

# 我国埋地管道非开挖检测技术的发展现状

秦 硕<sup>1</sup>,陶文亮<sup>2\*</sup>,李龙江<sup>3</sup>,何 萌<sup>4</sup>

(1.贵州大学化学与化工学院,贵州 贵阳 550025; 2.贵州民族大学,贵州 贵阳 550025;  
3.贵州大学矿业学院,贵州 贵阳 550025; 4.贵州燃气集团股份有限公司,贵州 贵阳 550004)

**摘要:**从非开挖检测的常见方法、设备、专利申请情况和有关非开挖检测的文献发表情况对我国当前埋地管道非开挖技术的发展进行了简要的综述,并对非开挖检测技术的前景进行了分析。

**关键词:**非开挖;埋地管道;检测技术

中图分类号:TE973

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2018)02-0222-05

DOI:10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2018.02.054

## China's development status of trenchless detection technology for buried pipelines

QIN Shuo<sup>1</sup>, TAO Wen-liang<sup>2\*</sup>, LI Long-jiang<sup>3</sup>, HE Meng<sup>4</sup>

(1.College of Chemical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2.Guizhou Minzu University, Guiyang 550025, China; 3.College of Mining, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 4.Guizhou Gas Group Corporation Limited, Guiyang 550004, China)

**Abstract:** In this paper, China's development situation of trenchless detection technology for buried pipeline is briefly summarized, including the common methods, equipment, patent applications and the relevant literature about the trenchless detection. The prospect of trenchless detection technology is analyzed too.

**Key words:** trenchless; buried pipeline; detection technology

目前石油和天然气已经成为人们日常生活中不可或缺的一部分,从而地下管道建设也越来越密集。在给人们带来便利的同时,管道由于在役时间长,外防腐层可能会由于各种原因而产生缺陷和破损,甚至发生泄漏,长此以往会给管道安全、高效、持续的运输带来不利的后果,严重的则会发生爆炸事故,同时会造成巨大的环境破坏<sup>[1-3]</sup>。

为了减少管道破损而带来损失,做好管道检测,评估管道总体状况势在必行。1980年前后,国内外开始施行管道检测。埋地管道检测是由美国发展起来的边缘学科,之后发展到中国,涉及安全工程、流体输配、结构力学等相当多的学科。非开挖检测是地下管线检测常用的检测手段,并且是管道无损检测技术的重要组成部分<sup>[4]</sup>,是在地面以最少甚至不开挖的情况下,针对埋地管道是否腐蚀、泄漏并确定泄漏点位置的检测。国际非开挖技术协会给非开挖技术的定义是:非开挖技术是能在最小甚至不开挖

的条件下安装、修复或更新地下管线和电缆的一种手段<sup>[5]</sup>。一般来讲,非开挖检测技术是地质学上利用不在地表进行挖掘的方式检测、检查、修复和替换地下管道的一种方法<sup>[6-7]</sup>。随着国家的发展和科技的进步,埋地管道非开挖检测技术经历了最近几十年的研究发展,实用性和准确性有了质的飞跃,为管道的安全稳定运行起到了关键性的作用。本文中从非开挖检测的常见方法、设备、专利申请情况和有关非开挖检测的文献发表情况对我国当前非开挖技术的发展进行了简要的综述,并对非开挖检测技术的前景进行了分析。

## 1 常见的非开挖检测技术

非开挖检测技术是指在地面以最小开挖量甚至不开挖的条件下对埋地管道进行腐蚀、泄漏并确定泄漏位置的检测技术<sup>[8]</sup>。管道检测技术在国内外普遍采用多频管中电流法(PCM)<sup>[9]</sup>、标准管/地电

收稿日期:2017-09-11

基金项目:贵州省科技厅工业攻关项目(Z113169)

作者简介:秦硕(1992-),男,硕士生;陶文亮(1962-),男,博士,教授,主要从事化工装备可靠性、风险评价,膜科学技术及应用的研究,通讯联系人,wltao@gzu.edu.cn。

