



石油科技知识系列读本
SHIYOU KEJI ZHISHI XILIE DUBEN

油气管道

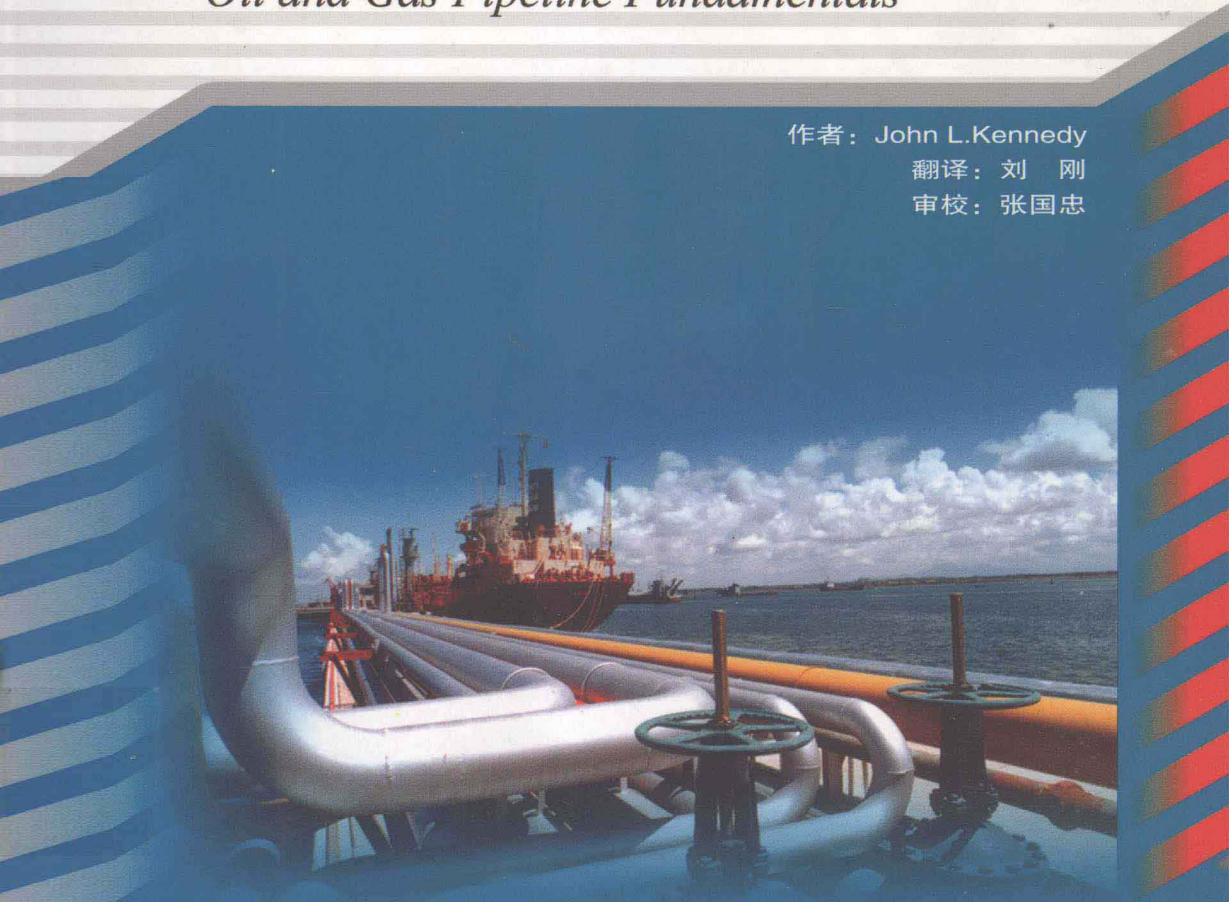
概论

Oil and Gas Pipeline Fundamentals

作者：John L.Kennedy

翻译：刘刚

审校：张国忠



石油工业出版社



石油科技知识系列读本

SHIYOU KEJI ZHISHI XILIE DUBEN

油气管道

概论

Oil and Gas Pipeline Fundamentals

江苏工业学院图书馆
藏书章

作者: John L. Kennedy

翻译: 刘刚

审校: 张国忠

石油工业出版社

内 容 提 要

本书简要介绍了油气管道从设计到施工、运行到管理乃至环境保护的各个环节，重点阐述了相关的技术、设备及工艺。可以作为非本专业人员的入门读本，对从事油气储运的工程技术人员有一定的参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

