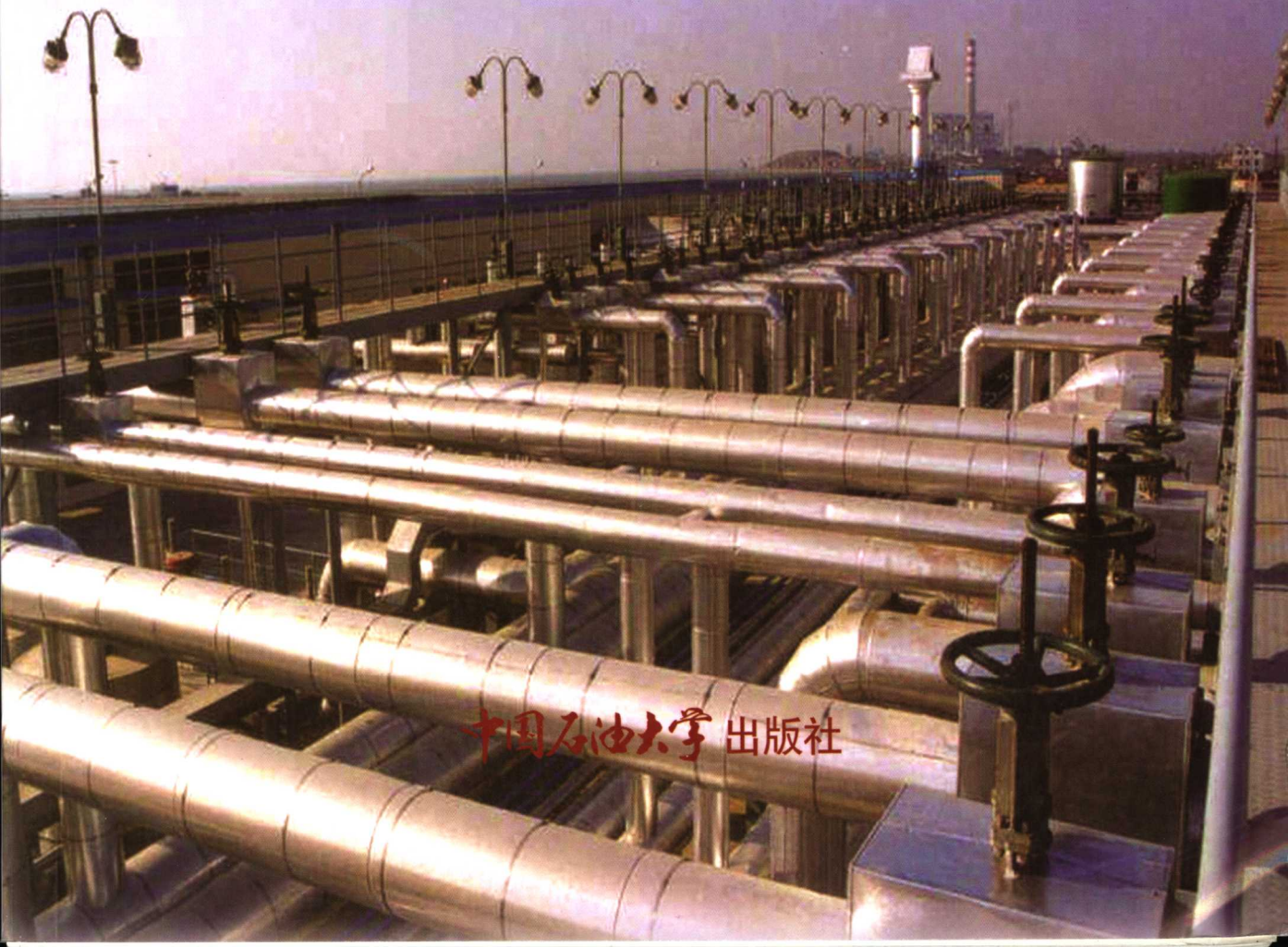


输送管道在线检测 安全评价及修复技术

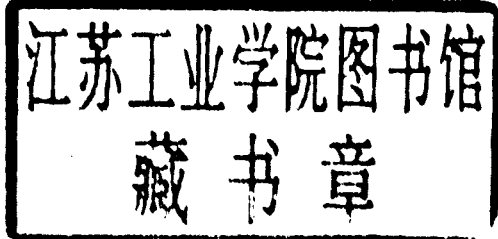
桑运水 刘鸿升 王 允 编著



中国石油大学出版社

输送管道在线检测 安全评价及修复技术

桑运水 刘鸿升 王允 编著



中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

输送管道在线检测、安全评价及修复技术/桑运水等编著.
—东营:中国石油大学出版社,2005.12

ISBN 7-5636-2132-6

I. 输... II. 桑... III. ① 管道运输:油气运输-检测
② 管道运输:油气运输-安全-评价 ③ 管道运输:油气运输-
检修 IV. TE832

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 130954 号

书 名: 输送管道在线检测、安全评价及修复技术
作 者: 桑运水 刘鸿升 王 允

责任编辑: 邵 云 (电话 0546-8391282)

