

PIPELINE OPERATION & MAINTENANCE
A PRACTICAL APPROACH

管道运行与 维护 实用方法

M. Mohitpour J. Szabo T. V. Hardeveld 著
吴宏 译

石油工业出版社

管道运行与维护

实用方法

M. Mohitpour

J. Szabo

著

T. V. Hardeveld

吴 宏

译

江苏工业学院图书馆
藏书章

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是《管道设计与施工实用方法》的续篇,旨在补充管道系统自建设完成到运行和维护的内容。

本书共分 10 章,全面地介绍了管道系统各方面的运行和维护知识,其中包括管道运行和维护要素、阀门和执行器、碳氢化合物的计量、泵和压缩机的运行和维护及管道系统自动化等。

本书既适用于管道业有经验的人员,又适用于初学者,同时也可作为培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

管道运行与维护实用方法 / (美) 莫希特普尔 (Mohitpour, M.) 等著,
吴宏译. —北京: 石油工业出版社, 2007. 8

书名原文: Pipeline Operation & Maintenance: A Practical Approach
ISBN 978-7-5021-6074-6

I. 管…

II. ①莫…②吴…

III. ①石油管道—运行 ②石油管道—维护

IV. TE973

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 067314 号

版权合同登记号 图字: 01-2007-4761

Original Edition (in English), Copyright 2005 by ASME,
Three Park Avenue, New York, NY 10016, USA.

本书经 ASME 授权翻译出版, 中文版权归石油工业出版社所有, 侵权必究。

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.cn

发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2007 年 10 月第 1 版 2007 年 10 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 36.25

字数: 923 千字 印数: 1—2000 册

定价: 110.00 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

译者序

随着西气东输管道、陕京二线、忠武线、兰成渝、双兰线等大型油气输送管道的相继投产运行，全国性的油气输送主干管网已初具规模。2006年，中国石油天然气集团公司在北京成立了油气调控中心，标志着我国长输油气管道进入了一个新的发展时期。如何安全、高效、平稳地运行和维护这些管道是我们目前面临的一个新问题。

本书是《管道设计与施工实用方法》的续篇，旨在补充管道系统自建设完成到运行和维护的内容。本书全面地介绍了管道系统各方面的运行和维护知识。

《管道运行与维护实用方法》一书是基于作者们近80年的集体经验结晶而成，并结合了国外最新的技术研究结果和其他信息。本书对管道工人在从事运行和维护任务过程中经常面临的问题进行深入探讨的同时，还向运行和维护人员传授专业技术知识。本书既适用于管道业有经验的人员，也适用于初学者，让他们能够获得日常工作急需的参考资料，更新他们在开展各种运行和维护任务时所需的知识并启发他们的思维。同时，本书也可作为培训的教材。

希望这本书能为我国从事管道运行和维护行业的同仁提供帮助。

此书的翻译、校对到最终出版，得到了朋友和同事们的巨大帮助，在此对他们的辛苦工作表示衷心的感谢。感谢他们在繁忙工作之余抽出时间协助完成此书的翻译。

由于时间仓促，翻译难免有不足之处，欢迎大家批评指正。

献 辞

谨以此书献给管道业的同仁以及那些可亲可敬的管道人，没有他们，我们赖以生存的生命线以及运输着为我们的现代生活方式提供燃料的至关重要的能源管网将不可能实现。本书献给管道能源界并祝我们的管道业永远繁荣昌盛。

序 一

《管道运行和维护实用方法》一书标志着管道运输业在技术和成果方面取得了里程碑性的卓越成就。

本书预示着管道业的发展将迈向一个新的历史时期，管道材料正在被 API X120 级材料所替代，高输送压力逐渐发展到 21 MPa (3000psi)。管道运输业几乎花费了近一个世纪的时间才实现了管道运输压力的 10 倍增长，同样也是这么长的时间才使得这本全面、综合性的书得以问世。

正是管道人的专注和不懈的追求使得我们这个行业在过去的多年里取得了多种大的创新和进步，将来也正是这种精神将引导整个行业去实现我们尚在憧憬和梦想的成就。书中简述的管道系统创新的历史以及管道运行和维护的技术预示了管道运输业未来的发展。

我们很高兴地看到本书主要作者 Mo. Mohitpour 博士（机械工程博士，FASME）前部著作的续篇在 TransCanada 管道运输公司的支持下得以问世。我也很欣喜，通过本书的出版，将管道运行和维护的全面知识呈现在大家的面前。

Andrew Jenkins, P. Eng.

