

燃气工程管理 与 技术丛书

RANQI GUANDAO GONGYING

燃气管道供应

花景新 主 编

张增刚 马志远 副主编



化学工业出版社

燃气工程管理 与 技术丛书

- 城镇燃气规划建设与管理
- 燃气管道供应
- 燃气工程施工
- 燃气工程监理
- 燃气应用技术
- 燃气场站安全管理
- 燃气工程事故应急预案编制与范例

RANQI GUANDAO GONGYING

燃气管道供应



销售分类建议：建筑工程
市政工程
热能工程

ISBN 978-7-122-00351-5



9 787122 003515 >

定价：38.00元

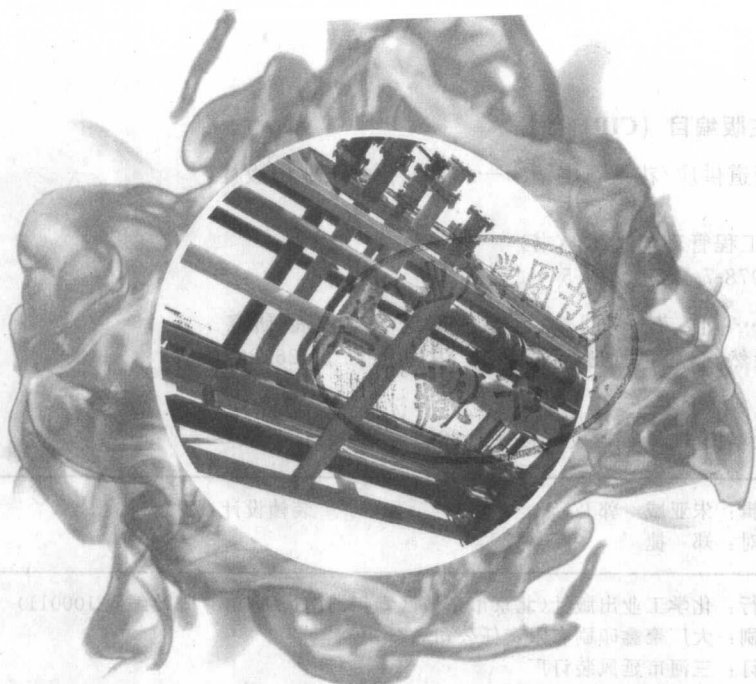
燃气工程管理 与 技术丛书

RANQI GUANDAO GONGYING

燃气管道供应

花景新 主编

张增刚 马志远 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

ISBN 7-122-01000-1

定价：38.00元

本书是《燃气工程管理与技术丛书》的一个分册，主要讲述有关燃气工业发展及管道输送技术和供应现状与发展趋势、燃气的分类与性质、燃气的长距离输送系统、城市燃气管网系统、城市管网水力计算、燃气输配管网信息化管理技术、燃气管网安全管理、燃气管道供应新技术等知识。

本书可作为城镇燃气管道供应建筑施工及运营单位的管理人员与技术人员的培训教材，也可作为相关工作的参考书，还可作为热能工程、供热工程、能源工程专业师生的教学用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

燃气管道供应/花景新主编. —北京: 化学工业出版社, 2007. 7

(燃气工程管理与技术丛书)

ISBN 978-7-122-00351-5

I. 燃… II. 花… III. ①天然气工业-经济发展-研究-中国②天然气输送-管道运输-概况-中国 IV. F426.22
TE973

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 062195 号

责任编辑: 朱亚威 郭乃铎
责任校对: 郑捷

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 大厂聚鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市延风装订厂
720mm×1000mm 1/16 印张 15½ 字数 360 千字 2007 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

序

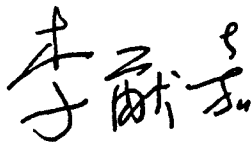
燃气是现代城乡经济社会发展的重要基础设施之一，与人民群众生产生活息息相关。近几年来，随着天然气的大规模开发应用，我国燃气事业获得长足的发展。城镇管道天然气发展迅猛，液化石油气在广大乡村地区得到普遍发展应用。这对优化城乡能源结构，改善城乡环境，提高人民生活质量发挥了重要作用。同时，燃气是高危险性的可燃气体，易燃、易爆、易使人窒息，稍有不慎，极易引发安全事故，而且许多燃气事故往往是瞬间发生，一家出事，邻里遭殃，祸及无辜。

当前来看，随着燃气事业发展壮大，许多新的企业和人员加入这一领域，他们迫切需要学习、了解燃气基本常识、主要工艺和相关工程技术。为此，山东省城市燃气安全检查监督站、山东省燃气协会组织专家编写了《燃气工程管理与技术丛书》，主要包括：《城镇燃气规划建设与管理》、《燃气应用技术》、《燃气管道供应》、《燃气场站安全管理》、《燃气工程监理》、《燃气工程应急预案编制及范例》以及《燃气工程施工技术》七个分册。

该丛书以国家规范、标准为依据，广泛吸取近几年燃气行业的实践经验和最新理论研究成果，对燃气行业新技术、新材料、新设备、新工艺作了介绍，突出体现了本丛书的实用性、先进性和通俗性，可广泛应用于燃气行业管理、工程建设、企业运营和安全管理，适用于广大燃气管理部门工作人员、燃气企业的管理人员和技术人员，对燃气行业从业人员执业技能培训和燃气基本知识的普及工作都具有很重要的作用。