位检测法(P/S)<sup>[10]</sup>、密间距电位测试法(CIPS)<sup>[11]</sup>、Pearson 检测法(PS)<sup>[12]</sup>、直流电压梯度测试法(DCVG)<sup>[13]</sup>,以上检测技术普遍应用于天然气、油田等领域<sup>[14]</sup>。

当前所有埋地管道的检测方法中,直流电压梯度测试技术对地下管线的破损定位最为准确,其他的方法也有其自身的特点和适用场合。表1<sup>[15-19]</sup>就以上所述的检测方法的优缺点进行了总结。

表1 管道外腐蚀检测技术优缺点

检测技术名称	代表仪器	检测内容	精度	优点	缺点
多频管中电流法	英国雷迪 RD8000、A 字架	探测管线走向、埋深,检测防腐层绝缘性能	±1.0 m	可快速检测整个管道的腐蚀状况,也可在短间距内对破损点进行定位;属于非接触式地面测量,受地面环境的影响较小	测量结果不明确,不能判别阴极保护效率以及涂层剥离,容易受到外界干扰
标准管/地电位检测法	数字万用表与 Cu/CuSO <sub>4</sub> 电极	阴极保护效率	±1.0 m	能快速测量管线的阴极保护效果	不能确定缺陷大小及其位置,不能指示涂层剥离
密间距电位测试法	密间隔管地电位检测仪	检测阴检保护效果和防腐层失效范围	±0.5 m	可找出缺陷的位置、尺寸,指示阴极保护效率,能指出缺陷的严重性,可计算机化自动取样	不能判别涂层剥离,容易受到外界干扰,同时需要牵拉电缆,从而限制了其使用场合
直流电压梯度测试法	高灵敏度的电压表与 Cu/CuSO <sub>4</sub> 电极	涂层缺陷	±0.5 m	可以确定缺陷大小和涂层缺陷的位置,不受外界电流干扰,受地貌影响小	不能指示管道的阴极保护效率以及不能判别涂层剥离

由表1所述可知,每种检测技术只能检测某1种或2种缺陷内容,而不能全面检测。2010年,安徽省特种设备检测院沈汽等<sup>[20]</sup>针对城市天然气埋地钢质管道防腐层绝缘性能,综合现有多种埋地钢质管道外防腐层检测技术,构成一套综合检测和评估方法,实

现了对天然气管道防腐层破损点快速且精确的定位,并开发了防腐层安全状况等级评定系统,打破了现有埋地管道非开挖检测方法的局限性。目前此方法已在合肥、马鞍山、芜湖、蚌埠等地展开了现场实践,进行了300 km非开挖实验,结果表明使用效果良好。

(上接第221页)

加标回收试验(各平行测定6份),以判断方法的准确度和精密度。

表2 样品分析及回收试验

样品	1#	2#	3#
每支标示量/mg	80	40	40
每支测得值/mg	79.66	40.47	39.82
取样量/(mg·L <sup>-1</sup> )	3.186	2.024	1.991
加入标准量/(mg·L <sup>-1</sup> )	1.251	2.502	2.002
测得平均值/(mg·L <sup>-1</sup> )	4.455	4.502	4.020
回收率/%	101.4	99.04	101.3
相对标准偏差/%	0.8	1.0	1.0

