

管道检测技术培训教材

地下管道电磁无损检测 与隐患故障诊断

袁厚明 主编

中國石化出版社

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

管道检测技术培训教材

地下管道电磁无损检测 与隐患故障诊断

袁厚明 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书是在总结三十年来电磁理论应用于地下管线检测仪器研发、管道检测技术培训及管线检测工程实践的基础上,参考了国内外大量资料 and 标准、规范编著而成。全书共6章,主要包括:管道电磁基础知识、地下管线电磁场分布特性及影响因素、地下管线电磁探测技术、地下管道电磁无损检测技术、地下管道隐患故障电磁诊断技术等。

本书可供地下管道检测、管道设计施工、管道市政规划管理、管道工程监理、安全监督、管线管理、管道检测仪器开发、制造和电磁理论研究等人员使用,可作为地下管道检测技术培训教材和教学参考书,也可供大专院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

地下管道电磁无损检测与隐患故障诊断 / 袁厚明主编.
—北京:中国石化出版社,2013.6
ISBN 978-7-5114-2142-5

I. ①地… II. ①袁… III. ①地下管道-电磁检验-无损检验②地下管道-故障诊断 IV. ①TU990.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 114261 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 15.75 印张 384 千字

2013 年 6 月第 1 版 2013 年 6 月第 1 次印刷

定价:48.00 元

《地下管道电磁无损检测与隐患故障诊断》

编委会

主 编 袁厚明

副主编 黄碧海 张贵喜

编 委 张汉春 孙 应 区福邦 李永光 刘健君

林守江 董绍华 向家盈 常贵宁 严大凡

王明生 林维正 王家康 杨卫东 杨守玉

彭 雷 叶宇峰 周凤林 李永年 任吉林

施哲雄 王春起 李 强 陈崇祺 徐长虹

罗金恒 肖祥正 王维斌 陈光明 方 波

俞蓉蓉 刘风章 侯祥东 肖国俊 董 燕

审 稿 杨立增 鲁永康

前 言

作为国民经济五大运输部门之一的管道运输，近年来迅速发展，随着西气东输二线、俄气南供、陕京复线、忠武线、兰成渝成品油管线、西南成品油管线、甬沪宁成品油管道、冀鲁宁管线、仪长管线等重大工程的实施，我国油气管道干线联网的雏形已经形成。管道运输在国民经济运输中的比重，是衡量一个国家文明发达程度的重要标志之一。

早期兴建的东北输油管线、鲁宁线、环川天然气管线以及各油田内部的集输管线，各城市的供水、供气、供热管线，已经到了运行寿命的中后期，不少管线已因腐蚀发生穿孔，引起泄漏。随着油价的上升，社会上一些不法分子铤而走险，打孔盗油在我国各主要油田均有发生，油、水、气管线泄漏引起管线修复费用、介质损失费用、环境污染费用、气体爆炸造成人身伤亡医疗赔偿费用等，使得管道运输企业的成本居高不下，严重影响了正常生产。

我国的地下管线检测技术研究严重滞后于管道发展形势的需要，国家已投入了一定的资金成立了专门机构。信息检索表明，迄今为止还没有一本以电磁理论为基础，全面、系统地介绍地下管线无损检测技术的书籍，大量报道性文章散见于不同的杂志报刊之中，也有相当数量的论文是重复的。

利用超声、磁感、涡流、射线、渗透等原理，对管道进行直接接触检测，我国的无损检测部门已经进行了深入的研究，并取得了可喜的成绩。对于深埋地下的管道，如何建立理想的地下管线检测场，如何探管、测深、测泄漏、测腐蚀及复杂条件下如何检测，地下管线电磁场的分布是圆柱形还是扁圆形，是线电流、面电流、体电流还是点电流，在有干扰的情况下两个信号的磁场是排斥还是吸引，管道位置的修正方向与修正系数等问题，大多数人了解得不是十分清楚，高等学校也还没有开设地下管道检测专业课程，更缺少专业教材和教

学参考书以及具有管道检测专业理论与实践经验的教师人员。

电磁无损检测技术区别于常规无损检测技术主要有两点：一是管道在地下，检测一般都是在地表进行，距离远，非接触；二是环境分布复杂，介电常数变化大，检测参数多，引入相对电磁学理论可以解决大地屏蔽这一问题。

