

燃气输配系统的 设计与实践

李猷嘉 编著

中国建筑工业出版社

燃气输配系统的设计与实践

李猷嘉 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

燃气输配系统的设计与实践/李猷嘉编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2006
ISBN 978-7-112-08740-2

I. 燃... II. 李... III. 煤气输配 IV. TU996.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 133147 号

本书包括的主要内容有: 绪论; 燃气输配系统; 系统负荷、设计负荷及负荷的调节方法; 燃气流量的计算; 支管的能力设计与建设; 配气系统能力的设计原理; 管网的模拟; 能力设计经济学; 管材的力学特性与金属管材; 系统设计中的塑性材料; 阀门; 燃气的调压与超压保护; 调压站的设计; 配气管网的施工、维修和运行; 事故的调查研究; 环境、安全与危机评估等内容。

本书可供从事燃气输配系统的设计、施工、研究、管理等人员使用, 也可供大专院校师生使用。

* * *

责任编辑: 胡明安 姚荣华

责任设计: 赵明霞

责任校对: 张景秋 兰曼利

燃气输配系统的设计与实践

李猷嘉 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京密云红光制版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 35½ 字数: 881 千字

2007 年 3 月第一版 2007 年 3 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 75.00 元

ISBN 978-7-112-08740-2

(15404)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

前 言

我国城市燃气的建设起步早,但发展慢。世界燃气工业在近二百年的历史中,已经历了由煤制气到油制气再到天然气的几个阶段。我国到上世纪末,以陕气进京为标志,加上随后的“西气东输”,才开始迎来大规模使用天然气的阶段。与发达国家相比,整整落后了半个多世纪。工业的发展,如果没有一定规模的实践,是不可能走在世界发展的前列的,燃气工业也不例外。

天然气到来之后,从气井的井口到用户的燃烧器顶端形成了一条燃气链。燃气链包括:天然气的开采与处理,地下储气、输气、配气和应用等几个环节,各个环节既互有联系,又各有其技术内涵。当今世界的燃气工业已发展到一个相当高的水平。21 届世界燃气大会的标语是“天然气是 21 世纪的能源”,22 届的标语是“天然气——促进未来生态平衡发展的催化剂”。燃气的消费量在世界能源构成中的比重已达到 24% 左右。不仅建成了跨国的长输管线,发展了燃气的国际贸易;许多大城市也相应配套建成了数千到上万公里的城市配气管网;地下气库的建设也达到了相应的规模,工作燃气容积达到了世界燃气消费总量的 14%;各个环节上各种设施合理的配置,确保了供气的安全;燃气应用的范围和规模也日益扩大,形成了一个庞大的基础设施产业。世界上各种高科技的成果在燃气工业中得到了应用。以国际燃气联盟(IGU)为代表的国际组织,以及每三年一次的世界燃气大会反映了国际燃气工业的进展水平。近十年来,亚洲西太平洋地区许多国家的燃气工业也开始迅速发展。

燃气输配系统是城市燃气的主体,是最贴近用户的城市基础设施,燃气市场的需求应以安全、成本、效益和用户的满意度为标准。因此,燃气输配系统是确保城市安全供气核心,也是燃气链中单位输气量投资最大的部分,其内容包括城市门站后的公用输气干线、配气管网、储气调峰和各种调压、计量设施等,大量的设计参数需要定量化,以期充分反映城市对燃气需求的动态规律。科技越是进步,越能反映各类动态规律的真实情况,并逐渐形成了完整的设计理念和方法,反映了各国科技水平之间的差距。由于燃气属于易燃、易爆和压力输送气体,直接牵动着各类用户的安全,因此,供气的安全性和经济性成为工程的主要难点,相关设备产品的性能和质量成为工程的主要关键,先进的施工、维修、更新、检测和管理系统成为科技进步和技术创新的主要内容。在世界各地举行的国际燃气技术与设备的展览会上,许多科技成果日新月异,得到了充分的反映。

反观我国的城市燃气事业,与发达国家相比,在规模和用气结构上就有很大的差距,而一定的用气结构和规模反映着一定的技术水平。又由于在我国长期的计划经济时期,城市燃气一直坚持保本微利,带有福利性质;实际执行的情况是成本高、亏损严重,安全事故不断发生,长期处于严重不足的局面,阻碍了行业的科技进步。

