

石油工人技术培训系列丛书

油气管道

保护技术

茹慧灵 主编

石油工业出版社



石油工人技术培训系列丛书

油气管道保护技术

茹慧灵 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要讲述了油气管道保护技术的通用性、重要性和实用性,旨在使油气管道安全运行。本书主要包括油气管道保护的法律法规、防腐层保护和维护技术、阴极保护技术以及油气管道保护过程中的安全管理和环境保护等内容。

本书是油气管道保护工的技术培训教材,也可供有关大专院校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

油气管道保护技术/茹慧灵主编.

北京:石油工业出版社,2008.2

(石油工人技术培训系列丛书)

ISBN 978 - 7 - 5021 - 6432 - 4

I. 油…

II. 茹…

III. 石油管道 - 保护 - 技术培训 - 教材

IV. TE988.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 204246 号

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 编辑部:(010)64523582

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2008 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月第 1 次印刷

787 × 960 毫米 开本:1/16 印张:18

字数:300 千字

定价:30.00 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

高等教育出版社自然科学学术出版中心

高等教育出版社是教育部所属的国内最大的教育出版基地，其自然科学学术出版中心下设研究生教育与学术著作分社和自然科学学术期刊分社，正努力成为中国最重要的学术著作出版单位和最大的学术期刊群出版单位。

研究生教育与学术著作分社充分发掘国内外出版资源，为研究生及高层次读者服务，已出版《教育部推荐研究生教学用书》、《当代科学前沿论丛》、《中国科学院研究生院教材》、《中国工程院院士文库》、《长江学者论丛》等一系列研究生教材和优秀学术著作。

自然科学学术期刊分社主要负责教育部大型英文系列学术期刊出版项目 Frontiers in China 中基础科学、生命科学、工程技术类期刊的出版工作，目标是搭建国内学术界与海外交流的平台，以及国内学术期刊界合作的平台。

地 址：北京市朝阳区惠新东街4号富盛大厦15层(100029)

网 址：<http://academic.hep.com.cn/>

购书电话：010-58581114/1115/1116/1117/1118

《石油工人技术培训系列丛书》

编 委 会

主 任：郑 虎

副 主 任：李万余 王永春 孙祖岭 白泽生

刘志华 孙金瑜

委 员：(按姓氏笔画排序)

上官建新 万志强 马卫东 马平凡

马自勤 王立民 王忠仁 尹君泰

申尧民 石桂臣 许 飞 许大坤

朱长根 向守源 百连刚 齐振林

张凤山 张景仁 张 剑 张启英

张晗亮 李储龙 李越强 岳丛林

范卓璜 段世民 钟启刚 侯浩杰

赵益红 郝春生 夏中伏 郭向东

郭跃武 韩 炜

《油气管道保护技术》

编 写 组

主 编：茹慧灵

副 主 编：孙雯芬

主 审：穆铎

编写人员：茹慧灵 孙雯芬 林荣芳 赵庆华

蔡文彬 刘海涛

努力造就更多的高技能人才

(代序)

《石油工人技术培训系列丛书》的出版,十分及时,很有必要,对加强中国石油天然气集团公司(以下简称“集团公司”)经营管理、专业技术和操作技能三支人才队伍建设,特别是操作技能人才队伍建设具有重要意义。

小康大业,人才为本。集团公司员工队伍中的高技能人才,是推动技术创新和实现科技成果转化不可缺少的重要力量,是集团公司三支人才队伍中重要组成部分。集团公司各项事业的发展,不仅需要广大专家的智慧 and 心血,也需要千千万万高技能人才的聪明和才智。长期以来,集团公司高技能人才奋战在油田勘探开发、炼油化工等生产一线,为科技成果的转化、产业结构的升级、企业竞争力的增强,发挥了不可替代的作用。我们要像尊重高级专家那样尊重高技能人才,要像重视高级专家那样重视高技能人才,要像关心高级专家成长那样关心高技能人才的成长。只有三支人才队伍比翼齐飞,各自发挥应有的作用,才能带动集团公司这艘巨轮乘风破浪,扬帆远航。