借鉴电缆光缆的线传输理论与检测技术，借助输油、输水、输气、供电、供暖、供热、排水、排污等管道部门检测管理方法的融会贯通、技术的相互移植、跨行业跨学科表述是本书的另一大特色。

本书是在总结三十年来电磁理论应用于指导地下管线检测仪器研发、管道检测技术培训及管线检测工程实践的基础上，参考了国内外大量资料 and 标准、规范编著而成。全书共6章，主要内容包括：管道电磁基础知识、地下管线电磁场分布特性及影响因素、地下管线电磁探测技术、地下管道电磁无损检测技术、地下管道隐患故障电磁诊断技术等。

本书由袁厚明主编，参加编写的还有周凤林、黄碧海、张贵喜等同志（详见本书编委会）。在编写过程中，引用了《地下管线管理》、《管道技术与设备》、《油气储运》等杂志、会刊、论文集、专业书籍、仪器使用说明书和规范、标准的内容（作者见参考文献部分）。全书由中国地质大学鲁永康、杨立增两位教授审稿。

湖北大学图书馆、海安智能仪器厂、襄阳震柏地下管线检测有限公司等单位提供了参考资料、管道检测研发设备。北京、上海、天津、广州、武汉、哈尔滨、长春、南京、杭州、南昌、郑州、济南、长沙、深圳、西安、兰州、太原、乌鲁木齐等城市燃气公司；大庆采油一厂、二厂、六厂、大庆天然气公司，辽河油田高升采油厂，沈阳采油厂，胜利、大港、华北、中原、长庆、冀东、江汉、塔里木、新疆等油气田；钢铁总院青岛海洋腐蚀研究所、七二五所、北京永逸舒克防腐蚀技术有限公司、大庆油田设计院、武汉材保所等阴极保护设计施工单位；西气东输、西南成油品、陕京管线、川气东送、忠武线、仪长管线、襄樊输油处、邹成输油处等长输管线管理单位；北京燕山、上海金山、宁

波镇海、乌鲁木齐、大庆、扬子、金陵、齐鲁、安庆、福建、岳阳、昌邑等石化炼厂；国家特检院、湖北省十堰特检所、浙江省特检院、江苏省特检院、石家庄特检院等单位提供了近万公里的现场检测机会，为本书的编写夯实了实践基础。

湖北襄阳震柏地下管线检测有限公司独家提供了查阅资料、仪器试验、人员协助、外出调研、资金赞助等便利，为本书的编写提供了物质经济基础。

中国石油、中国石化、中国腐蚀与防护协会、中国城建协会、中国城市规划协会地下管线专业委员会、中国石油工程建设防腐保温技术专业委员会、中国城市燃气协会、管道科学研究院等主管单位、管道检测仪器设备添置单位提供了培训和交流的机会……如果没有众人的劳动成果和引导，本书将无法写成，可以说编者是最大的受益者，特此表示感谢！

由于编者水平有限，书中一定有不少缺点和错误，恳请读者批评指正。联系电话：0710 - 3628388, 18627124769, 13972229202；QQ：1430319705。

编 者

目 录

第 1 章 管道电磁检测概述	(1)
1.1 电磁学概述	(1)
1.2 国内管道电磁检测概况	(1)
1.3 管道电磁检测技术简介	(3)
1.4 管道电磁检测技术效果	(5)
第 2 章 管道电磁检测基础知识	(8)
2.1 电场	(8)
2.2 磁场	(12)
2.3 电磁场及电磁波	(14)
2.4 电磁感应	(18)
2.5 电涡流场	(21)
2.6 载流管线回路的磁场	(22)
2.7 管线检测信号源	(26)
第 3 章 地下管线电磁场分布特性及影响因素	(29)
3.1 地下管线电磁场分布特性	(29)
3.2 地下管线电磁场分类	(32)
3.3 地下管线电磁场的衰耗	(36)
3.4 地下管线电磁参数的测量	(41)
3.5 地下管线检测信号的影响因素	(43)
3.6 建立理想的地下管道检测电磁场	(47)
第 4 章 地下管线电磁探测技术	(52)
4.1 电磁法勘探在管线探测中的应用	(52)
4.2 电流磁场法探测管线位置、走向与深度	(58)
4.3 特深地下管线探测技术	(63)
4.4 多条相邻平行地下管线探测技术	(74)
4.5 大口径地下管线探测技术	(77)
4.6 纵横交叉地下管线探测技术	(81)
4.7 上下重叠地下管线探测技术	(83)
4.8 地下开口管线陀螺仪三维精确定位技术	(85)
4.9 地下开口非金属管线探测技术	(88)
4.10 地下闭口 PE 管线探测技术	(96)
4.11 地面和浅部干扰的压制技术	(101)