油气管道概论 / (美) John L. Kennedy 著; 刘刚译.
北京: 石油工业出版社, 2009.12
(石油科技知识系列读本)
书名原文: Oil And Gas Pipeline Fundamentals
ISBN 978-7-5021-6762-2

I . 油…
II . ① J…②刘…
III . 油气运输 - 管道工程
IV . TE 973

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 135923 号

本书经 PennWell Publishing Company 授权翻译出版, 中文版权归石油工业出版社所有, 侵权必究。著作权合同登记号: 图字 01-2002-3655

出版发行: 石油工业出版社
(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

发 行 部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷

787×960 毫米 开本: 1/16 印张: 17.5

字数: 290 千字

定价: 46.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

《石油科技知识系列读本》编委会

主 任：王宜林

副 主 任：刘振武 袁士义 白泽生

编 委：金 华 何盛宝 方朝亮 张 镇

刘炳义 刘喜林 刘克雨 孙星云

翻译审校：（按姓氏笔画排列）

尹志红 王 震 王大锐 王鸿雁 王新元

王瑞华 艾 池 乔 柯 刘 刚 刘云生

刘怀山 刘建达 刘欣梅 刘海洋 孙晓春

朱珊珊 吴剑锋 张 颖 张国忠 李 旭

李 莉 李大荣 李凤升 李长俊 李旭红

杨向平 杨金华 汪先珍 苏宇凯 邵 强

胡月亭 赵俊平 赵洪才 唐 红 钱 华

高淑梅 高雄厚 高群峰 康新荣 曹文杰

梁 猛 阎子峰 黄 革 黄文芬 黎发文

丛书序言

石油天然气是一种不可再生的能源，也是一种重要的战略资源。随着世界经济的发展，地缘政治的变化，世界能源市场特别是石油天然气市场的竞争正在不断加剧。

我国改革开放以来，石油需求大体走过了由平缓增长到快速增长的过程。“十五”末的2005年，全国石油消费量达到3.2亿吨，比2000年净增0.94亿吨，年均增长1880万吨，平均增长速度达7.3%。到2008年，全国石油消费量达到3.65亿吨。中国石油有关研究部门预测，2009年中国原油消费量约为3.79亿吨。虽然增速有所放缓，但从现在到2020年的十多年时间里，我国经济仍将保持较高发展速度，工业化进程特别是交通运输和石化等高耗油工业的发展将明显加快，我国石油安全风险将进一步加大。

中国石油作为国有重要骨干企业和中央企业，在我国国民经济发展和保障国家能源安全中，承担着重大责任和光荣使命。针对这样一种形势，中国石油以全球视野审视世界能源发展格局，把握国际大石油公司的发展趋势，从肩负的经济、政治、社会三大责任和保障国家能源安全的重大使命出发，提出了今后一个时期把中国石油建设成为综合性国际能源公司的奋斗目标。

中国石油要建设的综合性国际能源公司，既具有国际能源公司的一般特征，又具有中国石油的特色。其基本内涵是：以油气业务为核心，拥有合理的相关业务结构和较为完善的业务链，上下游一体化运作，国内外业务统筹协调，油公司与工程技术服务公司等整体协作，具有国际竞争力的跨国经营企业。

经过多年的发展，中国石油已经具备了相当的规模实力，在国内勘探开发领域居于主导地位，是国内最大的油气生产商和供

应商，也是国内最大的炼油化工生产供应商之一，并具有强大的工程技术服务能力和施工建设能力。在全球500家大公司中排名第25位，在世界50家大石油公司中排名第5位。

尽管如此，目前中国石油仍然是一个以国内业务为主的公司，国际竞争力不强；业务结构、生产布局不够合理，炼化和销售业务实力较弱，新能源业务刚刚起步；企业劳动生产率低，管理水平、技术水平和盈利水平与国际大公司相比差距较大；企业改革发展稳定中的一些深层次矛盾尚未根本解决。

