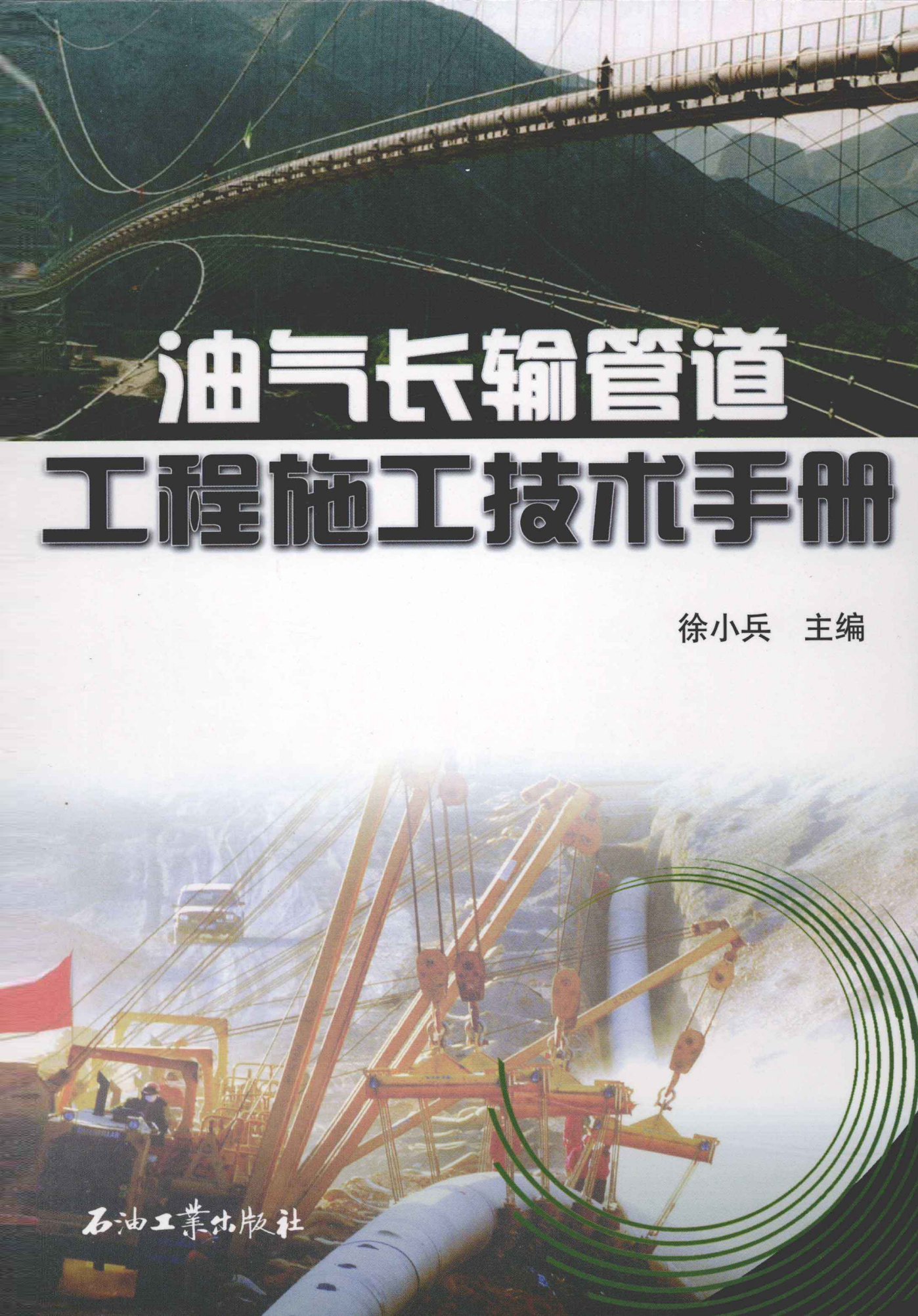




油气长输管道 工程施工技术手册

徐小兵 主编

石油工业出版社

油气长输管道工程施工技术手册

徐小兵 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本手册以油气长输管道施工工序为线索,按照施工程序,结合不同地域的施工特性,介绍了当前国内外广泛运用的施工技术。主要包括:长输管道施工常用基础知识、土石方工程、管道运输、管道临时存储及布管、弯头弯管制作、焊接安装、焊缝检测、防腐、铺管技术、清管试压干燥、穿跨越工程、阴极保护环境保护、施工机具等。

本手册适应从事管道建设的业主、监理、设计和施工技术人员,以及管道施工科研人员、石油高等院校相关专业师生查阅。

图书在版编目(CIP)数据

油气长输管道工程施工技术手册/徐小兵主编.