第5章 地下管道电磁无损检测技术	(106)
5.1 磁场衰耗法检测管道防腐层绝缘电阻	(106)
5.2 电磁法检测评价管道阴极保护效果	(111)
5.3 电位电阻法检测评价管道环境腐蚀性	(117)
5.4 电位法检测土壤中杂散电流干扰腐蚀	(119)
5.5 磁场衰耗异常法检测管道内外壁腐蚀	(129)
5.6 漏磁法检测管道内壁腐蚀	(134)
5.7 瞬变电磁(TEM)法检测管壁厚度	(137)
5.8 磁场涡流法检测管材质量	(146)
5.9 机器人摄像法检测管道内壁状况	(152)
5.10 管道非开挖 NoPig 腐蚀检测	(157)
5.11 管道流量、压力、温度、厚度与距离检测	(161)
5.12 混凝土管道中钢筋腐蚀状况检测	(166)
5.13 水下管线覆土厚度的测量	(173)
5.14 地下管道电磁检测实例分析	(175)
第6章 地下管道隐患故障电磁诊断技术	(186)
6.1 电位差法诊断管道防腐层破损点	(186)
6.2 电涡流法诊断长输管道内外壁缺陷	(197)
6.3 超声导波与 C 扫描复合诊断管道缺陷	(200)
6.4 电磁干扰地区管道隐患故障点诊断	(204)
6.5 固定墩与隧道内管道故障点诊断	(216)
6.6 远距离电磁遥测管道故障点	(218)
6.7 磁力断层摄影(MTM)诊断管体腐蚀点	(223)
6.8 负压波法诊断管道泄漏点	(226)
6.9 红外热像法诊断管道缺陷	(228)
6.10 电磁法诊断输水管道泄漏点	(234)
6.11 电流扫描法诊断排水管道泄漏点	(235)
附录 本书部分名词术语解释	(239)
参考文献	(241)

第1章 管道电磁检测概述

1.1 电磁学概述

电磁学是研究电和磁的相互作用现象,及其规律和应用的物理学分支学科。电学与磁学领域有着紧密关系,广义的电磁学可以说是包含电学和磁学,但狭义地来说是一门探讨电性与磁性交互关系的学科。

电磁学从原来互相独立的两门科学(电学、磁学)发展成为物理学中一个完整的分支学科,主要是基于两个重要的实验发现,即电波的磁效应和变化的磁场的电效应。这两个实验现象,加上麦克斯韦关于变化电场产生磁场的假设,奠定了电磁学的整个理论体系,发展了对现代文明起重大影响的电工和电子技术。

麦克斯韦电磁理论的重大意义,不仅在于这个理论支配着一切宏观电磁现象(包括静电、稳恒磁场、电磁感应、电路、电磁波等),而且在于它将光学现象统一在这个理论框架之内,深刻地影响着人们认识物质世界的思想。

电子的发现,使电磁学和原子与物质结构的理论结合了起来,洛伦兹的电子论把物质的宏观电磁性质归结为原子中电子的效应,统一地解释了电、磁、光现象。

和电磁学密切相关的是经典电动力学,两者在内容上并没有原则的区别,一般说来,电磁学偏重于电磁现象的实验研究,从广泛的电磁现象研究中归纳出电磁学的基本规律;经典电动力学则偏重于理论方面,它以麦克斯韦方程组和洛伦兹力为基础,研究电磁场分布,电磁波的激发、辐射和传播,以及带电粒子与电磁场的相互作用等电磁问题,也可以说,广义的电磁学包含了经典电动力学。

