

DETECTING AND SURVEYING OF UNDERGROUND
PIPELINES AND PIPELINE INFORMATION SYSTEM

张正禄 司少先
李学军 张 昆
等编著

地下管线探测 和管网信息系统

测绘出版社

地下管线探测和管网信息系统

Detecting and Surveying of Underground Pipelines and
Pipeline Information System

张正禄 司少先 李学军 张昆 等编著

测绘出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书系统地讲述了地下管线探测的理论、技术和方法,管网信息系统的总体结构和基本功能,系统设计与开发的基本原理、方法和步骤,地下管线探测方法与技术的发展成就和动向。内容包括地下管线探查的物探方法、各种管线探测仪器及应用;地下管线的外业测量、内业数据处理和管网图编绘;地下管网信息系统的数据库设计、软硬件平台和系统中的一些关键技术等。本书既有较全面的理论阐述,又有较具体的实例说明。

本书对在全国开展城市地下管线普查工作有理论意义和实用价值,可作为高等院校测绘类专业研究生、本科生、专科生的教学参考书,也可作为与地下管线有关的工作人员的参考书。

©张正禄等 2007

图书在版编目(CIP)数据

地下管线探测和管网信息系统/张正禄等编著. —北京:
测绘出版社,2007.11

ISBN 978-7-5030-1766-7

I. 地… II. 张… III. ①地下管道—探测②地下管道—
管网—管理信息系统 IV. TU990.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 178597 号

责任编辑 吴 芸

封面设计 赵培璧

出版发行 **测绘出版社**

社 址 北京西城区复外三里河路 50 号

邮政编码 100045

电 话 010-68512386 68531558

网 址 www.sinomaps.com

印 刷 北京通州区次渠印刷厂

经 销 新华书店

成品规格 169mm×239mm

印 张 12

字 数 230 千字

版 次 2007 年 12 月第 1 版

印 次 2007 年 12 月第 1 次印刷

印 数 0001-3000

定 价 30.00 元

书 号 ISBN 978-7-5030-1766-7/P·463

如有印装质量问题,请与我社发行部联系

前 言

进行地下管线探测和建立管网信息系统,对城市规划设计管理和可持续性发展具有重大的社会政治意义和经济效益。为了配合全国城市地下管线普查工作的开展,满足管线探测人员、管线资料和管网信息系统管理人员的需要,我们编著了此书。

全书共七章,主要内容如下:

第一章,总论。阐述了地下管线探测和建立管网信息系统的目的和意义,地下管线探查与测绘的技术方法,地下管网信息系统的组成、功能和应用。

第二章,地下管线探查技术和方法。详细介绍了地下管线探查主要技术与方法的原理和应用,质量控制以及管道泄漏探测与防腐层检测。

第三章,地下管线外业测量。包括已有和新建地下管线的测量,涵盖了从控制测量、管线点测量到带状地形图测绘以及新建管线竣工测量。

第四章,管线数据处理与图形编绘。主要是管线数据建库和管线图的编绘,并以一个地下管线数据处理系统为例进行说明。

第五章,地下管网信息系统的设计与开发。阐述了系统的总体结构、基本功能、数据库设计以及开发软硬件平台,列举了系统的若干关键技术。

第六章,地下管网信息系统实例。介绍了城市地下综合管网信息系统、城市地下供水管网信息系统和地下燃气管网信息系统等三个管网信息系统。

第七章,论述了地下管线探测和管网信息系统的发展趋势。

参加本书编撰工作的有:张正禄(第一章部分、第七章,并负责全书的组织、设计、统稿和审校),李学军(第二章),王勇(第三章),任维成(第四章),张昆(第五章),司少先(第六章)和张松林(第一章部分)。

“北京富急探仪器设备有限公司”和“上海雷迪机械仪器有限公司”为本书提供了相关的最新技术资料,山东正元地理信息工程有限责任公司的屈春英女士做了打印工作,在此一并表示感谢!

限于时间和编著者的水平,书中难免存在不足之处,敬请读者不吝指正。

编著者

2006年10月

目 录

第 1 章 总 论	1
§ 1.1 地下管线现状和探测的目的及意义	1
1.1.1 地下管线的现状.....	1
1.1.2 地下管线探测的目的和意义.....	3
§ 1.2 地下管线分类与结构	4
1.2.1 地下管线的分类.....	4
1.2.2 地下管线的结构.....	4
§ 1.3 地下管线探测的规定和工作程序	5
1.3.1 地下管线探测的技术规定.....	5
1.3.2 探测精度分析.....	5
1.3.3 地下管线探测的工作程序.....	6
§ 1.4 地下管线探查技术与方法	7
1.4.1 地下管线探查方法分类.....	7
1.4.2 地下管线探测仪器简介.....	8
1.4.3 地下管线探查的工作程序.....	9
1.4.4 地下管线探查的质量控制.....	9
§ 1.5 地下管线测绘技术与方法.....	10
1.5.1 地下管线测绘的内容	10
1.5.2 地下管线测绘新技术	11
1.5.3 管线测量和图形编绘的质量检查	12
§ 1.6 地下管网信息系统.....	12
1.6.1 概述	12
1.6.2 系统的建设目标与组成	13
1.6.3 系统的信息构成	14
1.6.4 系统的服务功能	15
1.6.5 系统的软硬件平台	16
第 2 章 地下管线探查技术和方法	17
§ 2.1 概述.....	17
2.1.1 地下管线探查工作程序	17