天然气到来后,在发展煤制气时期积累的一些经验已不能满足要求。粗放的设计、施工和管理方式急待改变,规范、标准等建设必须迅速与先进国家接轨。从工程的设计理念

到设备的研制开发和管理体系，必须迅速赶上发达国家的水平。

在编写本书的过程中，编者主观上期望能充分反映先进国家燃气输配系统设计与实践方面的经验和水平，在设计方面能反映先进国家，特别是美国的设计理念和方法，一个燃气输配工程师必须掌握的基础内容和必须具备的职业素质；在实践方面，能反映 21 世纪初的国际水平。为此，经过多年来对国、内外资料的收集、考察、学习和研究，反复比较和探讨，逐步形成了本书的内容。回顾过去半个多世纪来从事城市燃气建设工作的历程，从上世纪 50 年代初学习前苏联开始，一直以前苏联的经验为模式，已形成了一套完整的思路和方法，加上长期的计划经济，行业发展缓慢和对发达国家的资料、书籍缺乏系统研究等因素，已习惯于老一套的做法，由此而产生的惰性也不容忽视。近年来，在燃气工程中虽然也引进了一些发达国家的先进设备，但对整个体系的影响仍不大。这些说明，燃气工业技术上与发达国家的接轨，必须从行业的基础理论体系开始，弄清发达国家燃气技术发展中的每个环节的来龙云脉，进行系统的学习、验证、分析和比较，不断从我国的工程实践和管理中总结经验，才能取得进步，为逐步参与国际燃气工程建设准备条件，这也是本书所期望能达到的目标。

本书虽编写了几个年头，希望能为广大燃气工作者做一些新的贡献，但由于水平有限，书中难免有误，敬请读者不吝赐教斧正。

本书承北京建筑工程学院王民生教授审阅，谨此表示衷心的感谢。

李猷嘉于中国市政工程华北
设计研究院

目 录

绪论	1
第一章 燃气输配系统	11
第一节 燃气输配系统的组成	11
第二节 燃气输配系统的选择	15
第三节 调压箱和用户表前调压的配气系统	24
第四节 燃气的基本特性参数计算	27
第二章 系统负荷、设计负荷及负荷的调节方法	42
第一节 负荷与负荷特性	42
第二节 负荷特性的数学表达和数据获得的方法	52
第三节 管道设计负荷的计算	75
第四节 负荷的地区分配	85
第五节 远期负荷的计算	89
第六节 负荷的调节方法与贮气量计算	92
第七节 地下气库的工艺特性	106
第三章 燃气流量的计算	111
第一节 流体的运动原理	111
第二节 通用流量计算公式	114
第三节 实用流量计算公式	125
第四节 流量计算示例	138
第五节 高程的校正	152
第六节 有均匀分布负荷(途泄流量)的独立干管计算	156
第四章 支管的能力设计与建设	162
第一节 设计要求	162
第二节 支管的能力设计	166
第三节 室内导管的设计	174
第四节 支管建设与危机管理	184
第五章 配气系统能力的设计原理	189
第一节 系统设计问题的结构	189
第二节 新建系统的布置	202
第三节 旧有系统的改造与重新设计	206
第四节 能力设计中燃气管网的计算任务	210
第六章 管网的模拟	226
第一节 建模的重要性	226

第二节 管网模型的类型	228
第三节 管网模型的结构	230
第四节 稳定状态模型的公式和求解——处理部分	233
第五节 建立管网模型的数据库——输入部分	263
第六节 模型结果的说明——输出部分	265
第七节 模型功能的管理	267
第八节 配气系统中的不稳定流动模型	268
第七章 能力设计经济学	273
第一节 经济分析的基础理论	273
第二节 经济分析中的年收入需求法	293
第三节 燃气设施选择中的经济性	302
第四节 新区管道设施的可行性研究	313
第八章 管材的力学特性与金属管材	319
第一节 管材变迁的历史回顾	319
第二节 应力与应变的基本概念	320
第三节 钢管上的应力	325
第四节 过桥钢管的应力分析	340
第五节 系统设计中的金属材料	342
第九章 系统设计中的塑性材料	376
第一节 塑性材料应用总论	376
第二节 作用于管道的外部荷载	394
第十章 阀门	398
第一节 输配系统中常用的阀门	398
第二节 输配系统中阀门的应用	402
第十一章 燃气的调压与超压保护	405
第一节 燃气压力调节的基本原理和元件	405
第二节 调压器的性能特征	410
第三节 调压器的控制方法	419
第四节 调压器的应用	430
第五节 调压器的能力计算及选择	435
第六节 超压保护原理	439
第七节 商业和工业应用中的调压与超压保护	443
第十二章 调压站的设计	448
第一节 区域调压站	448
第二节 城市门站	448
第三节 设计标准	450
第四节 位置的选择	451
第五节 调压器的选择	452
第六节 超压保护	453

第七节 管道与阀门	455
第八节 进口、出口、旁通管和控压管的设计	456
第十三章 配气管网的施工、维修和运行	459
第一节 现代的埋管和道路开挖技术	459
第二节 路面的复原	468
第三节 配气系统的修理和复原	471
第四节 机器人的应用	480
第五节 燃气的加臭和漏气检测	482
第六节 配气管网运行系统的构成	488
第十四章 事故的调查研究	503
第一节 事故的类别	503
第二节 调查的基本原理	506
第三节 管道偶发事故的类型	507
第四节 事故调查的管理	508
第五节 事故调查的方式和内容	510
第六节 金属管道的失效分析	515
第七节 研究结果的最终报告和建议	517
第十五章 环境、健康与危机的评估	518
第一节 天然气的环境影响	518
第二节 职业健康与安全	528
第三节 配气系统的危机管理与评价	535
参考文献	550