党的十七大报告指出，当今世界正在发生广泛而深刻的变化，当代中国正在发生广泛而深刻的变革。机遇前所未有，挑战也前所未有，机遇大于挑战。新的形势给我们提出了新的要求。为了让各级管理干部、技术干部能够在较短时间内系统、深入、全面地了解和学习石油专业技术知识，掌握现代管理方法和经验，石油工业出版社组织翻译出版了这套《石油科技知识系列读本》。整体翻译出版国外已成系列的此类图书，既可以从一定意义上满足石油职工学习石油科技知识的需求，也有助于了解西方国家有关石油工业的一些新政策、新理念和新技术。

希望这套丛书的出版，有助于推动广大石油干部职工加强学习，不断提高理论素养、知识水平、业务本领、工作能力。进而，促进中国石油建设综合性国际能源公司这一宏伟目标的早日实现。

王臣伟

2009年3月

丛书前言

为了满足各级科技人员、技术干部、管理干部学习石油专业技术知识和了解国际石油管理方法与经验的需要，我们整体组织翻译出版了这套由美国 PennWell 出版公司出版的石油科技知识系列读本。PennWell 出版公司是一家以出版石油科技图书为主的专业出版公司，多年来一直坚持这一领域图书的出版，在西方石油行业具有较大的影响，出版的石油科技图书具有比较高的质量和水平，这套丛书是该社历时 10 余年时间组织编辑出版的。

本次组织翻译出版的是这套丛书中的 20 种，包括《能源概论》、《能源营销》、《能源期货与期权交易基础》、《石油工业概论》、《石油勘探与开发》、《储层地震学》、《石油钻井》、《石油测井》、《油气开采》、《石油炼制》、《石油加工催化剂》、《石油化学品》、《天然气概论》、《天然气与电力》、《油气管道概论》、《石油航运（第 I 卷）》、《石油航运（第 II 卷）》、《石油经济导论》、《油公司财务分析》、《油气税制概论》。希望这套丛书能够成为一套实用性强的石油科技知识系列图书，成为一套在石油干部职工中普及科技知识和石油管理知识的好教材。

这套丛书原名为“Nontechnical Language Series”，直接翻译成中文即“非专业语言系列图书”，实际上是供非本专业技术人员阅读使用的，按照我们的习惯，也可以称作石油科技知识通俗读本。这里所称的技术人员特指在本专业有较深造诣的专家，而不是我们一般意义上所指的科技人员。因而，我们按照其本来的含义，并结合汉语习惯和我国的惯例，最终将其定名为《石油科技知识系列读本》。

总体来看，这套丛书具有以下几个特点：

(1) 题目涵盖面广，从上游到下游，既涵盖石油勘探与开发、工程技术、炼油化工、储运销售，又包括石油经济管理知识和能源概论；

(2) 内容安排适度，特别适合广大石油干部职工学习石油科技知识和经济管理知识之用；

(3) 文字表达简洁，通俗易懂，真正突出适用于非专业技术人员阅读和学习；

(4) 形式设计活泼、新颖，其中有多种图书还配有各类图表，表现直观、可读性强。

本套丛书由中国石油天然气集团公司科技管理部牵头组织，石油工业出版社具体安排落实。

在丛书引进、翻译、审校、编排、出版等一系列工作中，很多单位给予了大力支持。参与丛书翻译和审校工作的人员既包括中国石油天然气集团公司机关有关部门和所属辽河油田、石油勘探开发研究院的同志，也包括中国石油化工集团公司江汉油田的同志，还包括清华大学、中国海洋大学、中国石油大学（北京）、中国石油大学（华东）、大庆石油学院、西南石油大学等院校的教授和专家，以及BP、斯伦贝谢等跨国公司的专家学者等。需要特别提及的是，在此项工作的前期，从事石油科技管理工作的老领导傅诚德先生对于这套丛书的版权引进和翻译工作给予了热情指导和积极帮助。在此，向所有对本系列图书翻译出版工作给予大力支持的领导和同志们致以崇高的敬意和衷心的感谢！