封面设计: 傅荣治 (电话 0546-8391805)

出 版 者: 中国石油大学出版社 (山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://cbs.hdpu.edu.cn>

电子信箱: sanbian@mail.upc.edu.cn

排 版 者: 中国石油大学出版社排版中心

印 刷 者: 东营市新华印刷厂

发 行 者: 中国石油大学出版社 (电话 0546-8391797)

开 本: 185×260 印张: 16.625 字数: 426 千字

版 次: 2005 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

印 数: 1—800 册

定 价: 30.00 元

《输送管道在线检测
安全评价及修复技术》
编 委 会

顾 问	宋祥林		
主 任	桑运水		
副主任	刘鸿升	王 允	
编 委	(排名不分先后)		
	胡志敏	魏茂利	韩清国
	姜俊荣	肖文功	王泽浩
	王文成	翟广森	钱孟祥
	郭 刚	孙成赞	

序

长输管道运输与公路运输、水路运输、航空运输一起构成五大运输行业。在这五大运输行业中,对于流体介质而言,管道运输具有运输量大、密闭安全、连续稳定、便于管理、受地形地物限制小和运费较低的特点。因此,国内外长输管道的建设发展很快。伴随着国民经济的快速发展,我国长输管道的建设近年来也得到迅猛发展,管径越来越大,距离越来越长,输送介质也从原油、天然气发展到成品油。目前,世界上长输管道的总长度已超过 250×10^4 km,我国的长输管道已超过 2×10^4 km。

与其他运输方式相比,管道运输是比较安全的。但是,腐蚀、设计选材及施工质量、地质灾害及人为破坏等外界因素会使管道发生泄漏事故。管道发生泄漏事故就会造成巨大的经济损失、人员伤亡和环境污染。所以,管道运输的安全事关重大。

目前,以管道安全为目标的系统管理过程,内容已涉及管道设计、施工、运行的全过程,从管道投入运行开始,就应制定有效的管道维修计划。维修计划的内容主要包括三个方面,即定期对管道进行在线检测、利用检测结果对管道的安全性进行评价、根据评价结果做出管道的修复方案,以保证管道安全运行和运行寿命内的安全,减少经济损失,防止环境污染,达到在增强安全性的同时合理利用资源获取最大经济效益的目的。

我国目前还没有关于输送管道在线检测、安全评价及管道修复方面的专著。胜利油田石油化工有限公司编著的《输送管道在线检测、安全评价及修复技术》一书,就输送管道的在线检测、安全评价及管道修复进行了较为系统、详细的论述,及时填补了这方面的空白。

本书对大量国内外技术资料进行了搜集和整理,做到了概念科学准确、提法统一,该书的面世对从事管道设计、建设和运行管理的广大技术人员知识普及和提高提供了一部好教材,也为我国管道工业技术管理的标准化提供了重要的参考资料。

2005 年 11 月

目 录

绪论	1
一、管道运输的优越性	1
二、管道运输业的发展概况	1
三、油气管道的事故及其后果	3
四、静水压试验法的不科学性	4
五、管道的在线检测、安全评估和修复势在必行	4
第一章 输送管道的检测	7
第一节 管道缺陷及在线检测的目的	7
一、管道缺陷	7
二、检测目的	7
第二节 管道在线检测的方式和内容	8
一、检测方式	8
二、检测内容	9
第三节 管道的外检测	9
一、陆地管道外涂层完整性检测	9
二、陆地管道位置、走向及埋深检测	15
三、海底管道的外检测	17
第四节 管道的内检测	20
一、概述	21
二、变形检测器	23
三、直线度检测技术	24
四、路由及路由剖面检测技术	24
五、裂纹检测技术	24
六、中子源式外部情况检测技术	25
七、振动式掏空检测技术	26
八、腐蚀检测技术	26
九、泄漏检测技术	42
第二章 输送管道的安全性评价	69
第一节 管道的安全性评价模式	69
一、适用性评价模式	70
二、风险评价模式	71
三、完整性评价模式	87
四、管道可靠性评价模式	94
第二节 管道剩余寿命的评价	94

