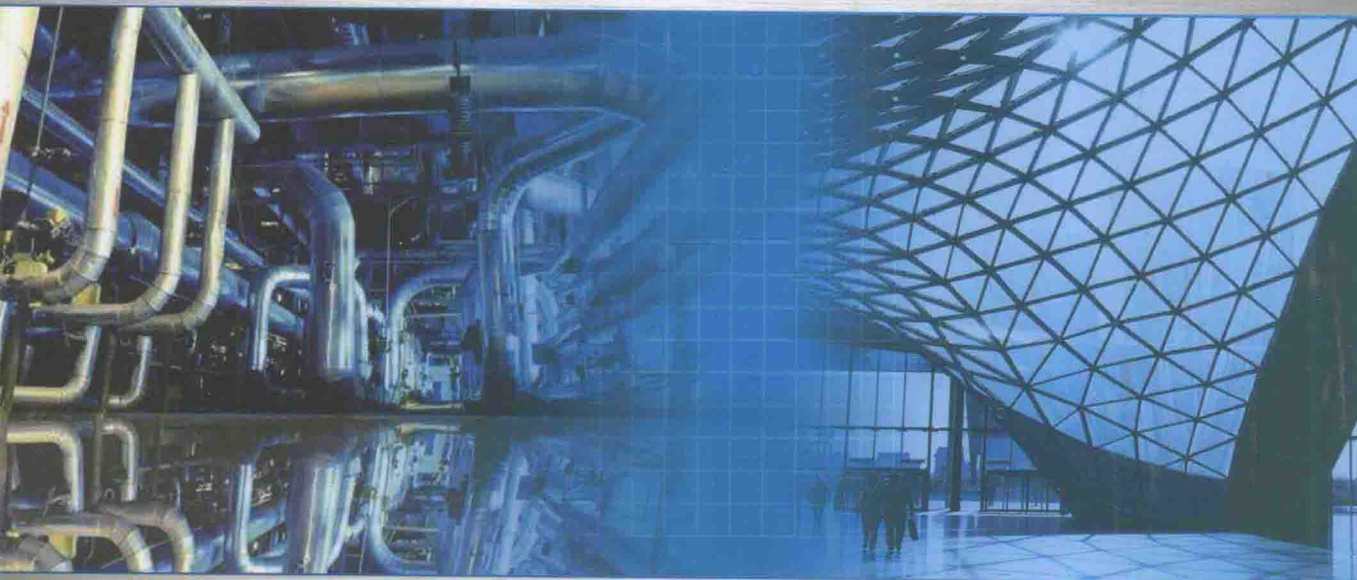




北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目
北京市职业院校教师素质提高工程资助项目

地下管网 检测技术



王强 苗金明  编著

北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目
北京市职业院校教师素质提高工程资助项目

地下管网检测技术

王 强 苗金明 编著

机械工业出版社

为了保障油气管道以及城市地下管网运行安全,必须科学有效地开展管道探测与安全检测。本书较全面系统地阐述了地下管网探测与检测的基本理论,以及各类管道探测与检测技术的原理特点、仪器设备、操作方法和应用实例。此外,本书对国内外管道探测与检测技术发展的最新成果也进行了简要介绍。本书共6章,主要内容包括:地下管网探测技术、地下管道泄漏检测技术、地下管道外防腐层检测技术、地下管道腐蚀检测技术、管道管体无损检测技术等。

本书主要供城市设施安全技术专业教学使用,同时可以供安全工程、市政工程、油气储运等专业教学使用,也可以供从事油气储运,以及城市给水、排水、燃气、供热等城市工程管线的管理与技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

地下管网检测技术/王强,苗金明编著. —北京:机械工业出版社, 2014. 1

北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目
ISBN 978-7-111-45413-7

I. ①地… II. ①王…②苗… III. ①地下管道-检测-高等教育-教材 IV. ①U173.9-34

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第006525号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:罗莉 责任编辑:罗莉 责任校对:丁丽丽

封面设计:赵颖喆 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2014年4月第1版第1次印刷

184mm×260mm·16.25印张·395千字

0 001—2 500册

标准书号:ISBN 978-7-111-45413-7

定价:49.00元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本教材是国家骨干高职院校重点建设专业——城市设施安全技术专业的建设成果之一。北京劳动保障职业学院城市设施安全技术专业面向城市公用设施保障服务单位的管网安全运行与操作维护岗位而设立，主要培养掌握管网安全运行与操作维护技术的高端技能型专门人才。