由于时间紧迫，加之水平所限，丛书难免存在翻译、审校和编辑等方面的疏漏和差错，恳请读者提出批评意见，以便我们下一步加以改正。

《石油科技知识系列读本》编辑组

2009年6月

译 者 序

油气管道作为石油工业的大动脉，对国民经济的发展起着举足轻重的作用。本书的主要内容就是向读者展示油气管道工程的概貌，可供相关工程人员和大中院校师生参考。

在整个成书的过程中，王志方、兰浩、胡蓉、张圆圆、周磊等同仁在翻译、录入、图片编辑、表格整理等方面给予了大力支持，加拿大籍陈宇副教授给予了颇多指点和帮助，在此一并表示由衷的谢意。

尽管书名译作《油气管道概论》，但本书信息覆盖面较宽，石油工程、机械、自动化等领域均有所涉及。为准确表达原著本意，译者翻阅了大量相关文献和词典，数易其稿。但限于译者的水平，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

原文中第 15 章中图片编号有误，译者已经予以更正。出版是非常严肃的事情，值此译著出版之际，译者颇感诚惶诚恐，唯恐出现低级错误。译者不愿以“笔误”作为托辞，但凡错误之处再次恳请读者指正。

原 书 序

本书涉及油气管道设计、施工和运行的各个环节，重点阐述了相关的技术、设备及工艺。世界各国的管道系统在其用途、规模、复杂性、运行环境、规范要求、经济条件以及设计理念等方面都各不相同。

管道设计和运行的许多方面都遵守自然法则。比如，管道操作压力和流体性质之间的关系与国别无关，描述这类关系就相对直接。

每个公司的管道管理方案以及运行施工的相关规范，常常只参考相关书籍中具有代表性的例子。有鉴于此，书中着重介绍了部分实例的应用状况，并非面面俱到。这些例子不可能涵盖所有的管道建造方法和操作规程，但是能为相关技术和设备的选择，提供一些有益的指导。

本书不是管道设计手册。它为石油行业其他专业的工作人员提供油气管道的基本知识，也能让读者熟悉一些在石油工业日常操作中涉及不到的知识。

尽管这是一本介绍性的书籍，但书中仍出现了一些方程。这些方程不可能提供完整的设计信息，但管道设计关键阶段许多参数的确定均有赖于这些方程。

每一章，确切说，每一章的许多部分，都是研发的焦点。显然，书中也忽略了很多细节。但本书的目的就是让非油气储运专业人员了解石油、天然气和成品油管道，以及它们是如何把油气田和消费者联系在一起的。

每一章最后都列出了大量参考文献，涵盖了更多有关管道网络安全、服务效率等方面的信息，书中很多简要讨论的问题，在这些文献中都有更为详尽的描述。

致 谢

感谢原《油气杂志》主编兼管道版编辑 Gene T. Kinney 和原《油气杂志》管道版编辑 Earl Seaton 在本书第一版的书写过程中提出的宝贵意见和建议，他们在油气工业方面的知识非常丰富，使本书受益颇丰。

目 录

1 管道工业概况	1
1.1 管道的历史	2
1.2 供应与市场	4
1.3 管道的参与者	9
1.4 管道业的统计数据	10
1.5 油轮运输	20
2 管道分类	25
2.1 原油管道	25
2.2 气体管道	29
2.3 成品油管道	32
2.4 其他类型管道	34
3 管道生产与涂层	40
3.1 管道生产	40
3.2 管道涂层	51
4 管道设计的基本原则	57
4.1 管道设计	58
4.2 液体输送管道	62
4.3 气体输送管道	66
4.4 两相流管道设计	72
4.5 北极管道设计	73
4.6 能量效率	74
5 泵与压缩机	78
5.1 站场的设计与运行	78
5.2 泵的应用与设计	82
5.3 压缩机的应用与设计	91
6 原动机	97
6.1 驱动机类型的选择	97
6.2 电动机	102
6.3 燃气轮机	105