绪 论

燃气工业源于以煤制气为主的城市燃气,已有近二百年的历史(肇始于1812年),最早在欧洲,但很快就发展到北美和其他国家。19世纪中叶后,亚洲的少数国家也开始起步;当时的规模很小,用户主要是民用、商业和少量的工业,集气源、贮气、输配和应用为一体,形成一条燃气链,称为城市燃气,在社会生活中起着越来越重要的作用。进入20世纪后,气源结构开始发生变化,天然气迅速发展。如1900年美国天然气占国内能源生产总量的3.2%,1962年已达到34% ($393.4 \times 10^9 \text{ m}^3$);而当时西半球的其他国家的天然气工业发展较慢,1961年仅占世界市场产量的18%,美国却占75%。1963年美国使用天然气的用户为3394万户,相当美国燃气用户的95%,天然气干管的长度为 $111.8 \times 10^4 \text{ km}$ (包括气田的集气管线,输气管线($32.12 \times 10^4 \text{ km}$)和配气管线($69.8 \times 10^4 \text{ km}$),但不包括支管在内^[2]。二战后,前苏联开始建设长输管线,天然气工业迅速发展。20世纪70年代,欧洲由于北海气田的发现,天然气工业也加快发展,经过近半个世纪的建设,也形成了强大的天然气工业,与此同时,城市燃气也完成了由人工燃气(Manufactured gas)向天然气的转换(Conversion)工作。天然气在世界一次能源中的比重已达到24%,形成了以天然气为主要气源的供气系统,其构成可见图0-1^[85]。

根据图0-1所示的天然气系统,从气井井口到燃烧器顶端(From the wellhead to the burner tip)称为供气链。供气链包括天然气的生产与处理、地下贮气、输气、配气和应用5个环节。这5个环节互有联系但又有不同的技术内涵。从井口到燃烧器顶端这个大系统内不断有新的问题发生,为了推动燃气工业的发展,解决发展中存在的问题,1931年在英国伦敦成立了国际燃气联盟(International Gas Union—简称IGU),每隔3年召开一次世界燃气大会,每届会议都有需要解决的重点问题;按供气链中的五个环节成立了分委员会,形成了不同的专业内容,侧重研究各自发展中的共性问题,进行学术交流,推动科技进步。联盟的主席每三年轮换一次,到2003年已开过22届世界燃气大会(我国于1986年参加该组织)。

我国城市燃气发展的特点是起步早,发展缓慢,与国际的发展规律不同步。当前,世界各国均以天然气到来前后作为城市燃气发展的分界线。我国到上世纪90年代中期以“陕气进京”为标志才开始天然气到来的阶段。与发达国家相比,落后了半个世纪。天然气到来之后,供气链的各个环节均面临着降低成本、扩大用气范围和技术上与国际接轨这三个问题,科技的进步也将开始走上与世界各国燃气工业相同的发展道路。

值得注意的是,天然气到来之后,我国在发展人工燃气阶段积累的经验已不能满足当前发展的需要;在计划经济时期许多粗放的做法和相应的经济概念也不适应当今市场经济的需要。城市燃气在许多国家均属于公用事业,我国甚至在相当长的时期内还看成是福利事业,因而改革步履缓慢,影响行业的科技进步。