这些年,集团公司大力实施人才强企战略,坚持三支人才队伍一起抓,紧紧抓住培养、吸引和使用三个环节,不断改进人才工作方式方法,积极营造有利于各类人才脱颖而出的环境,有力推进了三支人才队伍建设,为建设跨国企业集团提供了人才保障。其中,在操作技能人才队伍建设方面,制定了《集团公司加强高技能人才队伍建设的意见》和《技师、高级技师管理办法》,积极组织技师、高级技师培训,全面开展班组长培训,不断提高技能鉴定工作质量,组织开展职业技能竞赛,促进了操作技能队伍素质的不断提高。但是,进一步加强高技能人才队伍建设,尽快形成一支结构合理、技术精湛、一专多能、适应国际市场规范施工作业要求的操作技能人才队伍,仍

是一项十分重要而紧迫的任务。《石油工人技术培训系列丛书》的编写与出版,将为加强操作技能人才队伍培训,造就更多的高技能人才,发挥重要作用。

这套丛书从生产实际出发,以满足需求为导向,以促进员工持续学习为目的,以重点培养员工的学习能力、实践能力和创新能力为目标,内容涵盖勘探、开发、炼化、销售等领域,实践性和针对性都很强。同时,大批专家的参与写作也使教材的权威性有了保证。希望这套丛书的出版发行,能为促进集团公司员工培训工作的深入开展,为促进更多高技能人才的成长,为形成一支门类齐全、梯次合理、素质优良、新老衔接、充分满足集团公司持续有效较快协调发展需要的人才队伍做出积极的贡献。

中国石油天然气集团公司党组成员、副总经理

2005年1月28日

前 言

管道输送是油气输送的主要形式。近年来,随着我国能源结构的大幅度调整及各地区对能源需求的增加,油气管道建设进入了快速发展的重要时期。据统计,到2006年底,我国已建成油气长输管道总长度超过 5×10^4 km,其中天然气管道约 3×10^4 km,原油管道约 1.5×10^4 km,成品油管道约 0.56×10^4 km,形成了初具规模的跨区域油气管网。

由于输送介质具有易燃、易爆,以及往往经过人口稠密区等特点,油气管道一旦发生事故,影响面广,损失严重。因此,搞好油气管道保护工作、保证油气管道安全运行,是摆在石油行业面前的重要任务。目前,针对我国油气管线保护距离长,穿越地区较多,地形复杂,而且违章占压与打孔盗油盗气现象严重等问题,许多企业加大了对油气管道保护的力度,成立了专业化的油气管道保护公司。

为了满足我国油气管道事业发展的需要,提高管道保护人员的业务素质及技术水平,使管道保护工作适应新的发展需要,特编写了《油气管道保护技术》一书。

“油气管道保护技术”是一门实践性很强的学科。为此,本书始终坚持“注重理论联系实际,具有通用性、实用性,有一定深度,学以致用”的原则进行编写。

本书由中国石油管道学院茹慧灵任主编、孙雯芬任副主编。参加编写的人员有茹慧灵、孙雯芬、林荣芳、赵庆华、蔡文彬、刘海涛等。

全书由穆铎高级工程师主审,在此表示衷心的感谢。

由于油气管道保护技术所涉及内容较广,加上编者水平有限,不足之处,敬请广大同行与读者批评指正!

编 者

2007年11月

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 油气管道的发展	(1)
第二节 油气管道输送技术	(5)
第三节 油气管道的分类及组成	(9)
第四节 油气管道危害因素分析	(13)
第五节 油气管道保护工作的重要性及其主要内容	(21)
案例1 管道事故案例——世界管道事故统计	(23)
思考题	(25)
第二章 油气管道保护法律法规与管道巡查	(26)
第一节 《石油天然气管道保护条例》相关规定	(26)
第二节 管道巡查	(31)
第三节 查找管道泄漏点	(33)
案例2 油气管道打孔盗油案例——兰成渝成品油管道打孔盗油事件	(42)
思考题	(44)
第三章 管道的腐蚀破坏	(45)
第一节 金属腐蚀的概念及分类	(45)
第二节 金属电化学腐蚀的基本原理	(48)
第三节 油气管道的腐蚀	(58)
第四节 控制管道腐蚀的基本方法	(66)
案例3 管道腐蚀案例——天然气输送管道内腐蚀	(67)
思考题	(70)
第四章 管道防腐层保护技术	(71)
第一节 防腐层防腐原理	(71)
第二节 防腐层基本知识	(73)
第三节 沥青类防腐层	(75)