《地下管网检测技术》是城市设施安全技术专业的专业核心课程，本书较全面系统地阐述了地下管网探测与检测的基本理论，以及各类管道探测与检测技术的原理特点、仪器设备、操作方法和应用实例。此外，本书对国内外管道探测与检测技术发展的最新成果也进行了简要介绍。本书共分6章，内容包括：地下管网检测技术概述、地下管网探测技术、地下管道泄漏检测技术、地下管道外防腐层检测技术、地下管道腐蚀检测技术、管道管体无损检测技术。

本书在编写过程中力求结构合理、简繁得当、理论联系实际，并参阅了大量的文献和技术资料，吸收了同类教材之精华。在此，对所引用的参考资料的原作者表示最诚挚的谢意！

本书第1、2、3、5、6章由王强编写，第4章由苗金明编写，全书由王强统稿。同时，张宪金、曲文晶参与了部分文字录入与校对整理工作，赵俊岭对本书提出了大量宝贵意见，在此一并向他们表示感谢！

在本书编写过程中，得到了北京劳动保障职业学院教务处、安全工程系有关领导和老师的支持与帮助，在此谨向他们表示诚挚的谢意！

由于笔者学识所限，时间仓促，书中难免有欠妥之处，恳请读者批评指正！

编 者

目 录

前言

第 1 章 地下管网检测概述	1
1.1 城市地下管网发展现状	1
1.1.1 我国城市市政管网现状	1
1.1.2 市政管网系统存在的主要问题	2
1.2 地下管道检测的必要性	4
1.2.1 管道检测技术简介	5
1.2.2 管道检测经济效益分析	5
1.2.3 国内外管道检测现状	6
1.3 地下管道的分类	7
1.4 地下管网的探测	8
1.4.1 施工场地管线探测的一般性要求	8
1.4.2 施工场地管线的探查	9
1.5 地下管网的检测	13
1.5.1 介质泄漏点的检测	14
1.5.2 钢质管道外防腐层状况检测	14
1.5.3 阴极保护运行参数检测	15
1.5.4 管体腐蚀状况测试	15
1.5.5 管道检测成果的可靠性管理	15
第 2 章 地下管网探测技术	16
2.1 地下管网探测技术概述	16
2.1.1 地下管线探查的基本任务	16
2.1.2 地下管线探查在地下管网普查中的 作用	16
2.1.3 地下管线探测涉及的专业领域	16
2.1.4 管线探测的基本原则	17
2.1.5 地下管线探测面临的环境	18
2.1.6 地下管线探测的精度要求	18
2.1.7 探测地下管线的物探方法分类	19
2.2 地下金属管道电磁法探测技术	19
2.2.1 电磁法探测技术工作原理	19
2.2.2 电磁法探测仪器设备	20
2.2.3 探查方法	23
2.3 RD8000 探测仪使用方法	27
2.3.1 RD8000 探测系统概述	28
2.3.2 定位电缆和管道	30
2.3.3 深度读数和电流读数	34
2.4 地下非金属管线探查及标识方法	37
2.4.1 非金属管线探测方法	37
2.4.2 非金属管线标识方法	38
2.5 地质雷达探测技术	40
2.5.1 探测方法及原理	40
2.5.2 RAMAC 地质雷达设备简介	41
2.5.3 地质雷达探测地下管线工程 实例	42
2.6 塑料管线示踪法探测技术	44
2.6.1 塑料管线标志与示踪方法	44
2.6.2 塑料管线示踪线法的施工及其 探测技术	45
第 3 章 地下管道泄漏检测技术	50
3.1 供水管道泄漏检测技术概述	50
3.1.1 漏水调查工作方法	50
3.1.2 供水管道泄漏检测与定位技术 概述	51
3.1.3 漏水声波探测技术简介	53
3.2 自来水管道的检漏技术与仪器分类	56
3.2.1 升压检漏法	56
3.2.2 区域流量测定检漏法	56
3.2.3 声波检漏方法与技术	57
3.3 供水管网的系统检漏	61
3.3.1 供水管网系统检漏原理	61
3.3.2 噪声种类	61
3.3.3 检漏方法	61
3.3.4 影响漏点检测的因素	62
3.3.5 分区检漏对漏点漏失量的分析	62
3.3.6 供水管网漏点定位	63
3.4 自来水管道的检漏设备的使用	66
3.4.1 漏水噪声相关仪的使用说明	66