北京:石油工业出版社,2011.5

ISBN 978-7-5021-8123-9

I. 油…

II. 徐…

III. 油气运输-长输管道-管道施工-技术手册

IV. TE973.8-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 225179 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

编辑部:(010)64523583 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

2011 年 5 月第 1 版 2011 年 5 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:32.25

字数:740 千字 印数:1—2000 册

定价:120.00 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

前 言

随着国民经济的迅猛增长,油气资源需求加剧,我国的油气长输管道建设也呈高速发展态势。截至2010年,我国已建油气管道逾7万千米。近五年,我国油气管道建设速度每年以超过12%的增长率快速上升。我国幅员辽阔,管道建设面临各种复杂的地形、地貌和多变气候,经过近半个世纪的长输管道施工,积累了沙漠、黄土塬、山区、水网、冻土等地带以及各种复杂气候环境下的施工经验,总体施工技术逐步向国际水平靠拢。目前,我国有超过3万人的油气管道专业施工队伍,具备机械化年施工管道1万千米左右的能力。管道建设高速发展的今天,单纯依靠人海战术规模作战来提高劳动生产率是无法满足需要的,只有依靠先进的施工技术和施工装备,依靠科技提速,才能跟上管道建设的跨越式发展步伐。

本手册以长输管道施工工序为线索,按照施工程序,结合不同地域的施工特性,介绍了当前国内外广泛运用的管道施工技术。第1~3章主要介绍长输管道的基本概念、特点及流程、施工常用知识、项目管理等基本内容;第4~14章介绍了土石方工程、管道运输、临时贮存及布管、弯头弯管制作、焊接安装、焊缝检测、防腐、铺管技术、清管试压干燥、穿(跨)越工程、阴极保护;第15~17章介绍了环境保护及水土保持、基于完整性的管道施工管理和施工机具。

在本手册编写过程中,查阅了大量的国内外相关资料,拜访了多位权威专家,并参考了专家意见对其进行修改和完善。重庆科技学院石油工程学院张其敏副院长、梁平教授,广东大鹏液化天然气有限公司管线部黄文尧总经理等,对本手册编写提出了宝贵意见,此外,陈红、王飞、刘文平等参与了部分章节的编写,在此一并表示感谢。

受水平限制,疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2010年11月

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 长输管道定义及分类	(1)
1.2 长输管道施工特点和内容	(2)
1.3 国内外长输管道施工发展概述	(4)
1.4 我国油气管道中长期发展规划	(10)
参考文献	(11)
第2章 长输管线施工常用资料	(12)
2.1 常用单位换算	(12)
2.2 气象、地质、环境、水质	(16)
2.3 线路材料	(25)
2.4 穿跨越等级划分	(32)
参考文献	(33)
第3章 施工总体筹划	(34)
3.1 工程难点及对策	(34)
3.2 施工组织策划	(36)
3.3 技术准备	(39)
3.4 施工平面设计与布置	(44)
3.5 施工进度筹划	(46)
3.6 资源计划	(47)
3.7 工程施工目标	(49)
参考文献	(50)
第4章 土石方工程	(51)
4.1 概述	(51)
4.2 交桩与测量放线	(51)
4.3 便道修筑与作业带清理	(59)
4.4 管沟开挖	(71)
4.5 施工排水	(92)
4.6 沟槽支撑	(102)
4.7 石方爆破	(107)

4.8 管沟回填	(134)
参考文献	(137)
第5章 管道运输、临时贮存及布管	(138)
5.1 防腐管运输	(138)
5.2 临时贮存	(146)
5.3 布管	(149)
参考文献	(162)
第6章 管材和弯头、弯管制作	(163)
6.1 概述	(163)
6.2 钢管生产	(165)
6.3 冷弯弯管	(171)
6.4 热煨弯管	(178)
参考文献	(182)
第7章 焊接安装工程	(183)
7.1 长输管道焊接技术发展概述	(183)
7.2 焊接材料及设备	(185)
7.3 坡口清理及加工	(187)
7.4 组对	(193)
7.5 焊接	(199)
7.6 管道连头	(228)
参考文献	(231)
第8章 管道检测技术	(233)
8.1 概述	(233)
8.2 外观检验	(235)
8.3 无损检测	(237)
8.4 防腐层检漏	(252)
8.5 管道内腐蚀检测	(255)
参考文献	(259)
第9章 管道防腐技术	(261)
9.1 管道防腐的分类	(262)
9.2 管道外防腐	(262)
9.3 管道内涂层	(268)
9.4 防腐补口	(274)

9.5 防腐补伤	(284)
参考文献	(285)
第10章 管道铺管技术	(286)
10.1 机械吊管法	(286)
10.2 沉管法	(296)
10.3 牵引法	(297)
参考文献	(302)
第11章 清管试压技术	(303)
11.1 清管技术	(303)
11.2 测径技术	(308)
11.3 试压技术	(311)
11.4 干燥技术	(320)
参考文献	(330)
第12章 穿越工程	(331)
12.1 概述	(331)
12.2 开挖施工技术	(331)
12.3 非开挖施工技术	(357)
参考文献	(390)
第13章 跨越工程	(391)
13.1 概述	(391)
13.2 跨越分类	(391)
13.3 跨越计算	(395)
13.4 跨越施工	(415)
参考文献	(430)
第14章 阴极保护施工技术	(431)
14.1 概述	(431)
14.2 阴极保护原理	(431)
14.3 阴极保护的方法	(432)
14.4 阴极保护施工	(436)
14.5 阴极保护测试	(441)
参考文献	(447)
第15章 环境保护及水土保持	(448)
15.1 概述	(448)

