

油气管道 地面检测技术与 案例分析

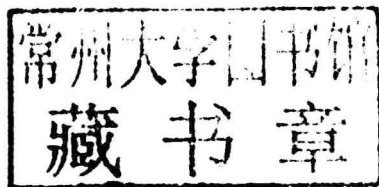
石仁委 主编

中國石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

油气管道地面检测技术与 案例分析

石仁委 主编



中国石化出版社

内 容 提 要

本书以案例分析的形式,重点介绍了油田集输管网、油气长输管道地面检测的方案编制、检测作业实施的组织方式、检测工作程序、检测方法、仪器操作技巧、数据处理与分析、现场特殊情况处置、结论依据与说明、隐患整改方案以及报告编制案例等内容;结合实际介绍了金属与非金属管道探测定位、坐标测绘、管道外防腐层性能(如老化、剥离程度等)检测分级、防腐层破损点检测与程度分级、阴极保护效果检测、杂散电流检测、管道应力异常检测、导波检测、管体腐蚀地面非接触式检测等技术、方法以及主要适用仪器、国内外相关标准。本书所选案例均为工程实践中典型的、有代表性的案例,内容丰富翔实,具有很强的实用性、指导性和可操作性。

本书可作为管道检测、管道巡线、管道运行及管理人员的工作参考书,也可供管道输送技术研究人员、检测仪器研发人员、地球物理勘探人员、地籍测绘人员、管道腐蚀与防护研究工作者以及大专院校的师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

油气管道地面检测技术与案例分析/石仁委主编.
—北京:中国石化出版社,2012.6
ISBN 978-7-5114-1547-9

I. ①油… II. ①石… III. ①石油管道-管道检测②
天然气管道-管道检测 IV. ①TE973.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 095105 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 18.5 印张 464 千字
2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷
定价:52.00 元

前 言

自从1865年美国在宾夕法尼亚建成第一条原油管道，管道输送就进入人们的生活之中，我国也于1958年建成了第一条自己的长输管道——克拉玛依-独山子输油管道。随着我国经济的快速持续发展，油气管道作为油气田生产过程中不可缺少的组成部分以及油气外输主要输送方式、油气运销中实现高效分配的重要手段，已经成为可以与公路、铁路、水运、航空运输并驾齐驱的重要基础设施。目前，我国已经建成约12万公里的各种油气田集输管网，近10万公里的原油、天然气、成品油长输管道。预计到2020年我国长输油气管道总里程将超过20万公里。

油气管道在国民经济中占有重要的基础地位，不仅是油气输送的主要方式和油气企业有待认识与开发的效益增长点，还是可以实现大范围连网运行、具有潜在价值的新兴运输行业。同时，对其安全与环保的监控更需要引入新的理念和手段。

无论是欧美等发达国家还是发展中国家，油气管道的事故教训都是相当惨痛的。尼日利亚1998年10月18日由于火灾导致的输油管爆炸，造成1000多人死亡。根据国家安监总局有关文件通报，近年来涉及油气管道的事故时有发生，油气管道安全运行面临着非常严峻的形势。2004年10月6日陕京线靖边出站189[#]桩处，当地施工队进行挖土作业将管线损坏，发生天然气泄漏，造成管线停气28.5小时，直接危及到向北京市供气；2006年1月20日，中国石油西南油气田分公司仁寿县富加输气站输气管线发生爆炸事故，造成10人死亡。为应对严峻的输油气管道安全形势，强化油气田及输油气管道的安全保护工作，国家多次组织输油气管道等专项隐患排查工作，国务院办公厅以国办发[2003]67号转发公安部等8个部门开展整治油气田及输油气管道生产治安秩序专项行动。自2003年以来，经国务院同意，由公安部牵头，国家发改委等部门参加，成立了全国油气田及输油气管道安全保护工作部际联席会议（简称部际联席会议），连续多年组织开展整治输油气管道生产治安秩序专项行动。重点是依法加强对输油气管道安全运行的监督检查，加强对占压输油气管道等事故隐患的排查工作，切实提高输油气管道的本质安全度。

安全整治固然重要，但是，如果没有手段发现与查找事故隐患，安全整治的实际效果就会大打折扣。因此，遵循先进的管理理念，运用科学的技术与手段，保障管道安全可靠运行成为油气管道企业的重要职责。

随着管道里程的不断延伸以及人们对事故的反思，管道检测与评价作为保障管道安全可靠运行的基础工作越来越被各管道企业所重视。美国在1968年颁布的《天然气管道安全法案》和1979年颁布的《危险液体管道法案》，欧盟颁布的《高压气体管道规程》、《压力管道技术规范》、《压力系统与运输气体容器规程》等都将管道检、监测列为管道运行管理以及安全评价的主要技术手段。各种管道检测评价理论、技术、方法也在管道建设迅速发展的环境下，获得不断的进步与提高。在具体检测技术上，除了外防腐层检测等基本的检测技术以