3.4.2 智能数字式漏水检测仪的使用说明	68	测设备	109
3.5 燃气输配管道泄漏检测技术概述	73	4.1.2 电磁波在载流管线上的传输特性	111
3.5.1 燃气管道泄漏的原因	74	4.1.3 地下管道位置、走向、深度探测	113
3.5.2 对燃气查漏定位应考虑的相关因素	75	4.1.4 地下管道外防腐层破损点定位技术	117
3.5.3 燃气管道泄漏检测技术和方法	76	4.1.5 管道外防腐层破损点大小量化判断技术	124
3.5.4 对燃气探漏仪器的一般要求	79	4.2 地下管道外防腐层绝缘电阻检测技术	126
3.5.5 燃气泄漏、冒跑的一般规律及探漏方法	79	4.2.1 防腐层绝缘电阻检测的目的、意义和基本要点	126
3.5.6 燃气管道泄漏维修方法	80	4.2.2 变频选频法测量埋地管道绝缘电阻技术	127
3.6 埋地燃气管道泄漏检测的一般方法	81	4.2.3 多频管中电流法检测防腐层绝缘电阻技术	135
3.6.1 泄漏检测的可能性	81	4.3 管道防腐层高压电火花检测技术	145
3.6.2 泄漏检测的一般方法	81	4.3.1 涂层针孔缺陷的检漏原理及方法	145
3.6.3 查漏常见情况及其判断方法	82	4.3.2 国产电火花针孔检测仪的使用	146
3.7 埋地燃气管道氢气示踪检测法	83	4.3.3 国产电火花在线检测仪的使用	150
3.7.1 新建管道泄漏检测技术现状	83	4.4 管道阴极保护参数测试技术	152
3.7.2 氢气示踪法检测新建管道泄漏技术	83	4.4.1 管地电位测试	152
3.7.3 氢气示踪法检测步骤	84	4.4.2 阴极保护有效性检测技术	156
3.7.4 仪器设备的选择	85	4.4.3 牺牲阳极输出电流测试	158
3.8 气体报警仪的使用	86	4.4.4 土壤腐蚀性(电阻率法)测试技术	160
3.8.1 气体报警仪相关知识简介	86	4.4.5 管内阴极电流测量技术	162
3.8.2 加拿大 BW 四合一气体检测仪 GasAlertMicro 使用说明	91	4.4.6 绝缘法兰(接头)绝缘性能测试	163
3.8.3 便携式可燃性气体检测仪的使用说明	94	4.4.7 土壤中细菌腐蚀性检测技术	165
3.9 城市燃气泄漏检测新方法及其应用	96	4.4.8 管道外杂散电流干扰腐蚀性检测技术	166
3.9.1 光学甲烷探测技术	96	第 5 章 地下管道腐蚀检测技术	169
3.9.2 负压波检漏技术在输气管线中的应用	99	5.1 地下管道腐蚀与城市安全	169
3.9.3 燃气泄漏检测信息系统在管网检漏的应用	101	5.1.1 腐蚀隐患与突发事件	169
3.10 热力管道泄漏光纤光栅检测技术	103	5.1.2 腐蚀因素的分析	170
3.10.1 光纤光栅检测原理和泄漏判定	104	5.1.3 防止腐蚀的措施	172
3.10.2 工程应用	105	5.2 埋地管道腐蚀检测与评价技术概述	173
3.10.3 工程经验	108	5.2.1 埋地管道腐蚀检测技术简介	174
第 4 章 地下管道外防腐层检测技术	109		
4.1 地下管道外防腐层状况检测技术	109		
4.1.1 地下管道外防腐层状况检测意义和检测			