15.2	土石方施工对环境的影响	(449)
15.3	生态环境的保护措施	(451)
	参考文献	(459)
第 16 章	基于完整性的管道施工管理	(460)
16.1	管道施工期完整性管理的理念	(460)
16.2	管道施工期完整性管理的内容	(465)
16.3	管道施工期完整性管理的过程管理	(467)
	参考文献	(472)
第 17 章	施工机具	(473)
17.1	通用施工机械	(473)
17.2	专用施工机具	(482)
	参考文献	(498)
附录	长输管道施工常用词汇英汉对照	(499)

第1章 绪 论

1.1 长输管道定义及分类

1.1.1 定义

压力管道(pressure pipe):是指利用一定的压力,用于输送气体或者液体的管状设备,其范围规定为最高工作压力大于或者等于0.1MPa(表压)的气体、液化气体、蒸汽介质或者可燃、易爆、有毒、有腐蚀性、最高工作温度高于或者等于标准沸点的液体介质,且公称直径大于25mm的管道。压力管道按其用途划分为工业管道、公用管道和长输管道^[1]。

长输管道(long-distance pipeline):长输管道系指产地、储存库、使用单位之间用于输送商品介质的管道,具体讲就是跨越地、市输送或跨越省、自治区、直辖市输送商品介质的长距离(一般大于50km)管道。

1.1.2 分类

1.1.2.1 按压力等级划分

按照《压力管道设计单位资格认证与管理办法》,压力管道分为GA(长输管道)、GB(公用管道)、GC(工业管道)三类6级16种。其中,GA类级别划分如下:

(1)符合下列条件之一的长输管道为GA1级:

- ① 输送有毒、可燃、易爆气体介质,设计压力 $p > 1.6\text{MPa}$ 的管道;
- ② 输送有毒、可燃、易爆液体介质,输送距离(指产地、储存库、用户间的用于输送商品介质的管道的直接距离)不小于200km且管道公称直径 $DN \geq 300\text{mm}$ 的管道;
- ③ 输送浆体介质,输送距离不小于50km且管道公称直径 $DN \geq 150\text{mm}$ 的管道。

(2)符合下列条件之一的长输管道为GA2级:

- ① 输送有毒、可燃、易爆气体介质,设计压力 $p \leq 1.6\text{MPa}$ 的管道;
- ② 上述GA1分类②范围以外的管道;
- ③ 上述GA1分类③范围以外的管道^[2]。

1.1.2.2 按敷设方式分类

按照管道的敷设方式不同,长输管道分为埋地管道、管堤埋设管道(又分为半埋地敷设和地面敷设)和架空管道,如图1-1-1所示。

地下敷设是长输管道采用最为广泛的一种形式,管道顶点位于地表以下一定的距离,如图1-1-1(a)所示。地下敷设适用于绝大多数地区。在活动性滑坡、崩塌、泥石流地区和可能产生较大地层移动的采矿区不宜采用地下敷设。地下敷设施工简便、费用低,不影响自然环境和农业生产,管道不易遭受外力损坏,我国输气管道基本上为地下敷设。

半地下敷设是管道底部处于地面之下,而管顶处于地面之上,如图1-1-1(b)所示。

地上敷设(土堤埋设)的管子底部完全在地面上,如图1-1-1(c)所示。

地上和半地下敷设一般用于非农业区地下水位较高和沼泽地区。它的主要缺点是土堤土壤稳定性差,阻拦自然排水,妨碍地面交通。

管架敷设是把管道架设在构筑于地面的支架上面,如图 1-1-1(d)所示。一般用于跨越人工或自然障碍物、开采矿区和永冻土地段,这种敷设形式施工复杂、费用较高,地面上造成人为障碍,易受外力损坏,只用于其他敷设形式不宜采用的地区^[3]。

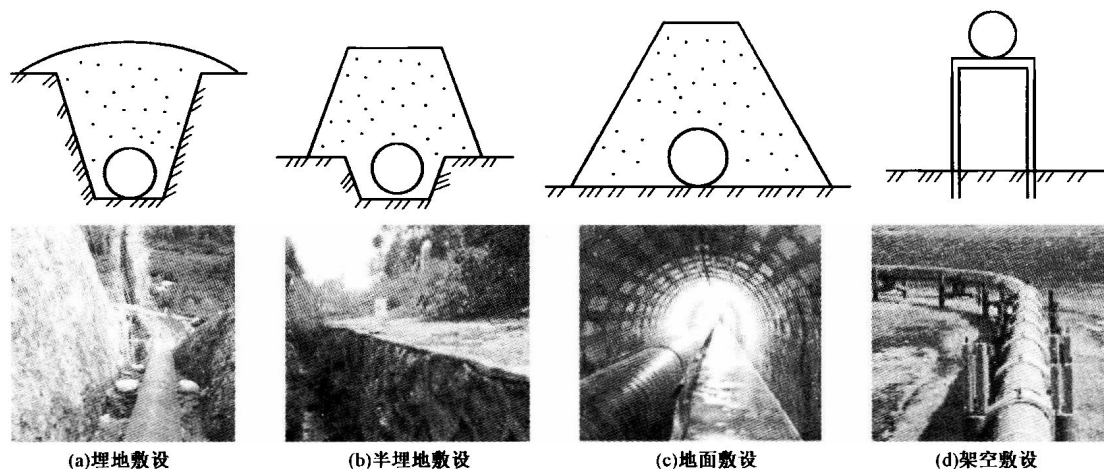


图 1-1-1 管道的敷设形式

1.1.2.3 按其他方式划分

按照管道所处的地理环境,长输管道可以分为陆上管道和海底管道;按照管道的位置,可以分为站(库)内管道和干线管道;按照管道内所输送的介质,可以分为原油管道、天然气管道、成品油管道、蒸汽和压缩空气管道等。

