

© 管线检测技术培训教材

地下管线检测技术

DIXIA GUANXIAN JIANCE JISHU

(第三版)

袁厚明 主编

中国石化出版社

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

管线检测技术培训教材

地下管线检测技术

(第三版)

袁厚明 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书是在总结多年来地下管线检测仪器研发、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。全书共十八章,主要内容包括:地下管线探测、防腐层检测、阴极保护运行参数检测、管体腐蚀检测与评估、泄漏检测、电力与通信电缆故障检测、管线点的测量、管线图的编绘、检测工程质量控制等内容。内容紧密结合现场实践,具有很强的实用性和可操作性。

本书可供地下管线检测人员、管道设计施工人员和管线管理人员使用,可作为地下管线检测专业培训教材和教学参考书,也可供大专院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

地下管线检测技术/袁厚明主编.—3版.—北京:
中国石化出版社,2016.6
ISBN 978-7-5114-4050-1

I.①地… II.①袁… III.①地下管道-检测
IV.①TU990.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 113685 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

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 30.75 印张 771 千字
2016 年 6 月第 3 版 2016 年 6 月第 1 次印刷
定价:89.00 元

《地下管线检测技术》

编 委 会

主 编：袁厚明

副主编：周凤林 江贻芳

编 委：(以姓氏笔画为序)

于 剑	王可仁	王明生	王润卿	王维斌
王 强	亓 强	毛宁林	孔庆民	叶建良
史家生	印永福	冯 良	朱凤艳	朱 珍
任 峰	刘东贤	闫 啸	孙国立	孙珍山
孙剑波	李 上	李广银	李国华	李章亚
杨子江	杨世清	杨 旭	吴国忠	闵希华
沙胜义	沈广霁	宋天博	迟永坤	张 军
张栋国	张 强	陈述治	陈 钊	陈家瞳
陈敬和	尚 兵	罗金恒	岳建东	周大博
周东培	周 俊	周 勇	赵玉昆	郝英杰
胡圣潭	胡序胜	胡茂中	柏光明	钟志平
钟富荣	秦延昌	秦国昌	袁晓华	贾向炜
贾红军	贾宗贤	徐丙垠	徐志斌	徐新旋
殷 朋	翁永基	高安东	高富庆	部敬孝
黄 立	常贵宁	董久顺	鲁永康	雷林源
廉纪祥	廖民飞	樊三新	薛吉明	

审 稿：李兆华

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、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。

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,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,滚滚原油成了他们眼中没有成本的致富之门。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,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比较全面、系统地介绍地下管线检测技术的书籍,大量报道性文章散见于不同的报刊之中,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,大多数人了解得不是十分清楚,高等学校也没有开设地下管线检测专业课程,更没有专业教材和教学参考书。

本书自2006年出版以来,深受广大读者欢迎,于2012修订再版,现为第三版。本书是在总结多年来地下管线检测仪器研发、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。全书共十八章,主要内容包括:地下管线探测、防腐层检测、阴极保护运行参数检测、管体腐蚀检测与评估、泄漏检测、电力与通信电缆故障检测、管线点的测量、管线图的编绘、检测工程质量控制等内容。内容紧密结合现场实践,具有很强的实用性和可操作性。

本书由袁厚明编写第一章第一、二、三、四、六节,第二章第六、七节,第三章第四节,第四章第一~七节,第五章第四~七节,第七章第一~七节,第八章第一~八节,第九章第四节,第十章第八节,第十一章第一、九节,第十二

章第七节,第十三章第六、七节,第十五章第六节,第十六章第八节;上海岩土工程勘察设计院周凤林高工,第二章第一、二、三、五、七节,第十七章第一~五节;桂林工程学院雷林源教授,第十章第一~三节;王润卿、吕庆荣,第十四章第一~七节;徐丙垠、李胜祥、陈宗军,第十五章第一~三节;北京市测绘设计研究院江贻芳高工,第十八章第一~七节。书中引用了地下管线管理、管道技术与设备、油气储运等杂志及论文集、会刊的文章,作者见每一章的参考文献部分。