## 4 结论

利用奥扎格雷钠与VTB的显色反应,采用双波长叠加法测定药物中奥扎格雷钠的含量,该方法简便、快速,有较高的准确度、精密度、较宽的线性范

围、较高的灵敏度及良好的选择性,可用于市售奥扎格雷钠注射液及粉针剂中奥扎格雷钠含量的测定。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国药典委员会.中华人民共和国药典(二部)[M].北京:中国医药科技出版社,2015:1405.
- [2] 张斌,钱叶飞,闵春燕,等.超高效液相色谱法同时测定化妆品中7种美白成分[J].日用化学工业,2016,46(2):118-122.
- [3] 张勇,陈玉威,高桂花.内标法测定奥扎格雷钠颗粒的含量[J].实用药物与临床,2013,16(6):517-518,519.
- [4] 唐坤,付翔.RP-HPLC法测定人血浆中奥扎格雷的浓度[J].中国药房,2009,20(32):2519-2520.
- [5] 徐小梅,程庆兵.HPLC法测定注射用奥扎格雷钠的含量[J].安徽卫生职业技术学院学报,2013,12(5):84-85,79.
- [6] 孟玉玲,孟祥军,葛欣.HPLC法测定奥扎格雷钠注射液含量[J].中国现代药物应用,2010,4(21):32-33.
- [7] 沈晓筱.HPLC法测定注射用奥扎格雷钠的含量[J].中国药师,2007,10(4):348-350.
- [8] 佟健,郭兴家,张鹏.核磁共振法测定奥扎格雷钠含量[J].光谱实验室,2006,23(3):475-478.■

## 2 非开挖检测设备

与非开挖检测技术相对应的是非开挖检测设备,常用的检测设备主要有 PCM 检测仪、Pearson 检测仪、DCVG 检测仪和密间距电位测试仪等。

PCM 检测仪适用于埋地钢质管道涂层的质量检测、对破损点的精确定位、对防腐层腐蚀情况进行评级,还可以指示阴极保护效率。但它有一定的缺点,该设备易受外界电磁干扰;接收机的读数还与地形地貌、管道埋深、土壤均质有关,导致检测结果不准确或误判;同时检测过程中必须手持,难以保证设备在管道的垂直正上方,从而导致检测结果存在误差。张伟等<sup>[21]</sup>针对沙漠特殊地形的检测,总结了 PCM 检测过程的位置选择、信号采集点的选取以及并行管道检测的操作经验。总的来说,PCM 及其配套设备是最准确、快速、可靠的管道防腐涂层检测仪。

DCVG 检测仪是采用高灵敏度的电压表测量管道上方 2 个 Cu/CuSO<sub>4</sub> 半电池电极的电位差来确定电位梯度的大小和电流的方向,从而得到管道的破损点位置。目前,先进的检测设备具有数据管理系统和 GPS 定位装置,不但能在测量的同时存储检测数据,而且还能保存管道的地理位置<sup>[22]</sup>。测量结果可以实时传到上位机中,采用专业的分析测试软件可以得到测量结果,同时可以显示管道的破损情况。该检测设备具有多种优点,不受电磁干扰、地形地貌影响小、操作方便同时准确度极高,但它不能检测管道防腐层剥离的情况。周琰等<sup>[23]</sup>利用此方法在某管线上进行了检测,检测出几十个破损点,并对其中的 9 个点进行开挖验证,结果显示,该技术可检测出极小的破损点,误判率极低,并有极好的精确度。

Pearson 检测仪需在检测过程中 2 人配合才能完成,2 操作者保持前后相距 5 m 左右向前行走,若检测信号变化很小说明管道无异常,反之,该管段存在破损<sup>[24]</sup>。该检测仪能在不开挖地面的情况下获得地下管道的破损情况,节省了人力物力,但是该检测仪器的使用对操作者的经验要求极高,容易造成误判,且需同时 2 个人手持才能完成,对长距离的管道检测存在不便。

目前的非开挖设备虽存在或多或少的不足,但却是当前埋地管道检测的重要手段,随着科技的进步,必将有新的设备被开发,使埋地管道的检测变得更为快捷有效。

## 3 非开挖检测的知识产权情况

### 3.1 专利发表情况

通过在 SooPAT 专利搜索官网以“名称”为限定条件,搜索“非开挖检测”,分析了 2006—2016 年有关埋地管道非开挖检测的专利申请情况,如表 2 所示。由表 2 可见,我国非开挖检测的专利申请数量虽然不多,但总体上呈现不断增加的趋势,专利总数达 107 项。从专利的种类来看,专利申请的类型以“发明型”专利为主,占据专利总数的 70% 左右;“实用新型”专利申请的比例近 10 年来变化幅度不大,每年仅几项;“外观型”专利到目前为止一直处于“0”的状态。同时这些专利的申请者主要针对目前检测技术的单一性(某一两种缺陷)进行了研究,可以进行更加深入的研究,开发出能进行全面检测的仪器。以上分析可表明我国的非开挖检测技术正在创新发展阶段,同时正在朝着解决行业关键核心技术和原创性方向发展。