本书的编写人员来自燃气行业管理、教学、工程建设的一线，长期从事燃气的规划建设管理和相关教学实践，有着丰富的实践经验，对燃气知识的了解和研究深刻。他们本着对读者负责、对燃气行业负责的态度，参考了大量的书籍，吸收了当前国内外丰富的研究成果，务求做到数据可靠，内容翔实，通俗易懂。我相信，这套丛书的出版发行，对提高燃气行业管理、工程施工及事故应急救援水平，都有着非常重要的作用和现实意义。

中国工程院院士
中国工程设计大师



2007年6月

前言

燃气是经济社会发展的重要能源，燃气管道供应是燃气输配、供应和服务社会发展的重要组成部分。

近年来，燃气管道供应从输配、技术、工艺、材料、管网安全运行等方面得到进一步的发展和运用。山东省城市燃气安全检查监督站、山东省燃气协会结合燃气管道供应行业发展最新的研究成果和实践经验，组织省内外专家、学者和一线的管理和技术人员编写了这本《燃气管道供应》一书，旨在普及和推广燃气管道供应技术，为燃气安全生产和经济社会发展服务。

本书由山东省城市燃气安全检查监督站、山东省燃气协会、山东建筑大学、中国石油规划总院（CPPEI）、济南百江燃气有限公司、济南港华燃气有限公司、山东一通工程技术服务有限公司的有关同志共同编写。全书共分8章。第1章是管道燃气发展的概况，主要介绍了燃气工业发展、燃气管道输送技术和供应现状与发展趋势；第2章是燃气的分类与性质，主要介绍了燃气的种类与成分、基本性质和质量要求；第3章是燃气的长距离输送系统，主要介绍了燃气长距离输送系统的构成、长输管线的工艺计算、输气干线及线路选择、长输系统的附属设备、长输管线的储气能力；第4章是城市燃气管网系统，主要介绍了城市管网的分类及选择、管道的布线，民用、公共建筑、工业企业的供应系统；第5章是城市管网水力计算，主要介绍了燃气用户、需用量计算、管网的计算流量、压力降、管道、水力计算公式和室内管网的水力计算；第6章是燃气输配管网信息化管理技术，主要介绍了管网信息化系统的结构和输配系统信息化管理；第7章是燃气管网安全管理，主要介绍了安全管理制度、在役管网的评价、管网的安全管理设施，室内外管网管道系统的管理和维护；第8章是燃气管道供应新技术，主要介绍了液化石油气、压缩天然气供应技术和气源转换管网的改造。

编写分工如下：第1、2、3章由张增刚同志编写，第4、5章由张增刚、唐宝金同志共同编写，第3、6章由刘伟同志编写，第7章由郑贤斌、马志远同志编写，第8章由逢克明、郭廷进同志共同编写。其中张道远、薛希法、杨春生、王志强、刘庆堂、李明治等同志参与了本书的编辑工作。山东建筑大学田贯三教授对稿件进行了审查，花景新同志对本书进行了审定。

在编写过程中，编写者参阅了大量的著作、论文、国家标准、产品样本和产品技术手册、产品网站技术资料等，在此也对参考文献资料原作者表示衷心的感谢。在组稿和编审过程中，化学工业出版社领导和编辑给予了大力支持，我们在此一并致谢。

本书是《燃气工程管理与技术丛书》的一个分册，我们衷心希望本书提供的内容能够对读者在掌握燃气管道供应上有所帮助，同时，由于编者水平有限，书中难免出现不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2007年8月

目 录

第1章 管道燃气的发展概况	1	三、对液化石油气的质量要求	57
第一节 燃气工业发展	1	四、城市燃气的加臭	58
第二节 燃气管道输送技术	4	第3章 燃气的长距离输送系统	60
一、管道运输的特点	4	第一节 燃气长距离输送系统的构成	60
二、国内管道运输的发展	5	一、集输管网	60
三、国外天然气管道输送技术的发展 ..	5	二、长输管线起点站	61
第三节 管道燃气供应现状与发展趋势 ..	7	三、长输管线配气站	62
一、管道燃气供应现状	7	第二节 长输管线的工艺计算	62
二、城市燃气发展的前景	8	一、长输管线通过能力的计算	62
三、城市燃气事业发展的思路	9	二、长输管管线径及输气压力的确定 ..	64
第2章 燃气的分类与性质	11	三、影响长输管线通过能力的因素	64
第一节 燃气的种类与成分	11	四、长输管线的强度计算	65
一、天然气	11	五、计算示例	65
二、人工燃气	11	第三节 输气干线及线路选择	66
三、液化石油气	12	一、输气干线的管材及壁厚确定	66
四、沼气	13	二、线路选择原则	67
第二节 燃气的基本性质	14	第四节 长输系统的附属设备	68
一、单一气体的物理特性	14	一、阀门的设置	68
二、混合物组分的换算	15	二、清管器的设置	69
三、临界参数及实际气体状态方程	18	三、补偿器的设置	71
四、黏度	22	第五节 长输管线的储气能力	73
五、饱和蒸气压及相平衡常数	24	第4章 城市燃气管网系统	75
六、沸点和露点	28	第一节 城市燃气管网的分类及其选择 ..	75
七、溶解度及水化物	30	一、燃气管道的分类	75
八、体积膨胀系数	33	二、城市燃气管网及其选择	76
九、汽化潜热	34	三、城市燃气管网系统举例	78
十、比热容	36	第二节 城市燃气管道的布线	78
十一、热导率	42	第三节 居民建筑燃气供应系统	81
十二、状态图及其应用	47	一、建筑燃气供应系统的构成	81
十三、燃烧特性	51	二、高层建筑燃气供应系统	82
十四、华白数和燃烧势	52	三、超高层建筑燃气供应系统的特殊	
十五、燃烧所需空气量	53	处理	83
十六、着火温度和爆炸极限	55	第四节 商业建筑燃气供应系统	85
第三节 燃气的质量要求	56	一、商业建筑燃气供应系统的构成	85
一、人工燃气及天然气的主要杂质		二、商业建筑燃气供应系统设计的	
及允许含量指标	56	原则及要求	86
二、对天然气的质量要求	57		