一、应用有限元法评价海底管道悬空、横移后的剩余寿命	95
二、应用 J 积分和弹塑性断裂理论评价低 pH 值环境下管道裂纹及剩余寿命	97
三、应用管材性能衰减模型评价片状腐蚀管道的剩余寿命	98
四、应用极值理论评价点状腐蚀管道的剩余寿命	102
五、应用有限元分析法评价腐蚀管道剩余寿命	103
六、应用 TGRC-ARSE 软件、TCP-FEM 数值分析法和全尺寸试验法 评价腐蚀管道的剩余寿命	107
七、应用 Z 形裂纹简化计算模型评价疲劳裂纹的寿命	112
八、应用有限元分析法评价裂纹管道失效	116
九、应用安全准则法和许用压力法评价单个腐蚀缺陷管道的安全工作压力	121
十、牺牲阳极块和涂层寿命评估的评价实例	131
十一、我国长输管道推行安全评价的必要性	133
第三章 管道的修复技术	137
第一节 管道内外涂层概述	138
一、外涂层	138
二、内涂层	142
三、钢管道表面清理	144
第二节 管道外修复技术	148
一、管道旧外涂层清理技术	148
二、外涂层修复	150
三、堵漏与加强	186
四、更换管段	193
第三节 管道内修复技术	195
一、管道内表面清理	196
二、管道内涂层局部修复技术	200
三、管道内涂层整体风送挤涂法	218
四、管道内衬塑料管修复法	224
五、复合衬里修复法	240
第四节 输送管道的稳定技术	246
一、水底及沼泽地管道的稳定技术	247
二、冻土地地区管道的稳定技术	253
参考文献	255

绪 论

一、管道运输的优越性

长输管道运输已经列入五大运输行业之一,这五大运输行业通常是指:铁路运输、公路运输、水路运输、航空运输及管道运输。

我们知道,在五大运输行业中,就油品及天然气的运输而言,水路运输(主要指海运)最为经济,但它受地理环境的制约与限制;公路运输量小且运费高,一般仅用于少量的、短途的运输;铁路运输成本较高、运输能力有限、油气专用车箱还往往要空载返回,可见,铁路运输油气不仅不经济(对于大量的油气运输),而且也使油气的运输量受到限制;石油产品的航空运输虽然快捷,但高昂的运费使其只有在极其特殊的情况下才偶尔被采用(如战争时期的空中加油)。

因此,对于石油及天然气行业而言,管道运输是最佳的选择。在国际上,原油、成品油、天然气及常温下呈现流体性质的各类化工产品的运输主要依靠长输管道的方式来实现。

与铁路运输、公路运输、水路运输等其他常用的运输方式相比,管道运输具有以下优点:

(1) 运输量大。例如,一条 D720 管道年输油量大约是 500×10^4 t, D1220 管道的年输油量约在 $1\,000 \times 10^4$ t 以上,其运输能力分别相当于一条铁路及两条双轨铁路的年运输量。

(2) 管道大部分埋设于地下,占地少,受地形地物的限制小,还可以缩短运输距离。

(3) 密闭安全,油气损耗小,无噪音,能够长期连续地稳定运行,不受气候的影响,对环境污染少。

(4) 便于管理,易于实现远程集中监控,而且现代化管道运输系统的自动化程度很高,劳动生产率高。

(5) 能耗少、运费低。在美国,长输管道输油的能耗约为铁路运输的 $1/7 \sim 1/12$,因此,管道运输方式是陆上运输方式中成本最低的一种。

其缺点是:仅适合于大量、单向、定点运输石油等流体货物,不如车、船等运输方式灵活。

从上述分析可以看出,管道运输是最安全、最经济的运输方式。

正是由于长输管道在输送流体介质时具有上述诸多优越性,因此,近年来长输管道的应用已不局限于石油及其产品、化工产品和天然气等介质的输送,而应用在更为广泛的领域,如煤浆、矿浆和其他介质的输送等。

二、管道运输业的发展概况

管道运输的发展与能源工业,特别是与石油天然气工业的发展密切相关。现代管道运输始于 19 世纪中叶,1865 年在美国宾夕法尼亚州建成了第一条原油输送管道,直径 50 mm,长近 10 km。实际上,直到 20 世纪初,管道运输才有了进一步发展,但真正具有现代规模的长距离原油管道则始于第二次世界大战。当时,美国因战争需要,建设了两条管径最大、距离最长的输油管道。一条是原油管道,管径为 600 mm,全长 2 158 km,日输原油 $47\,700\text{ m}^3$;另一条是成品油管道,管径 500 mm,包括支线全长 2 745 km,日输成品油 $37\,360\text{ m}^3$ 。战后随着石油工业的