全书由湖北大学李兆华院长审稿,在编写过程中主编参考了大量的专业书刊、参考资料、仪器使用说明书,江苏海安智能仪器有限公司提供管线检测研发设备以及参考资料,为本书的编写奠定了理论基础。襄阳震柏地下管线检测有限公司,北京、上海、广州、武汉、哈尔滨、长春、南京、杭州、南昌、郑州、济南、长沙、深圳、南通、温州、淮南、襄阳、吉林、孝感、宁波、惠州、延安、泰安、青岛等城市燃气公司,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、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、西南成品油、陕京管线、忠武线、襄阳输油管理处、山东邹城输油管理处等长输管线管理单位;湖北省锅检所、浙江省特检院、江苏省特检院等单位提供了数千公里的现场检测机会,为本书的编写提供了实践基础。襄阳震柏地下管线检测有限公司独家提供资金赞助外出调研,为本书的编写提供了经济基础。中国石油、中国石化、中国腐蚀与防护学会、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、腐蚀与防护协会、管道科学研究院等主管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,经验不足,书中一定有不少缺点和错误,恳请读者批评指正。联系咨询电话:0710-3628388,18627124769。QQ:1430319705。

编 者

目 录

第一章 地下管线检测基础知识	(1)
第一节 管道检测的必要性	(1)
第二节 地下管线的分类与检测内容	(4)
第三节 地下介质干扰源对管线磁场的影响	(6)
第四节 地下管线电磁场分类与影响因素	(11)
第五节 城市地下管线的探测	(14)
第六节 管线检测场源布设与检测内容	(20)
第七节 地下金属管道的电性分布参数	(22)
第八节 地下电缆磁场分析	(26)
参考文献	(28)
第二章 地下金属管线探测技术	(29)
第一节 地下管线探查的物探方法	(29)
第二节 地下管线电磁法探测技术	(30)
第三节 地下多条管线探测信号分析判断技术	(38)
第四节 复杂条件下地下管线探测技术	(43)
第五节 超深地下管线探测技术	(47)
第六节 地下管线探测位置偏离修正技术	(54)
第七节 地下管线探测工作质量控制	(62)
参考文献	(67)
第三章 地下非金属管道探测技术	(68)
第一节 地下非金属管线探测及标识方法	(68)
第二节 地质雷达探测塑料燃气管线技术	(71)
第三节 热红外遥感探测油田管网技术	(75)
第四节 非金属管道标志示踪与探测技术	(81)
第五节 地下 PE 管道示踪线施工与探测技术	(83)
第六节 非金属管网电子记标探测技术	(86)
第七节 地下 PE 管道检测技术	(89)
参考文献	(94)
第四章 地下管道外防腐层破损点检测技术	(95)
第一节 地下管道外防腐层破损点检测的意义与检测设备	(95)
第二节 电磁波在载流管线上的传输特性	(97)
第三节 地下管道位置、走向、深度探测	(100)
第四节 地下管道外防腐层破损点的定位技术	(103)
第五节 管道防腐层破损点大小的量化判断技术	(108)
第六节 长输管线防腐层破损点快速定位技术	(112)
第七节 管道防腐检测相关图表的设计制作	(117)

第八节	应用防腐层检漏解决生产中的实际问题	(120)
第九节	管道防腐层破损点 DCVG 检测技术	(124)
参考文献	.....	(127)
第五章	地下管道外防腐层绝缘电阻检测技术	(128)
第一节	变频选频法测量埋地管道绝缘电阻技术	(128)
第二节	多频管中电流法检测防腐层绝缘电阻技术	(138)
第三节	断电电位和防腐层面电阻率测试技术	(147)
第四节	百米磁场衰耗法测量埋地管道外防腐层绝缘电阻技术	(151)
第五节	电流-电位法检测管道外防腐层绝缘电阻技术	(154)
第六节	拭布法检测管道外防腐层绝缘电阻技术	(157)
第七节	馈电法检测管道外防腐层绝缘电阻技术	(157)
参考文献	.....	(158)
第六章	地下管道内腐蚀检测技术	(159)
第一节	埋地管道金属蚀失量检测技术	(159)
第二节	在役管道非开挖缺陷检测技术	(160)
第三节	管道内部状况闭路电视摄像技术	(164)
第四节	管道远场涡流检测技术	(168)
第五节	长输管道内窥检测技术	(170)
第六节	输气管道腐蚀在线监测技术	(174)
第七节	综合参数异常检测管道腐蚀技术	(177)
第八节	小口径管道腐蚀状况无损检测技术	(179)
第九节	地下管道管体变形检测技术	(182)
第十节	地下管道凹坑缺陷开挖验证检测技术	(186)
参考文献	.....	(191)
第七章	管道防腐层高压电火花检测技术	(192)
第一节	涂层针孔缺陷的检漏原理及方法	(192)
第二节	PU 泡沫夹克管防腐层在线检测技术	(193)
第三节	三层 PE 防腐管防腐层在线检测技术	(196)
第四节	管道内涂层检漏技术	(198)
第五节	湿海绵法检测超薄涂层技术	(201)
第六节	国产电火花针孔检测仪的使用	(202)
第七节	国产电火花在线检测仪的使用	(206)
参考文献	.....	(209)
第八章	管道阴极保护参数测试技术	(210)
第一节	管地电位测试技术	(210)
第二节	牺牲阳极参数测试技术	(213)
第三节	土壤腐蚀性(电阻率法)测试技术	(215)
第四节	管内阴极电流测量技术	(216)
第五节	绝缘法兰(接头)绝缘性能测试技术	(217)
第六节	土壤中细菌腐蚀性检测技术	(219)