外,近年来,基于漏磁或超声的管道内检测技术和超声导波检测技术在欧美的应用也趋于普遍。

在国内,随着经济的发展和技术的进步,以《中华人民共和国石油天然气管道保护法》、《石油天然气管道保护条例》、《特种设备安全监察条例》、《石油天然气安全规程》、《埋地钢质管道阴极保护技术规范》、《埋地钢质管道腐蚀与防护检测技术规程》等为主体的法律法规标准体系,也将管道的定期检测评价作为规定内容之一。人们已经认识到:无论输送什么介质的油气管道,不实施检测与评价,管道运行的安全环保风险就无法控制。管道检测正在从过去的试验性检测、探索性检测向定期、全覆盖式检测与评价方式过渡;管道检测的技术指标、项目内容、评价方式也随着技术的进步与经济发展不断提高、丰富、深化;管道检测评价报告已经不再是简单地为了满足法律法规的管理要求,更重要的是为了给管道的安全可靠运行提供实际的指导,同时还是管道企业进行管道维修、维护、更新甚至调整运行参数、改变保护方式的主要决策依据。

本书结合胜利油田技术检测中心十余年来从事的上万公里的油田各种集输管网检测评价、中国石化内部各种原油、天然气、成品油长输管道检测评价、上海等地城市燃气等公用工程管网检测评价的实践经验,以目前最为实用的油气管道地面检测评价技术为主线,通过对典型管道检测案例的详细介绍,系统地叙述、分析了涉及我国东、中、西三个油田的各种集输管网以及涉及原油长输、天然气长输、成品油长输管道地面检测的方案设计、实施过程、检测方法、操作技巧、数据处理与分析、特殊情况处理、检测结论、隐患整改建议等内容;介绍了管道地面检测与评价涉及的主要理论、技术、方法、分析软件、仪器设备、作业流程、适用标准,并结合案例进行了具体的示范;从基本理论、实现方法、仪器开发等多个侧面,探索了目前管道地面检测技术的发展方向,并结合胜利油田腐蚀与防护研究所的具体研究试验分析了目前的技术瓶颈与突破途径。

本书由中国石化胜利技术检测中心(胜利油田腐蚀与防护研究所)的工程技术人员共同编写。具体分工如下:石仁委担任本书主编,并负责编写大纲、第1章第2、3节具体编写和全书定稿工作;王遂平负责第1章第6节、第2章第1、3节编写工作;龙媛媛负责第1章第4节、第2章第2节编写以及全书校核工作;姬杰负责第1章第1、5节编写工作;杨勇负责第3章编写工作;刘超负责第2章第4节编写工作;孙振华负责第2章第5节编写工作;刘瑾负责附录中管道地面检测适用标准摘编工作;另外,杨为刚、谭小林、陈凯等工程技术人员也参与了本书部分章节的资料搜集与编写工作。本书由中国石化股份有限公司油田事业部教授级高级工程师王立坤同志担任主审。

感谢胜利油田、中原油田、西北油田分公司以及中国石化管道储运公司潍坊输油管理处、中国石化华东销售分公司管道油库处、中国石化天然气川气东送管道分公司、榆济管道分公司等相关单位和部门给我们提供的相关资料以及实践机会。感谢胜利技术检测中心领导的支持以及给我们提出过有价值观点的朋友们。最后,我们要特别感谢胜利油田腐蚀与防护研究所的全体同仁以及各业务协作单位对我们工作的支持和帮助。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不当之处,敬请读者批评指正。

目 录

第1章 油气集输管道地面检测技术与案例分析	(1)
1.1 油气集输管网地面检测概述	(1)
1.1.1 油气集输管网的现状、隐患与问题	(1)
1.1.2 开展油气集输管网地面检测的意义	(2)
1.1.3 检测工作思路、检测项目与常用仪器	(3)
1.1.4 地面探测技术	(9)
1.1.5 外防腐层检测技术	(13)
1.1.6 管体腐蚀损伤 TEM 地面检测技术	(17)
1.1.7 泄漏及盗点检测判别技术	(21)
1.1.8 上下管、平行管、交叉管、分支点、搭接点、变深点、截止点判别技术	(25)
1.1.9 集输管网检测的实际成效与作用	(28)
1.2 河东线地面检测案例分析	(31)
1.2.1 项目概况	(31)
1.2.2 检测过程回顾	(31)
1.2.3 检测结论与分析	(40)
1.2.4 经验与体会	(44)
1.2.5 几点建议	(45)
1.3 胜三区集输管网地面检测案例分析	(46)
1.3.1 项目概况	(46)
1.3.2 检测与评价方案	(47)
1.3.3 检测过程回顾	(49)
1.3.4 检测结论与分析	(57)
1.3.5 经验与体会	(58)
1.3.6 几点建议	(59)
1.4 胜利油田繁华路段输油管道微量渗漏抢险检测案例分析	(60)
1.4.1 项目概况	(60)
1.4.2 检测过程回顾	(61)
1.4.3 发现问题与泄漏点判别	(67)
1.4.4 检测结论与分析	(68)
1.4.5 经验与体会	(69)
1.4.6 几点建议	(70)
1.5 塔河油田三区、四区原油外输管道检测案例分析	(71)
1.5.1 项目概况	(71)
1.5.2 检测方案	(72)
1.5.3 检测过程回顾	(73)
1.5.4 检测结论与分析	(74)
1.5.5 经验与体会	(77)