第四节	环氧粉末防腐层	(81)
第五节	聚乙烯防腐层	(85)
第六节	涂装前管道表面预处理	(89)
第七节	管道防腐层补口与补伤	(91)
案例4	管道防腐层应用案例——三层聚丙烯管道防腐层性能及应用	(99)
思考题	.....	(103)
第五章	管道防腐层维护技术	(104)
第一节	防腐层日常检测工作	(104)
第二节	防腐层管理	(116)
第三节	防腐层修复	(118)
案例5	管道防腐层维护案例——某管线防腐层大修	(121)
思考题	.....	(123)
第六章	管道阴极保护技术	(124)
第一节	概述	(124)
第二节	强制电流阴极保护	(132)
第三节	牺牲阳极阴极保护	(143)
第四节	阴极保护附属设施	(153)
第五节	区域性阴极保护	(164)
案例6	油气管道阴极保护案例——西部管道阴极保护系统	(170)
思考题	.....	(175)
第七章	管道阴极保护系统运行管理	(176)
第一节	阴极保护系统运行管理	(176)
第二节	恒电位仪维护保养	(179)
第三节	附属设施维护保养	(189)
第四节	阴极保护参数测量	(190)
案例7	增设管道阴极保护设施和防腐层大修技术经济分析	(196)
思考题	.....	(198)
第八章	杂散电流腐蚀与防护技术	(200)
第一节	概述	(200)

第二节	直流杂散电流的腐蚀	(201)
第三节	直流杂散电流腐蚀的防护	(206)
第四节	交流干扰腐蚀与防护	(211)
案例 8	杂散电流腐蚀案例——管道的杂散电流腐蚀	(218)
思考题	.....	(219)
第九章	缓蚀剂保护技术	(220)
第一节	缓蚀剂概述	(220)
第二节	油气管道缓蚀剂应用技术	(225)
案例 9	缓蚀剂应用案例——阿拉斯加输油管道腐蚀	(229)
思考题	.....	(230)
第十章	管道水工保护技术	(231)
第一节	坡面防护	(231)
第二节	冲刷防护	(243)
第三节	支挡防护	(251)
案例 10	水工保护案例——大石河管道断裂事故	(256)
思考题	.....	(257)
第十一章	油气管道保护过程中的安全管理及环境保护	(258)
第一节	安全管理	(258)
第二节	环境污染及防护	(264)
案例 11	环境保护案例——西气东输某标段管道施工中环境保护要求	(270)
思考题	.....	(273)
参考文献	.....	(274)

第一章 概述

第一节 油气管道的发展

一、油气管道的发展历史及现状

管道运输是五大运输方式(铁路运输、公路运输、水路运输、航空运输及管道运输)之一,其主要特点是经济、安全和不间断。

管道运输具有悠久的历史,最早可追溯到我国公元前秦汉时代。当时四川省就开始用竹管输送卤水,随后又用于输送天然气的记载。这可能是管道运输最早的文字记录了。

真正的工业性管道输送始于19世纪早期,1825年在美国的宾夕法尼亚州(Pennsylvania),敷设了第一条输气管线,随后于1879年,建设了第一条跨州原油管线,管径152mm,全长175km。在之后的近半个世纪内,管道输送经历了一个缓慢的发展时期。在这一时期,管道通常采用铸铁管和丝扣连接。

随着20世纪20年代焊接生产方法在管道上的应用,开创了管道运输史上崭新的一页。从此,管道的直径和管线的长度都在扩大,许多地方的管线网络初具规模,并初步具备了向近海和极地延伸的能力。

现代规模的长距离管线建设开始于第二次世界大战。当时,沿海油轮交通被摧毁,由于战争的刺激,美国由政府投建了两条从西南至东海岸的长距离管线:一条是管径610mm,全长2011km的原油管线;另一条是管径508mm,全长2365km的成品油管线。战后,管道工业继续得到蓬勃发展,引人注目的是加拿大管线网的建立和从波斯湾至地中海的泛阿拉伯管线的建立。20世纪60年代以后,由于一些边远地区大型油田的相继发现,长输管道工业进入了一个新的建设高潮。近年来,世界上每年用于管道敷设工程的投资都在100亿美元以上。

管道工业发展的巨大动力来源于其他工业和社会日益增长的能源需要。1981年世界能源会议曾预测,2020年世界能源需求量将比20世纪80

年代初增长 3 倍,而在这些能源中,石油、天然气占 50% 以上。目前,全世界大型管道的总长度已达 $230 \times 10^4 \text{ km}$ 以上(其中 60% 为天然气管线),并正以每年 $(4 \sim 5) \times 10^4 \text{ km}$ 的速度增长。