第五节 工业企业燃气供应系统.....	88	和计算图表	136
一、工业企业燃气管网系统的构成.....	88	一、低压燃气管道摩擦阻力损失计算	
二、工业企业燃气系统的选择与布线	90	公式	136
三、车间燃气管网系统.....	91	二、高压和中压燃气管道摩擦阻力	
第六节 燃气的压力调节及计量.....	92	损失计算公式	137
一、调压器的工作原理.....	92	三、燃气管道摩擦阻力损失计算图表	137
二、调压器的分类.....	93	四、计算示例	142
三、调压器的选择.....	95	五、燃气管道局部阻力损失和附加	
四、燃气调压器旁通管及管径的确定	98	压头	143
五、箱式燃气调压器(站)	98	第七节 枝状管网与室内管网的水力	
六、燃气调压站的设置	100	计算	145
七、燃气的计量	101	一、枝状管网水力计算	145
第七节 燃气管道的附属设备	103	二、室内燃气管道计算	146
一、阀门	103	第八节 环状管网水力计算	149
二、补偿器	105	一、环状管网水力计算特点	149
三、排水器	106	二、环状管网水力计算步骤	150
四、放散管	106	三、环状管网的计算示例	151
五、阀门井	107	第九节 计算机在水力计算中的应用	155
第八节 燃气管网的调峰技术	107	一、软件主界面简介	155
一、供需平衡方法	107	二、利用软件进行环状管网的水力	
二、储气容积的计算	109	计算	156
三、长输管线及高压管道储气能力的		三、其他说明	166
计算	113	四、软件对计算机系统的要求	166
四、城市燃气调峰的实例分析	115		
第5章 城市燃气管网的水力计算	118	第6章 燃气输配管网信息化管理技术	167
第一节 燃气用户	118	第一节 实现信息化管理的任务和意义	167
一、供气对象	118	一、燃气企业信息化的现状	167
二、供气原则	118	二、燃气输配管网信息化的基本任务	167
第二节 城市燃气需用量计算	119	三、燃气信息化的实际意义	168
第三节 城市燃气需用工况与小时计算		第二节 管网信息化系统的结构	168
流量的确定	124	一、SCADA系统简介	168
一、用气不均匀性	124	二、SCADA系统的目的	168
二、燃气计算用量的确定	126	三、SCADA系统的主要组成部分	168
第四节 燃气分配管网计算流量	131	四、SCADA系统主要的硬/软件系统	169
一、燃气分配管段计算流量的确定	131	五、SCADA系统与远程抄表系统的	
二、途泄流量的计算	132	联系	170
三、节点流量	133	六、实例——济南—淄博线 SCADA	
第五节 燃气管网计算压力降	134	系统	170
一、低压管网计算压力降及其分配	134	第三节 燃气长输系统的信息化管理	172
二、高、中压管网计算压力降的		一、燃气信息化系统的结构	172
确定	136	二、燃气信息化建设内容及各个子	
第六节 城市燃气管道水力计算公式		系统功能	173
		三、燃气信息系统建设	175

四、燃气综合管理信息系统建设应遵循的原则	176	第七节 燃气管网安全管理体系	199
第四节 城市燃气输配系统的信息化管理	177	一、燃气管网安全管理法规体系框架	200
一、我国城市燃气管线管网存在的主要问题及解决思路	177	二、国外燃气管网安全管理体系	200
二、建立健全燃气管线管网有计划的检测和计划性维修综合管理体制	178	第8章 燃气管道供应新技术	203
三、应用信息技术促进城市地下管线管网现状动态管理	180	第一节 液化天然气供应技术	203
四、城市燃气管网信息管理建设的措施	180	一、液化天然气供应特点	203
第7章 燃气管网安全管理	181	二、LNG供气工艺	203
第一节 燃气管网安全管理的意义	181	三、LNG的气化工艺和技术要求	206
第二节 燃气的爆炸及预防	181	第二节 压缩天然气供应技术	207
一、城市燃气燃烧特性及其爆炸条件	181	一、压缩天然气(CNG)供应	207
二、燃气的常见火灾原因及预防措施	183	二、城镇CNG供应系统	208
第三节 燃气管网安全管理制度	184	三、CNG加压站设施的安全保护	209
一、燃气管网安全隐患分析	184	四、CNG汽车加气站	210
二、燃气管网安全管理制度	184	五、CNG绝热节流膨胀过程	211
三、燃气管网安全管理措施	185	第三节 液态液化石油气供应新技术	215
第四节 在役管网的安全评估	187	一、液化石油气的特点	215
一、进行安全评估的目的	187	二、液化石油气的管道运输系统	215
二、安全评估基本内容	188	三、管道敷设方式及安全要求	218
第五节 燃气管网安全管理与日常维护	190	四、液化石油气管道系统的附属设施	219
一、工艺指标控制	191	第四节 气源转换管网的改造	220
二、岗位责任制	191	一、气源转换管网改造的原则	220
三、巡回检查	192	二、管网中管道的改造	221
四、燃气管道维护保养	192	附录1 燃气管道的管材种类及性质	223
第六节 室外管网附属设施的安全管理	193	附录2 城市燃气分类 (GB/T 13611—92)	226
一、燃气管网运行的安全要求	193	附录3 调压和计量设施选型	230
二、燃气管道泄漏检查	194	附录4 低压燃气管道水力计算单位长度压力降速查表	232
三、燃气管道的维修	195	参考文献	237