5.2.2 含腐蚀缺陷管道的适用性评价方法简介	177	应用实例	210
5.2.3 埋地管道腐蚀检测与评价技术小结	178	第 6 章 管道管体无损检测技术	212
5.3 埋地钢质管道环境腐蚀性检测	179	6.1 管道管体的破坏形式及缺陷类型	212
5.3.1 土壤腐蚀性检测	179	6.1.1 管道管体常见的破坏形式	212
5.3.2 杂散电流检测	180	6.1.2 管道管体常见的缺陷类型	213
5.3.3 管地电位和土壤表面电位梯度检测	181	6.2 埋地管道无损检测技术概述	215
5.4 燃气管道腐蚀检测技术简介	184	6.2.1 埋地管道元件的无损检测	216
5.4.1 燃气管道腐蚀原因分类	184	6.2.2 埋地管道安装过程中的无损检测	216
5.4.2 燃气管道腐蚀的计算方法	184	6.2.3 在用埋地管道的无损检测	218
5.4.3 燃气管道腐蚀的检测	186	6.2.4 埋地管道无损检测技术总结	220
5.4.4 燃气管道腐蚀检测技术的发展	186	6.3 地下管道内检测技术	221
5.5 管道腐蚀超声导波技术检测技术	187	6.3.1 管道内检测的必要性	221
5.5.1 MsS 管道腐蚀导波检测技术概述	187	6.3.2 地下管道内检测技术简介	221
5.5.2 超声导波检测灵敏度	188	6.3.3 国外管道内检测装置	223
5.5.3 MsS 超声导波检测设备简介	189	6.3.4 国内管道内检测装置	225
5.5.4 检测步骤	191	6.4 油气管道无损检测方法	226
5.5.5 现场应用	193	6.4.1 油气管道常用无损检测方法的特点	226
5.5.6 长距离管线检测中 MsS 技术的性能及局限性	198	6.4.2 油气管道无损检测方法的选择	227
5.6 城市公共排水管道 CCTV 内窥检测技术	199	6.4.3 选择油气管道无损检测方法常存在的误区	228
5.6.1 CCTV 检测系统	199	6.5 管道漏磁检测技术及应用	229
5.6.2 CCTV 管道检测流程	200	6.5.1 漏磁检测器	229
5.6.3 CCTV 检测注意事项	201	6.5.2 地面标记系统	231
5.6.4 管道检测评估	201	6.5.3 数据分析系统	231
5.7 腐蚀管道壁厚检测与安全评价方法	202	6.6 排水管道无损检测	232
5.7.1 管道壁厚检测的常用方法	203	6.6.1 排水管道外检测	232
5.7.2 管道壁厚常用检测方法的优缺点	204	6.6.2 排水管道内检测	233
5.7.3 测量内容	204	6.7 管道焊缝的超声波检测	235
5.7.4 测量数据的处理及预测	205	6.7.1 管道焊缝与容器焊缝的区别	236
5.7.5 评价方法	206	6.7.2 焊接工艺及缺陷分析	236
5.7.6 评价实例	208	6.7.3 探头的选择	237
5.8 埋地钢质管道腐蚀瞬变电磁法检测	208	6.7.4 检测灵敏度分析	238
5.8.1 瞬变电磁法检测原理	208	6.7.5 检测工艺卡编制举例	239
5.8.2 检测方法的开发应用	209	6.7.6 典型缺陷信号的识别	240
5.8.3 瞬变电磁法在管道腐蚀检测中的		6.8 地下金属管网应力集中检测	242
		6.8.1 应力集中区金属磁记忆检测原理	243
		6.8.2 检测结果及分析	243
		6.9 地下管道变形检测	244

6.9.1 通径内检测器	245	6.9.5 激光光源投射成像法	247
6.9.2 管内摄像法	245	6.9.6 光纤陀螺法	248
6.9.3 超声波法	246	参考文献	249
6.9.4 激光三角测量法	246		

地下管网检测概述

1.1 城市地下管网发展现状

城市地下管网系统是城市基础设施的重要组成部分，是城市赖以生存和发展的物质基础，是保障城市正常、高效运转，保证城市经济、社会健康可持续发展的重要条件。随着我国城镇化进程不断提高，面对人口、资源和环境的巨大压力，为确保国民经济的可持续发展，我国政府在逐年加大对城市基础设施的投入，城市市政地下管网建设得到快速发展，近几年每年新铺设和更新改造的市政地下管网长度超过 10 万 km，市政地下管网新材料、施工新技术得到管道工程界广泛关注和积极应用。