6.4	往复发动机	108
7	工程建设与装备	112
7.1	陆地管道工程建设	113
7.2	海上油田建设	124
7.3	北极管线建设	138
8	焊接技术与设备	143
8.1	焊接方法	143
8.2	焊接工艺和设备	145
8.3	陆上和海上管线的焊接	151
8.4	规章条例	152
8.5	其他连接手段	157
9	运行与控制	159
9.1	管道监控系统	159
9.2	清管器	171
10	计量与存储	178
10.1	孔板流量计	179
10.2	容积式流量计与涡轮流量计	184
10.3	质量流量的测定	188
10.4	BTU 值的测定	190
10.5	储存	191
11	维护与修理	198
11.1	管道维护	198
11.2	转动和往复式机械	206
11.3	其他设备	211
12	管道检测与修复	213
12.1	检测	213
12.2	修复	219
13	管道条例	226
13.1	美国早期的管道条例	226
13.2	新规章条例	229
13.3	后续条例	233
14	安全与环保	235
14.1	管道运输的安全性	236
14.2	水和空气的质量要求	241

14.3	油轮的运输安全	245
14.4	工程实例	248
15	管道技术展望	251
15.1	多相流技术	251
15.2	控制和数据采集系统	253
15.3	流动改进剂	254
15.4	管道铺设方法	255
15.5	计量	258
15.6	监测与控制	259
15.7	焊接	260
15.8	展望	261

1 管道工业概况

世界各地的油田或者炼油厂所生产的石油、天然气及其相关产品，大都通过管网送至用户手中。所谓管网，是指由复杂的管道系统构成的网络。它不仅要把无数单井（相当一部分单井地处偏远并且环境恶劣的地区）中生产的油气收集起来，而且要把各种不同的产品配送给不同的用户，如个人、住宅、商家及工厂等。人们可以将阿拉斯加的石油和西伯利亚的油气利用管道输送给用户，也能将海上油井生产的油气利用数百英尺深的海底管道输送到陆地上。

这一大型的集散系统包括大量不同直径的管道——仅美国管道的总里程数就有大约 50 万英里，这些管道的直径从 2 英寸到 60 英寸不等。尽管沿着管线需要设置泵站及其他一些设施，但油气管道绝大多数是采用埋地铺设方式的，因此可以说，管道系统的大部分是无法直接看到的。

油气管道以其高效和经济著称（图 1-1）。在北极永冻土层或是深水区建设大口径管道，能够对环境无害且高度安全，其技术也同样值得称道。

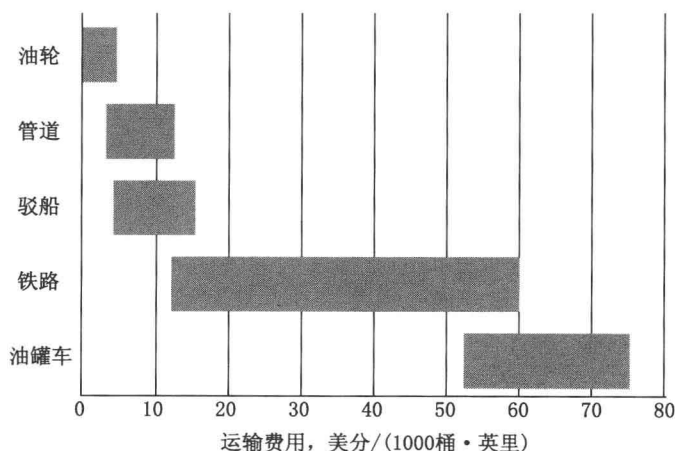


图 1-1 不同运输方式下的原油运输费用

从能量消耗的角度来讲，管道是非常高效的。一项调查表明，20 世纪 80 年代输油干线将原油输送 1000 公里（约 621 英里）消耗的能

量相当于所输送原油蕴含能量的 0.4%。同样输送 1000 公里，成品油管道则需消耗所输送油品蕴含能量的 0.5%。上述能耗比例因运输方式及货物品种不同而不同：铁路运输煤炭时该比例为 0.8%，铁路运输原油时该比例为 1.0%，管道输送天然气时的比例为 2.5%，公路输送原油时则为 3.2%。另据评估，水运原油时的比例为 0.8%，而水运煤炭时则为 1.1%。