电磁学是经典物理学的一部分。它主要是研究电荷、电流产生电场、磁场的规律、电场和磁场的相互联系以及电磁场对物质的各种效应等。电磁现象是自然界存在的一种极为普遍的现象,它涉及很广泛的领域;电的研究和应用在认识客观世界和改造客观世界中展现了巨大的活力。所以,电磁学是理科和技术学科的一门重要基础课。

根据近代物理学的观点,磁的现象是由运动电荷所产生的,因而在电学的范围内必然不同程度地包含磁学的内容。所以,电磁学和电学的内容很难截然划分,而“电学”有时也就作为“电磁学”的简称。

1.2 国内管道电磁检测概况

信息检索结果表明,目前国内外关于地下管线检测的报道,主要是在实施手段上公开发表得比较多,一般都是围绕销售某种检测仪器设备的说明书而展开的使用方法介绍,内容大

多偏重于某种检测手段,需要添置价格昂贵的检测设备,而以电磁理论成果作指导,解决管线运营中实际问题的报道比较少。管线设计部门对电磁理论认识的差距,往往形成了在设计中就存在的先天性缺陷。

20世纪80年代以前,国内对地下管线检测理论的研究几乎是空白,90年代以后,随着外国产品进入中国市场,管道检测技术与设备迎来了大发展的时期,2000年以后,技术理论、检测设备已经进入成熟期,但是与国外先进水平相比、与人类科技发展速度相比仍然存在很大差距。主要表现在以下几方面:

(1) 在管理体制上,国内管道检测行业存在条块分割、行业垄断的现象,在本部门内部实行检测设备与检测工程的划地为牢及入网准进制度。这种生产关系在一定程度上阻碍了生产力的发展,妨碍了管道科技成果的推广。

(2) 在资质认证上,权属单位组织的培训内容与地下管线电磁检测需求不对口,迄今为止某些培训者对地下管线电磁场分布理论认识模糊,对在地表接受的信号是否受到干扰影响、影响大小、如何修正、修正多少等没有数量概念。

(3) 在对电磁场的理解上,大多数检测者对于直接连接目标信号与耦合干扰信号的关系,在多条管线都有电流的情况下信号电流与电磁场是排斥还是吸引,管道上方磁场的偏移程度与管位修正方向、修正距离的量化等,心中无数。

(4) 在培训时间上,短期的理论培训难以掌握需要较高电磁理论知识、物探知识、阴极保护知识、管道的设计安装知识、管道无损检测知识等专业知识,自动控制、力学、几何学、材料学、测绘学等相关知识,以及三十多本标准,需要长期实践融会贯通才能掌握的管道工程检测及故障诊断技能。

(5) 在检测技术与设备的关系上,存在重购买高档贵重检测设备、轻检测技术专业的钻研分析的认识误区。

(6) 在人们的认识上,许多管道业主以测绘、物探资质代替地下管线检测资质,以直接接触检测的无损检测资质代替间接检测诊断故障的地下管线检测资质的审查,是本行业普遍存在的认识误区。

(7) 在检测结果表述上,存在知识不全面,文字、表格、图纸表述方式不统一,部分检测人员缺乏分析问题的能力,缺乏语言文字表达的能力,缺乏电脑绘制图表的能力,检测以后仍留下安全隐患。

(8) 在管道科学技术研究方面,一些数学家、电磁理论家建立了部分电磁参数在不同管径、不同防腐层、不同土壤环境、不同腐蚀老化程度的传输模型,可根据模型计算评估管道的腐蚀老化剩余寿命,但这方面的工作做得还不够,还需进一步加强。

(9) 在管道探测理论方面,对于多根平行与复杂管道位置与探测信号偏离,怎样修正,数据修正多少,心里无数;对于用什么方法可以把多根管道的信号分开,对于探测管道与检测故障点最近检测段、最佳检测段、最远检测段距离的划分,大多检测人员了解得不是十分清楚。