表 2 非开挖检测的专利申请情况

专利类型	2006	2007	2008	2009	2010	2011
发明	1	1	2	4	9	10
实用新型	1	1	0	0	3	1
外观	0	0	0	0	0	0
专利类型	2012	2013	2014	2015	2016	
发明	5	11	6	7	26	
实用新型	5	4	1	1	8	
外观	0	0	0	0	0	

### 3.2 文献发表情况

在中国知网以文献来源为“期刊”,搜索关键字“非开挖检测”,总结了 2006—2016 年间中文期刊有关非开挖检测的文献发表状况,如表 3 所示。自 2006 年后,与非开挖检测有关的文献发表数目共 2 180 篇,每年文献发表数目变化情况不大,但是在普刊发表的数目占了 80% 左右,在中文 SCI 的发表至今为止还没有,中文 EI 和中文核心期刊上发表数目较少且大多数都是综述类文章,主要针对各种检测技术手段、理论及其优缺点,研究性的文章很少,难以对后来者进行有效的启发,说明我国有关管道非开挖检测方面的中文文献的质量有待加强。

在中国知网以文献来源为“期刊”,分别搜索关键字“PCM 检测”、“P/S 检测”、“CIPS 检测”、“Pearson 检测”、“DCVG 检测”,分析了 2006—2016 年发表的文献有关非开挖检测技术的类型,结果如

表3 非开挖检测文献发表情况

文献类型	2006	2007	2008	2009	2010	2011
普刊	113	125	137	165	166	157
核心期刊	33	31	24	33	27	27
EI	1	6	1	4	4	1
SCI	0	0	0	0	0	0

  

文献类型	2012	2013	2014	2015	2016
普刊	167	175	221	188	178
核心期刊	28	43	33	43	35
EI	4	2	0	4	4
SCI	0	0	0	0	0

表4所示。从表4中可看出,文献中非开挖检测技术发表类型所占比重大小依次是,DCVG检测技术,大约占57%;PCM检测技术,大约占18%;P/S检测技术,大约占15%;CIPS检测技术和Pearson检测技术最少,各约占5%。由于DCVG检测技术是目前世界较先进的管道检测技术之一且定位准确,因此所占比重也较大。这些期刊文章主要针对的是各种检测技术的理论介绍,应用性的文章相对较少且普刊文章占了大多数,因此期刊质量也不是很高。所以,应该针对各种检测技术的应用进行大量的研究来填补这方面的不足,提高文章质量。

表4 非开挖检测技术类型

检测类型	2006	2007	2008	2009	2010	2011
PCM检测	14	16	20	25	16	23
P/S检测	7	23	24	17	14	19
CIPS检测	2	7	6	5	9	3
Pearson检测	5	8	8	4	8	6
DCVG检测	57	63	65	63	66	78

  

检测类型	2012	2013	2014	2015	2016
PCM检测	26	29	36	18	28
P/S检测	28	14	18	20	13
CIPS检测	5	6	9	12	10
Pearson检测	8	4	8	9	9
DCVG检测	70	67	80	95	87

在EI数据库中搜索主题、题目或摘要(Subject/Title/Abstract)中含“非开挖(trenchless)”的文献,总结了2006—2016年EI数据库中有关非开挖文献的发表数量。如表5所示,EI数据库中有关非开挖的文献发表数目为894篇,除了在2013年发表数量较其他年份较多外,总体呈基本平稳的趋势,表明非开

挖的研究还需突破性的进展以提高文献的数量和质量。此外,与中文期刊相比有很大的不同之处在于EI上发表的期刊大多数不单单写各种检测技术的理论,同时还对各种检测方法的应用做了大量的实验,由数据来验证理论的可行性。