[第1章]

管道燃气的发展概况

第一节 燃气工业发展

我国利用气体燃料有着悠久的历史。早在西周时期，已有发现天然气的记载，西周《周易》中说：“象曰：‘泽中有火’”。公元3世纪在四川就有用竹子做管道输送天然气用于制盐业的记载，《天工开物》中记载：“四川有火井，事甚奇，其中居然冷水，绝无火气，但以长竹剖开、去节、合缝、漆布、一头插入井底，其上曲接，以口对釜脐，注水釜中，见火意烘烘，水即滚沸”。

人工燃气在我国制造和使用的历史比较短，1865年由英商在上海设立了最早的煤气公司开始（建水平炉生产煤气，用于照明），发展极为缓慢。到1949年，全国只有上海、大连、沈阳、鞍山、抚顺、长春、锦州、哈尔滨、丹东九个城市有城市燃气厂，而且工厂设备陈旧落后。

新中国成立以后，燃气工业有了较大的发展。在冶金工业的带动下，由于炼制工业的发展，促进了煤气事业的发展。20世纪50年代燃气发展主要是改造和兴建小焦炉和利用冶金工业的焦炉余气。20世纪60年代初，四川、东北、华北等地区先后供应部分天然气，随着石油化学工业的发展，大中城市开始以LPG（液化石油气）和开发重油制气技术为气源。到70年代，LPG和天然气受资源和政策限制仅略有发展，较多的还是建设以煤和石油产品为原料的煤气厂。80年代，国内LPG的供应量逐步增加，作为优质民用燃料进入千家万户。90年代，由于大量进口国外的LPG和天然气的开采利用使中国城市燃气事业得到了很大发展，并已成为城市建设的重要基础设施和现代化城市的重要标志。

根据建设部《2005年城市建设统计公报》显示：2005年末，全国城市661个，城市人口35894万人。2005年，人工煤气供应总量255.8亿立方米，比上年增长42.1亿立方米；天然气供应总量210.5亿立方米，比上年增加41.2亿立方米；液化气供应总量1222万吨，比上年增加95.3万吨。城市用气人口29488万人，燃气普及率82.2%，比上年增加了0.7个百分点。在燃气构成中，人工煤气呈下降趋势，天然气和LPG呈增加趋势。这里需要说明的是目前多种气源供应，是中国城市燃气发展的特点。相当长一段时间，中国的城市燃气的发展遵循着“多种气源，多种用途，因地制宜，合理利用资源”的方针。到目前能源资源依然是煤、石油（轻油或重油）、天然气和LPG，由于能源价格逐步向国际价靠拢，因而产生了各种能源资源（包括电力在内）的替代关系，中国在市场经济的体制下，使燃气的决策和发展变得更加迅速。近几年，由于我国钢铁行业的大发展和焦炭的大量出口，焦炉煤气的供应量也有较大的增加。中国液化石油气用户也发展很快，这是因为LPG工程具有投资省、建设快、少污染等优点，加之国内



LPG 生产量不断增长,沿海地区又可以国际价进口 LPG,对城市燃气事业起到了良好的推动作用,也使 LPG 成为发展城市燃气的一种可替代能源,并由此形成了一个进行经济比较的对比指标,即凡燃气价格低于 LPG 项目工程应是可取的,凡高于 LPG 工程项目的是不可取的。这也是市场经济条件下发展中国燃气事业的一个重大进步,为和国际接轨迈进了一步。当然 LPG 工程的缺点也应考虑。国际上价格最低的是天然气,但进口 LNG(液化天然气)受国际石油价格的影响,最近两年上涨很快,它也是制约进口 LNG 发展的主要原因。近几年来,天然气作为城市气源发展较快,是应该优先使用的一种城市燃气气源,但天然气气源在中国分布不均,由于资源相对分散,相对储量少,大部分就地使用。远距离输送要做到发达国家国内联网、国际联网还要根据我国综合国力以及天然气资源的发展规模来定。目前,中国的天然气作为城市气源在 20 世纪末已达到一定规模。用气城市已达 50 余个,包括一些暂未统计在内的城市约有近 70 个。广泛地分布于四川、重庆、北京、天津、河北、黑龙江、吉林、辽宁、河南、陕西、云南等省区。根据国家公布的 2001~2020 年天然气发展长远规划,到 2010 年和 2020 年,中国的天然气需求量将分别达到 1120 亿立方米和 2520 亿立方米;同时 2005 年内有 148 个城市、7000 多万人口使用天然气,用气量为 200 亿/年,到 2010 年将有 270 个城市使用天然气。

当前面对居高不下的国际油价和“缺油少煤”的能源格局,如何保持燃气市场的健康持续发展、有效缓解我国能源供应紧张的局面,已成为社会各界关注的热点。

(1) 天然气世纪悄然而至 天然气是世界三大矿物能源(煤、石油和天然气)之一,与煤和石油共生,主要组成成分为甲烷、乙烷、丙烷和丁烷等烷烃。与煤和石油相比,具有热值高、污染少、效率高等特点,因此被誉为世界上最优质的清洁能源。从世界范围看,全球天然气目前已探明的可采储量达 148.1 万亿立方米,主要集中在俄罗斯和中东国家,主要消费市场集中在北美、前苏联、欧洲和远东四个地区。

目前,全球共有 12 个国家(约 68 条生产线)生产 LNG,生产能力达到 1.38 亿吨/年。LNG 产品已被广泛用于发电、化工原料、新型汽车燃料以及民用燃料等领域。