这项研究还显示，原油干线的单位输送能耗约为 250BTU/（吨·英里），即每吨原油输送 1 英里将消耗大约 250BTU^① 能量。集油管线的单位输送能耗约为 490BTU/（吨·英里）；成品油管道的单位输送能耗则约为 300BTU/（吨·英里）。管道运输消耗的能量与管径和流速等因素密切相关。例如，直径 6 英寸的原油管道单位输送能耗为 550BTU/（吨·英里），而直径 40 英寸的原油管道单位输送能耗仅为 180BTU/（吨·英里）。在成品油管道中也存在着类似的规律。整个 20 世纪 80 年代，管道效率都在稳步提高。毋庸置疑的是，目前管道的能耗已经大大下降，远远低于上述关于单位能耗的统计数字。

管道的直径与其经济性的关系显而易见，管径与输送能力的关系也非常明显。管径为 36 英寸的管道比管径为 12 英寸的管道输送能力大 17 倍，但相应的建设和运行费用却不会相差这么大。

管道不仅可以输送油品和气体，还能够像输送各种液体一样输送煤炭及其他固体物质。

1.1 管道的历史

最早的管道出现在几个世纪以前，那时人们用管道将水输往村庄或者居住地。现代油气管道的历史可以追溯到 1859 年——在这一年，世界上第一口商业化的油井在美国宾夕法尼亚州诞生。最早的跨州输油管道建于 1879 年。该管道贯穿宾夕法尼亚州，首站设在布拉德福，末站设在阿伦敦，全长 109 英里，管径 6 英寸。1886 年首条输气管线建成，管线全长 87 英里，管径 8 英寸，从宾夕法尼亚州的凯恩通往纽约州的布法罗。

20 世纪初，管道建设飞速发展。1906 年，美国建成了一条从俄克

^① BTU 是 British Thermal Unit 缩写，英制热量单位，指在一个大气压下，把 1 磅水温度升高到 1°F 所需的热量，约合 1055 焦耳。

拉何马州印第安人保留地发现的一个新油田到得克萨斯州东南部阿瑟港的管道,该管道长 472 英里,管径 8 英寸,对当时的技术来讲是一个很大的挑战。早期的管道采用螺纹管,施工人员利用大管钳将管段通过螺纹连接在一起。直到大约 20 世纪 20 年代,工程实践中才开始使用焊接技术。1920 年出现了氧炔焊,但 20 世纪 20 年代末期氧炔焊就被电焊所取代了。从那时起,事实上所有的大直径长距离油气管道均采用焊接技术。随着新型管材钢需求的增加,大口径长距离管道的发展及海上、北极等具有特殊环境要求地区输油需求的增长,焊接技术的发展也是日新月异。

1.1.1 美国几个著名的工程

从得克萨斯州到堪萨斯州威奇托的管道是早期重要的管道工程之一。该管道建于 1927 年,全长 250 英里,后来这条管道延伸到了密苏里州的堪萨斯城。1928 年一个合资公司建造了从俄克拉荷马州到芝加哥的管道。跨州成品油管道的建设始于 1930 年,美国内陆一些炼油厂需要将成品油输往芝加哥、明尼阿波利斯和其他城市,于是开始了成品油管网的建设。

第二次世界大战期间,由于海洋运输的中断,长距离油气管道的建设得到了迅速的发展。为了把美国西南部油田的原油和成品油输往东海岸,政府建设了两条管道。其中一条是管径 24 英寸、全长 1250 英里的原油管道;另一条是管径 20 英寸、全长 1470 英里的成品油管道。

几乎与此同时,田纳西天然气公司建设了一条从西南地区通往东海岸的输气管道,该管道管径为 24 英寸,全长 1265 英里。1947 年得克萨斯的 Eastern 买下了政府拥有的两条管道,将它们改输天然气,并首次在长距离管道上使用了电动机驱动的离心压缩机。同年,第一条从美国西南部到加利福尼亚的管道建成。

20 世纪 60 年代,大直径管道显示出了它们的经济优势。为了突破海事组织的束缚,从休斯敦到纽约建造了一条成品油管道,该管道沿线有 32 英寸、34 英寸和 36 英寸三种管径;还从路易斯安那到伊利诺斯建设了一条直径 40 英寸的原油管道。从休斯敦到纽约的科罗尼尔成品油管道的输油成本为 11 美分 / (1000 桶·英里),而另一条最大管道的输油成本为 37.3 美分 / (1000 桶·英里)。^[2]

20 世纪 60 年代后期,在阿拉斯加北坡发现了石油,这需要人们在