表5 EI数据库中有关非开挖的文献发表数量

文献类型	2006	2007	2008	2009	2010	2011
EI	60	83	92	91	74	97

  

文献类型	2012	2013	2014	2015	2016
EI	67	123	88	68	51

同时分析了2006—2016年间不同国家在EI数据库中发表的有关非开挖的文献数目。由表6可知,除了美国以外,我国在EI数据库中非开挖领域的文章发表数目远多于其他国家,位居世界第二位,表明我国在非开挖领域的研究在国际上有一定的话语权。

表6 不同国家有关非开挖文献的发表情况

文献类型	美国	中国	加拿大	德国	俄罗斯	英国
EI	295	132	64	44	41	38

  

文献类型	澳大利亚	波兰	荷兰	意大利	日本
EI	31	23	19	16	15

## 4 结语

近年来,随着城市化和石油天然气工业的快速发展,地下管线长期处于复杂的土壤环境中,使得埋地钢质管道的腐蚀泄漏问题日益突出。因此埋地管道的安全检测、维护也成为亟需解决的难题。而非开挖检测能以最少的开挖量或不开挖来检测埋地管道的腐蚀和泄漏,已经成为埋地钢质管道检测过程中最常用的手段。同时针对单一检测的局限性,国内开展了大量的研究,灵活运用各种检测手段,研究出几种合理的检测手段组合方案,如CIPS/DCVG综合检测技术<sup>[25]</sup>、PCM和Pearson综合检测技术<sup>[26]</sup>、PCM和CIPS/DCVG组合检测技术<sup>[27]</sup>等,以此提高检测精度,对管道进行综合评估。

经统计,目前全国有60余家机构和企业单位从事埋地管道非开挖的研究,如中国石油集团下属的输送管与管线安全评价研究所主要针对管道安全评价与风险评估研究以及石油管腐蚀与防护研究,为管道非开挖检测的发展提供了大量的前沿成果。除此之外,北京隆科兴非开挖工程股份有限公司也从

事包括管道监控与检测、管道诊断与评估、管道养护等。通过种种高新技术手段,例如 CCTV 电视检测、声纳检测、激光扫描、红外摄像等等,对地下管网进行深度评估分析。更深一步地对管道功能性和结构状况进行确认,对其已有和潜在的问题做到准确评估诊断。同时,吸收国外先进思想,引进和发展地下管网优化地理信息系统,采用地理信息系统(GIS)来实现地下管线信息的输入、存储、显示、快速定位等功能,做到真正意义上的即时综合管理,彻底维护。同时全国有 40 余所大学和 400 多位学者正在从事埋地管道非开挖的研究,其中天津大学的陈教授主要从事于石油天然气工业中的管道检测研究,总发文量 72 篇,总下载量已经达到了 17 000 多次。其团队自主研发了一款便携式的管道检测仪,利用神经网络对埋地管道的防腐层进行缺陷检测,此方法消除了检测过程中人为因素的影响,提高了检测精度和速度。同时,还提出了一种能够同时检测防腐层破损与剥离的技术,研发出了一款基于 DSP 的便携式检测仪器,在实际检测过程中取得了令人满意的效果。各个科研机构 and 大学学者的共同努力研究,为埋地管道非开挖检测智能化的进一步发展起到了一定的推动作用。

经过各国专业人员的艰苦实践,管道检测方法越来越多样化且检测技术正向着智能化不断进步,实时在线检测分析、可视化的研究不断发展,为地下管线提供更可靠、准确的检测方法,同时对管道安全运行提供更加科学、有效的数据,降低管道运行风险是将来管道非开挖检测行业的发展方向。

### 参考文献

[1] 朱佳林,侯元春,薛华鑫.埋地管道外防腐层检测技术综述[J].全面腐蚀控制,2013,27(12):33-36.