第七节 管道外杂散电流干扰腐蚀性检测技术 (220)

第八节 阴极保护基准电位的确定及 *IR* 降消除技术 (222)

第九节 阴极保护有效性检测与判断技术 (223)

参考文献 (227)

第九章 管道腐蚀检测与评价技术 (228)

第一节 燃气管网的安全评估技术 (228)

第二节 管道腐蚀检测及修复决定 (232)

第三节 埋地金属管道腐损状况的监测与检测技术 (236)

第四节 磁场衰耗异常法检测与评价钢管腐蚀技术 (238)

第五节 埋地输气管道的腐蚀检测与评估技术 (243)

第六节 管中电流法检测管道腐蚀与评价技术 (246)

第七节 瞬变电磁法检测管道腐蚀与评价技术 (251)

第八节 超声导波检测与监测管道腐蚀技术 (255)

参考文献 (259)

第十章 地下输水管道泄漏点精确定位 (261)

第一节 供水管网漏损原因分析 (261)

第二节 供水管网泄漏调查方法 (264)

第三节 地下输水管道检漏技术 (267)

第四节 相关仪的使用技术 (271)

第五节 长输管线水压试验渗漏点定位技术 (273)

第六节 供水管网的系统检漏技术 (275)

第七节 数理分析漏水检测技术 (282)

第八节 供水管道的电法测漏定位技术 (287)

参考文献 (291)

第十一章 地下输气管道泄漏点精确定位 (292)

第一节 地下输气管道泄漏点探测技术 (292)

第二节 天然气加湿解决铸铁管接头泄漏技术 (295)

第三节 车载式燃气管网泄漏检测技术 (300)

第四节 燃气检漏车的应用技术 (301)

第五节 天然气管道泄漏激光检测定位技术 (304)

第六节 埋地燃气管道泄漏检测的一般方法 (306)

第七节 燃气管网的主动检漏法 (308)

第八节 可燃性气体检漏仪的使用技术 (310)

参考文献 (313)

第十二章 地下输油管道泄漏点精确定位 (314)

第一节 负压波法检测管道泄漏技术 (314)

第二节 管道数据监测及泄漏定位技术 (315)

第三节 声波管道泄漏检测技术 (320)

第四节 海底管道泄漏在线检测技术 (322)

第五节 输油管道泄漏监测技术 (325)

第六节	埋地输油管道盗油卡子的检测方法	(332)
第七节	管道运输防盗监测技术	(335)
第八节	利用压力趋势图判断管道盗油点	(338)
参考文献	.....	(340)
第十三章	示踪法查漏定点技术	(341)
第一节	碘 131 示踪技术检测地下油管漏点	(341)
第二节	氢气示踪法检测新建管道漏点	(344)
第三节	氦气测漏检测地下水管漏点	(347)
第四节	天然气中加臭剂检测管道泄漏	(349)
第五节	负压采样检漏法	(353)
第六节	检测管道内被堵物技术	(355)
第七节	温度示踪法查漏定点技术	(357)
第八节	水电示踪三级寻址法定位管道泄漏点	(359)
参考文献	.....	(364)
第十四章	地下电力电缆故障检测技术	(365)
第一节	电缆故障产生的原因及分类	(365)
第二节	电缆故障的测寻步骤	(366)
第三节	电缆故障的烧穿	(368)
第四节	电缆故障的粗测	(369)
第五节	电缆故障的精确定点技术	(378)
第六节	低压电缆故障的测寻技术	(383)
第七节	不同性质故障测寻方法的选择	(384)
第八节	供水用电电缆破损点检测	(385)
参考文献	.....	(387)
第十五章	地下通信电缆故障检测技术	(388)
第一节	市话电缆线路障碍检测技术	(388)
第二节	充气电话电缆漏点检测技术	(391)
第三节	光缆线路障碍点定位技术	(397)
第四节	电缆小漏气点定位技术	(401)
第五节	光缆故障定位 OTDR 四步测试法	(402)
第六节	地下通信电缆探测检漏仪的使用	(404)
第七节	油气管道通信光缆的定位检测技术	(409)
第八节	充气通信电缆查漏技术	(412)
参考文献	.....	(414)
第十六章	地下管线工程检测与防盗监控	(415)
第一节	管线仪探测被埋金属井盖的技术	(415)
第二节	水下管道检测技术	(417)
第三节	地下排水管道检测技术	(423)
第四节	地下金属管道应力失效检测技术	(426)
第五节	新建 PE 管道工程验收检测	(428)