发展,管道建设进入了一个新阶段,各产油国都建设了不少长距离输油管道。从20世纪60年代开始,输油管道向着大管径、长距离方向发展,前苏联—东欧的“友谊”原油管道和英国横贯阿拉斯加的输油管道就是两个典型代表。沙特阿拉伯的东—西原油管道和阿尔及利亚—突尼斯的原油管道都穿过了浩瀚的沙漠地区。随着英国北海油田的开发,兴建了一批海洋原油管道,最长的已达358 km,在深100多米的海底铺设,甚至在水深300多米的海洋开采石油。这些管道的建设成功,标志着管道已可以通过极为复杂的地质、地理条件与气候恶劣的地区。

我国第一条长输管道是1958年建于克拉玛依—独山子炼油厂的双线原油管道,全长300 km,管径159 mm。

20世纪70~80年代,随着大庆、胜利、华北、中原等油田的开发,我国先后兴建了贯穿东北、华北和华东的原油输送管道网,该管道网总长约5 000 km。东北地区的输油干线有:大庆—铁岭原油管道、大庆—铁岭原油管道复线、铁岭—大连原油管道、铁岭—秦皇岛输油管道等共计4条输油管道,这些管道的管径均为720 mm,共长2 181 km,形成了从大庆到秦皇岛和从大庆到大连的两大输油动脉,年输油能力为 $4\,000 \times 10^4$ t。其他地区的输油干线主要有:秦皇岛—北京原油管道,管径529 mm,长344 km;任丘—北京原油管道,管径529 mm,长120 km;东营—黄岛原油管道,管径529 mm,长250 km;任丘—临邑—仪征原油管道,管径529 mm,720 mm,长882 km。此外,在我国的河南、湖北、陕甘宁、青海和新疆等地区也铺设了一些原油长输管道。

随着技术水平的提高和对成品油需求的日益增加,成品油管道在我国也开始铺设。例如,20世纪60年代建于世界屋脊青藏高原上,穿过永久冻土带等地质条件极为复杂地区的格尔木—拉萨成品油管道,全长1 080 km,管径159 mm,主要输送汽油和柴油,是我国最长的一条顺序输送管道。此外,其他成品油管道如:抚顺炼油厂—八一圈成品油管道、镇海炼化—杭州康桥成品油管道工程。另外,兰州—成都—重庆成品油管道工程也已建成投产,大西南成品油管道工程已于2002年开工建设。

20世纪80年代中后期,由于对大气环境的要求逐步提高,导致了对天然气这种洁净能源需求的上升,也因此而掀起了我国天然气长输管道的建设高潮。在我国先后建成了中原油田—洛阳炼厂输气管道、中原油田—沧州炼厂输气管道、陕甘宁气田—北京输气管道、涩北—西宁—兰州输气管道、沧州—淄博天然气管道等等。目前,西气东输管道、四川忠县—武汉天然气管道工程以及陕—京输气管道复线、永清—石家庄—邯郸天然气管道等已相继建成或在建,中俄管道建设在即。

应特别指出的是,西气东输管道是西起塔里木盆地的轮南,东至上海市西郊的白鹤镇,全长约4 000 km的输气管道,在输送距离、输送量、输送压力和管道直径诸方面创下了我国天然气输送管道的新记录,2004年底已经全线投入商业运营。

我国海底管道的铺设历史较短。1973年才首次在山东黄岛采用漂浮法铺设了3条500 m长的管道,随后又于1985年由渤海石油海上工程公司采用漂浮法在埕北油田铺设了1.6 km长的海底管道。十多年来,已经先后在渤海的埕岛油田、惠州、茂名等海域和地区铺设了几十条海底管道,已铺设和正在铺设的海底管道累计总长度将超过2 000 km。

我国已建成的各类管道总长大约为35 000 km,正在铺设和计划铺设的管道也有数千千米,油田的集输管网及炼厂、城市的管网已累计达数万千米。

现在,石油的勘探和开发已达到相当高的程度,今后的趋势是开发沙漠、高原、滩海和深水大陆架等环境和条件比较恶劣地区的油田。预计我国1998~2005年将有超过700 km长的海