根据国内外有关能源研究机构的预测,到 2010 年,在世界一次能源结构中,石油所占的比重将下降到 40% 以下,煤将降至 22%,天然气所占的消费比重将达到 26%。到 2030 年,天然气的生产量和消费量均会超过石油,并有可能取代石油成为主要能源。因此,能源专家预言,如果 20 世纪是石油的世纪,则 21 世纪将是天然气的世纪。

(2) 加快天然气的开发与应用势在必行 改革开放 20 多年来,经济的高速发展已使我国能源供需紧张的矛盾十分突出。据统计,煤在全国一次能源消费的比例仍占 70% 以上,石油为 17.5%,天然气不足 3%。目前,我国已探明的煤储量虽说超过 1 万亿吨,但经济可采储量只占 10%。虽然每年可以生产 16 亿吨标准煤,但大约要烧掉 10 亿吨标准煤,污染严重,利用效率只有世界发达国家的 30%,且供应缺口正呈增大趋势。石油资源的短缺,使我国在 1993 年就成为了原油净进口国,十年来原油进口增长了 7 倍,2004 年进口原油已超过 1 亿吨,成为世界第二大石油进口国和消费国。所以,无论从改善我国能源结构的高度,还是从我国缺煤少油的现实出发,都有必要加大天然气资源的开发和应用力度,加快以气代油(煤)的步伐。

根据国内最新公布的油气资源评价结果,我国天然气资源量约为 53 万亿立方米,约占世界天然气总储量的 11%,主要分布在中部、西部和海域三大产气区。从总量上



讲,我国天然气储量比较丰富的,但人均占有率非常低,目前的探明率也只有20%,采储比约为0.08:1,产量仅占全球的0.8%。每年生产开采的天然气多数还是用作化肥原料和工业燃料,LNG型汽车和CNG(压缩天然气)型汽车项目尚处于试点阶段,生产和应用与世界发达国家相比存在着很大的差距,在20世纪90年代以前,LNG在国内更属空白。

自1994年起,国家有关部门开始组织进行沿海地区LNG接收站的调研与选址。1999年,我国第一座LNG卫星站在山东淄博建成;2001年9月,中原油田LNG工厂建成投产,向工业用户提供LNG产品。目前,我国建成的LNG卫星站已超过40个、调峰站1座、LNG工厂2座,在建LNG工厂4座,规划中的LNG接收站全部建成后总储存中转能力可达1800万吨/年。

在我国沿海地区建设大型的LNG接收站,不仅可以利用国内资源,而且也可以有效利用国外气源。同时,也将带动设备制造、船舶、运输等相关行业的发展。

(3) LNG产业化的趋势锐不可当 近年来,LNG作为一种优质高效清洁能源,在国内外得到了越来越多的重视,已具备了市场化的条件。

从国外的产业化实践看,LNG产品的优势主要体现在四个方面:第一,LNG用作汽车燃料,比LPG(液化石油气)开车性能更好,比LPG的储存量大,由于LNG具有储存效率高、能量密度大、储存压力低等特点,发展前景优于CNG和LPG;第二,用作城市燃气调峰,具有安全可靠、调控方便的优点;第三,用作燃料发电比烧煤发电具有利用效率高、社会效益显著的优势。资料显示,自20世纪80年代以来,由于天然气的快速增长,带动了燃气发电技术的发展,十年内世界用气发电增长了50%,其中,俄罗斯天然气发电占40%,日本进口LNG用于发电的占70%。现在,全球几十个国家都在竞相进口天然气,年消费量超过1亿吨,主要是用作发电,在中国还不能大力发展LNG发电,天然气发电与采用烟道脱硫同等能力的燃煤电厂相比,每千瓦装机容量建设费用可节省50%,建厂周期缩短30%,占地面积节约85%,电厂热效率高出25%,冷却水少用40%,发电成本节省15%,且操作灵活,调控方便,特别是环境污染大大减少;第四,用作化工原料,经过直接或间接转化生产合成氨、甲醇、烯烃等产品。

从国家扶持政策上看,我国政府已把天然气利用作为优化能源结构、改善大气环境的主要措施,先后出台了一系列政策。一方面将输气管道、天然气发电站、大中城市燃气管网的建设和运营列入《外商投资产品指导目录》,鼓励外国企业投资我国的天然气长输管道和城市管网建设;另一方面实施两种资源战略,鼓励国内石油企业走向国门,参与其他国家和地区的油气资源开发及利用,这些都为我国LNG实现产业化发展提供了广阔的市场前景。

从技术成熟度上讲,LNG技术的问世已有半个多世纪的历史。自世界第一座工业规模的LNG装置于1941年在美国克利夫兰建成以来,液化技术日臻完善,LNG装置迅速增加,装置规模逐步加大,基本负荷型装置的最大液化能力已达25000m³/d,并形成了LNG生产、储存、海上运输、接收终端及再汽化、供用户使用的完整系统工程,各个环节的技术与管理已经成熟。目前,各国投产的LNG装置已达160余套,最大的LNG工厂气加工能力已达7000万m³/d,地上储罐的单个容量达165000m³。LNG船只的装载能力也已达200000m³。就国内而言,在气体分离、制冷等领域已具有较好的技