[2] Matineh Eybpoosh, Mario Berges, Hae Young Noh. An energy-based sparse representation of ultrasonic guided-waves for online damage detection of pipelines under varying environmental and operational conditions[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2017, 82:260-278.

[3] Alvaro M Avelino, José A de Paiva, Rodrigo E F da Silva, et al. Real time leak detection system applied to oil pipelines using sonic technology and neural networks [C]. Industrial Electronics, 2009. IECON'09. 35 th Annual Conference of IEEE, Porto, 2009: 2109-2114.

[4] 左延田,沈功田,曾鸣.在用埋地管道不开挖检测技术[J].无损检测,2006,28(4):203-208.

[5] 王建钧,曹净,刘海明.水平定向钻进技术[J].西部探矿工程,

2008,20(3):47-49.

[6] Shantanu Datta, Shibayan Sarkar. A review on different pipeline fault detection methods [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2016, 41: 97-106.

[7] Zhang Y A, Liu Z, Shen L Y, et al. Detection of pipeline curvature with FBG sensors twisted [J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 303/304/305/306: 67-73.

[8] 王军.国内外非开挖检测泄漏技术现状及展望[J].科技探索, 2013, (8): 115.

[9] 衣红兵,牟宗元,王学国.油田埋地管道防腐层检测方法[J].石油工程建设,2010,36(2):112-113.

[10] 巢粟苹.地下管道防护层缺陷检测技术研究与应用[J].全面腐蚀控制,2008,22(2):9-12.

[11] 黄昌碧,陈晖,宋根才,等.管道防腐层检测技术现状及发展[J].石油仪器,2003,17(5):5-7.

[12] Eyre D. The Pearson survey method for detecting corrosion in underground pipelines [J]. Underground Pipeline Corrosion, 2014: 247-254.

[13] 杜晓春,黄坤.埋地管道腐蚀检测新技术[J].天然气与石油, 2005, 23(5): 20-22.

[14] 刘欣,刘红伟.长输管道检测技术发展现状[J].石油工程建设, 2013, 39(3): 4-6.

[15] 魏书义.国内油气长输管道检测技术发展探析[J].硅谷,2013, 6(6): 99.

[16] 王咏梅.PCM 检测技术在油气长输管道检测中的应用[J].化工时刊,2011,25(7):50-51.

[17] 马新飞,姜万军.长输管道腐蚀及检测技术[J].石油化工腐蚀与防护,2009,26(6):18-20,27.

[18] 高勇,史小东.胜利油田海底管道检测技术研究及展望[J].中国石油和化工标准与质量,2012,32(1):21.

[19] 王文奋,董海涛.埋地钢制管道非开挖腐蚀检测技术[J].全面腐蚀控制,2016,30(1):62-66.

[20] 沈沅,黄长安,李志宏,等.城市天然气埋地钢质管道非开挖检测及评价技术研究[Z].安徽省特种设备检测院,2010.

[21] 张伟,王冲,熊林,等.沙漠地区应用 PCM 进行管道检测的一些建议[J].全面腐蚀控制,2013,27(10):27-28.

[22] 时乔伟,孙雷.埋地钢质管道外腐蚀检测技术[J].石油天然气学报,2009,31(4):371-373.

[23] 周琰,靳世久,孙墨杰,等.埋地管道防腐层缺陷 DCVG 检测技术研究及应用[J].管道技术与设备,2001,(5):38-40.

[24] 杨国华,叶晓杭,范列朋.皮尔逊检测法在埋地燃气管道泄漏定位的应用[J].煤气与热力,2015,35(11):82-84.

[25] 龙宪春,张鹏,喻建胜,等.油气管道外检测技术现状与发展趋势[J].管道技术与设备,2012,(1):20-22.

[26] 莫诚生.常用埋地管道检测技术 Pearson 法与 PCM 法适用性研究[J].压力容器,2014,31(8):63-70.

[27] 于培林,姚安林,李又绿,等.天然气埋地管道外检测技术的应用和发展[J].石油工业技术监督,2007,23(7):18-20. ■