1.5.6	几点建议	(77)
1.6	中开线(主复线)穿越黄河管段检测案例分析	(78)
1.6.1	项目概况	(78)
1.6.2	检测与评价方案	(79)
1.6.3	检测过程回顾	(80)
1.6.4	现场实际检测工作经验总结	(82)
1.6.5	检测结论与分析	(90)
1.6.6	经验与体会	(92)
第2章	油气长输管道地面检测技术与案例分析	(93)
2.1	油气长输管道地面检测概述	(93)
2.1.1	长输管道的特点	(93)
2.1.2	开展油气长输管道地面检测工作的必要性	(93)
2.1.3	检测工作思路、检测项目与常用仪器	(94)
2.1.4	油气长输管道地面检测的常用技术与方法概述	(96)
2.1.5	阴极保护检测技术	(100)
2.1.6	杂散电流检测技术	(103)
2.1.7	磁应力检测技术	(105)
2.1.8	导波检测技术	(106)
2.1.9	输气管道内腐蚀评估技术	(109)
2.2	华北三条原油长输管道地面检测案例分析	(110)
2.2.1	项目概况	(110)
2.2.2	检测过程回顾	(111)
2.2.3	数据分析与处理	(118)
2.2.4	检测结论与分析	(141)
2.2.5	经验与体会	(142)
2.2.6	几点建议	(143)
附录	检测评价报告汇总表	(144)
2.3	川气东送管道(鄂西管段)地面检测案例分析	(150)
2.3.1	项目概况	(150)
2.3.2	检测与评价方案	(151)
2.3.3	检测过程回顾	(153)
2.3.4	现场实际检测工作经验总结	(155)
2.3.5	检测结论与分析	(163)
2.3.6	经验与体会	(170)
2.3.7	几点建议	(171)
2.4	中济线地面检测案例分析	(171)
2.4.1	项目概况	(171)
2.4.2	检测与评价方案	(172)
2.4.3	检测过程回顾	(179)
2.4.4	检测结论与分析	(190)
2.4.5	经验与体会	(197)

2.4.6	几点建议	(198)
附录	检测评价报告汇总页	(199)
2.5	苏南成品油管道地面检测案例分析	(201)
2.5.1	项目概况	(201)
2.5.2	检测过程回顾	(204)
2.5.3	检测结论与分析	(210)
2.5.4	经验与体会	(216)
2.5.5	几点建议	(219)
第3章	油气管道地面检测新技术	(224)
3.1	交流电压梯度检测数据校正技术	(224)
3.1.1	交流电压梯度检测原理及检测数据影响因素分析	(224)
3.1.2	交流电压梯度检测试验研究及数据校正	(227)
3.1.3	交流电压梯度数据校正技术应用案例	(231)
3.2	金属磁记忆检测技术	(233)
3.2.1	金属磁记忆检测原理	(233)
3.2.2	金属磁记忆检测技术特点及常用检测设备	(235)
3.2.3	金属磁记忆检测技术应用案例	(237)
3.3	瞬变电磁检测技术	(245)
3.3.1	瞬变电磁检测原理	(245)
3.3.2	瞬变电磁检测系统构成	(245)
3.3.3	连续式全覆盖瞬变电磁管道检测技术	(246)
3.3.4	运用信号聚焦式加载技术提高瞬变电磁检测精度	(248)
3.3.5	改进后的瞬变电磁检测技术应用案例	(251)
3.4	超声导波检测技术	(253)
3.4.1	超声导波检测原理	(254)
3.4.2	超声导波检测系统构成	(256)
3.4.3	超声导波信号处理及数据分析技术	(257)
3.4.4	超声导波检测技术应用案例	(258)
附录	管道检测常用的标准及法规摘录	(267)
附录A	管道探测与占压检测	(267)
附录B	管线敷设环境的检测	(269)
附录C	防腐层检测	(270)
附录D	防腐层修复	(275)
附录E	管体检测	(275)
附录F	阴极保护效果检测	(281)
附录G	磁应力检测	(283)
附录H	泄漏检测	(283)
附录I	开挖验证	(283)
参考文献		(285)

第1章 油气集输管道地面检测技术与案例分析

1.1 油气集输管网地面检测概述

油气集输管网是连接油气田地面其他生产工艺设施的纽带,从油气田的油气井到分布在矿场各处的计量站、联合站、矿场原油库、油气外输首站之间所有输送油、气的管道,无论是输送处理过的纯净油气还是未处理过的混合油气的管道都纳入集输管网的范畴。从管道地面检测与评价的角度来看,油气田的注水、注气(含蒸汽)管道的非井下部分也与集输管网没有本质的区别,因此,本章的论述中,对油气集输管网与注水注气管网不再另外区分。

1.1.1 油气集输管网的现状、隐患与问题

油气集输管网一般是根据地下勘探确定的可采储量以及预计开采年限等因素进行规划的,考虑油田油气地面汇集、计量、处理、输送条件和工艺的千差万别,相对而言,管道规格多、管径小、单线距离短,单位长度投资成本低、建造工期短,因此无论是管材质量、施工质量相对长输管道都有不小的差距。油气集输管网点多面广、单线短,服役环境、工况条件、规格型号以及材质、施工与防护类型等情况千差万别,整体建设标准低,基础资料信息缺乏、管理难度大,维护与更新改造工作普遍跟不上。以胜利油田在用的集输管网系统为例,共有各类管道 20293 条、12313km,注水管线 7913 条、5030km;按口径来分,大约有 5500 余公里的油、气、水(含污水、注水)重点干支线,另有单井管线及小口径(150mm 以下)支线约 12000km。这些集输管道分布在山东省的东营、滨州、德州、济南、潍坊等 5 地市 28 个区县境内,可谓纵横交错、种类繁多、数量庞大,单线短、节点多,隐患丛生。