Vice President

TransCanada Pipeline Limited.



TransCanada

序 二

本书是继 2000 年第一次出版的《管道设计与施工实用方法》（作者 M.Mohitpour, H.Golshan 和 A.Murray）一书的续篇。那本书的目标读者是管道的设计者和施工者。本书《管道运行和维护实用方法》则面向广大的管道网络和相关设备设施的运行人员和维护人员，正是这种庞大的管道网络和设备设施使我们得以一天 24 小时，一周 7 天不间断地运输碳氢化合物及其他产品。

管道已经成为我们日常生活的一部分，我们也理所当然地认识到确保持管道正确运行和维护的重要性。管道是这个地球上人类生活的生命线，输送着所有重要的能源，给我们的汽车提供动力、为我们的房屋取暖、烧开水冲咖啡……

作为一名管道工程师，我经常被会计和财务人员问及这样一个问题“管道的寿命有多久？”我通常这样回答：“如果能正确地运行和维护管道并采用一些先进的技术和方法，它的寿命能够延续很长时间。”本书论述了确保持管道和相关设施得以正确运行和维护所需的技术、方法和目前的行业实践，利用这些方法管道就能够提供丰富我们日常生活所必需的产品。

如果这本书在我 27 年前开始从业时间问世，那该是多大的一件幸事。

Bill Trefanenko, P. Eng.
Calgary, Alberta, Canada

前 言

本书是美国机械工程师协会（ASME）出版的《管道设计与施工实用方法》的续篇，作者是 M.Mohitpour, H.Golshan 和 A.Murray，首次出版于 2000 年 10 月，于 2003 年 10 月再版。

《管道运行与维护实用方法》一书旨在填补管道系统自建设完成到运行和维护的内容，涵盖了管道、计量、泵和压缩机等。本书对管道工人在从事运行和维护任务过程中所常面临的问题进行深入探讨的同时，还向运行和维护人员传授了专业技术知识。本书既适用于管道业有经验的人员和专业人员，也适用于初学者，让他们能够获得日常工作急需的参考资料，更新他们在开展各种运行和维护任务时所需的知识并启发他们的思维，本书也可以作为培训的工具书。

本书的内容是基于作者们近 80 年的集体经验结晶而成，并结合了最新的技术研究成果和其他信息作为补充。本书的结构体现了管道系统发展的历史背景以及基本的组织结构要求。从逻辑上看，本书介绍了管道系统的运行、管道和辅助设备问题评估方面涉及的步骤及其可靠运行所需的维护工作。

书中还提及了管道的可靠性和可用性评估，这为从技术和商业角度评估管道运行风险、可靠性以及可用性提供了合理的步骤。

本书作者尽力确保书中内容、版权许可以及参考文件和名称的正确性，但这并不意味着在工程中可以完全运用或照搬这些特定的技术和应用范例。建议读者在使用这些内容之前对所有的细节进行检查和评估。作者和美国机械工程师协会欢迎读者对书中的问题和疏忽予以批评指正。

致 谢

写作本书对于作者来说有着极大的愉悦，由于写作本书时需要收集各种参考资料，作者认识了许多业内同仁，并从他们的鼓励、专业技术知识和经验中受益匪浅。在此感谢他们在审核手稿中给予的宝贵帮助和建议。

本书的写作灵感来自于 M.Mohitpour, H.Golshan 和 A.Murray 在 2000 年和 2003 年所著的《管道设计与施工实用方法》一书，该书由美国机械工程师协会 (ASME) 出版社出版。Mike Yoon 博士 (ASME 管道系统分会前任主席) 期望出版一系列涵盖行业各个层面的《管道工程专著》的倡议进一步鼓舞了本书的写作。为此，作者对 Mike Yoon 博士、Alan Murray 博士、Ed Seiders 先生 (ASMS 管道分会主席，2003—2004 年) 和其他业内同仁为我们管道业及其不断的发展进步给予的热忱支持和帮助，表示由衷的感谢。