例如,管道腐蚀穿孔泄漏会引起管内输送介质流失,污染环境,危害人民生命财产安全,给国民经济造成巨大损失,为世界各国所公认。测量管体腐蚀状况、定位管体腐蚀点,是每个管道业主都非常关心的问题之一。

现阶段测量管道腐蚀剩余壁厚一般都是用超声波测厚仪进行直接接触测量,这种测量方

法需要开挖管道地表泥土,需要液体耦合剂,全面检测管道需要大量人力物力,对于埋地管道已经不可取。管道化学成分分析、金相分析、拉伸力学性能分析、焊缝探伤等无损检测手段,在钢质管道埋入地下以后也已经无能为力。

人们已经开发了利用超声、漏磁、扫描成像、涡流等方法进行埋地管道的内外壁腐蚀检测,这些方法都必须对管道上的附属设施进行改造,割开管道,放进管道内检测器,利用输送介质的前后压差,推动检测器前行来实施管道内检测。其检测设备昂贵、检测难度大,停产检测造成直接、间接经济损失更是巨大。

近年来开发的超声导波技术检测埋地管道腐蚀,也因需频繁地开挖管道,且每隔50~100m处为一检测段,需破坏原有防腐保温层,以便安放发射探头,检测设备高达几百万元一套,操作程序比较复杂,检测费用一般单位承受不起,使得这一技术难以在全国管道使用单位普遍推广。

综上所述,开发不停产、非开挖、无损坏、在地面对地下管道进行检测及隐患故障诊断的技术与设备已经迫在眉睫。

1.3 管道电磁检测技术简介

通过多年的现场实测、经验总结及电磁场理论、多学科理论的综合应用,在地表采用非开挖方式对埋地管道进行检测及隐患故障诊断的技术与设备已经开发出来,其具有检测速度快、使用简便、功能强大、经济实用等特点,已经过许多工程的应用实践。

管道检测新技术成果总数达到50余项,有关电磁法的技术成果主要有20项,主要技术指标介绍如下。

1. 新型埋地管线防腐层探测检漏仪 ZB-2008

新型检测仪器设备的性能特点与其他仪器相比具有如下效果:

(1) 功能更全 在保留原来全部功能的基础上,增加了测防腐层绝缘电阻、测管地电位、测杂散电流、测细菌腐蚀性、测土壤腐蚀性等功能。

(2) 质量更轻 人性化设计;接收机的质量原仪器为2.0kg,ZB革新仪器为1.2kg。

(3) 检测速度更快 两接收机双功能设计,既可探管又可检漏,两台当四台用,工作效率可以提高到原来的2~4倍。

(4) 定位精度更高 原仪器用三种方法定位破损点及大小,ZB革新仪器有五种方法定位破损点及大小,傻瓜型的设计方式无需经过专业培训就可参与检测。

(5) 使用寿命更长 冗余设计,两台接收机均设计成双功能接收,小充电器、地极、地线、检漏线、探头均双重配置,即使人为破坏其中一件,仪器仍然可以用。无损探头使用寿命达50年以上。

推广使用该技术,能够极大提高管道检测工作效率,提高管道故障定位精度,大幅降低检测成本。

2. 复杂情况下地下管线检测位置的偏移与修正技术

该技术能够区分目标管线电磁场的分布形状,如是圆柱形、椭圆形还是球形分布。是否有其他电磁信号干扰,干扰信号的方向、偏离程度,采取功率、频率、缩距、压制等方式,

将多根复杂地区的管道位置测得更准。

3. 超深管线位置、深度探测技术

该技术利用限流引流方法,不仅能够测量0~5m的常规管线深度,对于非开挖定向钻穿越0.1~30m的超深管线位置、走向、深度的探测变得非常容易,而且精度高。

4. 阴极保护中电位的分布规律与无IR降电位检测技术

该技术能够确保阴极保护管道不腐蚀,又不过保护,有效节约能源。

5. 检测定位地下管道腐蚀点技术

该技术通过强制电流沿管道向某一方向传输,建立起理想的地下管道检测电磁场,能够在地表采用非开挖不停产无损检测管道内外壁腐蚀点与腐蚀段,评估管道腐蚀老化程度。有效避免了为检测而停产、割开管道、改造管道等对管道的破坏。为管道业主方节省了大量检测资金。