1.2 长输管道施工特点和内容

1.2.1 长输管道施工特点

长距离油气管道工程属于线型工程。线型工程施工的工作面沿线分布,工作面成为一条线。线型工程的工作面是开阔的,长输管道施工具有以下特点:

(1)施工作业的单一性和连续性。单一性是指长输管道施工作业内容(如挖沟、布管、组对焊接和防腐绝缘等)比较单一。连续性是指以上各工序的衔接非常紧密,便于使用机械进行连续作业,即各项作业按照施工程序一环扣一环地进行。

(2)野外施工、作业线长。长输管道绵延数百到数千千米,工作线比较长,使得工程施工中人力和物力比较分散,其施工组织和后勤保障工作较为复杂。

(3)施工作业速度快、流动性大。长输管道施工一般采用快速流水施工,每一个综合施工队日推进速度可以达到 1~3km。因此,各种施工设备必须具有轻便和适宜快速转运的特点。

(4)穿越频繁、自然障碍多。除了大型穿(跨)越工程外,管道还可能穿过众多的小型沟渠和道路,以及森林和沼泽。这些区域都可能影响管道施工的推进速度,必要时必须采用专门的施工队伍提前清理这些障碍^[4]。

1.2.2 长输管道施工内容

长输管道的施工一般包括开工前期准备、工程施工,以及试运、投产和交工。长输管道施工程序一般包括以下内容(图1-2-1):

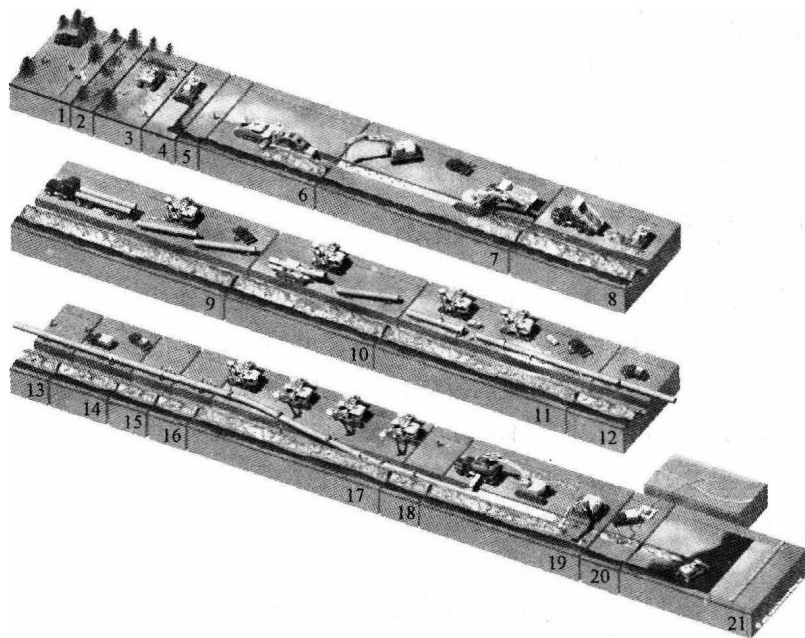


图1-2-1 长输管道施工示意

1—测量放线;2,3,4—清理作业带及扫线;5,6,7,8—开挖管沟(岩石段爆破、沟底铺垫);
9—运管、布管;10—制作冷弯管;11,12,13—组对焊接;14—无损检测;15—防腐补口;
16—防腐补伤;17—下沟;18,19—测量定位及回填;20—清管、试压;21—地貌恢复