由于投产时间长,年年扩增,不断改造,部分管网走向和具体分布状况不清楚,既没有明确的标识,也缺乏资料,无法给巡线提供可靠明确的方向,增加了无效劳动。更可怕的是,事故处理时不能确切知道地下管网的详细情况,导致事故应急代价倍增。2007 年 5 月发生在东部某油田原油泄漏事故,就出动了数百人的队伍,连续排查 13 个昼夜,影响城市交通半月有余,才基本搞清原因,费用高达 2000 余万元。另外一起泄漏事故,则因同样的原因使得事故发现和排查困难,导致该市中国联通、电信和供电公司等多家企业的缆沟积满原油,给这些单位的安全生产造成直接威胁。

胜利油田腐蚀与防护研究所 2004~2006 年对胜利油田 8 个采油厂约 800km 地面管网进行腐蚀与其他安全隐患的检测评价,共检测出外防护层破损点或泄漏点达 4049 处(其中,因盗油、盗气而导致的破损或泄漏点占 10%~20%,农田水利建设以及其他后续建设导致的破损或泄漏点约占 25%左右,跨越河沟或其他裸露导致破损或泄漏点占 20%左右,其余 35%~45%属老化以及原始缺陷等所致),平均每公里 5 处,严重者平均每公里 10~30 处。如孤一联至孤岛首站输气管道 18.89km,破损点和漏气点 204 处,辛三至辛二混输管线仅 4km,就存在 106 处防腐层破损点和原油渗漏点,这些点是腐蚀发生的主要温床。检测中还发现,大量平常很少出现过漏油漏气因而未引起人们关注的区段存在严重的管体腐蚀问题。

不少区段或点位管壁厚度只剩下1~2mm,随时都有穿孔泄漏甚至管道爆裂的可能。如2007年太行山路一集油管线在夏季就连续爆管3次,每次都需要暂时关井,使采油厂本就紧张的原油生产形势更是雪上加霜。根据油田腐蚀与防护研究所的调研:2004~2006年的三年间,仅某个采油厂的一个采油矿就发生穿孔漏油事故5190次,漏失原油4551t;某采油厂一个矿在2004~2006年间就因腐蚀泄漏原油而造成直接经济损失超过1800万元;原102配-基地总配3.7km的输气管道,每天损失气量1万m³,年损失约350万元。另据相关调查报告介绍,胜利油田注水管网每年因腐蚀和结垢造成的损失也高达3773.64万元。

地面管道隐患不清楚的状况,同样会影响油田安全、环保与节能。地处渤海湾畔黄河入海口的一个采油厂,自从20世纪90年代的一次风暴潮将海堤冲垮后,整个油区一直浸泡在海水中,数百公里的集输管网随时都有腐蚀穿孔泄漏的危险。若不定期检测并根据数据变化情况提前采取措施,等到到处穿孔泄漏之时,轻者可能导致部分油井停产,重者将使渤海湾海域受到污染,后果极其严重。例如,为了保证王家岗至现河首站23.9km稠油输送管道的正常输送,始端处每天消耗大量天然气将被输稠油加热到86~90℃,可是末端只有43℃,为了确保输送不得不继续提高始端温度和输送泵压,消耗了大量能源,增加了管道爆裂的危险。为了查明原因并解决高能耗的问题,2007年3月对管道进行了全面检测,终于发现了问题的原因:一是在距始端5km处,有个接转站将温度在55℃左右的另一条输油管道直接接到该稠油输送管道,二者混合后导致大约15℃左右的温降;二是在管线经过的六户镇地区,村民将一条输水管道紧挨该管道并行埋设,且在后者施工时将油田的稠油输送管道保温层破坏大约2km,又导致了大约20℃左右的温降;三是其他区段多处保温层破损导致了热能损失。

油气集输管网由于生产环境以及投资强度低、维护成本紧张等原因普遍安全可靠性能差、隐患丛生、治理难度大,目前这种情况在我国具有普遍性。

1.1.2 开展油气集输管网地面检测的意义

集输管网由于基本属于埋地敷设,因此存在的众多隐患并不能仅仅依靠巡线观察来发现,而是要通过一定的科学手段进行检测和分析,才能发现并确定隐患的严重程度。解决问题的途径有三种办法,一是实施内检测来确定,二是全线开挖并配合相应的仪器如超声波测厚、电火花扫描的方式来确定,三是采用本书主张的地面检测的办法来实现。第一种方式受制于油气集输管网管径狭小、管距短、接头多且不规范,实施起来存在技术难度,并且卡管会影响油气正常生产;第二种方式则本身带有一定的破坏性,且费工费时;第三种方式即地面检测评价的方式由于方便快捷、实施起来不会影响管网正常运行、不会对管线造成不必要的损坏而得到了人们的重视。

