功率为 $300 \times 10^4 \text{ kW}$,年输气能力达 $320 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。管道经西伯利亚地区穿越大量的水域、河流、森林及永冻土区等。为防止天然气经增压以后温度升高影响永冻土融化,在永冻土区建有天然气冷却站4座。不论从施工难度、管径大小、里程长度、压气站数量还是输气量多少来看,至今仍为输气管道之最。

(2) 乌连戈依—莫斯科输气管道系统。它是中央输气系统的北支,管道全长2976km,管径1420mm,工作压力7.5MPa,共建压缩机站16座。1980年开工建设,1981年5月投产。管道穿过大型沟壑和山谷时采用跨越,穿过永冻土地带时采用堤坝式铺设。

(3) 乌连戈依—诺沃普斯科夫输气管道系统。该管道全长3341km,管径为1420mm,工作压力7.5MPa,全线共设30座压缩机站,1981年开工,1983年投产。线路通过长达260km的沼泽地区,穿越河流域达300处,其中大型河流20处。

(4) 乌连戈依—彼德罗夫斯克输气管道系统。该管道全长2731km,管径为1420mm,压力为7.5MPa。1981年开工建设,1982年4月投产。全线共建压缩机站24座。管道通过沼泽区39.4km,水淹地段376km,沿线共穿过水域、河流等984处,其中穿越大型河流17处。

(5) 乌连戈依—中央(I线)和乌连戈依—中央(II线)系统。两条管道与乌连戈依—乌日哥罗德管道平行铺设,管长分别为3429km和3384km,各建压缩机站30座,将秋明地区的天然气输往耶列茨地区。这两条输气管道均于1984年开工建设,1985年投产。

7) 亚马尔—欧洲输气管道(Yamal-Europe Pipeline)

该输气系统是由6条平行铺设的输气管道组成的大型“管道走廊”,起于俄罗斯亚马尔半岛(Yamal Peninsula),途经俄罗斯、白俄罗斯、波兰等国,最后到达德国奥得(Oder)河边上的法兰克福(Frankfort),与西欧输气管网和荷兰南方天然气公司的输气管网相接。单条管长4874km,管径为1020~1420mm,设计压力为7.4~8.3MPa,干线年输气能力为 $280 \times 10^8 \sim 320 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。6条平行干道和支线总长达40232~48279km,设有34座压气站,总安装功率为5619MW,年总输气量为 $900 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

8) 俄罗斯—土耳其输气管道(“蓝色气流”输气管道,Blue Stream Gas Pipeline)

该管道是俄罗斯向土耳其输送天然气的第二条管道,管道全长1213km,包括俄境内陆上管道373km、黑海海底管道396km和土耳其境内陆上管道444km。管径分别是俄罗斯陆上平原部分为1420mm、山区部分为1220mm、海底双线部分为610mm及土耳其陆上部分为1220mm。管材采用09Г2С(俄罗斯管材)、X60和X65钢管。管道的年设计输气能力为 $16 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。管道2002年12月30日开始试送气。从2003年起,该管道每年向土耳其供应天然气