(1)测量放线(survey and staking)。以施工图及测量成果表为依据,确定管道实地安装的中心线性位置,并画出施工带界线。

(2)扫线(front-end grading)。用推土机平整、清理沿线施工作业带,为管道安装作业创造运输和安装的场地条件。

(3)开挖管沟(trenching)。在管沟中心线上按施工图要求进行管道敷设标高位置的土方开挖作业。

(4)运管(pipe hauling)。把钢管从预制厂或车站、码头装运至施工现场。

(5)预制弯管(bending pipe)。根据设计要求和现场条件,预制各种曲率和角度的弯管。

(6)布管(stringing pipe)。把钢管一根接一根地布置在管道安装作业线上。

(7)管道组装(line-up)。把待焊的钢管按工艺要求对口并固定。

(8)管道焊接(welding of line)。把单根钢管串联起来进行焊接接长。

(9)无损检测(non-destructive testing)。用各种手段检查环形焊缝的焊接质量。

(10)防腐绝缘(corrosion preventive coating)。在钢管外壁和/或内壁涂覆防腐绝缘层。

(11)补口(coating field welds)。在管道环形焊缝处的防腐绝缘层施工作业。

(12)检漏与补伤(inspection & repair of coating)。检查管道防腐绝缘层破损处,并按规范

要求进行修补。

(13) 下沟(lower-in)。把管道或焊好的管段吊放在管沟内预定安装埋设的位置上。

(14) 回填(backfill)。把沟内已就位的管道掩埋起来。

(15) 试压(hydrostatic testing)。利用液体或气体介质,将规定的压力施加于待试管道上,以检验管道的强度和严密性。

(16) 通球扫线(finl-in)。用水或压缩空气推动清管球从管道内通过,以排出管道内的杂物。

(17) 恢复地貌(replace topsoil)。清理施工现场,恢复沿线原地貌。

1.3 国内外长输管道施工发展概述

现代管道施工始于 19 世纪中叶,1865 年美国宾夕法尼亚州建成第一条原油输送管道,工业技术水平决定了当时施工技术较落后。国外长输管道施工技术的发展则是从 20 世纪初开始的。随着第二次世界大战后石油工业的发展,管道建设进入了一个新的阶段,各产油国竞相开始兴建大量油气管道。随着工业技术的革命,施工技术手段逐步提高,出现了运管、布管专用设备。自 20 世纪 60 年代开始,输油管道的发展趋于大管径、长距离,并逐渐建成成品油输送管网系统。施工技术在这期间得到了迅猛发展,出现了大吨位吊管机、冷弯管机、全自动焊机,机械化施工水平飞速发展。在 20 世纪 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施工技术达到了较高的水平,有许多好的经验和成熟技术可供借鉴^[5]。

我国是世界上最早开始管道施工的国家,其历史可以追溯到公元前 200 多年的秦汉时期建设的用于输送天然气和卤水的“筧”(一种用打通的竹节连接起来做的管道)。然而我国真正意义上的油气管道施工建设,是从 1958 年建设的克拉玛依至独山子炼油厂的输油管道开始的。从 20 世纪 50 年代至今,我国的油气管道施工经历了四个发展阶段。

初步阶段(1958—1974 年):这一时期,施工装备极其简陋,布管、吊管、管口组对机械化程度很低,基本上依赖于人工。组装设备为倒链和三脚架,焊接设备为普通电焊机。施工企业为了提高工效,减轻劳动强度,自行研制了简单施工工具,如对口卡具、运管爬犁、焊机爬犁、管子防腐预制作业线、拖拉机改装为吊管机等。管沟开挖回填全是由人工使用铁锹、镐头、大锤、钢钎等工具作业。

探索阶段(1975—1984 年):从 1975 年开始,陆续装备了一大批国内外成套设备,有了专用的运管车、抓管机、吊管机,管子防腐有了现场缠绕防腐作业机等;管沟开挖有了单斗、轮斗挖掘机;管子组装有了坡口机、砂轮机、内对口器等;焊接设备发展为履带二弧焊机、四弧焊机。1979 年克拉玛依至乌鲁木齐复线管道施工时,第一次实现了运管、布管、吊管、组对、管沟开挖和下沟回填等施工全过程的机械化一条龙流水作业,工效提高了 3~5 倍,使管道施工跃上一个新台阶。

发展阶段(1985—1990 年):这期间装备了半自动焊机、角焊机、大型推土机、大型抓管机、大型弯管机、大型水平定向钻机、沙漠越野车、防腐绝缘机等,提高了野外施工能力。

提升阶段(1991—2008年):这一时期,施工装备进行了更新和补充。有了先进的检测设备和试压、干燥专用设备,增添了大、中、小型水平定向钻机、盾构机、隧道凿岩机、管道全位置自动焊机、大口径管道坡口机、对口器和新型防腐作业线。适用于西气东输管道施工的系列设备,在大型化、机械化、自动化等先进性能方面上了新台阶。施工装备接近于国际先进水平^[6]。

到2008年,我国已建成油气长输管道 6×10^4 km,其中原油管道 1.7×10^4 km,成品油管道 1.2×10^4 km,天然气干线管道 3.1×10^4 km。已形成纵横东西、贯通南北、连接海外的管道网。到2020年油气长输管道干线将达 20×10^4 km,其中天然气管道干线将达到 10×10^4 km。目前管道建设趋向于长距离、大口径、大输量、高压、高钢质。施工质量与水平逐年提高,保证了管道运行的安全^[7]。

1.3.1 长输管道钢管的现状与发展

1.3.1.1 管线钢的强度等级

20世纪60年代,我国长输管道主要使用Q235与16锰钢带卷制的螺旋埋弧焊管用于输送原油与天然气。到20世纪90年代,随着大规模地建设高压长输管道,我国开始使用X52~X65强度等级的现代高压输送管线钢系列。20世纪末至21世纪初,开始研制并使用X70~X80强度等级的现代高压输送管线钢系列。管线钢强度等级的提高,可以减少用钢的数量,提高管道承压的强度,为长距离、大口径、高压长输管道的建设奠定了基础。

1.3.1.2 管线钢的钢种

我国在20世纪60年代开始,研制并生产了铁素体—珠光体管线钢。到21世纪初,我国跨入了大规模建设油气管道时代,这些高压油气管道在输送压力、输送量、管道用钢、管道安全等技术指标方面,必须与当代国际先进水平保持同步。在大规模建设西气东输管道工程时,我国凭借国内科研与生产的力量,自行研制了针状铁素体管线钢。这种钢是现代化高压输气管道的专用管线钢种。目前,大多采用X70~X80的强度等级。西气东输一线管道就是采用X70级的针状铁素体管线钢,西气东输管道二线采用的是X80级针状铁素体管线钢。目前,国内已开始试验X100~X120级的管线钢。