技术上如何改变粗放的做法,做到精益求精,就需要系统地掌握发达国家的先进技术,不断积累,以求创新。科技越是进步,就必然越是贴近事物发展的实际情况,从这点

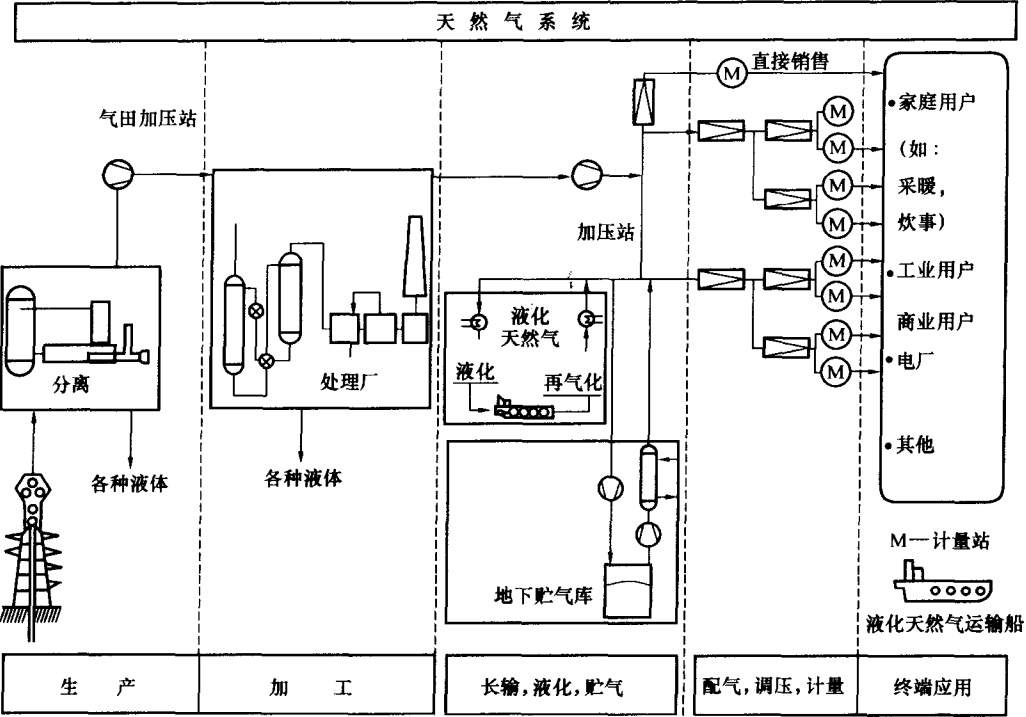


图 0-1 天然气供气系统

看，需要研究的课题很多。本书希望能作为行业科技工作者“迎头赶上”的一个基础。

一、天然气的资源与市场

天然气是化石燃料中最清洁的一种能源，在世界的各个地区均发现有丰富的天然气资源，其蕴藏量提供了一个安全、有效和可靠的能源资源。国际燃气联盟宣称，21 世纪是天然气的时代，预计 2030 年在世界一次能源中的比重将达到 27%。2001 年 1 月 1 日发布的世界天然气的储量可见表 0-1^[120]。

世界天然气的储量 (2001 年 1 月 1 日发布) 表 0-1

地 区	证实储量		增加储量		潜在储量		总储量	
	10 ⁹ m ³	%	10 ⁹ m ³	%	10 ⁹ m ³	%	10 ⁹ m ³	%
非 洲	11200	7	3800	4	3100	1	18100	4
中 东	59100	36	26000	27	58400	25	143500	29
东 亚	2800	2	1100	1	33800	14	37700	8
南 亚	1800	1	900	1	2600	1	5300	1
东南亚和大洋洲	9200	6	2900	3	2600	1	14700	3
东欧和北亚	56100	35	8400	9	92200	39	156700	32
西欧和中欧	5400	3	4300	5	4100	2	13800	3
北 美	8400	5	45000	47	34000	14	87400	17
南 美	7500	5	2500	3	6700	3	16700	3
世界总计	161500	100	94900	100	237500	100	493900	100

2000~2030年地区性天然气的消费量可见表0-2。^[120]

地区性天然气的消费量^① (10^9m^3)

表 0-2

地 区	2000	2010	2030	增长率 (%)	
		(潜在量)		2000~2010	2010~2030
非 洲	63	95	155	4.3	2.5
中 东	193	290	520	4.2	3.0
东 亚	128	222	383	5.7	2.8
南 亚	50	105	247	7.7	4.4
东南亚和大洋洲	106	199	267	6.5	1.5
东欧和北亚	547	604	746	1.0	1.1
西欧和中欧	457	622	778	3.1	1.1
北 美	803	980	1420	2.0	1.9
南 美	95	165	315	5.7	3.3
世 界	2442	3282	4831	3.0	2.0

注：①在理想的条件下，天然气的消费量将超过2030年预测量的18%。

由表0-1和表0-2可知，世界天然气的蕴藏量是很丰富的，但天然气在世界各产气区的产量也是不平衡的。国外的研究工作者^[121]根据燃气的资源状况将产气国分成三类：一类是天然气富裕的国家（Gas Surplus Countries）；另一类是天然气短缺的国家（Gas Short Countries）；再一类是天然气时多时少的国家（Surplus Window Countries）。因此，资源丰富程度不同的国家应采取不同的利用对策。需求量大的发达国家也不一定自身有丰富的资源，于是又产生了天然气的国际贸易问题。不论天然气来源如何，天然气发展中的首要问题是经济问题^[121]。发展的第一个障碍是它的成本结构和定价方法（Structure of gas costs and pricing），因为没有有一个单一的成本和价格的计算标准可以简单地和其他替代燃料的成本作比较。另一个障碍是确定燃气的高使用价值（High value uses of gas），明确何处利用和怎样利用才能充分发挥燃气的高使用价值。国际燃气联盟十分重视决策中的长期战略研究项目，它将对世界天然气的发展起到指导作用，因此，除燃气链中各环节所包含的研究课题外，还围绕着：世界天然气的前景、战略和经济性；环境、安全与健康；燃气在发展中国家经济问题和液化天然气（LNG-Liquidified Natural Gas）问题等四个方向开展研究工作，其中天然气的资源前景显然是最主要的，它要回答“21世纪是天然气时代”的立论依据。为此，世界各国的专家们已经做了大量的工作^[118,119]。研究的目标已不限于常规天然气资源（Conventional Gas Sources）还包括非常规天然气资源（Unconventional Gas Sources）。研究（2003年）认为^[120]，非常规天然气资源中可能发展成为天然气工业气源的，包括天然气的水合物（Natural gas hydrates），低渗透性的天然气蕴藏量（Low-permeability gas reservoirs）以及煤层甲烷气（Coal-bed methane）等。其他非常规天然气资源，如水溶天然气（Aquifer gas），浅层气（Shallow gas）和深层气（Deep gas）等则在较远的将来也具有地区性意义。人工燃气也在增长中。当前，世界上的人工燃气主要用于生产蒸汽、电力、氢和化工产品，代替到20世纪末一直用来专门生产制造化学药品的状态。许多专家对非常规天然气的产量还做了定量分析^[118]。说明21世纪中天然气在世界能源中的作用。