底管道投入运营。

目前,我国的现役长输管道已达到几万千米,约占世界长输管道总长度的1%。我国的原油储量在世界上排在第5位,原油产量在世界上也排第5位,管道建设与我国经济发展相比,还相对落后,不能适应经济发展的需求,必须加快发展。

三、油气管道的事故及其后果

1. 腐蚀引起的管道事故

油气管道遭受腐蚀(包括外腐蚀和内腐蚀)后,一方面遭腐蚀的管道强度会降低,形成事故隐患;另一方面腐蚀会造成管道穿孔、油气泄漏,从而造成经济损失和环境污染。由中国腐蚀与防护学会、中国石油学会和中国化工学会组成的联合调查组所提供的数据表明,各行各业由于腐蚀造成的损失平均约占国民生产总值的3%,而石油与石化行业尤为严重,约占到总产值的6%左右。中国石油工业所报废的石油管材每年价值100亿元左右,其中大部分都是因为腐蚀而报废。例如:

1971年5月,四川威(远)一(都)天然气管道因为腐蚀破裂而导致爆炸,造成直接经济损失7000万元。

1971年5月至1986年2月间,四川天然气管网因腐蚀导致爆炸事故83次,第一次事故就造成24人伤亡。1991年1月25日川东油田因 H_2S 腐蚀造成井喷,死亡2人,伤7人,同时给当地的水资源和生态环境造成严重的影响。

1988年英国阿尔法平台因腐蚀破坏而发生天然气爆炸,造成166人死亡,北海油田年减产12%。

1989年,前苏联乌拉尔山发生的一次输气管道爆裂事故,形成迄今全世界最长的输气管道裂纹(长13 km),损失惨重,造成了1024人伤亡。

2. 地质灾害等外界因素引起的管道事故

地质灾害(地震、水灾、泥石流、山体滑坡等)也是造成油气管道不安全的重要隐患。长距离的油气输送管道,会涉及较多的地区,各地的自然地理环境、地质结构及其变化各不相同,也给管道的安全运行造成不同的威胁。

地震会造成管道基础不均匀下沉,管道底部可能会被掏空,严重时管道会被冲断。

地震诱发的次生灾害所造成的损失也是巨大的。这些次生灾害包括,油气水管道爆裂、油气火灾、电力短路火灾、房屋倒塌、水库崩溃、瘟疫流行等。例如:

1923年日本关东地区发生8.2级大地震,煤气管道断裂造成的火灾延续3天2夜,整个横滨市被付之一炬,东京市也被毁掉2/3。1976年唐山大地震使跨越滦河的公路桥被震垮,管道断裂,上千吨原油流入大海。

1980年,四川自贡一成都输气干线建成后就遇到了一场暴雨,黄石板地段发生滑坡,危及到当地管道的安全,滑坡地段难于恢复,为了安全起见,管道被迫改线,经济损失严重。

1984年,因连降大雨,上游石河水库突然放水,将铁一秦输油管道穿越石河段冲断,近3000 t原油流入大海,不仅造成了严重的经济损失,而且严重污染了海洋。

1994年7月,长庆油田元城一悦乐输油管道遭受当地70年不遇的大洪水,随之而来的柔远川上游的泥石流把管道冲毁达26处,占全线的35%,并且管道多处被拉断。

外界因素还有人为破坏(例如,因盗油而破坏管道)、施工时挖断陆地管道、船舶抛锚或疏浚海底时挂断海底管道、水力冲蚀以及渔业捕捞等,这些都会造成管道的各种损伤和缺陷,甚

至造成断裂或泄漏等事故。

3. 施工质量不合格或选材不当引起的管道事故

施工中焊接质量不合格造成焊缝处强度不够;或者设计时,所选管材的韧性不够,难以遏制裂纹的扩展。这些都是管道事故的隐患。

例如,1988年,沧一临输油管道距沧州站2 km处跨越水渠的钢套管,因设计不合理而引起工作管爆裂,爆裂尺寸为56 cm×21 cm,600 t原油流入水渠。

另外,外涂层的施工质量不合格(尤其是外涂层的补口质量差),外涂层的结构设计不合理(例如,聚乙烯层与管道之间未设计防腐层),或外涂层补口的材料选择不合理(例如,用压敏型聚乙烯胶粘带为聚乙烯防腐管补口),都会使管道外表面遭受腐蚀而导致管道事故。这种事故的例子不胜枚举。

正确评价各种损伤和缺陷对管道的强度、寿命以及安全性的影响,对于保障油气管道安全运行、避免经济损失和对生态的破坏具有非常重要的现时意义。

四、静水压试验法的不科学性

要了解管道的情况,就必须对管道进行检测。过去,管道的检测是采用静水压试验。然而,静水压试验不能保证一条受腐蚀管道将来的完整性。如果把管道将来的安全运行依赖于静水压试验,就会出现许多技术和实际问题。这些问题是:

(1) 静水压试验法不能检测出最终会发展成泄漏的小而深的腐蚀坑。如果静水压试验阶段没有发生破坏,就无法知道管道是否存在缺陷。

(2) 研究表明,受严重腐蚀、静水压试验中承受的压力达到其屈服强度的管道,试验后,在相当于许用应力61%的工作压力下便可能发生破裂。

(3) 静水压试验不能提供有关腐蚀增长率的数据。

(4) 对于运行中的管道,采用静水压试验时,要求管道完成“停运、试验、再运行”等过程,这会给管道公司带来巨大的经济损失。

可见,对运行中的管道来说,静水压试验不是科学、可靠的方法,必须寻找科学、可靠的检测方法。

五、管道的在线检测、安全评价和修复势在必行

目前,各国的管道经营公司都采用智能检测工具或自动检测系统进行管道在线检测,并可以精确地检测出管道缺陷的位置和大小,管道不必停输。

从管道投入运行开始,就应制定有效的管道维修计划。维修计划的一部分就是定期对管道进行在线检测,包括变形检测、直线度检测、路由检测、腐蚀检测和泄漏检测等,并利用检测结果对管道的安全性进行评价,保证管道安全运行和运行寿命内的安全,以减少经济损失,防止环境污染,尤其是海洋环境的污染。

国外相关法律规定,新建管道必须于当年进行基线检测,老管道每3~5年检测一次。我国经贸委于2000年4月24日发布第17号令,规定国内新建管道建成2年内进行基线检测,已服役的旧管道7~8年检测一次。

现役油气管道安全性评价是一件复杂的多学科工作,涉及材料、物理、化学、力学、地质和管道工程等方面的知识和研究成果。目前,许多研究分支还处于初创阶段,需要汇集多学科的研究成果,才能有效地解决问题,减少损失,促进石油天然气工业的发展。

本书在搜集大量资料的基础上力求在输送管道的在线检测、安全评价及修复方面形成比较统一、系统的概念。

第一章 输送管道的检测

第一节 管道缺陷及在线检测的目的

我们在绪论中已经举例说明了腐蚀、施工质量、管材和外部因素是引起管道事故的主要原因。除因焊接质量不合格造成的泄漏事故可以在管道投产前的整体试压中或者在管道运行初期便可发现外,其他原因引起的管道事故往往是先使管道出现缺陷,随着运行时间的延长,这些缺陷会发展成事故。所以,我们先从管道的缺陷开始介绍。

一、管道缺陷

由上述可见,管道缺陷是造成管道事故的原因。根据产生的方式,管道缺陷可分为直接缺陷和间接缺陷。

1. 直接缺陷

管道的直接缺陷可以分成以下4类:

(1) 几何形状异常

几何形状异常主要指凹痕、椭圆或皱褶等,一般由外力破坏引起。例如,运输时钢管的碰撞、地面挖掘、船只抛锚或海底疏浚。

(2) 防腐层损坏或剥离

防腐层损坏或剥离主要由施工质量不好、自然环境恶劣、水及腐蚀介质的渗透或浸泡、外力冲击破坏、土壤应力、热循环及阴极剥离等引起。

(3) 金属损失

金属损失主要指内腐蚀和外腐蚀。外力破坏(例如挖掘机或船锚钩挂使管道产生划痕)也可能引起金属损失。

(4) 裂纹或类似裂纹

裂纹可大致分为以下四种:

① 疲劳裂纹;② 应力腐蚀裂纹;③ 氢脆裂纹;④ 硫化物应力腐蚀裂纹。

直接缺陷对管道或管段的完整性有直接影响。

2. 间接缺陷

间接缺陷主要指管道内、外涂层的设计缺陷或阴极保护系统的缺陷,与内、外涂层的材料或阴极保护系统受到的破坏或产生的故障有关。间接缺陷会影响管道未来的完整性。如果不对这类缺陷加以控制,将发展成直接缺陷,最终造成泄漏。