1.1.1 我国城市市政管网现状

1. 市政管网分类

城市市政管网根据用途不同可分为：城市供水管网、城市排水管网、城市燃气管网、城市集中供热管网等。

城市市政管网根据管道材质不同可分为：钢管、铸铁管、混凝土管、塑料管。钢管主要包括：无缝钢管、焊接钢管；铸铁管主要包括：灰口铸铁管（亦称普通铸铁管）、延性铸铁管（亦称球墨铸铁管）；混凝土管主要包括：预应力混凝土管（PCP）、自应力混凝土管（SPCP）、预应力钢筒混凝土管（PCCP）、混凝土管（CP）、钢筋混凝土管（RCP）；塑料管主要包括：聚乙烯（PE）管、硬质聚氯乙烯（PVC-U）管等。

在城市市政管网系统中，城市供水管网主要品种有：钢管、铸铁管、混凝土管、塑料管；城市排水管网主要品种有：铸铁管、混凝土管、塑料管；城市燃气管网主要品种有：钢管、铸铁管、塑料管；城市集中供热管网主要为钢管，塑料管作为其保温层的保护套管。

2. 市政管网长度情况

2001~2008 年城市供水、城市排水、城市燃气、城市集中供热管道总长度见表 1-1，每年新增管道长度见表 1-2。

表 1-1 2001~2008 年城市供水、排水、燃气、集中供热管道总长度（单位：km）

年份 种类	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
城市供水	289338	312605	333289	358410	379332	430426	447229	480084
城市排水	158128	173042	198645	218881	241056	261379	291933	315220
城市燃气	100600	118824	130212	147949	162109	189491	221083	257846
集中供热	53109	58740	69967	77038	86110	93955	102986	120596

表 1-2 2001~2008 年城市供水、排水、燃气、集中供热管道每年新增长度

(单位: km)

年份 种类	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
城市供水	34777	23267	20684	25121	20922	51094	16803	32855
城市排水	16370	14914	25603	20236	22175	20323	30554	23287
城市燃气	11142	18224	11388	17737	14160	27382	31592	36763
集中供热	9327	5631	11227	7071	9072	7845	9031	17610

3. 市政管网铺设年代情况

城市供水、城市排水、城市燃气、城市集中供热管道不同铺设年代管道长度和所占比重见表 1-3。

表 1-3 市政管网中不同铺设年代管道长度和所占比重

种类	20 世纪 50 年代 及以前		20 世纪 60 年代		20 世纪 70 年代		20 世纪 80 年代		20 世纪 90 年代		2001~2008 年	
	长度 /km	比重 (%)	长度 /km	比重 (%)	长度 /km	比重 (%)	长度 /km	比重 (%)	长度 /km	比重 (%)	长度 /km	比重 (%)
城市供水	18188	3.79	12862	2.68	27695	5.77	75044	15.63	120772	25.16	225523	46.97
城市排水	20 世纪 80 年代以前铺设的城市 排水管长度为 21860km, 占 6.93%						35927	11.40	83971	26.64	173462	55.03
城市燃气	1479	0.58	1144	0.44	4699	1.82	24188	9.38	57948	22.47	168388	65.31
集中供热	1368	1.13	518	0.43	1638	1.36	14596	12.10	25662	21.28	76814	63.70

4. 市政管网材质情况

根据 1996 年 6 月 30 日全国城市市政公用设施普查, 普查范围包括全国 627 个设市城市(除我国台湾、香港、澳门地区), 城市市政管网中各种材质管道长度和所占比重见表 1-4。

表 1-4 市政管网中各种材质管道长度和所占比重 (1996 年 6 月普查数据)

种类	钢管		铸铁管		混凝土管		塑料管		其他	
	长度 /km	比重 (%)	长度 /km	比重 (%)	长度 /km	比重 (%)	长度 /km	比重 (%)	长度 /km	比重 (%)
城市供水	45360	23.85	98273	51.67	20418	10.74	10997	5.78	15151	7.97
城市排水	668	0.61	2801	2.54	74308	67.51	—	—	32285	29.33
城市燃气	33072	60.28	20533	37.42	—	—	471	0.86	791	1.44
集中供热	城市集中供热管道(包括蒸汽管、热水管)均采用钢管									

5. 市政管网管径情况

根据 1996 年 6 月 30 日全国城市市政公用设施普查, 城市市政管网中各种管径管道长度和所占比重见表 1-5。

1.1.2 市政管网系统存在的主要问题

1. 城市供水管网系统

(1) 供水管网老化、管材低劣、施工技术落后

表 1-5 市政管网中各种管径管道长度和所占比重 (1996 年 6 月普查数据)