专家们预测，天然气的生产和输送成本在多数耗气地区将不断上升。到2030年左右，

如果还沿用当今的天然气开采技术,则平均生产成本将达到 40~50 美元/1000m³[120]。

2000 年,天然气的洲际贸易量约占世界天然气消费量的 12%。90% 的出口量来自东欧和北亚,东南亚等。从最近的报告可知^[120],近年来又建成了 20000km 的输气干线和 5 座新的天然气液化厂(Natural gas liquifaction plants),增加了 31×10^6 t 新的供气能力,又有 21 艘 LNG 油轮投入运行,预计到 2030 年,天然气的国际贸易量将增加 3 倍,需要新的投资额约 2 万~3 万亿美元,虽然投资的数额与历史的成本相比并无夸大,但融资是很大的,需要各国政府和法规等方面的合作,建立一个稳定的法律框架,涉及到包括法律、规程、经济、财务、技术和环境等各个方面。财政和法律是这样大投资项目的先决条件。

发展天然气还应考虑到环境、安全和健康,要研究它与可持续发展的关系。可持续发展是既满足当代人的要求,又不对后代人满足其需求的能力构成危害的发展,天然气的利用就具备这一条件,与其他化石燃料相比,天然气的碳密度(Carbon intensity)最小,有很高的氢碳比,对相同的能源消费量,它所排放的 CO₂ 量较小,约相当于煤炭的 $\frac{1}{2}$,比燃油少 20%,可产生较低的 NO_x 排放量,几乎可以忽略 SO₂ 和影响地区空气质量的颗粒物的排放。油、煤和天然气的燃烧排放量可见表 0-3^[122]。

油、煤和天然气的燃烧排放量(以油当量为基础)(kg)

表 0-3

排放物	燃烧 1t 油	燃烧 1t 油当量的煤炭	燃烧 1t 油当量的天然气 (即 1120m ³ 天然气)
CO ₂	3100	4800	2300
SO ₂	20 (含 1% S 未脱)	6 (含 1% S, 80% 已脱除)	—
NO ₂	6 (工业用)	11 (工业用)	4 (工业用)
CO	6~30	4.5~20	0.5~3
未燃烃	0.5	0.3	0~0.45
灰	—	220	—
飞灰	—	1.4	—

从世界范围看,能源的低碳化也是一个发展趋势,发展天然气有利于促进低碳化,从 1860~1996 年全球低碳化的状况可见图 0-2。^[118]

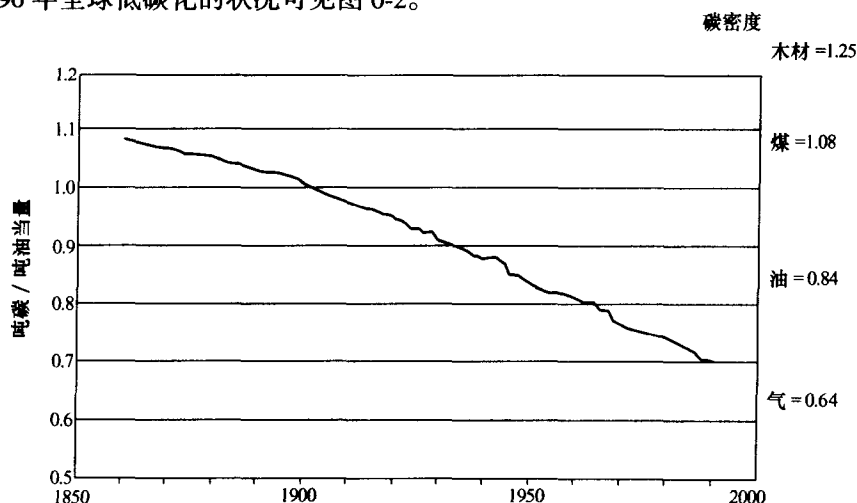


图 0-2 全球的低碳化发展趋势

由图 0-2 可知, 自 1860 年以来, 全球的低碳化约每年降低 0.3%。

我国天然气资源丰富, 报刊上不断有鼓舞人心的报导, 近期探明总资源量达 $38000 \times 10^9 \text{m}^3$ 。目前仅探明了 7%。虽然天然气在中国整个能源体系中目前所占的份额很小, 2002 年仅占一次能源总消费量的 3%, 2003 年城市用气仅 $16.9 \times 10^9 \text{m}^3$, 但中国正在迅速扩建基础设施, 促进国内天然气的消费及进口, 前景很好。