1.3.1.3 钢管的现状与发展

随着管道向高压和大口径方向发展,一般来说,在输气量可以准确预测的情况下,建设一条高压大口径管线比平行建几条低压小管线更为经济,因为输气管道的输送能力与管道直径的2.5次方成正比,所以,增大管径是提高管道输送能力的最有效措施。例如,一条管径914mm管道的输送量是管径304mm管道的17倍;一条直径为1420mm、输送压力为7.5MPa的输气管道,可代替3条直径为1016mm、输送压力为5.5MPa的管道,但前者可节省投资35%,节约钢材19%。目前,全球天然气管道直径在1000mm以上的超过 12×10^4 km,例如,俄罗斯天然气股份公司拥有的直径超过1000mm的长输管道约有 9×10^4 km,占其输气管道总长度的60%以上,前苏联通往欧洲的天然气管道干线直径为1420mm;著名的阿尔及利亚—意大利输气管道全长2506km,直径为1220mm;西气东输一线管道长4000km,直径为1016mm。

采用高强度等级的钢管对工程投资而言,将会获得更好的经济效益。高钢级管材的开发和应用可以减小壁厚,减轻管子的质量,并缩短焊接时间,从而大大降低钢材耗量和管道建

设成本。国外输气管道 X70 级管材已占主导地位, X80 级管材也已开始用于管道建设中。德国 Ruhrgas AG 公司在其 Hessen - 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%,而采用 X100 管子比采用 X65、X70 管子节约建设成本 10% ~ 12%。目前,加拿大、法国、中国等国家的输气管道已开始采用 X80 级管材。欧洲钢管公司(Europipe)和日本 NKK、新日铁、住友、川崎已开发出 X100 级管道钢管;埃克森、住友、新日铁正在共同进行 X120 级钢或 X125 级钢的研究,这种高强度钢管的屈服强度可达 861MPa 以上,可承受的工作压力达 35MPa。但是,钢级的提高同样会带来一系列的技术问题。首先,只有在运行压力大幅度提高时,才能提高钢级系数,否则厚度与管子直径比(t/D)下降,会导致钢管的刚性下降,这将使管道抵抗第三方破坏的能力下降,也就会对管道投产后的安全运营造成一定的隐患。其次,采用高钢级管材,管道运行压力大幅度提高后,阀门、管件、冷弯机等都要重新配套开发,特别是现场焊接技术将面临许多难以解决的问题,这些都将使新管道的建设承担很大风险。

此外,采用复合材料增强管道钢管刚性的技术也正在开发,即在高钢级管子外部包敷一层玻璃钢和合成树脂。采用这种管材,可以进一步提高管道的输送压力,降低建设成本,同时可增加管输量以及提高管子抵抗各种破坏的能力和安全性。因为当管材钢级超过 X120 或 X125 时,单纯依靠提高钢级来减少成本已十分困难,而必须采用复合材料增强管道钢管。

1.3.1.4 三种常见的钢管比较

螺旋埋弧焊钢管 HSAW 曾是我国管道建设主要采用的钢管,在我国的管道工业发展中曾得以大量使用。其优点和缺点比较明显,从国际管道工业发展上看,螺旋埋弧焊钢管有淘汰的趋势。

电阻焊 ERW 钢管发展虽然没有螺旋埋弧焊钢管的时间悠久,但也有数十年的历史。近年来,随着技术的进步,制造工艺不断完善,应用范围得到迅速扩展。在合适的直径范围内,ERW 钢管不仅可以用于陆上管道,还可以用于海底管道,甚至在北极的管道工程中也采用。

直缝埋弧焊钢管 LASW 的主要成型方法为 UOE 成型法(U 成型、O 成型、E 扩径)、JCOE 成型法(J 钢板压成 J 形,再依次压成 C 形和 O 形,后进行扩径),我国均有引进。利用 UOE 成型法生产焊管投资较大,而 JCOE 成型法生产焊管投资与产量较小,质量方面二者没有区别。在焊管市场上,LASW 仍然被认为是质量最好、可靠性最高的钢管。我国的长输管道在重要的地区如河流穿越段、大落差地段、经过地震区和活动断层地带的管道,难以抢修与维修的地段,越来越多地采用此种钢管。

1.3.2 管道的防腐结构的现状与发展

20 世纪初,管道采用以石油沥青为主的防腐材料。20 世纪 90 年代,国际上采用聚乙烯结构防腐层与环氧粉末、煤焦油瓷漆等的数量基本差不多。世纪之交时,三层 PE 结构与环氧粉末占据了主导地位。目前,国内长输管道建设的防腐结构,以三层 PE 结构为主,部分采用环氧粉末防腐结构。

1.3.2.1 三层 PE 结构与环氧粉末防腐层

我国的三层 PE 结构防腐层与环氧粉末防腐层是 20 世纪 90 年代初从国外引进的,并得到了广泛应用。所谓三层 PE 结构是指钢管的外部通过表面清理与除锈后进行加热,经环氧粉

末喷涂、胶黏剂/PE 缠绕后形成的防腐层;环氧粉末防腐层是指钢管的外部通过表面清理与除锈后进行加热,经环氧粉末喷涂后形成的防腐层。目前,国内的防腐厂大部分都在钢管厂设立,钢管制造完成后,即进入防腐厂进行防腐作业。