6. 输水管道电法定位泄漏点技术

该技术能够改变检测查漏人员的工作时间,正常工作都在白天进行;提高工作效率2~20倍;对管道检漏无压力要求,无噪音要求;管道埋深在地面0.1~30m以下的漏水点均可以检测,地表是水泥沥清路面及沙石、泥土、烂泥、草坪等松软路面时均可以检测,能将漏损率从目前的12%(国标)降至1%以下,处于中、青年期的管道无漏损。

7. 非金属管道电磁示踪探测技术

该技术利用示踪线外置、内置两种方法,不仅可以探测各种非金属管道,而且可以检测管道上的泄漏点,实现自动监控,无需增加价格昂贵的检测设备。

8. 输气管道温度示踪测漏技术

该技术利用不同地区温度变化年较差和日较差或者人为制冷制热,延时后,采用红外热像技术定位管道位置与泄漏点,能够大幅降低输气管道泄漏损失率。

9. 盗油气卡子支管自动监控、探查定位技术

该技术利用有线或者无线传输信号,管线管理者在机关室内电脑上就能够看到几十公里外的管道上发生的打孔盗油气、泄漏等故障问题,并能够通过软件就时间、距离、速度等数据的计算,确定管道故障的大概位置,再由维修人员直接到现场在很小范围内精确定位具体位置,抓捕偷盗犯罪分子。

10. 牺牲阳极延寿技术

该技术能够确保镁阳极的使用寿命达到30年以上,与管道寿命同步。

11. 老管道起死回生技术

该技术通过控制爆管技术将管道的周向力学量化,再通过阴极保护的防腐措施,通过远程监控、机电一体化的漏损控制措施,将已经报废的管道起死回生,确保安全运行,能使管道使用寿命增长达两倍以上。

12. 干扰地区管道故障定位技术

该技术能够将电磁干扰、水上交通干扰、陆上围墙障碍物干扰、人为阻碍检测干扰等干扰地区的管道全部进行检测,确保管道隐患故障100%全面检测,能使管道安全运行做到万无一失。

13. 快速检测定位防腐层破损点技术

该技术能够将防腐层破损点的定位速度提高2~4倍,而且探测管道检测漏点由一人同

时进行,将探测管道位置、走向、深度工程费用成本每千米由3600元降低至不到1000元;防腐层完整性检测费用成本每千米由3600元降低至不到1000元。使探测位置、走向、深度、防腐层破损点、破损点大小分等、防腐层绝缘电阻检测、测金属搭接、测管地电位、测土壤腐蚀性、测杂散电流腐蚀性、测细菌腐蚀性、测量管道长度、标志检测点GPS全球卫星定位系统X、Y坐标值与相对参照物位置、绘制管道平面图、出具管道检测书面版报告与电子版报告等十多个项目的检测费用成本长输管线每千米降低至不到3000元,城市复杂管道每千米降低至不到4000元。

14. 防腐层破损点定位100%准确率技术

该技术通过绘图解析、表格对比、文字说明三种方法回答了在存在大地电位梯度场的范围内,无信号、小信号、中信号、大信号等多种情况都有可能是防腐层破损点的问题,能够将管道业主方或者其他单位已经检测过的管道因技术差异而漏检的安全隐患故障全部检测出来,确保管道的安全运营。

15. 防腐层破损点大小分等量化技术

该技术能够将防腐层破损点划分成大、中、小三个等级,估算破损点面积;优先开挖修补对阴极保护效果影响较大的大、中破损点,为管道工程抢、维修提供依据。

16. 防腐层破损点在管体上、下、左、右具体位置判断技术

该技术能够判断较大口径管道防腐层破损点在管体上、下、左、右具体位置,大大减少了维修人员土方的开挖量。

17. 管道故障快速检测(遥测)定位技术

该技术能够遥测高层楼上金属搭接点故障而不需开门上楼检测,能够通过一点信号有无、两点信号大小比较确定障碍物内有无故障,从而实现无故障管道的免检。

18. 百米磁场衰耗法检测管道防腐层绝缘电阻技术

该技术能够在不需增加任何设备,不需另外接线,无论管道现场多么复杂的情况下检测所有管道的防腐层绝缘电阻。经过对比,该方法比目前其他常用方法都先进适用,为管道的防腐层大修更换提供依据。