天然气定位于环境友好燃料 (Environment-friendly fuel) 是完全适当的, 它在能源资源可选择的层次上具有独特的和战略的地位, 是一种无后悔的燃料 (Fuel of no Regret)。有效地利用天然气, 不断提高其能源利用率和支持发展有效的新能源资源是走向可持续能源未来的关键。

二、燃气输配系统在供气链中的作用

发展燃气工业的目的最终在于应用, 也就是满足市场的需求。由于气源往往远离市场, 依靠输配系统向市场供气。输配系统主要解决两大问题, 即供气的稳定性与用气的波动性之间的矛盾。为了解决这个问题, 就出现了贮气或补充气源等环节。当供气规模日益扩大后, 这一环节甚至还包括战略储备在内, 成为一个独立的工业体系, 并可以由第三方参加。另一个问题是输气压力和用气压力之间的矛盾。为了提高输气的经济性, 燃气的输送压力不断提高, 但从用气的安全性和可靠性来看, 降低压力才能保证使用安全, 对用户来说, 压力必须降到用户的安全使用范围之内, 且不同用户有不同的压力要求。输气系统和配气系统就成为完全独立的两个体系, 国际上已称为输气工业和配气工业, 其分界线各国常以门站为界。门站上游为输气系统, 门站下游为配气系统。但门站下游的管道也有相当大的部分担负输气任务 (公用输气管道), 因此也统称燃气输配系统, 它是一个多级压力系统, 还需要许多场站的配合 (类似于电网)。由于配气系统均设在城市中, 城市人口众多, 用户构成复杂, 其建设与城市的发展和规划密切相关, 于是城市的输配系统就成为城市的重要基础设施之一, 是城市的生命线工程, 属于城市中的永久设施。某些国家输气管线和配气管线 (不包括支管) 的长度如表 0-4^[123]。

1995 年某些国家输气管线和配气管线的长度 (km)

表 0-4

国 名	输气管线	配气管线	总 计
阿根廷	10696	86500	97196
澳大利亚	12060	64292	76352
奥地利	4400	17800	22200
孟加拉国	1173	8226	9399
比利时	3503	40124	43627
巴 西	3962	4372	8334
克罗地亚	646	1063	1709
捷克共和国	14146	23605	37751
埃 及	3000	2800	5800
爱沙尼亚	810	1370	2180
芬 兰	820	1170	1990
法 国	31759	136860	168619

续表

国 名	输气管线	配气管线	总 计
德 国	50000	270000	320000
英 国	17900	251700	269600
匈牙利	4485	40832	45317
伊 朗	8801	38970	47771
爱尔兰	1004	4771	5775
意大利	27659	164000	191695
拉脱维亚	1238	3317	4555
立陶宛	1453	4044	5497
新西兰 ^①	2560	7200	9760
挪 威	3700	10	3710
波 兰	16580	79330	95910
韩 国	1055	10723	11778
罗马尼亚	11100	20982	32082
俄罗斯	147784	200479	348263
斯洛伐克共和国	5191	12296	17487
斯洛文尼亚	730	194	924
西班牙	6412	14750	21162
瑞 典	527	3000	3527
瑞 士	1990	11480	13470
荷 兰	11424	108000	119424
美 国 ^②	591951	1379557	1971508

注：①为估计数。

②美国为 1991 年数据^[124]。输气管线中包括 138856 km 的集气管线。

由表 0-4 可知，在供气链（Gas supply chain）中配气管道的长度大大高于输气管道的长度。配气管道和输气管道可以同步建设，但不可能同步建成。配气系统是一个复杂的、不断分支和不断延伸的系统，它随城市的发展而发展。配气系统必须对用户保证不间断的供气，安全供气是第一因素。配气系统的建设难度大，城市地下管道复杂，埋管的限制条件多。法国的经验描述为^[125]：配气管网，前期投入大，建设期长，资金返回慢，还款期长，没有单一买方能承诺长期购买。因此，天然气到来后，燃气输配系统的建设常成为燃气工业发展中的一个“瓶颈”。燃气输配系统的利用率国际上常以总销售量（ 10^6m^3 ）与系统总长度（km）的比值表示。国际应用系统分析研究所（IIASA）^[118]对自 1933 ~ 1994 年美国的耗气量与管道长度关系的数据进行了研究，得出回归方程式如下：

$$Y = 2810.2X + 74671 \quad (0-1)$$

式中 Y ——燃气管道长度，km；

X ——燃气消费量， 10^9m^3 。

其依据的资料可见图 0-3^[118]。

研究工作者按此关系式用外推法推算全球 2050 年全球的燃气管道长度约为 $70 \times 10^6\text{km}$ ，在整个“甲烷气时代”约为 $140 \times 10^6\text{km}$ ，并认为届时实际的管道长度也可能低于