1.3.2.2 内减阻涂层

我国的内减阻涂层技术是 20 世纪末期开始进行大规模研制的,主要用于管道输送气体过程,可达到降低摩阻、增加管输量、降低管道运行综合成本的目的。其主要工艺是在清理干净管道内表面,通过钢管的旋转,将环氧涂料通过高压无气的喷枪喷涂在钢管的内表面,使钢管内表面形成高质量、连续光滑的有效涂层。管道内涂敷作业线主要由预热系统、内除锈系统、内喷涂系统、涂层固化系统组成。

随着长输管道技术的进步与发展,管道防腐技术也在进步与发展,新的防腐工艺及新材料也在不断地被研究出来。

1.3.3 管道施工装备及施工技术的现状与发展

改革开放前,中国油气管道的设计、施工、管理技术,沿用的是 20 世纪 50 年代的技术设备,设备效率低,能源消耗高,并且全是人工操作,比国外油气管道的设计、施工、管理技术水平落后了 50 多年。改革开放后,中国油气管道企业奋起直追,积极主动地学习国外先进技术和先进管理经验,用了不到 20 年的时间,就赶上了发达国家奋斗了 100 多年所达到的先进水平。到 2008 年,以建设的西气东输二线管道为标志,中国油气管道在设计、施工、管理等主要方面,已经从整体上达到了 20 世纪末的世界先进水平。自 80 年代以来,通过自主研制和引进技术,陆续给管道施工企业装备了扫线大推土机、布管下沟大吊管机和内外对口器、管口整形坡口机、单斗挖沟机等,并在克拉玛依—乌鲁木齐复线施工中,第一次实现了扫线、布管、对口、组装、挖沟、下沟一条龙机械化施工,比以前的三脚架吊管、导链对口、人力挖沟等施工方法,提高工效 5 倍左右。此后,又通过引进、消化和创新,组建了先进的穿越施工队,使管道穿越大江大河的速度提高了 3 倍以上;组建了半自动化、全自动化焊管机组,提高焊管速度 7 倍左右。到 2008 年,管道施工队伍年施工能力,由机械化施工前的 2000km,提高到机械化施工后的 10000km。目前,我国长输管道施工主要装备已达到了国际先进水平,从线路测量、管道组装与焊接、管沟开挖、管道下沟、盾构、顶管、定向钻穿越等均具备了专业化的施工机具,可以满足管道施工的全部需要。

1.3.3.1 管道焊接

焊接作为管道施工的重要一环,其现场焊接的高效率和安全可靠性在每条管道的建设中都具有举足轻重的作用。从国内 20 世纪 50 年代第一条长输管道建设开始,至今已有半个世纪,国内管道现场焊接施工大致经历了手工电弧焊上向焊、手工电弧焊下向焊、半自动焊和自动焊四个发展过程。

手工电弧焊下向焊是 20 世纪 90 年代初国内长输管道普遍采用的一种焊接工艺方法,突出优点是大电流、高焊速、根焊速度可达 $20 \sim 50\text{cm/min}$,焊接效率高。目前,手工电弧焊下向焊主要用于焊接位置较为困难的地段和焊接设备难以进入的地段。

半自动焊是电焊工手持半自动焊枪施焊,由送丝机构连续送丝的一种焊接方式。由于在焊接中送丝连续,节省了更换焊条时间等辅助工作时间,熔敷速度快,同时减少了焊接接头,减

少了焊接收弧、引弧产生的焊接缺陷,提高了焊接合格率,是长输管道主要的焊接方式。

自动焊是借助于机械和电气的方法使整个焊接过程实现自动化,人工主要从事监控作业。国内从西气东输工程开始,进行了自动焊的大面积应用。在新疆戈壁无人区等适宜于开展自动焊的地区,创造了机组日焊接 150 道口的不菲业绩。

未来的管道建设,为获得施工的高效率和高质量,将优先考虑熔化极气体保护自动焊工艺,进一步研制管道新一代的自动焊设备,以适应长输管道建设的发展速度。国外尚在使用闪光焊接设备,计算机技术应用于闪光焊接过程控制和参数控制。可编程控制器在闪光焊接中也得到了应用,最新发展的是具有自适应控制系统的闪光焊机,这种自适应控制系统通过监测焊接过程中各种焊接参数如电压、电流、压力、能量以及夹具送进速度等,与给定值进行比较,由计算机去修改焊接过程中的技术参数,大大提高了闪光焊的质量。与此同时,一些闪光焊接技术参数检测与记录装置也被研制出来,为闪光焊接质量检测和分析提供了手段。我国闪光焊接技术的研究起步较晚,整体水平还比较落后。

1.3.3.2 非开挖施工技术

在埋地管道的施工中,遇到穿越河流、公路、铁路与障碍物时,常规的施工方法存在许多问题,非开挖敷设地下管道是当今国际管道工程推行的一种先进施工方法,在国内得到了广泛使用。