种类	DN700 以上		DN500 ~ 700		DN300 ~ 500		DN150 ~ 300		DN150 以下	
	长度 /km	比重 (%)	长度 /km	比重 (%)	长度 /km	比重 (%)	长度 /km	比重 (%)	长度 /km	比重 (%)
城市供水	11623	6.11	12758	6.71	25469	13.39	45758	24.06	94591	49.73
城市排水	17376	15.79	18096	16.44	31024	28.19	17914	16.28	1675	1.52
城市燃气	696	1.27	1864	3.4	7974	14.53	14563	26.54	29770	54.26
集中供热	445	1.42	1592	5.08	3052	9.73	10100	32.22	16162	51.55

注：城市排水管网中，其他（不明）管径的管道长度 23977km，占 21.18%。

现有供水管网中，超过使用年限的管网达到 20% 左右，由于早期铺设的管网，使用管材低劣、施工技术落后，造成管网严重老化。并且现有供水管网中，灰口铸铁管在很多城市占 50% 以上，个别城市甚至达 90%。大多数灰口铸铁管质量不符合现行国家标准的要求，而且管网配件质量差，接口技术落后，导致管网抗压强度低，爆漏事故频繁发生。此外，普通混凝土管和镀锌铁管也占有相当比例，材质差、抗冲击和抗腐蚀能力差。

在严重老化的管网中，主干管占 59%、其他管网占 41%；在材质低劣的管网中，主干管占 58%、其他管网占 42%；施工技术落后的管网中，主干管占 58%、其他管网占 42%。

(2) 供水管网非正常工况运行

一些城市将不同时期或不同地区使用的供水管进行联网供水，出现了管材混杂的情况，承压标准较低的管段处于超负荷运行状态，爆管事故增多。

一些城市中心区或局部地区供水管径偏小，供水压力明显不足，用水高峰时，断水现象时有发生。

一些城市由于新建水源工程，将地下水源更换为地表水源，或增大地表水源比例，为弥补被替代的补压井的压力损失，提高了管网压力，超出原设计标准，一部分管道破损，管网漏损严重。

2. 城市排水管网系统

(1) 排水管网建设与污水处理厂建设不匹配

不少城市和地区，往往只把污水处理厂作为重点工程对待，而放松与之相配套的排水管网的建设，常常是污水处理厂按计划建成投产，而排水管网却只建了部分干管，造成一方面污水处理厂处理量不足，另一方面污水仍直接排入河体污染环境。

(2) 雨水管、污水管混接

一些城市将雨水管与污水管混接，雨、污不分，降雨时排水量增加，造成污水外溢，同时对污水处理厂运行处理工艺冲击很大。

(3) 雨水管管径普遍偏小

一些城市排水管设计标准偏低，尤其是雨水管管径偏小，造成过水能力不足，导致汛期常常出现溢水现象。

(4) 混凝土管及其接头破损严重

混凝土管在各地排水管网中占有相当高的比例，由于地基不均匀沉降和其他市政工程施工对管道基础的影响，造成混凝土管及其接头破损严重，导致污水渗入地下，污染地下水。

3. 城市燃气管网系统

(1) 燃气管网老化、腐蚀严重

燃气用钢管设计寿命一般为 15 ~ 20 年, 多数城市中压燃气管网及早期投入运营的低压燃气管网运行近 20 年左右时间, 已接近或达到寿命终点, 多数管网处于事故多发期。近几年, 燃气管网系统腐蚀穿孔事故频发, 且呈上升趋势。城市燃气管网老化, 已成为燃气输配的重要安全隐患。

(2) 违章占压和新增设施与燃气管网安全间距不足

少数居民乱搭乱建, 有的占压在燃气管线上, 以及有些地区有线电视、移动通信、电力高压线入地等与燃气管道平行或交叉, 安全距离不够, 一旦燃气发生泄漏, 容易引起爆炸。

(3) 城市道路拓宽和其他地下工程施工对燃气管网造成危害

城市道路拓宽后, 原理设于慢车道和非机动车道下的燃气管道, 变为铺设在机动车道下, 给巡检、维修造成极大困难, 以及其他地下工程施工, 对燃气管道基础扰动, 给燃气管网运行带来了安全隐患。

4. 城市集中供热管网系统

(1) 供热管网输送效率低, 热损失大

高温或蒸汽直埋保温管在设计、制造、施工等各个环节存在诸多问题, 如: 结构形式、排湿措施、关键节点处理及管道补偿问题等, 造成供热管网渗漏现象严重, 输送效率低, 热损失大。