19. 架空管道内部堵塞点定位技术

无需割开管道,就能从管道外壁定位管道内部的堵塞点,为管道大修更换提供准确位置。

20. 管道腐蚀剩余寿命安全评估技术

该技术将与管道腐蚀安全环保等有关的40余个因素进行聚类分析,筛选22个主要因素,按照其重要程度分配一定比例的分数进行积分,按照积分的多少确定管道等级,按照管道等级确定检测周期与管理方法。

1.4 管道电磁检测技术效果

以上介绍的技术成果有设计方案与科技论文,有成功的应用实例,有现成的施测设备,有现场操作的工程人员;技术成果的应用能够指导地下管线探测、测漏、测腐,并能快速解决管线检测中的各种疑难问题,为管道的安全运行预警,提前消除隐患。

新技术的实施, 能将供水管道的漏损率控制在 1% 之内, 输送其他介质的管道漏损率会更低。管道的安全使用寿命是普通方法的 2~3 倍。以国产 ZB 仪器为例, 检测设备的性能价格指标对比见表 1-1。

表 1-1 检测设备的性能价格指标对比

比较项目	一般仪器	国产 ZB 仪器	革新说明
仪器设备功能	探测管道路由、深度、防腐层破损点	探测管道路由、深度、防腐层破损点、绝缘电阻、阴保参数、介质泄漏点	增配参比电极、万用表、火花仪、听音仪等
探测深度	进口国产均小于 5m	大于 20m, 设计多级滤波放大线路	满足定向穿越检测
检漏精度	80%~90%, 据熟练程度而定	95%~99%, 据熟练程度, 180 度自效	信息互通容错纠错
检测速度	2~5km/日, 单向检测	双信号接收 4~10km/日, 最多 20km	分小组双向检测
可靠寿命	单一配置, 维修困难	冗余设计, 双重配置, 无机械磨损	内置式无损探头
抗干扰性	天线量多位高, 横波干扰	单一天线位低, 横波干扰小	自然地物屏蔽
介质泄漏率	国家标准 12%, 有压检漏	1% 以内, 电磁法、听音法两法测漏	无压可检漏深度大
经济价格	进口 10~20 万元, 国产 2~8 万元	2~5 万元, 可按照用户要求不同配置	合作砍去中间环节

新技术的实施需要满足管道导电性能的连续性、管道外表的绝缘性、输送介质的导电性三个条件, 供水的防腐钢管已经完全满足上述条件, 供水的非金属管道施工时穿入裸金属线也已完全满足上述条件, 输送其他介质的管道采用以上方法在大修理时进行水压试验, 同样能进行快速探测管道与检测定位泄漏点。表 1-2 为部分地下管线检测新技术指标效果对比。

表 1-2 部分地下管线检测新技术指标效果对比

序号	新技术名称与比较项目	原有技术效果 (本行业已普及)	新技术效果 (本行业未普及)
1	超深管道探测技术	常规仪器 ≤5m; 比值法	常规仪器 0.1~30m; 瞄准法
2	检测盲区范围缩小	盲区范围 10~20m	盲区范围 0.5~3m; 还可无盲区检测
3	非金属管道探测检漏示踪技术	设备贵、探测难、不具备检漏功能; 检漏更难、效果差	探测检漏同步完成, 设备投资省、检测速度快、效果好、效益高
4	防腐层破损点定位	三种方法相互验证	五种方法相互验证, 定位更准确
5	破损点大小分等	三种方法相互验证	五种方法相互验证, 分等精度高
6	管道防腐层绝缘电阻测量技术	分段检测、需专用设备能判断故障段	既可分段检测、又可连续检测、无需专用设备, 能判断故障点与故障段
7	阴极保护电位检测	IR 电阻压降误差大	IR 电阻压降误差小, 可忽略不计
8	高层搭接性故障	开门上楼检测搭接点	磁场法地面遥测判断楼上搭接点
9	管道阴保故障判断	沿管线全部连续检测	两向两点检测, 判断故障方向与位置
10	阴保基准电位确定	地表检测 -0.85~-1.2V	试片断电、极化偏移、净电流进出法判断
11	镁阳极延寿技术	5~20 年寿命, 需多次更换	30~50 年寿命, 与管道寿命同步
12	管体内外壁腐蚀点定位技术	停产、割开管道, 从内部检测、设备贵、检测费用高	不停产在线从外部地表检测、设备价格低, 检测费用省; 磁化法、磁场衰减异常法