我国近代管线建设始于 20 世纪 50 年代。1958 年 12 月建成第一条原油管道——新疆克拉玛依至独山子管道,管径 168mm,全长 147.2km,开创了我国长距离油气管道建设的历史。

20 世纪 70 年代我国原油产量迅速增加,从 1970 年的年产量 $3000 \times 10^4 \text{ t}$ 发展到 1978 年超过 $1 \times 10^8 \text{ t}$ 。为解决大庆油田原油外输问题,1970 年开始建设大庆至抚顺长距离管线。随后又先后建成了大庆至铁岭、铁岭至秦皇岛、铁岭至大连管线,其管径为 720mm。其后,在华东和华北地区,从胜利油田敷设了分别通向胶州湾黄岛港和长江仪征港的东营至黄岛(管径 529mm)与临邑至仪征(管径 720mm)等输油干线。在华北油田和中原油田则分别修建了到北京和洛阳炼油厂以及连接鲁—宁等干线的管道。在西北的长庆油田建设了从庆阳经惠安堡至中宁的输油管道。至 1989 年,我国已建成输油管道 219 条,其中原油管道 69 条,成品油管道 150 条;至 1993 年末,全国天然气管道总长度 9994km,年输油量 $7266 \times 10^4 \text{ t}$ 。

我国输气管道主要集中在四川省。20 世纪 60 年代开始先后建成了威远至成都、合江佛荫至重庆、卧龙河至重庆、渠县至成都等十几条输气管线。70 年代后,大庆、辽河、中原等油田都相应建成了一批向城市供气的长距离输气管线。表 1-1 列出我国主要天然气长输管道概况。

表 1-1 我国主要天然气长输管道概况

管线名称	外径 × 管壁 mm × mm	钢管类型	长度 km	管线压力 MPa	输送介质	投产时间
濮阳—沧州	426 × (7~8)	T/S52K	361.9	5.1	天然气	1986.8
开封—郑州	377 × 8	16Mn	90.7	4.0	天然气	1986.9
濮阳—安阳	377 × 8	16Mn	105.0		天然气	1990.9
涩北—格尔木	377 × (7~8)	X52	189.6	6.4	天然气	1996.8
陕西靖边—北京	660 × (7.1~10)	X60 直缝埋弧和螺旋埋弧焊钢管	918.4	6.4	天然气	1997.9
靖边—西安	426 × (6~7)	X52 螺旋埋弧焊钢管	488.5	4.5	天然气	1997.7
靖边—银川	426 × 7	X52 螺旋埋弧焊钢管	293.4	6.4	天然气	1998.8

续表

管线名称	外径 × 管壁 mm × mm	钢管类型	长度 km	管线压力 MPa	输送介质	投产时间
鄯善— 乌鲁木齐	457 × 6	X52	301.6		天然气	1997.3
崖城 13-1 —香港	711 × (17.12 ~ 25.40)	X65 直缝埋 弧焊钢管	778.0	15.5	海底天然气 和凝析油	1993
崖城 13-1 —海南岛	355.6 × 9.53	X60 直缝埋 弧焊钢管	91.0	15.6	海底天然气 和凝析油	1993
咸阳—宝鸡	426 × 7		148.0	4.0	天然气	1999.10
东海平湖油气田 —上海、浙江	466	X52 ERW 管	385.0	6.7	海底天然气	1998.12
大港—永清	660 × (7.1 ~ 8.7)	X60	118.5	4.0	天然气	2001.1
涩北—兰州	660 × 7.1	X60 螺旋埋 弧焊钢管	953.0	6.4	天然气	2001.9
西气东输 (轮南—上海)	1016 × 14.6 1016 × 17.5 1016 × 21.0 1016 × 26.2	X70 螺旋埋 弧焊钢管	主干线 3856	10	天然气	2004.12

我国油气管道建设,尤其是输气管道建设在“十五”期间得到了迅猛发展,先后建成了兰成渝、涩宁兰、西气东输、忠县—武汉、陕京二线、西部原油成品油管道等多条输气管道,新建管道总长超过 8000km。目前,兰—郑—长、西气东输二线等油气管线正在积极筹建之中。