(2) 供热管网中水力失调问题普遍存在

由于供热管网在运行中普遍存在水力失调的问题, 造成近端过热、远端过冷的状况。这不但降低了供热系统的效率, 而且恶化了供热质量, 使得供热系统能耗和运行费用大幅度增加。

1.2 地下管道检测的必要性

用管道传输能量被认为是最为安全经济的方法。到 2010 年年底, 我国已经建成石油、天然气长输管道 8 万多 km, 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。

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问题。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。中国城市燃气协会在全国范围内作了一次统计: 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 m; 乌鲁木齐某地天然气将铸铁井盖炸上天 10 多 m 高, 将沥青路面炸开 50 多 m; 北京某地一段 DN400 管道竟然连续几次发生燃气泄漏和爆炸事故。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,并取得了一定进展。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方法,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,其经济效益是十分可观的。

1.2.1 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部,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,在我国具有广泛的应用前景。

1.2.2 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。而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 1-6。

表 1-6 三种管道安全策略成本比较

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

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 1-1 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。

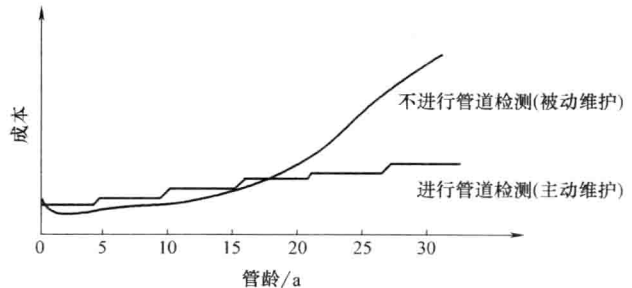


图 1-1 管道检测经济效益比较

1.2.3 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 TUBO-SCOPE 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 (British Gas, 简称 BG) 公司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 20 世纪 80 年代末 90 年代初以来，计算机技术的飞速发展研制为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做出科学分析预测，并根据管道完整体系规范对一些有严重缺陷的管道及时修复，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，我国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。

尽管如此，我们和世界先进管道检测水平相比还有较大差距，管道检测工作尚属起步阶段，已检测的管道数量不足管道总量的 1/10，而且尚未对任何管道进行再检测。由于各方面的原因，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，制定管道检测规范，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。

1.3 地下管道的分类

地下管线是埋设在地下的管道及电缆的总称，有如下几种分类方法：

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、甲醇等化学管道以及工业排渣、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) 带钢丝网的混凝土管道；
- 4) 玻璃钢管道；
- 5) PE 塑料管道等。

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、管道煤气公司等专业业主的管道。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、找准负责、检测成果归什么单位所有等。

1.4 地下管网的探测

城市地下管网探测按探测任务可分为市政共用管线探测、厂区或住宅小区管线探测、施工场地管线探测和专用管线探测四类。本节仅介绍与非开挖地下管线施工有关的施工场地管线探测。

非开挖地下管线施工场地管线探测是在非开挖施工前进行的。其主要任务是查明施工场地有无已铺设的地下管线（包括给排水、燃气、热力、工业等各种管道以及电力和电信电缆），如有，则查明地下管线的平面位置、走向、埋深（或高程）、规格、性质、材质等，并编绘地下管线图；除此以外，还应查明每条管线的铺设年代和产权单位，其目的是为了保护已有地下管线，防止施工时造成对管线的破坏。因此，其探测范围应包括整个施工区域和可能受施工影响威胁地下管线安全的区域。

1.4.1 施工场地管线探测的一般性要求

1. 地下管线探测的基本程序和要求

地下管线探测工作应遵循下列基本程序：接受任务、搜集资料、现场踏勘、方法试验、编制技术设计、实地调查、仪器探查、建立测量控制、管线点连测、地下管线图编绘、报告书编写和成果验收。探测单一管线或工作量较少时，上述工作程序可以简化。

地下管线现场探测前，必须全面搜集和整理测区范围内已有的地下管线资料和有关测绘资料，应包括下列内容：①已有的各种地下管线图；②各种管线的设计图、施工图、竣工图及技术说明资料；③相应比例尺的地形图；④测区及其邻近测量控制点的坐标和高程。