续表

序号	新技术名称 与比较项目	原有技术效果 (本行业已普及)	新技术效果 (本行业未普及)
13	管道故障点承压力量化预警 消隐技术	只有检测定性、不能量化到具体 数值、预警、消隐效果比较差	设计压力的150%~200%，由人为控制不 达此压力值的，全部定位故障点进行修 补。再施以阴极保护腐蚀控制措施
14	老管道起死回生技术	阴极保护设计、施工、管理分析 有误，腐蚀仍在发生	故障点承压力量化，预警消隐修补后施以 阴极保护，管道仍然能安全运行
15	管道杂散电流干扰腐蚀检测 技术	在土壤开阔地带检测对管道无代 表性	在管道附近检测，有代表性，圆周法现场 定位杂散电流干扰点
16	水电泄漏定位技术 (无泄漏设计)	漏损率大于12%(国标)，要求满 足压力高、无噪音、地表结实、管 道埋土浅等八个条件，检测速度慢	漏损率小于1%，要求满足连续导电性、 管道外绝缘、有水三个条件，定位泄漏点 的速度是常规方法的2~4倍，定位深度可 以达0.1~30m，检测速度快
17	地下管道探测、测漏、测腐 蚀设备	功能比较单一，流通环节多、价 格贵，有政府行为	功能比较齐全，流通环节少、价格适宜， 实行有条件合作赠送、市场经济运作
18	快速检测技术	单向检测，回来空行	双向检测无空行时间、可以遥测、速度快
19	障碍物内故障检测	避开或清除障碍物检测	遥测、三角函数法定位管道故障点
20	综合节能减排效果	腐蚀仍有发生，管道寿命一般， 漏损较大，效益低	腐蚀有效控制，管道寿命大为延长，漏损 控制效果显著，综合效益高

第 2 章 管道电磁检测基础知识

2.1 电 场

带电体作用力(斥或吸)的范围叫做电场,它具有两种特性:①凡是带电体位于电场中,都要受到电场作用力;②一旦带电体受到电场作用力作移动时,电场要做功。

2.1.1 电场强度(E)

通常把电荷在电场中某点所受的力与它们所具有的电量的比值,叫做该点的电场强度(E),它是一个有大小及方向的矢量,靠近电荷处电场强度强,远离电荷处电场强度弱。用公式表示为:

$$E = \frac{F}{q} \quad (2-1)$$

式中 E ——电场强度, V/m;
 F ——正电荷所受到的力, N;
 q ——正电荷数量, C。

2.1.2 电位移(D)

电位移(D)是研究电介质里的电场时引出的物理量,它就是正电荷位置的移动。

它的大小与介质里的电场强度 E 成正比,其方向在一般介质里与电场强度 E 的方向相同。

$$D = \varepsilon E \quad (2-2)$$

式中 D ——电位移, C/m;
 ε ——介质的介电常数,真空的介电常数 $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m;
 E ——电场强度, V/m。

我们已知当导体里有外加电场时,导体里的自由电子将被电场拉动而能在导体里流动,形成电流;而在介质里,电子是不自由的,它们不能在介质里自由活动,而是被正电荷束缚得紧紧的,当介质里有外加电场时,电子不能流动,不能产生电流。

2.1.3 等势面

图 2-1 画出了两个导体处于静电平衡时电荷和电场分布的情况(图中实线为电场线,虚线为等势面和纸面的交线)。球形导体 A 上原来带有正电荷而且均匀分布,原来不带电的导体 B 引入后,其中自由电子在 A 上电荷的电场作用下向靠近 A 的那一端移动,使 B 上出现等量异号的感生电荷。与此同时, A 上的电荷分布也发生了改变。这些电荷分布的改变将一直进行到