二、油气管道发展趋势

从最初的工业管道建设至今,油、气管线已经历了一个多世纪的发展。早期的管线,离中心城市较近,地理环境和社会依托条件都较优越。如今,新开发的油气田大都在边远和地理、气候条件恶劣的地带,如苏联的西西伯利亚、美国的普里德霍湾、欧洲的北海油田以及我国的西部油田等。随着海上油气田、极地油气田、深部油气田(6000 ~ 7000m)的开发,对新时期的管道建设及管道保护工作提出了更高的要求。

(一)大管径、高压输送

由理论推导可知,原油管道单位时间输送量受输送压力、管道直径等参数的影响,加大管道直径,提高管道工作压力是提高管道输送量的有力措施和油气管线的基本发展方向。1条输送压力为7.5MPa、直径为1400mm的输气管道可替代3条压力为5.5MPa、直径为1000mm的管道,可节省投资35%,节省钢材19%。

因此,扩大管径已经成为一种趋势。1970—1985年,欧洲经济共同体管道的平均直径已增加1倍。1969年管径为762mm以上的管线在美国占25%,在前苏联占29%。到1980年,管径在762mm以上的管线在美国占40%,在前苏联占45%。在前苏联,输气管线通常直径为1420mm,输油管线直径为1200mm。目前专家认为,输油管线合适的最大直径为1220mm,输气管线合适的直径为1420mm。

在输送压力方面,当输送压力从7.5MPa增加至10~12MPa时,输气管线的输送能力可提高35%~60%。在国外,输送压力经历了一个从20世纪50年代的4.5MPa,60年代的5.5MPa,到70年代的6.5MPa的发展过程。目前,国外新建油气管线的输送压力一般为7.5MPa以上,如1985年苏联所建成管线的输送压力就达到10~12MPa,其他国家也从5.5~8.4MPa增加到8.8~9.0MPa,横贯阿拉斯加输气管线压力高达11.8MPa。

目前,国内油气管道最大管径为1016mm,输送压力为10MPa。2008年开始建设的西气东输二线主干线管径为1219mm,输送压力为12MPa。

(二)高寒和腐蚀的服役环境

由于全世界对能源的需求不断增加,人们正在偏远地区寻找和开发新的油气田,与此相配套的管道多是在气候恶劣、人烟稀少、地质地貌条件极其复杂的地区建设,如美国横穿阿拉斯加的管道,途经冰冻土地区,气温低达 -70°C 。1985年苏联所建的西西伯利亚—中央输气管线,途经常年冻土区,气温低达 -63°C ,积雪70~90cm,在全长4451km的线路中,有959km通过沼泽、794km通过水障碍。

人类对能源的渴求还使得延伸的管线面临着更严酷的腐蚀环境。目前,我国新开发的新疆南疆沙漠油田都是5000~7000m深的超深井。随着钻井深度的增加,在油气中所含腐蚀介质,如 H_2S 、 CO_2 成比例增加,介质的

腐蚀性增加。

以上这些严酷的地域、气候条件不但给长输管线的施工造成困难,而且对管道保护,尤其是管道防腐蚀提出了更高的要求。

第二节 油气管道输送技术

一、原油和成品油管道输送技术

(一)原油和成品油管道输送方式

原油和成品油的管道输送方式可以按油品的物理性质或输油设备的连接方式进行分类。

1. 按油品自身的物理性质分类

原油、成品油的长距离输送方式按油品自身的物理性质可分为以下几类。

1) 等温输送

输油管道由管路和若干个输油站组成,输油站提供能量使管路中的油向前流动。管道内输送的介质为低粘、低凝固点原油和轻质成品油,沿线不需加热,管内油品温度一般接近管线埋深处地温。这种管道输送方式称为等温输送。

2) 加热输送

易凝、高粘原油、燃料油和润滑油等,在常温时粘度很大,流动性差,有时甚至会凝固,如果不采取降凝、降粘措施,直接在环境温度下用管道输送,一般是非常困难或者很不经济的。目前,最常用的方法是加热输送,使易凝油品的温度保持在凝固点以上,使高粘油品因温度升高而粘度变小,方便输送。

加热输送的方法有直接加热和间接加热两种。

(1) 直接加热就是用加热炉直接给油品加热,即油品直接流过加热炉膛内的管道而被加热。长距离输油管道一般每隔几十公里建一个加热站,每站安装若干台加热炉。直接加热法的特点是热效率高,而且容易在较大的范围内调节温度。