感谢我们的行业同仁，他们从多方面鼓励作者，并为本书资料的收集和初稿的审核作出了贡献，他们是：

Bill Trefanenko, Enbridge 国际股份公司

John Kazakoff, Silver Fox 工程咨询有限公司

Heloisa Mello, 石油工程师, SKF 磁性轴承公司

Paul Alves, 石油工程师, AP 动力公司

Chris Pierce, 石油工程师, Pierce 咨询有限公司

Edmund Seiders PE, 俄克拉荷马州, 塔尔萨市 Willbros 工程公司

Tom Babuk, 石油工程师, Empress 国际股份公司

Don Savard, DONSA 股份公司

Blaine Ashworth, Ashworth In-line Integrity 股份公司

Hossein Golshan 博士, TransCanada 管道公司

Alan Murray 博士, 美国国家能源委员会

Don Buchanan, Telvent 公司

Rick Fradette, Telvent 公司

Kelly Doran, Telvent 公司

Stan Uptigrove, Flowserve 公司

Gunther Herbert, TransCanada 管道公司

Rick Hanson, TransCanada 管道公司

Gordon Aker, TransCanada 管道公司

Jim Baggs, TransCanada 管道公司

Terry Hughes, 管道设计解决方案公司

此外，我们还要感谢美国机械工程师协会出版社的指导、协调和坚持不懈的支持，正是他们的支持才使得本书的出版成为可能。感谢 Phillip DiVietro 先生、Mary Grace Stefanchik 女士和 Tra Smith 先生对完成本书给予的极大的鼓励、承诺和耐心。本书的出

版同样缺少不了 ASME 的市场营销努力。感谢 Annette Missouri、Craig Backhus 这些年和将来对该书的发行所给予的巨大支持的员工。

Mo.Mohitpour, Ph. D., PE., P. Eng., F.I.Mech. Eng., FASME, FEIC
mo.mohitpour@shaw.ca

Jason Szabo, Ph, D., P. Eng.
jason.szabo@vexcel.com

Thomas Van Hardeveld, M. Sc. Mech. Eng., P.Eng.
sms@pathcom.ca

许 可 致 谢

作者在此感谢所有那些允许在本书中复制、使用他们的图表、数据和其他资料的机构和个人。其中一些资料来源于他们的网站，在本书的参考文献中已经列出。我们对本书中所使用的、可能没有注意到的参考资料或没有列出归属的资料表示深深的歉意。

作者向以下提供资料并允许本书复制、使用各项内容的机构表示诚挚的感谢：

Allegro 能源集团
美国土木工程师学会 (ASCE)
Ariel 公司
输油管道协会 (AOPL)
Ashworth In-line Integrity 股份公司
Barboza 和 Triplehorn 公司
BJ 管道检查服务公司
BJ 工艺和管道服务公司
英国管道运输代理有限公司
Claxton 工程服务有限公司，英国 UWG 集团下属公司
Clark 公司
Crane 公司
Donsa 股份公司
Dresser-Rand 公司
Dresser Waukesha 公司
Dynalco 公司
加拿大 Finning (Caterpillar) 公司
Flowserve 公司
通用电气公司
得克萨斯州休斯敦 Girard Industries 公司
Global X 射线和测试公司
Hoerbiger 公司
Koch 管道公司
俄克拉荷马州塔尔萨市 MapSearch 公司
Orenda
俄克拉荷马州塔尔萨市 PennWell 出版公司
PETROBRAS Transpetro 公司
PETROSLEEVE 公司
英国清管作业产品服务协会 (PPSA)

管道产品和服务股份公司

RAD 技术服务股份公司

劳斯莱斯公司

加拿大 Sealweld™ 公司

西门子公司

太阳能涡轮机公司

美国西南研究院

战略维护解决方案股份公司

TD 威廉姆斯公司

TransCanada 管道运输公司

Truly Media 公司

联合阀门公司

目 录

第 1 章 管道运行和维护要素	1
1.1 背景和历史	1
1.2 管道系统发展趋势	14
1.3 管道输送系统	17
1.4 运行和维护要素	21
参考文献	27
第 2 章 运行和维护组织	30
2.1 概述	30
2.2 管道输送组织的一般职能	30
2.3 影响组织结构的因素	31
2.4 管道输送公司的组织结构	34
2.5 规范、规章制度和管理规定	36
2.6 资产管理	43
参考文献	54
第 3 章 管道系统运行综述	56
3.1 管道作业方案	56
3.2 输气管道	60
3.3 液体输送	72
3.4 特殊作业活动问题	87
参考文献	96
第 4 章 管道系统的维护	98
4.1 管道维护作业综述	98
4.2 管道路由和现场维护	100
4.3 清管作业	120
4.4 管道维修	126
4.5 更换管道段	144
4.6 管道保护与腐蚀控制	158
4.7 修补焊接	168
参考文献	175