现场踏勘的主要任务是：①核查搜集的资料，评价资料的可信度和可利用程度；②察看工区的地面建筑、地貌、交通和地下管线分布出露情况、地球物理条件及各种可能的干扰因素；③核查测区内测量控制点的位置。

施工场地管线图、探测基本地形图的比例尺一般为 1:200 ~ 1:1000。

2. 地下管线探测精度要求

施工场地地下管线探测可采用本地的建筑坐标系统，但应与当地城市坐标系统建立换算关系。城市地下管线探测的精度应符合以下规定：

1) 隐蔽勘探点的探查精度分为三个等级，见表 1-7，表中限差值按两倍中误差计。

表 1-7 隐蔽管线点的探查精度

精度等级	水平位置限差 δ_{ha}/cm	埋深限差 δ_{hb}/cm	精度等级	水平位置限差 δ_{ha}/cm	埋深限差 δ_{hb}/cm
I	$\pm(5+0.05h)$	$\pm(5+0.07h)$	III	$\pm(5+0.12h)$	$\pm(5+0.18h)$
II	$\pm(5+0.08h)$	$\pm(5+0.12h)$			

- 注：1. h 为地下管线的中心埋深，以 cm 计；
 2. 当 $h \leq 70\text{cm}$ 时，埋深限差 δ_{hb} 用 $h = 70\text{cm}$ 代入计算；
 3. 如果对探查精度有特殊要求，可根据工程需要确定。

2) 测量管线点(管线点是为了探查和测绘地下管线而设置的测点)的解析坐标中误差(指测点相对于邻近解析控制点)不得超过 $\pm 5\text{cm}$;高程中误差(指测点相对于邻近高程控制点)不得超过 $\pm 2\text{cm}$ 。

3) 探测管线点的解析坐标中误差(指实际管线点相对于邻近解析控制点)不得超过表1-8中的规定;高程中误差(指实际管线高程点相对于邻近高程控制点)不得超过 $0.5\delta_{\text{th}}$ 。

表 1-8 探测管线点解析坐标中误差

精度等级	坐标中误差 m_a/cm	精度等级	坐标中误差 m_a/cm
I	$\pm(5+0.02h)$	III	$\pm(5+0.055h)$
II	$\pm(5+0.035h)$		

4) 地下管线图上测量点位中误差不得超过 $\pm 0.5\text{mm}$;地下管线图上探测点位中误差不得超过 $\pm(0.5+0.625\delta_{\text{ls}}/M)\text{mm}$,式中, M 为测图比例尺的分母; δ_{ls} 为平面位置限差。

3. 地下管线探测的取舍标准

地下管线探测的取舍标准应根据各城市的具体情况、管线的疏密程度和委托方的要求确定。市政共用管线探测宜按表1-9取舍。

表 1-9 市政公用地下管线探测的取舍标准

管线类型	需探测的管线	管线类型	需探测的管线
给水	管径 $\geq 50\text{mm}$ 或 $\geq 100\text{mm}$	热力	全测
排水	管径 $\geq 200\text{mm}$ 或 $\geq 300\text{mm}$	电力	全测
燃气	管径 $\geq 50\text{mm}$ 或 $\geq 75\text{mm}$	电信	全测
工业	全测		

1.4.2 施工场地管线的探查

探查的任务是在现场查清各种地下管线的铺设情况、在地面上的投影位置及深度,并在地面设置管线点标志,以便测量管线点的坐标和高程,或进行地下管线图的测绘。地下管线测量工作的任务是建立测量控制。进行管线点连测,测得管线的坐标和高程,或进行地下管线图的测绘。因此,探查和测绘是地下管线探测的两个相互紧密衔接的不同阶段,在实施时可以分工,紧密配合。

1. 管线点的设置

管线点分为明显管线点和隐蔽管线点。明显管线点是指能用简单技术手段直接定位和量取有关数据的地下管线或其附属设施上所设置的测点,如窨井、消火栓、人孔及其他地下管线出露点,明显管线点可以通过实地调查和量测即可。隐蔽管线点必须用仪器进行探查,并对管线进行定位和定深。

(1) 管线点设置的基本要求

1) 管线点宜设置在管线的特征点(包括交叉点、分叉点、转折点、起止点以及管线上的附属设施中心点等)或其地面投影位置上。

2) 在没有特征点的管线线段上,探测施工场地各类管线时,宜每 $5\sim 10\text{m}$ 设一个管线点。