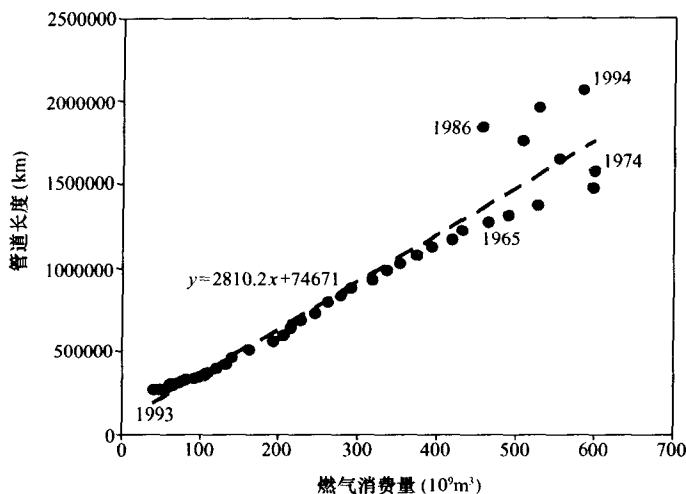


图 0-3 1933 ~ 1994 年美国管道长度与燃气消费量的关系

此值^[118]。

按我国自 1986 ~ 1998 年的城市燃气管道长度与耗气量的关系, 通过回归分析计算, 也可得回归方程如下^[126]:

$$Y = -19000 + 520X \quad (0-2)$$

式中 Y ——燃气管道的长度, km;

X ——燃气消费量, 10^{12} kJ。

需要注意的是, 美国的统计公式已包括了长输管线的长度, 而我国的统计公式仅包括城市管网。

与美国的统计公式相比, 按我国公式求得的结果偏大。如以年输 $10 \times 10^9 \text{ m}^3$ 的天然气相比较, 按公式 (0-1) 计算约为 $0.1 \times 10^6 \text{ km}$, 而按公式 (0-2) 计算则约为 $0.16 \times 10^6 \text{ km}$, 且输气量越大, 偏差也越大。

影响管长的主要因素为单位管长的输气量, 它与用户的用气量和分散程度有关。用户的用气量越小、越分散, 则单位管长的输气量越小, 输配气的成本也越高。为了增大单位管长的输气量, 就必须扩大燃气的利用范围, 增大除民用以外的用气量, 且统一在同一个输配系统中才能提高经济效益。

包括地下气库在内的输配系统建设需要投资, 美国 1960 ~ 1985 年公用燃气工业的年建设支出 (图 0-4) 可供参考^[144]。图 0-4 可帮助我们建立一个公用燃气工业的投资概念, 地下贮气和配气系统的投资大大超过输气系统的投资。一个设施不完整的天然气系统难以保证安全供气。

从上述分析可知, 燃气输配系统的地位十分重要, 至今各国仍在不断研究和完善燃气输配系统, 提高其输气能力和经济性, 用最新技术提高输配系统的设计、运行和管理水平, 确保安全供气。

三、我国燃气输配系统的现状与前景

我国的燃气输配系统是随城市燃气的发展而逐步形成的。城市燃气发展的特点是起步早、发展慢。以煤为原料的城市燃气输配系统压力低、规模小和投资大。20 世纪 90 年代

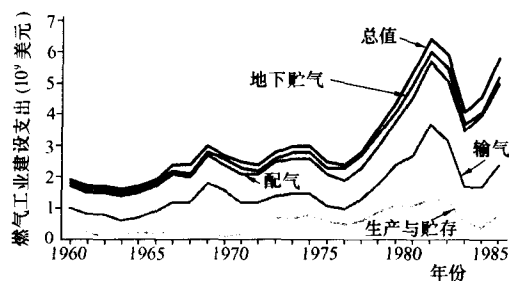


图 0-4 1960~1985 年美国公用燃气工业的年建设支出

后，我国城市燃气迅速发展主要依靠液化石油气（LPG），以瓶装供气为主，有少量的液化石油气气化或混空气的简易供气系统。从 1995 年开始，陕气进京拉开了城市大规模利用天然气的序幕，随后的西气东输等工程建设，使我国的燃气工业走上了与国际相同的发展轨道，促进了燃气输配系统的发展，但面临的问题也很多。2003 年末，我国城市用气

人口为 2.6 亿，普及率达 76.74%，其中 64.9% 为液化石油气用户，18.5% 为人工燃气用户，16.6% 为天然气用户。从气源结构看，人工燃气的 28.9%，天然气的 26.5% 和液化石油气的 69.4% 供家庭用户。各类燃气输配系统的管道长度可见表 0-5。

各类燃气输配系统的管道长度（km）

表 0-5

燃气类别	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
人工燃气	16312	18181	20931	23952	27716	33809	38486
天然气	7316	8054	8487	8889	9566	10110	18752
液化石油气	—	—	—	—	—	—	2762
总 计	23628	26235	29418	32841	37282	43919	60000
燃气类别	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
人工燃气	41475	42725	45856	48384	50114	53383	57017
天然气	22203	25429	29510	33655	39556	47652	57845
液化石油气	4086	4458	6116	7419	10809	12788	15349
总 计	67764	72612	81482	89458	100479	113823	130211