术物质基础，并在引进国外先进技术装置、研制国产化 LNG 生产装置及改装 LNG 汽车等方面进行了有益的尝试，积累了宝贵的经验。同时，在 LNG 工程涉及的有关领域，我国也在各自的行业中发展到相当规模，达到一定水平，具备了配套加工能力，只要加以协调和优化组合就可以形成实现 LNG 工程的力量。因此，我国 LNG 的产业化应迅速起步，加大以多组分混合物为制冷剂的阶式蒸发循环为代表的新型天然气液化工艺的引进、开发、推广和应用。我国天然气资源少，引进 LNG 价格太高，不宜大力发展天然气发电及化工，应以示范工程的模式来带动全国 LNG 市场的发展，从而探索出适合我国国情的 LNG 产业化道路。

第二节 燃气管道输送技术

管道运输是利用管道输送气体、液体和粉状固体的一种运输方式。其运输形式是靠物体在管道内顺着压力方向循序移动实现的，与其他运输方式重要区别在于，管道设备是静止不动的。目前全球的管道运输承担着很大比例的能源物资运输，包括原油、成品油、天然气、油田伴生气、煤浆等。其完成的运输量常常大大高于人们的想象（如在美国接近于汽车运输的运量）。近年来，管道运输也被进一步研究用于解决散状物料、成件货物、集装物料的运输，以及发展容器式管道输送系统。

管道运输是国民经济综合运输的重要组成部分之一，也是衡量一个国家的能源与运输业是否发达的特征之一。目前，长距离、大管径的输油气管道均由独立的运营企业管理来负责经营和管理。

一、管道运输的特点

管道运输具有以下特点。

(1) 运量大 一条输气管线可以源源不断地完成输送任务。根据其管径的大小不同，其每年的运输量可达数百万吨到几千万吨，甚至超过亿吨。

(2) 占地少 运输管道通常埋于地下，其占用的土地很少；运输系统的建设实践证明，运输管道埋藏于地下的部分占管道总长度的 95% 以上，因而对于土地的永久性占用很少，分别仅为公路的 3%，铁路的 10% 左右，在交通运输规划系统中，优先考虑管道运输方案，对于节约土地资源，意义重大。

(3) 管道运输建设周期短、费用低 国内外交通运输系统建设的大量实践证明，管道运输系统的建设周期与相同运量的铁路建设周期相比，一般来说要短 1/3 以上。新疆至上海市的全长 4200km 天然气运输管道，建设周期不超过 2 年，但是如果新建同样运量的铁路专线，建设周期在 3 年以上，特别是地质地貌条件和气候条件相对较差，大规模修建铁路难度将更大，周期将更长。统计资料表明，管道建设费用比铁路低 60% 左右。

天然气管道输送与其液化 LNG 船运的比较。以输送 $300\text{m}^3/\text{a}$ 的天然气为例，如建设 6000km 管道投资约 120 亿美元；而建设相同规模（2000 万吨）LNG 厂的投资则需 200 亿美元以上，另外，需要容量为 12.5 万立方米的 LNG 船约 20 艘，一艘 12.5 万立方米的 LNG 船造价在 2 亿美元以上，总的造船费约 40 亿美元。仅在投资上，采用 LNG 就大大高于管道。管道输送一般距离在 4000~5000km 时比较经济；LNG 在远距



离，特别是越洋输送时比较经济。

(4) 管道运输安全可靠、连续性强 由于天然气易燃、易爆、易挥发、易泄露，采用管道运输方式，既安全，又可以大大减少挥发损耗，同时由于泄露导致的对空气、水和土壤污染也可大大减少，也就是说，管道运输能较好地满足运输工程的绿色化要求，此外，由于管道基本埋藏于地下，其运输过程恶劣多变的气候条件影响小，可以确保运输系统长期稳定地运行。

(5) 管道运输耗量少、成本低、效益好 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，在大量运输时的运输成本与水运接近，因此在无水条件下，采用管道运输是一种最为节能的运输方式。管道运输是一种连续工程，运输系统不存在空载行程，因而系统的运输效率高，理论分析和实践经验已证明，管道口径越大，运输距离越远，运输量越大，运输成本就越低。

(6) 灵活性差 管道运输不如其他运输方式（如汽车运输）灵活，除承运的货物比较单一外，它也不容随便扩展管线。实现“门到门”的运输服务，对一般用户来说，管道运输常常要与铁路运输或汽车运输、水路运输配合才能完成全程输送。此外由于运输量明显不足时，运输成本会显著地增大。

管道运输的上述特点，使得管道运输主要担负单向、定点、量大的流体状货物（如石油、油气、煤浆、某些化学制品原料等）运输。

二、国内管道运输的发展

我国的石油天然气管道工业的发展是随着我国石油工业的创建而发展起来的。我国在1958年建设了克拉玛依——独山子炼油厂双线输油管道，全长300km，管径159mm，这是我国建设的第一条长输管道。

天然气管道建设将是目前中国管道建设中最大的热点，在未来的一段时间内中国将建设大批的天然气管道。继“西气东输”工程之后，由四川忠县到武汉全长700多公里的忠武天然气管道的“川气东送”工程于2004年年底已建成通气，该管道将向湖南和湖北供气。中国已经启动“俄气南送”工程，2010年满负荷运行。该项目对我国东北和环渤海地区的发展将具有重大的政治和经济意义。此外，为了改善东南沿海地区经济增长迅速，缺少能源的状况，经国家批准，广东珠江三角洲地区首先引进了国外液化天然气资源，作为LNG项目的试点，管道建设的前期工作目前已经全面启动，一期工程规模为每年300万吨（每年37.4亿立方米）LNG，输往四个城市；二期工程规模为每年增加200万吨（每年24.9亿立方米）LNG，增加5个城市。管道全长506km，管径为600mm。另外，为了使近海天然气登陆，我国还将建设山东胶东半岛天然气管网、东海春晓气田向浙江供气的东海天然气管道、南海气田向海南和广西的管线等。这些管道的建设将有力地拉动相关产业的发展和保证了城市天然气市场的快速增长。