第5章 阀门和执行器	179
5.1 概述和历史	179
5.2 阀门标准和适用法规	182
5.3 管道输送用阀门的定义和类型	183
5.4 阀门执行器	196
5.5 管线破裂自动控制装置	199
5.6 旁通阀	200
5.7 站场连接	200
5.8 阀门组件	200
5.9 液体管道的阀门自动化	203
5.10 阀门的特征——压降	206
5.11 应用分级和识别	210
5.12 阀门维护要求	211
参考文献	220
第6章 碳氢化合物的计量	223
6.1 概述	223
6.2 计量站要素	224
6.3 计量站的类型	224
6.4 流动剖面和流体对计量的影响	232
6.5 流量计	236
6.6 运行和维护	261
6.7 变换器	265
6.8 流体质量的测量	270
6.9 流体计量的记录	280
6.10 计量站的组成	286
6.11 仪表校准仪	291
6.12 计量站（设计、试运行、运行、维护）	299
参考文献	301
第7章 泵站和压缩机站的运行	304
7.1 概述	304
7.2 泵站和压缩机站的设计	304
7.3 压缩机站系统	316
7.4 泵站系统	326
7.5 燃气轮机及其辅助系统的操作	332
7.6 往复式发动机及其辅助系统的运行	351
7.7 电动驱动器的运行	367
7.8 离心压缩机及其辅助系统的运行	372

7.9 往复式压缩机及其辅助系统的运行	379
7.10 泵及其辅助系统的运行	385
参考文献	389
第 8 章 泵站和压缩机站的维护	393
8.1 概述	393
8.2 泵站和压缩机站的现场维护	394
8.3 输油终端	395
8.4 燃气轮机的维护	395
8.5 往复式发动机的维修	404
8.6 电力驱动器的维护	413
8.7 离心压缩机的维护	414
8.8 往复式压缩机的维护	416
8.9 泵的维护	418
8.10 状态监测	422
8.11 故障检修和故障调查	439
参考文献	440
第 9 章 管道系统自动化	443
9.1 概述	443
9.2 管道自动化和控制	443
9.3 管道自动化和控制系统的结构	444
9.4 SCADA 系统	447
9.5 高级应用程序	467
9.6 液体计量和统计	479
参考文献	480
第 10 章 管道系统运行的可靠性及可用性评估	482
10.1 可靠性评估	482
10.2 管道系统部件的故障数据	497
10.3 可靠性评估的应用	499
参考文献	517
附录 A 典型的作业政策和程序	519
附录 B 燃气轮机故障检修表	524
附录 C 管道、管道系统及石油信息来源	526
附录 D 缩写、定义和单位换算	552

第 1 章

管道运行和维护要素

1.1 背景和历史

地下管道将大量油品从供应来源地输送到市场。如图 1-1 所示, 大约 70% 的成品油是通过管道输送的 (AOPL, 2000)。据统计显示, 地下管道是最安全的输送方法。据美国 1998 年的统计, 美国地下管道输送人员死亡率只有 $0.027 \times 10^{-3}\%$, 比其他所有的输送方式都低, 在世界范围内也是如此。

1879 年从宾夕法尼亚州布雷德福 (Bradford) 铺设到艾伦镇 (Allentown) 的管道是北美的第一条石油管道, 总长 175km (109 mile)^①, 管径为 152mm (6in)。自 20 世纪 20 年代末以来, 所有的石油和气体管道都是由焊接钢制成的。虽然第一条横跨全国、连接多个主要城市的管道是在 1930 年铺设完成, 但是直到第二次世界大战才大规模地安装管道。20 世纪 60 年代, 管径为 813.1016mm (32.40in) 的管道建成。1967 年, 第一条长距离、大管径的跨国高压、高级特种钢管道建成。伊朗天然气输送干线 1 号线铺设到了阿塞拜疆境内——由 NPS48/NPS42 的 448MPa, X65 级管材组成。阿拉斯加州 North Slope 地区发现的石油促成了北部最大的管道的建成——横跨阿拉斯加管道输送系统 (TAPS), 管径为 1219mm (48in), 总长为 1287km (800mile), 该管道于 1979 年投入试运行。

天然气和原油集输管道的目的是相似的 (Thompson, 2004), 但是运行条件和设备却不同。高压天然气输送管道采用压缩机, 并通过“城市供气计量站”的阀门和计量站与低压气体分配系统连接。这样, 可以使天然气通过小管径低压管道输送给用户。天然气通常