第六节	长距离输送管道的通球试压检测技术	(432)
第七节	油库站区内埋地管道储罐防腐检测技术	(435)
第八节	管道打孔盗油管段应力测试技术	(437)
第九节	红外成像技术在管道防盗检测中的应用	(442)
参考文献	.....	(444)
第十七章	地下管线点测量与管线图的编绘	(445)
第一节	管线点测量的工作内容及精度要求	(445)
第二节	管线点测量的基本方法和要求	(446)
第三节	新建地下管线施工测量	(448)
第四节	地下管线点测量成果整理和验收	(452)
第五节	地下管线图编绘的工作内容	(453)
第六节	地下管线图编绘的工作准备	(454)
第七节	地下管线图编绘的原则与技术要求	(456)
参考文献	.....	(460)
第十八章	地下管线普查与检测工程质量控制	(461)
第一节	管线普查的意义与质量控制的目标	(461)
第二节	质量控制的方法	(462)
第三节	地下管线普查作业过程分析	(463)
第四节	技术准备过程质量控制	(464)
第五节	探查作业过程质量控制	(466)
第六节	测量作业过程质量控制	(473)
第七节	数据处理作业过程质量控制	(475)
第八节	地下管道检测的质量控制	(476)
参考文献	.....	(479)

第一章 地下管线检测基础知识

第一节 管道检测的必要性

用管道传输能量被认为是最为安全经济的方法。到 2015 年年底,我国已经建成石油、天然气管道 12 万多公里,这些管道是我国油气运输的主动脉。然而,像所有的工程设备一样,管道也可能发生故障。

在输油(气)主干管道上,重大破坏案件频繁发生,主干管道打孔盗油的案件呈逐年上升趋势:中国石油管道公司 2000 年发生 62 起,2001 年发生 87 起,2002 年发生 92 起。据统计,仅 2000~2003 年,中国石油所属 13 个油气田共发生不法分子破坏油井设施、哄抢原油、打孔盗油、盗气案件 2.59 万起,自有统计以来至 2014 年 7 月底,中国石化管理公司所辖管道累计被打孔 9083 次,造成了巨大的经济损失。

伴随着国家石油天然气管道工业的不断发展,管道安全维护管理成为国家安全管理部门日益重视的专题。近年来,国内管道腐蚀造成的事故时有发生,因跑油、停输、污染、抢修等造成的损失,每年都以亿元计算。据有关专家介绍,目前世界上 50% 以上的管网趋于老化;我国的原油管道也有近一半已经运营了 20 年以上,由于腐蚀、磨损、意外损伤等原因导致的管线泄漏时有发生。据统计:1999~2002 年,全国各地区发生燃气爆炸事故 261 起,死伤 700 余人;其中西安某地天然气爆炸,炸掉了一栋从下到上七层楼房,路面炸开 520 多米;乌鲁木齐某地天然气将铸铁井盖炸上天 10 多米高,将沥青路面炸开 50 多米;北京某地一段 DN400 管道竟然连续几次发生燃气泄漏和爆炸。特别是 2013 年青岛市“11·22”东黄输油管道泄漏爆炸特别重大事故,造成 62 人死亡、136 人受伤,周边多处建筑物、设备、管线受损,直接经济损失 7.5 亿元以上。综观所有燃气爆炸事故的发生,80% 以上都是因为管道严重腐蚀而穿孔漏气引起的,因此,已建管道和在建管道的安全检测迫在眉睫。为保证管道运输安全,国家颁布了《压力管道定期检验规则》,并于 2010 年 8 月 30 日起正式执行,规定主干线油气输送管道 3~5 年必须进行检测。