三、国外天然气管道输送技术的发展

国外长输天然气管道发展比较早，从20世纪50年代，前苏联就开始了长输天然气管道的建设，在80年代，前苏联建设了6条超大型中央输气管道系统，全长近20000km，管径1220~1420mm，是当今世界上最宏大的管道工程。经过半个多世纪的发展，国外长输天然气管道无论在设计、施工、运营管理，还是在管材、原动机、储库



调峰技术都有了很大发展，特别是大口径、高压干线输气管道的施工技术更处于领先地位，有许多好的经验和成熟技术可供借鉴。当前，国外输气管道技术的发展主要有以下几个特点。

(1) 增大管径 国外干线天然气管道直径一般在 1000mm 以上，例如，前苏联通往欧洲的干线天然气管道直径为 1420mm，著名的阿意输气管道直径为 1220mm，同时国外大口径管道的施工技术也非常成熟，而我国在这方面还比较欠缺。

(2) 提高输气压力 目前，西欧和北美地区的天然气管道压力普遍都在 10MPa 以上，像阿意输气管道最高出站压力达 21MPa（穿越点处），挪威 Statepipe 管道输气压力为 13.5MPa，新近建成的 Alliance 管道最大许用运行压力为 12MPa。

(3) 广泛采用内涂层减阻技术，提高输送能力 国外输气管道采用内涂层后一般能提高 6%~10% 的输气量，同时还有效地减少设备的磨损和清管次数，延长管道的使用寿命。

(4) 提高管材韧性，增大壁厚，制管技术发展较快 国外输气管道普遍采用 X70 级管材，X80 级管材也已用于管道建设中。德国 RuhrgasAG 公司在其 Hessen 至 Werne 输气管道上（ $\phi 1219\text{mm}$ ）首次采用了 X80 级管材。据有关文献介绍，用 X80 级管材可比 X65 级管材节省建设费用 7%。目前，加拿大、法国等国家的输气管道已采用了 X80 级管材，此外，日本和欧洲的钢管制造商正在研制 X100 级管材。

(5) 完善的调峰技术 为保证可靠、安全、连续地向用户供气，发达国家都采用金属储气罐和地下储气库进行调峰供气。目前，西方国家季节性调峰主要采用孔隙型和盐穴型地下储气库，而日调峰和周调峰等短期调峰则多利用管道末端储气及地下管束储气来实现。天然气储气罐以高压球罐为主，国外球罐最大几何容积已达 $5.55 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

(6) 提高压缩机组功率，广泛采用回热循环燃气轮机，用燃气轮机提供动力或发电 国外干线输气管道压缩机组普遍采用大功率，例如俄罗斯 Gazprom 天然气公司压缩机组单套压缩机平均功率都在 10MW 以上，欧美国家也是如此，像美国通用电器公司（GE）生产的 MS300 型回热循环式燃气轮机额定功率为 10.5MW，LM2500 型功率为 22MW，MS5000 型为 24MW。采用燃气轮机回热循环及联合循环系统收到了很好的节能效果，如著名的阿意输气管道对 Messina 压气站的燃气轮机组进行改造，采用回热联合循环系统后，每台燃气轮机的综合热效率由原来的 36.5% 上升到 47.5%。国外还广泛采用压缩机的机械干密封、磁性轴承和故障诊断等新技术，不仅可以延长轴承的使用寿命，取消润滑油系统，降低压缩机的运行成本，而且还可以从根本上提高机组的可靠性和完整性。

除上述特点外，国外天然气管道在计量技术、泄漏检测和储存技术等方面也取得了一些新进展。

1. 天然气的热值计量技术

计量在天然气测试技术中占有极其重要的地位，精确的计量不仅可以避免天然气贸易中上、中、下游的诸多矛盾，而且可以提高管道的管理水平。国外天然气计量技术经历了体积计量、质量计量和热值计量三个发展阶段，20 世纪 80 年代以后，热值计量技术的应用在西欧和北美日益普遍，已成为当今天然气计量技术的发展方向。天然气热值计量是比体积和质量计量更为科学和公平的计量方式，由于天然气成分比较稳定，按热值计价可以体现优质优价，国外普遍以热值为计价依据。随着我国加入 WTO，为提高



我国能源的管理水平,与国际接轨,我国今后也将推广应用热值计量技术。天然气热值的测定方法有直接测定法和间接计算法两种,传统的间接计算法是先通过测定天然气中各组分的浓度,再计算混合气体的热值。近几年,天然气热值的直接测量技术发展较快,特别是在自动化、连续性、精确度等方面有了很大提高。

2. 红外辐射探测器

美国天然气公用公司通常使用火焰电离检测技术(FID)检查干线管道和城市配气管网的泄漏,这种技术非常有效。但由于检测车行驶速度慢(一般仅为3~7m/h),劳动强度大,费用高,直接影响检测结果。目前,美国天然气研究所(GRI)正在进行以激光为基础的遥感检漏技术研究,该方法是利用红外光谱(IR)吸收甲烷的特性来探测天然气的泄漏。该遥感系统由红外光谱接收器和车载式检测器组成,能在远距离对气体泄漏的热柱进行大面积快速扫描,现场试验表明,检漏效率较之以前提高50%以上,且费用大幅度下降。