二、检测目的

管道的在线检测是指在不停输的情况下对管道进行的检测,其目的是通过检测了解管道当前的状态。根据检测结果,即管道当前的状态,对发现的各种缺陷进行分类,对缺陷的程度

进行分级和评价(主要是对管道内腐蚀状况与重大缺陷进行评价),用以防止缺陷的发生与发展(尤其是间接缺陷),采取措施使管道存在的缺陷和危害点(段)及时得到控制和消除,并提出相应的维修计划,在管道达到破坏临界值之前进行修复或更换。有些管道在线检测前需进行清管,把附着在管壁上的油垢、蜡状粘合物及水化物等清除干净,使检测工具的所有传感器探头能紧贴管壁,以取得真实的检测数据。

总之,管道检测的目的是通过对管道内、外的定期和特殊检测,揭示管道存在的各种缺陷,保证管道运行安全,防止泄漏和污染,保护环境。

第二节 管道在线检测的方式和内容

一、检测方式

1. 按不同的运行时期划分

按运行时期划分,管道事故的发生可分为三个阶段:

(1) 投产初期的事故多发阶段

这一阶段一般为新管道建成投产后的6个月至2年,事故发生率为每年每千千米5次左右。本阶段出现的管道事故主要与管材质量、焊接质量及施工质量有关。

(2) 正常运行的稳定工作阶段

这一阶段一般为管道投产后15年至20年以内,事故发生率为每年每千千米2次左右。本阶段出现的管道事故多由腐蚀和外力破坏造成。

(3) 运行后期的事故上升阶段

这一阶段一般在管道运行15年至20年后,事故发生率为每年每千千米5次以上,而且事故的发生有意外性,修复困难。在本阶段,腐蚀(尤其是内腐蚀)和磨损使管道事故的发生率明显上升。

如前所述,管道在不同的运行时期,出现事故的概率也不同。前期和后期出现事故的概率比较大,中期出现事故的概率比较小。所以,在不同的运行时期,检测的内容和时间间隔也不相同。

按不同的运行时期,管道的检测可以分为投产前检测、定期检测和特殊检测:

投产前检测是在管道铺设后、投产前进行的检测。

定期检测是管道运行期间,按管道系统规范的规定每隔2~4年对管道进行的定期检测,有的规范要求每年进行一次定期检测。

特殊检测是在管道运行期间,遭受地震、大风暴或严重机械损伤后进行的检测。

2. 按管道内外划分

按管道内外划分,管道检测可分为内检测和外检测。

所谓内检测,就是将智能检测器放在管道内部,在被输送介质的推动下,完成管道内、外缺陷的检测。

所谓外检测,就是检测工具放在管道外面,主要完成对管道埋设情况、阴极保护系统工作情况等的检测。

在运行中,管道会受到外部环境和内外腐蚀等因素的损伤或破坏。所以,应根据管道运行的实际情况,决定进行管道内检测或管道外检测。

实际上,无论在哪个运行时期进行的检测,都可能是外检测或内检测。例如,在投产前进行的内检测,可称为投产前内检测;在管道运行期间进行的内检测,可称为定期内检测;被船锚钩挂后进行的外检测,可称为船锚钩挂外检测。

其中,内检测通常是指管道不停输的在线检测。

二、检测内容

管道系统可以认为是由相互关联的分系统组成的,它们是钢管道、阴极保护系统、内外涂层体系(包括海底管道的混凝土加重层)等。

1. 外检测

管道的外检测内容包括:

(1) 埋设状态:检查管道的埋设深度,看是否稳固地埋入地下或海床下。

(2) 冲刷及悬空(对于海底管道和穿越河流与湖泊的管道,不可避免地要受到冲刷,甚至出现悬空。冲刷主要与水流和波浪等动力因素和水底土壤力学特性有关):检查冲刷的范围与位置,管道是否形成了悬空,评估冲刷的发展趋势及对管道的影响。

(3) 阳极块:检查阳极块的位置,看其是否脱落或损伤,并测量其消耗情况。

(4) 外涂层损伤:检查管道外涂层或海底管道混凝土加重层是否被剥离或破坏,以及被剥离或破坏的程度。

(5) 周围杂物:检查海底管道或穿越河流与湖泊的管道周围是否有渔网、锚链、石块等有害杂物。

(6) 水底:检查海底管道或穿越河流与湖泊的管道周围水底土壤的性质和移动情况。

2. 内检测

管道的内检测内容包括:

(1) 内表面和焊缝的几何形状缺陷:缺陷的类别、严重程度、分布位置等。

(2) 内表面和焊缝裂纹:裂纹的大小和方向以及位置等。

(3) 路由及路由剖面:埋设情况、路由稳定情况以及海底管道或穿越河流与湖泊管道的掏空情况。

(4) 管内表面腐蚀:腐蚀的种类、范围、位置与分布以及严重程度。

(5) 泄漏:泄漏的位置、泄漏量以及对管道造成的影响。

对不同时期及不同的检查要求,管道的检查项目及侧重点也有所不同。一般来说,在管道运行的早期和运行的后期,需要增加对管道检测的项目和频率。

第三节 管道外检测

一、陆地管道外涂层完整性检测

1. 概述

目前,陆地长输管道外涂层完整性的检测和维修要比海底管道容易。但是,随着维修技术和设备的不断发展,海底管道外涂层的维修也即将变得与在陆地上一样容易。

埋地钢管道的外涂层体系一般由外涂层(有的称为覆盖层,为统一起见,本书称为外涂层)和阴极保护系统来共同承担,两者相辅相成,互为补充。外涂层是腐蚀控制的第一道防线,它

的作用是将管道与周围土壤中的电解质溶液隔离开,即消除了腐蚀电池的三要素之一——与电解质接触。阴极保护是腐蚀控制的第二道防线,通过阴极极化将金属表面腐蚀电池的阴、阳极电位趋向一致,消除腐蚀电池的三要素之二——阴、阳极间的电位差。

外涂层的完整性和绝缘性与阴极保护有着直接关系。完整性和绝缘性越好阴极保护电流密度就越小,反之则越大。对于埋地钢管道而言,用投产后的阴极保护参数来评价覆盖层的质量是一个直观可靠的好方法。

目前,关于反映阴极保护电流密度的外涂层参数的名称不太一致,例如,“覆盖层面积电阻”、“覆盖层电阻率”、“覆盖层电阻”、“覆盖层绝缘性能参数”等,美国称为“覆盖层泄漏电导”。不管叫什么名字,它的单位都是统一的,即 $\Omega \cdot \text{m}^2$,本书称为“外涂层绝缘性能参数”。

外涂层绝缘性能参数的测试方法很多,但归纳起来有两种,即直流法和交流法。

直流法主要指直流电流-电位法,交流法主要指交流信号衰减法和地面电位电场法。

应当指出,这些方法都是属于间接检测,工作人员需要仔细测量和分析才能得到较可靠的数据。另外,在良好的阴极保护下,管道有时也会发生腐蚀。所以,通过对外涂层的检测来判断管道的腐蚀状况不是最理想的方法。

2. 直流电流-电位法

这一方法是美国 NACE 测试方法(NACE Rubrication 2D157 Methods for Measuring Leakage Conductance of Coating on Buried or Submerged Pipeline)的代表,国内标准(SY/T 0023—97 埋地钢质管道阴极保护参数测试方法、SY/T 5918—94 埋地钢质管道沥青防腐层大修技术规定、SY/T 6063—94 埋地钢质管道外防腐层电阻率现场测量技术规定)中也做了规定,其原理是通过阴极电流的衰减及电位偏移来计算其外涂层绝缘性能参数。这一方法有以下三种表达形式:一般法、衰减常数法及电流密度法。

(1) 一般法

通过向被测管道通以阴极保护电流,使其阴极极化。然后测其电流和电位偏移的差别,根据所测到的基本参数计算出管段的外涂层绝缘性能参数。其原理图见图 1-1。

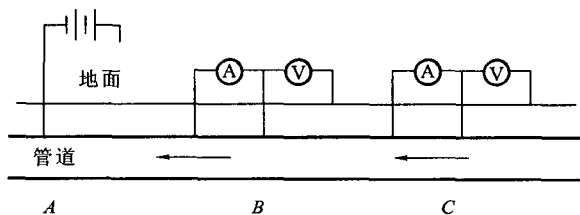


图 1-1 直流电流-电位法原理图

在图 1-1 中 A 点放置一台带有通/断装置的直流电源,向管道输送阴极电流,在 B 点和 C 点测其管中电流,两者之差为 ΔI ,并在 B 点和 C 点测其相对远方大地的通/断状态下的管道对大地的电位偏移,两者之差为 ΔE 。这样就可以计算出该段管道中电流的损耗为 $\Delta I_B - \Delta I_C$,平均电位偏移为 $(\Delta E_B + \Delta E_C)/2$,则该段管道的泄漏电阻为:

$$R = (\Delta E_B + \Delta E_C)/2(\Delta I_B - \Delta I_C) \quad (1-1)$$

R 值与该段管道表面积之积便是外涂层绝缘性能参数 R_g 。

注意事项:

- ① B、C 两点电流值相差必须显著,一般要求两者之比至少是 2:1。
- ② B、C 两点的两个 ΔE 值必须相差不多,否则其算术平均值不能贴近真实的平均电位偏