为解决这一问题,世界各国都投入了大量人力和财力并取得了进展。目前,普遍公认的观点是采用智能检测器对管道实施内检测是一种行之有效的办法,如果能够对管道实施内检测,准确把握管道状况并根据一定的优选原则,对一些严重缺陷进行及时维修就可以大量避免事故发生;同时也能大大延长管道寿命(见图 1-1),其经济效益是十分可观的。

一、管道检测技术简介

为了达到对管道状况有全面准确的了解,防止管道事故的发生,长期以来人们为此研究开发了许多方法和技术,使管道检测水平不断提高。管道检测可分为管道外检测和管道内检

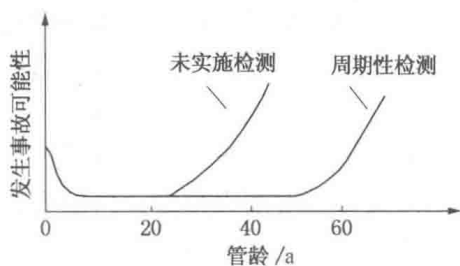


图 1-1 管龄与管道发生事故可能性关系

测两大类。所谓外检测是将检测设备放在管道外部来了解有关管道的情况,例如对管道的防腐层和地下埋深状况的探测;而内检测是指将检测器放在管道内,通过管道中的介质在检测器上的皮碗前后形成的压差使之在管道中随介质运动,检测器将管道情况信息采集并存储起来,然后,利用计算机对记录到的管道信息进行分析,从而了解管道的状况。该方法可用于检测管道的变形、腐蚀和缺陷等。

早期人们采用水压试验方法对管道进行检测,该方法只能证明水压试验时管道哪些部分不能承受试验压力,它不能提供管道的详细信息,并且水压试验需要停输进行,检测成本较大。而利用智能检测器进行检测,是在不停输的情况下检测管道状况,不仅成本低而且可靠性高。目前常用的内检测器主要有基于超声波原理的检测器和基于漏磁原理的检测器两种。前者是用超声波直接测量管道壁厚,从而发现管道由于腐蚀等原因导致的壁厚变化;而后者是通过检测器上的磁铁将经过的那段管道磁化,磁力线在管壁中通过,但当管道上有缺陷时,该缺陷所在之处的磁通量发生泄漏。检测器根据这一原理将管道上各处磁通量泄漏情况记录下来,经分析后可确定管道状况。前者的优点是准确性高,但要求在检测前彻底清除管壁的蜡;后者对管道清洁状况要求相对较低,比较适合我国原油含蜡较高的特点;但检测精度和超声波检测器比较相对低一些,且对检测管道上的轴向裂缝有一定困难。但就我国管道状况而言,漏磁检测器完全满足管道检测和维修的精度要求,在我国具有广阔的应用前景。

二、管道检测经济效益分析

管道检测不仅对保证管道安全是十分重要的,而且从长远来看,其经济效益也是可观的。根据管道维护的策略不同,我们可以将管道维护分为主动维护和被动维护两种。主动维护是指在智能检测器对管道实施内检测,全面掌握管道状况的基础上,专家根据管道安全整体策略,全面考虑各方面因素对检测结果进行综合评判,确定管道维修计划和方案,最后由管道业主依此方案对管道进行维修。

对管道进行主动维护的费用主要包括:

- (1) 管道检测的费用;
- (2) 用于专家评估的费用;
- (3) 管道维修的费用。

而被动维护是指当管道因腐蚀等原因发生泄漏事故之后,不得不进行的抢修。

管道事故发生后被动维护付出的的主要代价和损失包括如下几个方面:

- (1) 管道泄漏导致输送介质损失;
- (2) 管道事故发生后,导致管道停输造成的损失;
- (3) 管道事故造成的环境污染及人身安全伤害损失;
- (4) 管道事故发生后,对管道进行抢修付出的代价。管道抢修工程比主动维护时进行的有计划的维修难度要大得多,付出的代价也大得多。其中环境污染造成的损失和危害最为严重,其经济价值是难以估量的。