开展油气集输管网地面检测的意义在于:系统地开展油气田地面管网的腐蚀与防护状况检测评价,可以提前发现各种隐患损伤,为加强监测、重点巡线监护、预防事故发生以及防止隐患扩大、提高事故处理效率从而减少损失等提供技术支持;通过检测,确定各种隐患缺陷的具体性质、程度、位置,有助于减少维护维修工作的盲目性,提高针对性;通过检测评价,更是减少投资浪费的必要技术途径。

没有科学的检测评价方法,管道的腐蚀状况只能由生产单位进行定性描述,不能作定量的分析,精确性差,更换的目的性模糊。一条管线可能只是部分或局部腐蚀严重,由于缺乏检测数据无法准确作出整体评价与鉴定,而只能全部更换,从而造成很大浪费。如临盘首站至滨南首站70多公里的外输管线曾经因频繁穿孔而报废重建,可等旧管线挖出后才发现85%以上的管段完好如新,原来腐蚀穿孔只是频繁地在一些人为破坏、施工异常处和管线特

殊部位发生的。也有部分管线在运行期间穿孔并不频繁，没有引起人们足够的重视，最后却因为沿整个管线的均匀腐蚀（严格地讲应是一种分布较均匀的局部腐蚀）未被及时发现而造成了严重的后果。大量事故既与腐蚀有关又不完全相关。开展油气集输管道腐蚀状况的检测势在必行。

综观当今工业发达国家的经验，一般都是新建管道投产以后即对其技术状况进行跟踪检测，在管体裂缝扩大和腐蚀发展到发生泄漏之前就发现并主动进行整治修复。这虽然也耗费一定的资金，但要比管道穿孔以后进行抢修的代价小得多。相对而言，国内还主要停留在泄漏后被迫进行抢修阶段。经验和教训表明：我们必须改变这种粗放式的经营管理思路。随着经济的持续高速发展，人们已经逐步认识到开展管道腐蚀检测、科学评价管道运行状态，提前预测预防管道事故的重要性。胜利油田、大庆油田、克拉玛依油田、中原油田等国家主力油田近几年纷纷开展了管道腐蚀检测与评价技术的研究与实践，并取得了初步的经验。与此同时，国家经贸委于2000年4月24日发布十七号令，第三十四条规定石油管道应当定期进行全面检测。2003年经贸委发布三百七十三号令再次提出了相关的要求。2010年我国正式出台了《中华人民共和国石油天然气管道保护法》，从法律的高度提出了对油气管道开展检测评价的要求。

1.1.3 检测工作思路、检测项目与常用仪器

1. 检测工作思路

油气集输管道的特点决定了我们虽然可以借鉴国内外已有的长输管道检测方法与吸收部分无损检测精华，但是仍然不能完全照搬长输管道的内检与外检的方法，更不能选择我国各地技术监督系统针对地面以上工艺管网的检验方法或新建管道的无损检测方法。围绕如何搞好油气集输管网腐蚀损伤检测与评价问题，胜利油田腐蚀与防护研究所等单位，结合目前国内外的最新研究成果，在不开挖且不会形成停输风险的情况下，通过地面检测的方式，形成了对地下管道腐蚀损伤与防护状况的检测评价方法体系。

虽然管道内壁腐蚀检测能更准确地评价管体的腐蚀状况，也是许多从事管道剩余使用寿命预测与安全评价的专家们极力推荐的方法，但是，考虑到油田生产管道大都埋在地下，管径小且对接不规范、变径、变壁厚、分支接头、拐弯多等原因，智能清管器检测管体内壁的腐蚀在长距离大管径的输送管道上优势明显，可在国内各油田内部的生产管网上试验成功的先例较少，而且检测费用比较高，需要建设专门的收发球装置。目前管道金属蚀失量评价法，即利用TEM（瞬变电磁）手段检测评价埋地管道的剩余管壁厚度的技术，通过国内学者、现场技术人员多年的研究探索，已经有了一定的经验，在一定范围内可以取代替管道内壁腐蚀检测手段，并且比智能清管器使用起来方便简单，因此选择该技术作为评价管体腐蚀状况、特别是大面积腐蚀的主要检测手段之一是比较现实的；而频域电磁法检测管道的外防腐层和管线腐蚀穿孔问题相对也比较成功，在实践中选择该技术作为埋地管道防腐（保温）层状况评价与破损、缺陷点检测的主要方法；为了方便检测后对检测所发现隐患损伤进行维修维护处理，管线的探测与定位测绘是管道检测必不可少的一环；考虑到打孔盗油盗气是油气生产企业最关心的问题，研究探索盗油盗气点检测技术与方法，是油气集输管网目前检测评价中绕不过去的关键技术问题。

上述四个方面的检测技术与方法是目前油气集输管网地面检测的基本技术与方法。至于地磁应力检测、超声导波检测、阴极保护检测、杂散电流检测对于集输管网而言，在现阶段还不是非常必需。随着我国整体经济实力的增长、节能环保要求的提高，这些检测技术也会被越来越多的油气生产企业所接受，并自然而然地逐步成为集输管网检测评价的方法。

从现场检测实际情况看，目前管道检测可分为单根管道检测评价与管网检测评价两大类。管网相对复杂，由于资料缺乏、部分资料与实际状况不符，因此检测难度较大。二者检测思路相同之处为：管道原始资料审查—现场勘探—制定管道检测方案—实地检测—数据分析—加密、重叠测量—排除干扰无效数据—局部开挖验证—全面评价管道腐蚀状况与安全性—编制报告并提出管道维修、更换等方案。不同之处为：由于管网的复杂性，管道数量多，并行管道、交叉管道、管道三通、上下管错综复杂，给管道的探测带来较大难度，同时也给数据采集造成一定的干扰，需要对部分数据进行综合分析，多次进行加密测量，采取有效办法剔除干扰无效数据。