我国近年来在长输管道的建设中大量采用盾构穿越技术,已有多条大型河流进行了盾构穿越。目前采用的盾构法穿越施工采用的主要设备是泥水加压平衡盾构机。

我国 20 世纪 70 年代末开始使用顶管穿越技术进行短距离的管道穿越。传统意义上的顶管施工以人工挖掘、千斤顶顶进为主。后来发展到用螺旋钻挖掘,继而由盾构法派生出的土压平衡法、泥水平衡法等大型顶管穿越技术,穿越距离可达到 1km 以上。由液压来控制切土帽以保证顶管的方向性,同时采用了中继顶进、激光测距、机头导向纠偏等手段用于顶进施工作业,解决了顶管的长距离和方向性的问题。

我国 1985 年首次从美国引进定向钻用于长输管道穿越黄河施工。近 20 年来,非开挖管道定向穿越在我国发展迅速,技术上日臻成熟,定向钻在非开挖管道穿越技术行业中得到了广泛的应用。我国 2008 年 1 月穿越珠海磨刀门水道总长为 2630m,创当时世界最长定向钻穿越纪录。著名的西气东输工程定向钻穿越河流 36 条。

管道定向穿越施工技术是一项由多学科、多技术、不同设备集成运用于一体的系统工程,在施工过程中任何一个环节出问题,都可能导致整个工程的失败,造成巨大的经济损失。定向穿越施工应用十分广泛,使得定向钻技术得到了长足的进步与发展。国际上已具有多种硬岩施工方法,如泥浆马达、顶部冲击、双管钻进,能进行软、硬岩层的施工。普遍采用 PLC 控制、电液比例控制技术、负荷传感系统,有专门的施工规划软件。

1.3.3.3 特殊地段管道敷设施工技术

我国的管道施工技术随着管道工业的快速发展,施工技术得到了长足的进步与发展,形成了一整套适用于长输管道的行业、企业标准规范与施工作业规程。

在施工中大量采用新技术、新工艺,在山区、黄土塬、戈壁、沙漠、无人区、水网地带形成了独特的施工方法与措施,使我国管道施工水平跻身于世界先进水平。

1.3.3.4 山区、黄土塬施工技术

山区、黄土塬地段,施工设备和管材运输困难,给管道施工带来诸多不便,尤其是山区陡坡地段管道安装更为困难。因此,有无施工便道、施工作业带的宽窄,是影响山区施工的主要问题。应根据管道走向、山势的特点和湿陷性的土质特点,开辟施工便道、施工作业带,以满足钢管运输、施工机具设备的通行要求;在山势陡峭机械设备无法到达的地方,采取悬索吊管、轻轨运管等布管工艺。根据地形组织适宜的组焊、安装施工方式,进行管道安装作业,在管道安装完成后组织进行完善的水土保护作业。

1.3.3.5 水网地段施工技术

水网地段的管道敷设类型主要包括水田施工、季节性湿地施工、盐碱性沼泽和常年积水的水塘施工等。由于地下水位高,作业带及施工便道修筑困难,钢管及施工设备运输不便,管沟开挖成型、管线下沟、回填困难。因此必须采用合理的施工工艺,如便道修筑技术、水上运输管材、拉森板桩支护工艺、深井降水施工工艺、挖泥船水下成沟施工工艺、沉管下沟施工工艺等,才能保证高效、高速、高质量地完成工程任务。

1.3.3.6 其他技术

欧美管道工业发达国家的大口径管道施工技术,在世界上处于领先地位。他们依靠高度专业化的流水作业、合理的工程方案和严格的组织管理,普遍掌握了一套先进的施工技术,拥有一整套自动化和机械化程度极高的施工装备,具体如下:(1)模块化施工技术,各类装置模块化设计全部实现通用化、标准化和系列化;(2)闪光对焊工艺,这是前苏联在大口径钢管焊接技术领域的创举,采用这项技术使得直径为1420mm、壁厚19mm的一道焊口,在任何恶劣气候条件下,3min内即可焊接成功;(3)先进的移动式预制厂,这种预制厂可以在施工现场对管子进行防腐绝缘施工,管子按照双连焊、三连焊施工,使工程进度大大提高;(4)先进的机械化施工装备,包括高速焊接机组、系列挖沟机、系列大型冷弯管机、系列吊管机、特重型运管机、履带式沼泽越野运输车等。

1.3.4 管道的检测

目前,我国的长输管道环焊缝无损检测技术主要采用了射线管道爬行器技术和管道环焊缝全自动超声波(AUT)技术。这些无损检测技术与国外检测技术保持了同步,特别是管道环焊缝全自动超声波技术,是近年来国际上新采用的管道检测技术。

1.3.4.1 射线管道爬行器技术

近年来,随着国内无损检测行业技术的不断发展,射线管道爬行器设备具有质量好、速度快、成本低等诸多优点,并且全部实现了国产化,已成为压力管道射线拍片不可缺少的检测设备。通常的射线检测都是采用人工X射线机管外曝光方式,但对大口径压力管道很难实现高效率射线照相检测。目前国内长输管道主要是依靠射线管道爬行器来实现射线探伤的。

射线管道爬行器是一种专业性很强的专用设备,生产和研制的国家不多,在这方面国内与世界最先进水平之间的差距也不是很大。其技术特点是:X射线产生装置,具有高压自动稳压能力,电动机无触点驱动,自动定位曝光,遥控定时调整功能,自动救护。

1.3.4.2 全自动超声波技术

全自动超声波技术在国外已大量应用于长输管道的环焊缝检测,目前,国内使用的AUT