国外有关资料介绍了更换一条管道、被动维护和主动维护三种管道不同安全策略的投资情况,见表 1-1。

周期性管道检测和用于专家评估的投资可以从减少管道事故的损失中得以补偿。图 1-2 给出了进行管道检测与不进行管道检测时管道维护经济效益比较情况。

表 1-1 三种管道安全策略成本比较

采取的措施	投资成本/(\$ /km)
更换管道	1000000
被动维护	500000
主动维护	12600

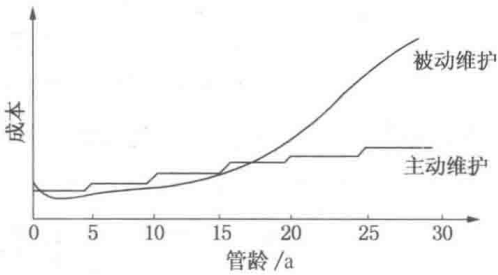


图 1-2 管道检测经济效益比较

三、国内外管道检测现状

1. 国外管道检测情况

由于管道安全具有特殊的重要性，管道发达的西方国家早在 20 世纪 50 年代就开始了管道检测技术研究。1965 年国际著名的管道检测公司之一美国 TUBOSCOPE 公司首次采用漏磁检测器对管道实施了内检测；1973 年英国天然气公司 (British Gas，简称 BG) 第一次采用漏磁检测器对其管辖的一条直径为 600mm 管道成功地进行了内检测。此后，采用各种先进技术的新型检测器不断问世，特别是 80 年代末 90 年代初以来，计算机技术的飞速发展研制高效新型检测设备提供了强有力的技术保证，检测器体积不断缩小，技术含量越来越高，检测器的效率和可靠性也有明显改进，它们为保证管道的安全运行、减少管道事故造成的危害和损失发挥了重大作用。

基于对安全、经济、环境等各方面因素考虑，各国政府对管道内检测越来越重视，许多国家都制定了相应的管道检测法规。例如，1988 年 10 月美国国会通过了管道安全再审定条例，要求运输部研究与专业计划管理处 (RSPA) 制定联邦最低安全标准，以使所有新建及更新管道都能适应智能内检测器检测的要求；加拿大标准协会已制定出管道内检测器用于危险性液体和气体管道的标准，加拿大国家能源委员会 1995 年采用这些标准，作为法规条例，强制实施管道内检测。

不仅如此，他们还根据管道所处的不同特殊状况，定期对管道实施再检测，及时准确把握管道状况，从中找出管道腐蚀的特殊规律，从而对管道未来状况作出科学分析预测，并根据管道完整体系规范对一些严重缺陷及时修复，真正做到防患于未然。

2. 国内管道检测现状及我们的对策

我国石油天然气管道工业自 20 世纪 70 年代以来有很大发展，管道安全问题也越来越引起有关部门的重视。80 年代以来，开始进行管道检测器的研制开发工作，取得了一些成果。同时，也陆续从国外引进了一些先进的检测设备，对几条原油管道成功地实施了内检测，取得了令人满意的检测结果。例如，1996 年 10 月为新疆的一条 136km 长的 $\phi 273$ 管道实施内检测，检测出 4.5mm 以上深的腐蚀点 77 处，2.3~4.5mm 深的腐蚀点 234 处，2.3mm 深以下的腐蚀点 307 处，经开挖验证，检测结果准确可靠，为管道大修提供了科学依据。

尽管如此，我们和世界先进水平相比还有较大差距，管道检测工作尚属起步阶段，已实施内检测的管道数量不足管道总量的 1/10，而且尚未对管道再进行内检测。由于各方面原因，某些管道经营管理者对管道检测的重要性认识不足，没有充分认识到管道事故危害性。我们要加强管道检测重要性的宣传，政府有关部门应尽快制定管道安全检测有关法规，根据优选方案制定全国管道检测计划，力争尽快对全部管道实施内检测，并且定期进行管道再检测，建立管道检测信息数据库，从中找出各条管道的腐蚀规律，从而对管道现状及未来安全

状况作出科学预测,采取有效措施,避免管道事故的发生。同时,还要加快智能检测器的国产化步伐,尽快赶上国际管道检测先进水平。

管道内检测是管道安全体系的重要组成部分,是保证管道安全的最经济有效的方法。我们应尽快采取有效措施,制定道道检测规范,建立完整的管道安全保证体系,并依此有计划有步骤地对管道实施智能内检测,保证管道安全平稳运行。