2. 检测项目与常用仪器

1) 探管、坐标测绘

(1) 常用仪器

探管常用仪器主要有 RD4000 管线探测仪、探地雷达等，测绘主要有手持式 GPS、全站仪、动态差分 RTK 等，见图 1.1-1 ~ 图 1.1-4。主要检测或测绘项目有管道位置、走向、定位检测(包括管道特征点探查、标志，拐点、变深点、变坡点、阀门、分支、计量间、配水间等建构物标注)和坐标测绘及绘制管道图。



图 1.1-1 手持式 GPS

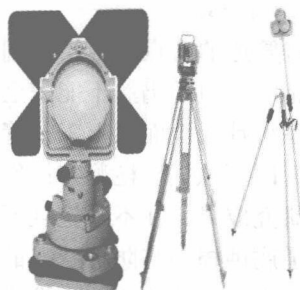


图 1.1-2 全站仪

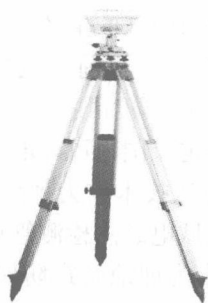


图 1.1-3 HD5800G 基准站

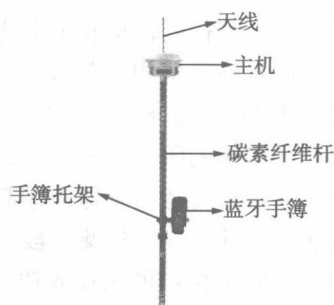


图 1.1-4 HD5800G 移动站

(2) 管道测绘(探测)应用实例

【实例 1】 如图 1.1-5 所示，管道沿线存在多处占压，给管道的安全运行带来隐患。

【实例 2】 对特殊管段偏移状况进行探测，如图 1.1-6 所示，某主线穿越黄河管段存在明显水平偏移，最大偏移量 31.1m。

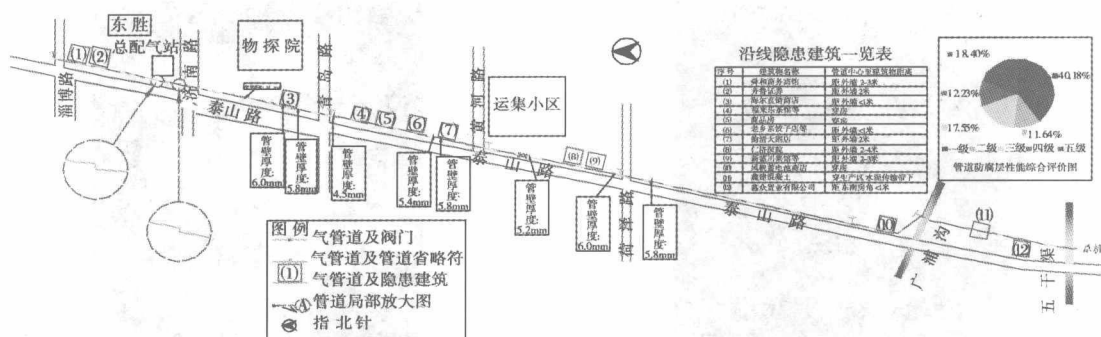


图 1.1-5 某管道存在多处违章建筑占压

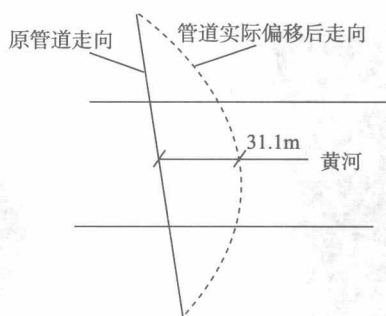


图 1.1-6 某管道存在明显水平偏移

2) 外防腐层检测

(1) 常用仪器

外防腐层检测常用仪器主要有 PCM(PCM⁺) 管道电流测绘系统、C-SCAN 埋地管道检测系统、DCVG 直流电位梯度仪等, 见图 1.1-7 ~ 图 1.1-10。主要检测项目有外防腐层性能评价及管道破损点检测。

(2) 管道外防腐层性能评价主要内容

① 电流衰减检测。在管线的一端加载信号, 设加载信号处为 0 点, 然后从 0 点向管线另一端, 每隔确定好的点距(如 25m)对管线进行一次精确定位, 同时在定位处读取并记录一组电流值, 一直检测到管线另一端。检测过程中每次定位读取数据后, 在读数位置做上标记, 以备查找。