由表 0-5 可知，天然气管道的增长最快，2003 年管长达 57845km，与 1995 年相比增加 35.7 倍，家庭用气量为 $3.75 \times 10^9 \text{m}^3$ ，供气人口 4320 万人，已超过人工燃气管长的 57017km，但天然气的用气人口仍少于人工燃气（4792 万人）。近年来我国长输管线的建设发展迅速，城市管道的建设明显滞后。长输管线与配气管道必须按一定的比例发展（可参考表 0-4），且应考虑与用户连接的支管长度。人工燃气的管道有一部分可转换使用天然气，但转换的速度不会太快，天然气在城市供气中要发挥更大的作用，显然还有大量工作要做。

以上的分析仅是说明管道的建设状况，在城市输配系统中，管道的建设仅是一个部分，切不可理解为燃气输配系统就是管道的建设。为了确保系统能按需要安全、连续供气，还要有一系列的设施建设配合，作为一个系统整体，它所包含的内容很多。

我国在发展人工燃气的输配系统中已积累了不少的经验，配套设备的生产也有了一定的规模，如各种储罐、场、站中阀门、调压器等设备已有国内产品。规范、规程和标准建设中也做了大量的工作，这些无疑为发展天然气工业奠定了基础，但生产实践的

要求决定工业的技术水平,我国大规模天然气的利用还刚起步,尚未经历发达国家那样大发展的生产实践,技术空白很多。必须清醒地认识到,我国目前的技术水平与发达国家相比还有很大的差距。例如,输配系统的经济性、安全性和可靠性差,寿命期短;调峰、贮气的环节甚为薄弱;设备陈旧落后,国产化率很低;科技投入不足,因循守旧,缺乏创新能力;规范体系与国际不接轨,建设工作任重道远;设计、施工、管理工作粗放;投入产出效率低下,急需有一个重大的突破,使我国燃气输配系统的科学技术逐步达到国际水平。

四、编写本书的目的与要求

我国燃气输配工业中的许多重要技术尚未与国际接轨。但科学技术的国际接轨,不是简单引进国外先进设备,而是在市场经济的前提下,结合本国的情况,通过消化吸收和采用先进的科学技术,使整个供气系统取得与先进国家相类似的经济效益。因此,科技接轨应该是一个广义的概念,它包括科学决策、技术经济分析、设计、施工、管理及其体制等各个方面。

各国发展燃气工业的模式不同,与气源资源的条件有关,欧、美和日本就有很大的差异。因此,科技接轨必须博采众长,但提高效益的目标应该是一致的。科技接轨当前的任务,首先应反映在规范、规程和标准的国际接轨上。规范、规程和标准是推动科技进步的依据,要深入了解发达国家制定时的根据和沿革。我国燃气输配系统的设计规范基本上还是采用前苏联的体系,带有计划经济的特征,比较粗放、简单,在一个模式内操作,许多地方不符合我国加入WTO后贸易技术壁垒协议(TBT)的要求。一般来说,规范内容主要应该反映安全要求的强制性内容,不能限制设计、管理人员的创新能力。设计、管理人员应该不断用先进的科学技术不断改进设计和管理方法,使之更接近于工程实际,以提高效益为目标,不断取得进步,而不是千篇一律,重复进行粗放的简单化工作。

其次,要缩小与先进国家燃气输配系统技术水平的差距,还应系统地切实掌握发达国家的先进技术和处理工程技术的思路,特别是我国尚无实践经验的新技术和新方法。实际上,当今世界各个领域中出现的先进技术在燃气输配系统的设计和实践中均有反映,且发展迅速,在每三年一次的世界燃气大会上就有明显的进展,发达国家的成果始终起着主导的作用。

本书在编写过程中,企图在解决上述第二个问题中能有所贡献,所引用的参考资料能反映当前燃气输配系统的最高水平。从世界燃气大会上展出的图书和书目中,有美国燃气协会新出版的《燃气工程运行与实践》丛书,共12册,是继美国《燃气工程师手册》后的另一部巨著。1993年访问美国燃气协会总部时,承蒙赠予其中的《系统设计》和其他著作、规范和软件等,通过阅读每届世界燃气大会上发表的论文、报告、统计资料以及收集到的国外工程文件等,对世界的先进水平有了一个较为完整的理解。因此,根据自己多年来的思考与实践,在编写本书时,确定了两个奋斗目标,一是在设计方面,期望能系统反映发达国家的思路和方法,在市场经济条件下,如何在设计中贯彻效益的思想和从实践出发的作风。美国在燃气输配工业方面历史悠久,资料最为完整,出版的书籍和研究成果对各国的影响很大,规范、标准引用的范围也广,因而作为首选的参考内容,再旁及其他国家的先进经验。二是在实践方面,期望能反映发达国家21世纪初所取得的成就。各发达国家在工程实践中均有大量的创新性成果,是世界高科技