第二节 地下管线的分类与检测内容

一、地下管线的分类

地下管线是埋设在地下的管道及电缆的总称,分类有如下几种方法。

1. 按用途分类

- (1) 给水管道 包括生活用水、消防用水及工业用水等输配水管道。
- (2) 排水管道 包括雨水管道、污水管道、雨污合流管道和工业废水等各种管道,特殊地区还包括与其工程衔接的明沟(渠)盖板方沟等。
- (3) 燃气管道 包括煤气管道、天然气管道、液化石油气等输配管道。
- (4) 热力管道 包括供热水管道、供热气管道、洗澡供水管道等。
- (5) 电力电缆 包括动力电缆、照明电缆、路灯等各种输配电力电缆等。
- (6) 电信电缆 包括市话、长话、广播、光缆、有线电视、军用通信、铁路及其他各种专业通信设施的直埋电缆。
- (7) 工业管道 包括氧气、乙烯、液体燃料、重油、柴油、氯化钾、丙烯、甲醇等化工管道以及工业排渣管道、排灰管道等。
- (8) 油气管道 包括油气田内部集输管道、站间管道及跨地区及全国联网的长输管道。

2. 按管线材质分类

- (1) 防腐钢质管道;
- (2) 铸铁管道;
- (3) 带钢丝网的水泥管道;
- (4) 玻璃钢管道;
- (5) 塑料 PE 管等。

3. 按管道的专业业主分类

如采油厂、采气厂、输油公司、输气公司、城市自来水公司、管道煤气公司等,以专业业主分类可以决定检测时由何单位牵头,经费的来源,找谁负责,检测成果归什么单位所有等。

二、地下管线检测内容

地下管线检测,不仅需要先进可靠的检测设备,还需要熟练掌握使用检测设备人和相关的理论知识及一定的检测实践经验,才可确保可靠的检测质量。如果检测人员能够掌握多种检测方法技术,并在实际工作中熟练运用,将会提高检测工程的质量。

1. 探测管道位置

(1) 探测方法选择 工频法、甚低频法、直接法、夹钳法、电偶极感应法、磁偶极感应法、铁钎钻探法、开挖验证法、示踪电磁法、地质雷达法、电阻率法、充电法、磁场强度法、磁梯度法、浅层地震法、面波法、红外辐射法。

(2) 信号源的施加 发射方式选择、发射位置选择、发射接线方式选择、接地地点的选

择、回路方式的选择、发射功率选择、发射信号选择、频率选择、阻抗匹配选择。

(3) 信号接收方式选择 峰值法(最大法)、谷值法(最小法)。

(4) 管道平面位置确定 环形搜索法、网格搜索法、平行搜索法。

(5) 管道走向确定 两点一线法、探头转向法、探杆指向法、一步一扫法、多点连线法。

(6) 复杂情况的若干问题 电缆与铸铁管道及防腐钢管的区分、平行管道探测、交叉管道探测、管道变深探测、分支三通探测、立体管网探测、贴地管道探测。

2. 探测管道埋深

(1) 测深位置的选择及影响测深因素 根据现场实际情况进行选择和分析。

(2) 管道深度的确定 45°测深法、70%测深法、80%测深法、比值法、数字直读法、任意角度倾斜法。

(3) 深度的误差来源及修正 选点误差、干扰误差、测量误差。

3. 介质泄漏点的检测

(1) 输水管道泄漏点检测 漏水原因分析法、电子仪器听音法、相关仪器分析法、流量差分析法、压力下降分析法、区域装表法、直接观察法、环境观察法、升压检漏法、直接听音法、听音杆法、示踪剂法、氢气示踪法、温度示踪法、充电测试法。

(2) 输气管道泄漏点检测 防腐层相关法、半导体气敏法、接触燃烧法、火焰电离检测法、光学甲烷检测法、气体成分比重法、分子量大小法、地面钻孔法、卤素示踪法、氢气示踪法、加臭示踪法、氦气示踪法、加压检漏法、大水漫灌法、肥皂泡法、环境观察法、训练动物闻味法、手推车检漏法、多探头检漏车检漏法、风向分析法、直接听音法、仪器放大听音法。