② 数据分析计算。根据采集的电流读数计算出每个点距间外防腐层绝缘电阻率与视电容率大小, 依据相关标准, 对被测管线进行分级评价。

③ 根据检测结果对异常管段或易腐蚀区域进行加密测量。加密测量点距通常为 5m, 特殊情况下可以采用 1m 点距加密测量提高准确性。

(3) 管道外防腐层破损点检测内容

① 根据防腐层检测结果, 对管道防腐层破损点实施电位梯度法检测。沿着管线的实际位置, 每隔 2~3m 查找一次变向点(地表电位零值点), 直到检测完全部管线。

② 对检测出的管道全线破损点(段)位置精确定位, 同时做出地物标识。对每个点(段)的破损级别量化分级。当电流噪声 > 40dB 时, 管道破损缺陷被定义为破损点(段); 当电流噪声 > 70dB 时管道破损缺陷成为管道风险点, 所有风险点均打桩标记, 以待日后测绘坐标。



图 1.1-7 RD-PCM 电流测绘系统

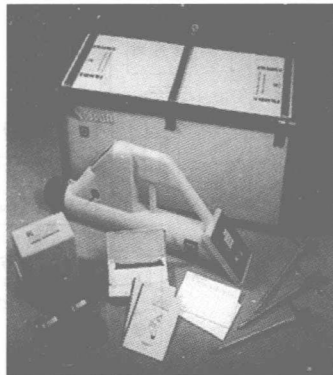


图 1.1-8 C-SCAN 埋地管道检测系统



图 1.1-9 DCVG 直流电位梯度仪



图 1.1-10 DCVG 现场检测

(4) 外防腐层检测实例

【实例 1】利用 PCM 双频准确检出黄夹克管道充水剥离。某采油厂一条黄夹克防腐保温输油管道，投产运行近 30 年，利用绝缘电阻率值评价为一级，利用视电容率评价为五级。经开挖后发现整段管道的防腐保温层充水、剥离严重，使用超声波直接测量，腐蚀区域最小壁厚仅剩 2.48mm，该处管线随时都可能发生穿孔泄漏事故，见图 1.1-11。



图 1.1-11 某管道外防腐层充水，剥离管体腐蚀严重

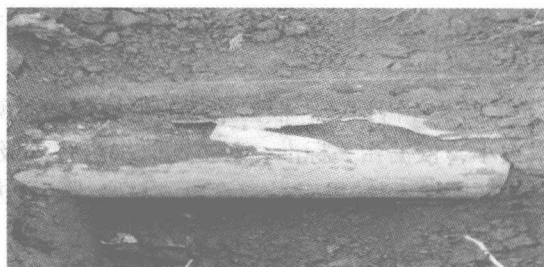


图 1.1-12 某稠油输送管道与民用输水管道紧挨并行敷设，且多处破损

【实例 2】查明管道能量消耗原因，提高管道安全运行。某稠油输送管道，为了保证稠油顺利输送，始端处每天消耗大量天然气将被输稠油加热到 86~90℃，可是到了末端只有 43℃，为了确保输送不得不继续提高始端温度和输送泵压，消耗了大量能源，增加了管

道爆裂的危险。通过检测发现村民用输水管道紧挨该管道并行埋设,致使油田管线成为了民用输水管道的伴热管,导致温度降低约 30℃,见图 1.1-12;另外其他区段多处保温层破损导致的热能损失约 10℃。

3) 管体检测

(1) 常用仪器

管体检测常用仪器主要有超声波测厚仪、管道腐蚀智能检测仪(TEM)、超声导波(TELETEST)、金属磁记忆检测系统(MMM)、全数字超声波探伤仪、手持式便携金属光谱分析仪、管道爬行器等,见图 1.1-13~图 1.1-17。主要检测项目可分为外检测和内检测。外检测技术是指近几年刚刚出现的以管道不开挖、不停输为前提的,通过对管道加载电磁变化信号,分析管道腐蚀状况特征的方法。内检测是应用各种检测技术真实地检测和记录管道内腐蚀状况。超声导波与金属磁记忆检测技术详见本书第 2 章 2.1 节。



图 1.1-13 超声波测厚仪

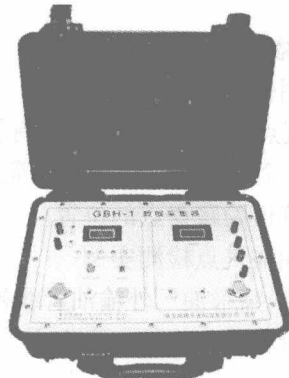


图 1.1-14 管道腐蚀智能检测仪

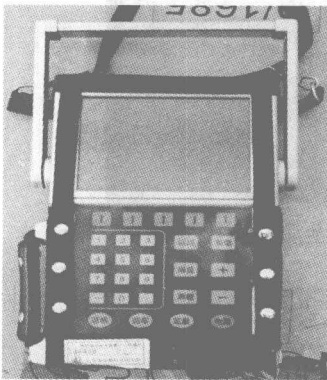


图 1.1-15 全数字超声波探伤仪



图 1.1-16 便携金属光谱分析仪

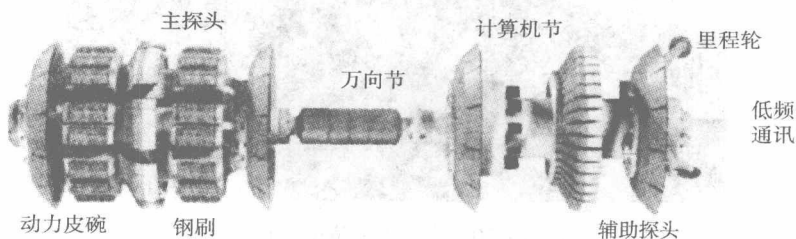


图 1.1-17 管道爬行器

(2) 管体检测实例

通过管体检测，及时发现壁厚减薄点(风险点)，对其进行加固补强或更换，保证管道安全运行。见图 1.1-18，某混输管道腐蚀严重，壁厚最小值为 1.89mm，有随时穿孔危险。