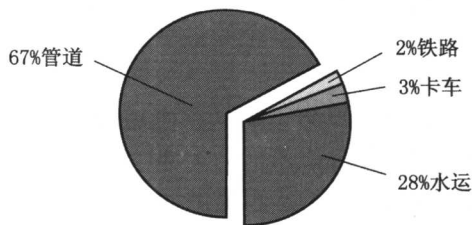


图 1-1 成品油输送方式所占比例 (AOPL, 2000)

① 原版书中英制单位与法定单位混用, 译者保留了原文的单位, 单位换算请看本书附录 D 中的内容。——编者

要在净化设备或过滤器中进行处理,以确保在输送之前达到干燥气体的要求。天然气的可压缩性为管线管存提供了条件,可以将管道作为存储设备来实现大量回转输送。根据合同要求,将不同供应来源的、符合质量规范的天然气进行混合并输送(通过稳定输送或是可中断性输送服务)。一般是通过平衡合同安排范围内的供求,同时优化气体输送网络中的管存量和压缩燃料来实现输气管道运行管理。

另一方面,石油和成品油输送管道也可设计用来输送一种油品,如原油、精炼油或以顺序输送形式输送多种油品。后种形式的输送包括常压蒸馏和高压蒸馏产品的顺序输送。液体输送管线中安装泵用来泵送石油,同时还采用储罐或存储设备来实现油品的转运和交付。在液体输送管道中,从输送控制的角度来看一般不考虑管线管存量。因此,通过泵送和存储设备的控制将液体输送到指定交付的地点,同时保持了油品的质量和数量来实现油品管道控制。

1.1.1 管道的起源

管道的出现起源于持续供应饮用水的需求。虽然早期的居民点是沿河流、淡水湖和天然井建立起来的,然而人口的增长使居民点的分布越来越广,距离也越来越远,因此必须通过沟渠向偏远的居民点供水并利用重力将水输送到需要的地点(Hanson, 2001)。

最早的复杂输水系统是由腓尼基人开发的,他们在坚固的岩石上打孔形成隧道,并建造成石制水渠来输送足够的水供给他们的城市。历史记载的最古老的管道是一种起源于这个时期的陶土管道,发现于 Mesopotamia 亚的 Nippur 地区。据《圣经》记载,Hezekiah 国王下令修建一条穿过坚固石灰石的隧道为耶路撒冷地区供水,并将输送来的水存储在城墙内一个巨大的储水池内(Murray, 2001)。

据说古希腊人和 Etruscans 人使用穿了孔的石头、木头、粘土和铅构筑他们的供水系统。之后罗马人意识到使用铅对人体健康有害,就在他们的浴室里开始使用铜管。实际上,关于管道健康和安全的最早书面指导可能应归功于 Vetruvius,他警告工匠在建造管道时不要使用铅。

公元 100 年,有 9 条水道向罗马供水,总长达 560km,其中 480km 埋设在地下。供水系统的估计供水能力为 $40 \times 10^4 \text{m}^3$ ($8800 \times 10^4 \text{UKgal}$)/d。当时供应的水可能还做他用,比如为粮仓中的水车提供动力——这是最早的管道与能源供应的结合!

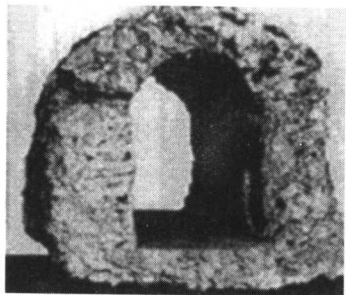


图 1-2 罗马水道(史密森学会, Murray, 2001)

高—1.1m; 宽—0.75m; 壁厚—375mm

如图 1-2 和图 1-3 所示,罗马水道的耐用性在于它的施工方法和选用的材料,它的材料是从火山岩上获得的火山灰形成的天然水泥,在现在的管道建设中这样的材料仍然可以使用。最初,莱茵河上的科隆与埃菲尔镇相连的 56km 长的水道的一部分就采用了这种材料,这条公元 80 年建成的水道持续使用了近 1800 多年!然而,在结构强度和流量的设计方面它却远不是最佳的。直到 1700 年以后,丹尼尔·贝努里和伦纳德·欧拉合作应用变分法的最小化原则和最大化原则才实现了最佳的结构强度和流量。