(3) 输油管道泄漏点探测 负压采样法、检测电缆法、流量分析法、碘 131 示踪法、无线数据监测法、超声波定位法、声波检测法、光纤检漏法、压力差分析法、实时模型检漏法、泄漏噪声检测法、系缆式漏磁检测器法、SCADA 系统法、互相关分析法、特性阻抗检测法。

4. 钢质管道外防腐层状况检测

1) 埋土前检测

(1) 外观检查;

(2) 高压电火花检查: 涂敷厂在线检测、便携式火花手工检测;

(3) 涂层厚度检测: 涂层测厚仪的使用;

(4) 涂层黏接力检测。

2) 埋土后检测

(1) 防腐层破损点检测 多频管中电流法、皮尔逊检测法、直流电位梯度法、密间隔电位测试法、标准管地电位法;

(2) 接收信号方法 电流方向法、人体电容法、接地探针法、金属拐杖法、铁鞋法、磁场信号衰减法;

(3) 破损点精确定位 移动参比法、固定电位比较法、等距回零法、平行于管道移动法、电流方向法、A 字架法、垂直于管道移动法;

(4) 破损点大小的检测 数字直读法、光标显示法、统计图形法、辐射距离法、压控振频法、公式修正法、DCVG+GIPS 组合判断法、磁场下降法;

(5) 破损点位置的标定 绝对距离法、相对座标法、GPS 定位法、喷漆法、打土包法、

木桩定位法、彩色布条法;

(6) 破损点的开挖验证 扩坑法、直接观察法、镜面反照法、高压电火花检测法、湿布涂抹法、泥土再测电位法、涂层测厚法;

(7) 外防腐层绝缘电阻检测 电流-电位法、拭布法、变频选频法、多频管中电流法、百米磁场信号衰减法、静态信号下降法、一次性总距离法。

5. 阴极保护运行参数检测

(1) 管地电位测试 地表参比法、近参比法、远参比法、断电法、辅助电极法;

(2) 牺牲阳极输出电流测试 标准电阻法、直测法;

(3) 管内电流测试 电压降法、补偿法;

(4) 绝缘法兰(接头)绝缘性能测试 兆欧表法、电位法、漏电阻测试法;

(5) 接地电阻测试 辅助阳极接地电阻测试、牺牲阳极接地电阻测试;

(6) 土壤电阻率测试 等距法、不等距法、ZC-8 土壤电阻仪的使用法。

6. 管体腐蚀状况测试

1) 管外测试

磁场下降四级衰耗分析法、探坑验证法、破损处超声波剩余壁厚测试法、涂层测厚法、非腐蚀点开挖检查法、涂层老化程度检测法、土壤腐蚀速率推断法、多项缺陷积分法、综合参数异常评价法、金属挂片失重法、腐蚀电流密度测定法、十二项指标法、管道金属蚀失量检测法、管体腐蚀损伤尺寸评定法、最大安全工作压力评定法。

2) 管道内部检测

漏磁检测法、超声检测法、扫描成像法、涡流检测法、闭路电视检测。

7. PE 管道安装检测

检测示踪线是否安装,检测示踪线的截面是否满足检测信号传导的距离要求,检测示踪线是否始终实现电性能链接、接头是否做防腐包裹处理,检测阀井内与末端的示踪线是否有固定处理,检测示踪线是否用胶带固定在 PE 管道上方,检测 PE 管道标志桩是否偏离管道上方位置,检测 PE 管道埋土深度是否满足规范要求,检测是否沿 PE 管道安装警示带。

8. PE 管道周围环境检测

检测管道上方是否有违章占压的现象,检测管道附近是否有施工、取土、爆破等违章行为,检测标志桩、标志贴是否缺失,检测桩内接线是否完好齐全。检测 PE 管道是否暴露在阳光与腐蚀性化学降解的土壤环境之中。

9. 管道检测成果的可靠性管理

1) 新建管道的检测

施工单位自检,监理单位抽检,委托第三方终检。

2) 常规运行管道的检测

单位人员自检,领导抽检,专业检测公司检测,质监部门抽检。

上述几个方面的检测,每种仪器都有其特定的应用条件和局限性,将几种仪器配合或一种仪器的几种检测方法结合进行组合检测,将会极大提高检测结果的可靠性。

第三节 地下介质干扰源对管线磁场的影响

在地下管线探查过程中,对隐蔽管线开挖验证不仅是检验地下管线探测质量的直接手段,也是验证探查方法和采用的技术措施有效性的必由之路。特别是后者若应用得当,会帮