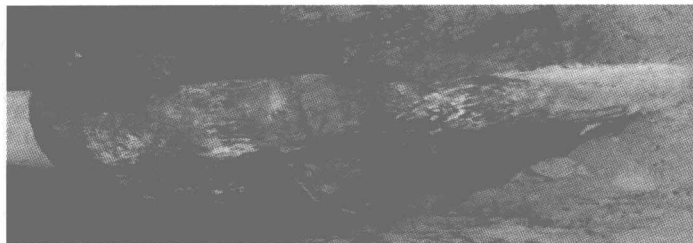


图 1.1-18 某混输管道严重腐蚀图片

4) 盗油盗气点检测

(1) 常用仪器

盗油盗气点检测常用仪器主要有管道电流测绘系统 PCM、直流电位梯度仪 DCVG、GBH-智能检测仪、金属磁记忆检测系统等。主要检测项目是通过有效的技术手段，及时检测、准确查找埋地管道隐藏盗点的位置。

(2) 盗油盗气点检测实例

【实例 1】某采油厂外输油管线被打卡子盗油，始终找不到卡子具体位置，严重影响了管道安全运行和采油厂的正常生产，经过检测该卡子位于水中芦苇池内，见图 1.1-19。



图 1.1-19 盗油卡子位于芦苇池内

【实例 2】某输油处原油外输管道频繁被盗油，一夜报警 23 次，经过检测该卡子位于一水沟边，见图 1.1-20。

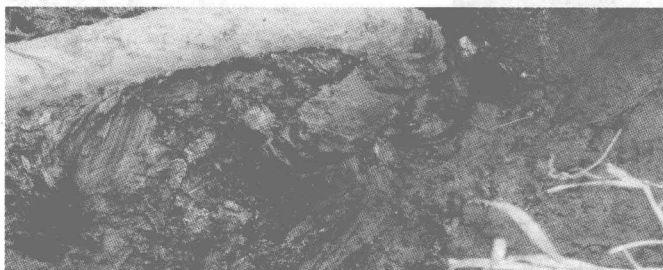


图 1.1-20 盗油卡子位于一水沟边

1.1.4 地面探测技术

1. 管道探测的定义

应用地球物理勘探的方法确定埋地管线属性、空间位置的全过程，统称为埋地管道探测。

其原理是埋地管道的存在会改变天然的或人为产生的地球物理场的分布，即产生异常。其实质就是利用各种地下管线本身所具有的、与周围介质不同的物理特性以及与周围环境特征的关系，研究这些异常的形态、分布、形状来查找埋地管线的空间状态，即对埋地管线平面位置、走向和纵向埋深进行精确定位和测量。

2. 管线探测必须具备的条件

- (1) 被探测的地下管线与其周围介质之间有明显的物性差异；
- (2) 被探测的地下管线所产生的异常有足够的强度；
- (3) 能从干扰背景中清楚地分辨出被查管线所产生的异常；
- (4) 探测精度能达到规定的要求。

3. 地下管线探查应遵循的原则

- (1) 根据现场目标管线的物理特性，选择合适的探测方法和仪器；
- (2) 根据现场情况优先采用轻便、有效、低速、低成本的方法；
- (3) 遵循从已知到未知的原则。不论采用何种物探方法，都应在正式投入使用之前，在区内已知地下管线敷设情况的地方进行方法试验，评价其方法的有效性和精度，然后再推广到未知区开展探查工作；

- (4) 遵循从简单到复杂的探测原则。在一个地区开展探查工作时，应首先选择管道数量少、干扰少、条件比较简单的区域开展工作，然后逐步推进到条件相对复杂的地区。

- (5) 在现场条件复杂或干扰较大时，宜采用多种激发方式或多种探测方法综合定位，提高探测精度。

4. 管道探测的基本程序

- (1) 现场踏勘，了解现场管线的走向、沿线地理特征和人文环境，并尽可能收集已有的埋地管道资料和控制资料，选择合适的探测仪器和探测方法。

- (2) 现场确定管线的起点、转折点、变坡点、变径点、多通点、终点等管线特征点，同时建议每隔 150~300m 无特征点时，要布设直线控制点。

- (3) 用 GPS 全球定位系统在管道的特征位置上采集管道的经度、纬度数据。管道特征位置包括：管道的所有端点、三通、拐点、测试桩等。

- (4) 根据所有管道特征点参数，绘制管道平面图。管道平面图中包含管道绝对坐标图（经纬度）、拐点、三通、测试桩和管道沿线标志物等信息。

5. 管道探测主要技术指标

- (1) 探测精度：水平定位误差 $\leq \pm 10\text{cm}$ （相对于管线中心轴线），管线埋深中误差 $\leq \pm 0.1H$ （ H 为埋深）；

- (2) 测量定位精度：坐标误差 $\leq \pm 5\text{m}$ ；

- (3) 资料整理错误率： $\leq 0.5\%$ 。

6. 管道探测主要方法

1) 方法分类