此外,加拿大、美国、俄罗斯等国家还在直升机上安装红外或激光遥感探测器进行气体泄漏检测,大大缩短了巡检周期,扩大了检测范围。

3. 天然气管道减阻剂(DRA)的研究应用

美国Chevron石油技术公司(Chevron Petroleum Technology Co.)在墨西哥湾一条输气管道上进行了天然气减阻剂(DRA)的现场试验。结果表明,输量可提高10%~15%,最高压力下降达20%。这种减阻剂的主要化学成分是聚酰胺基,通过注入系统,定期地按一定浓度将减阻剂注到天然气管道中,减阻剂可在管道的内表面形成一种光滑的保护膜,这层薄膜能够显著降低输送摩阻,同时还有一定的防腐作用。Chevron研制的这种天然气管道减阻剂在管内使用寿命是有限的,经过一定的时间后,薄膜会自行脱落,减阻效率亦会随之降低,现场试验表明,DRA的有效期可达400h。

4. 天然气储存技术

从商业利益考虑,国外管道公司非常重视大型储气库垫底气最少化技术的研究。目前,正在研究应用一种低挥发性且廉价的气体作为“工作气体”来充当储气岩洞中的缓冲气垫。其他受关注的储气技术还包括天然气注入、抽取计量、改进监测和自动化以及盐洞气库中储气温度效应的信息。

第三节 管道燃气供应现状与发展趋势

一、管道燃气供应现状

我国现有建成管道近20000km,与铁路、航空等其他运输方式相比发展得还不够。近期,我国建成的管道工程主要包括:涩宁兰输气管道工程、兰成渝成品油管道工程、忠武输气管道工程、沧淄输气管道工程、陕京输气管道复线工程、甬沪宁原油管道、西气东输工程等。

在不久的将来,我国规划建成7个大的区域性管网:东北三省、京津冀鲁晋、苏浙沪豫皖、两湖及江西、西北的新青陕甘宁、西南的川黔渝和东南沿海,这7个管网由西气东输、中俄管道连络,形成与市场需求相匹配的全国管网,大中城市2~3个气源。届时,油田集输、高压长输、中压配送三类管道长度将增加80000~100000km。

从以上规划不难看出以下几点:第一,我国的能源结构随着国家经济发展水平的提



高，正逐渐改变；第二，近10年我国的天然气管道工业将大力发展；第三，我国未来10年原油及成品油管道工业呈高速发展态势。

伴随着国家管道工业的不断发展，我国的管道工业建设水平也在不断提高。从刚刚建成和正在建设的管道工程实际来看，管道的材料国产化问题得到了很大程度的提高。X70级管材的成功研制和使用、管道全位置自动焊机的研制成功等一系列重大科研项目都由国内的厂家和科研单位研制成功了，而这些正是我国以前所仰视发达国家的地区。我国的施工水平也有了很大提高，从过去的完全手工化操作到现在可以完全智能化操作；工作质量和效率得到了极大提高，从涩宁兰工程焊接合格率的85%到兰成渝工程焊接合格率的90%，再到西气东输工程焊接合格率的95%，逐渐提高的工程质量要求也证明了我国的施工技术水平在不断提高。兰成渝工程使我国掌握了艰难的山地施工作业方法，在西气东输工程中，我国在实践中探索了更多更复杂地形、气候条件下的施工作业方法。我国的工程建设管理水平、运营管理水平及维护抢修技术水平也有了很大提高，涩宁兰工程从开工到投产仅用了一年多时间，在创造工程建设高速度的同时，也充分显示了我们的工程建设管理水平的提高。

在不久的将来，我国的几个区域性管网形成后，将会对环境保护、人们的生活质量和水平产生积极影响，那时，我国的能源结构将更趋合理，更加有利于国家的可持续发展。管道将成为中国石油天然气的经济支柱之一，是对国民经济发展、人民生活质量提高做出巨大贡献的“功臣”。

二、城市燃气发展的前景

中国虽然是能源资源比较丰富的国家，但是分布极不平衡，加上人口众多，使中国的人均能源资源占有量远低于世界水平，因此，国家在发展城市燃气的决策中，针对这一国情及当前国际上良好资源条件，坚持贯彻“多种气源，多种用途，因地制宜，合理利用资源”的方针，同时贯彻开发和节约并重的方针。在21世纪，城市燃气行业的发展方向应有如下几个方面。

1. 大力发展天然气

天然气是一种清洁优质能源，主要成分是甲烷，碳氢比小，因而是保护大气环境最理想的燃料。在1997年哥本哈根20届世界燃气大会上，认为天然气的储量可供使用200年以上，同年11月在北京第十五届世界石油大会上也宣布了“21世纪是一个天然气时代，天然气将以压倒煤炭和石油的优势，坐上能源的头把交椅”，在21世纪燃气行业将面临新的形势。

鉴于中国能源生产和消费结构以煤为主，2005年一次能源消费总量为22.2亿吨标准煤，其中煤炭占68.8%，石油占20.0%，水电占6.8%，天然气只占3.0%，另外还有少量的核电。国家发展改革委员会召开的全国天然气利用规划工作会议上提出“加快开发和利用天然气的步伐，提高天然气在能源消费中的比重是坚持可持续发展战略，优化能源结构，保护环境的重大措施”。中国具有较丰富的天然气资源，天然气的开发也取得了很大成绩。目前从资源来看，69个大盆地可采储量为53万亿立方米，陆上约为75%，主要分布于中部地区四川盆地、鄂尔多斯盆地、西部地区柴达木盆地、塔里木盆地及东北松辽、华北渤海湾盆地和陕甘宁地区；近海大陆架约占25%，主要分布于南海和东海海域。2005年中国累计天然气探明储量为53万亿的5%，约为2.6万亿立方