2.1.2 地下管线探查的物探技术与方法	20
§ 2.2 频率域电磁法	20
2.2.1 基础理论	21
2.2.2 应用条件和适用范围	26
2.2.3 探测仪器	28
2.2.4 工作方法与技术	35
2.2.5 频率域电磁法探查地下管线的应用	45
§ 2.3 电磁波法	47
2.3.1 基本原理	47
2.3.2 仪器设备	48
2.3.3 技术方法	50
2.3.4 探地雷达法探查地下管线的应用	57
§ 2.4 其他物探方法	59
2.4.1 磁法	59
2.4.2 地震波法	63
2.4.3 直流电法	67
2.4.4 红外辐射法	69
§ 2.5 质量保证措施与质量检验	70
2.5.1 质量保证措施	70
2.5.2 质量检验方法	73
§ 2.6 地下管道泄漏探测技术与方法	74
2.6.1 给排水管道泄漏探测技术方法	74
2.6.2 燃气管道泄漏探查	79
§ 2.7 地下管道防腐层检测方法与技术	80
2.7.1 方法介绍	80
2.7.2 检测技术	81
2.7.3 检测仪器	82
2.7.4 应用效果	82
第3章 地下管线外业测量	83
§ 3.1 概述	83
3.1.1 工作内容	83
3.1.2 工作流程	85
§ 3.2 地下管线外业测量	85
3.2.1 测前工作	86

3.2.2 管线控制测量	87
3.2.3 已有地下管线测量	94
§ 3.3 新建管线定线测量与竣工测量	101
3.3.1 地下管线定线测量	101
3.3.2 地下管线竣工测量	102
第 4 章 管线数据处理与图形编绘	103
§ 4.1 管线数据处理与建库	103
4.1.1 管线属性数据库的建立	103
4.1.2 空间数据库的建立	104
4.1.3 管线图形文件的生成	106
4.1.4 管线元数据的生成	106
§ 4.2 地下管线图的编绘	107
4.2.1 地下管线图种类和规格	107
4.2.2 管线图的编绘	108
4.2.3 管线图编绘的质量检验	111
4.2.4 地下管线成果表编制	111
§ 4.3 地下管线数据处理系统实例	112
4.3.1 运行环境	112
4.3.2 系统功能	112
4.3.3 系统设置	113
4.3.4 数据录入	115
4.3.5 数据查错	116
4.3.6 管线成图	116
4.3.7 管线标注	117
4.3.8 管线编辑	118
4.3.9 内业工作流程	120
第 5 章 地下管网信息系统的设计与开发	121
§ 5.1 建立地下管网信息系统的一般规定	121
§ 5.2 地下管网信息系统总体结构与数据标准	122
5.2.1 总体结构	122
5.2.2 数据标准	124
§ 5.3 地下管网信息系统的基本功能	126
§ 5.4 地下管网信息系统的数据库设计	128

5.4.1 数据库设计步骤·····	129
5.4.2 空间数据库·····	130
§ 5.5 地下管网信息系统的开发·····	132
5.5.1 GIS 开发平台·····	132
5.5.2 管线数据模型·····	137
§ 5.6 地下管网信息系统的核心技术·····	138
5.6.1 网络模型·····	138
5.6.2 动态分段·····	143
5.6.3 三维可视化·····	144
§ 5.7 地下管网信息系统的建立·····	145
第 6 章 地下管网信息系统实例·····	149
§ 6.1 概述·····	149
§ 6.2 城市地下综合管网信息系统·····	149
6.2.1 系统概况·····	149
6.2.2 系统设计·····	150
§ 6.3 城市地下供水管网信息系统·····	154
6.3.1 系统目标与总体结构·····	154
6.3.2 系统平台选择·····	155
6.3.3 数据库结构设计·····	156
6.3.4 系统功能设计·····	158
6.3.5 供水管网的水力计算·····	162
§ 6.4 城市地下燃气管网信息系统·····	168
6.4.1 系统目标与总体结构·····	168
6.4.2 系统平台选择·····	169
6.4.3 功能模块设计·····	170
6.4.4 系统安全管理·····	173
第 7 章 地下管线探测和管网信息系统的发展趋势·····	175
§ 7.1 地下管线探测的发展趋势·····	175
§ 7.2 地下管网信息系统的发展趋势·····	180
参考文献·····	183

第1章 总论

现代化城市都拥有一个结构复杂、规模庞大的地下管线系统,地下管线就像人体内的血管,担负着物质、能量的传输功能,世界各国将城市地下管线称为生命线工程。地下管线是城市的重要基础设施,关系到每个居民的生活,关系到城市经济发展,关系到城市的整体运行。城市要充分利用地下空间,掌握城市地下管线的现状,管理好地下管线的各种信息资料,是城市规划建设和可持续发展的需要,是有效应对与地下管线有关的突发灾害的保证,是城市社会经济发展的需要。

地下管线探测是指采用物探和测绘技术方法确定地下管线空间位置和属性的全过程,它涉及物理学、地球物理学、工程测量学、市政建设、城市规划与管理等学科。

本书的地下管线主要指城市地下管线和大中型厂区的地下管线。地下管线按行业可分为给水、排水、燃气、热力、工业等各种管道和电力、电信等各种电缆线。地下管线探测包括对已有地下管线普查、新建地下管线施工和竣工测量等内容。已有地下管线普查是查明地下管线的现状,即管线和附属设施的空间位置及其属性特征,包括管线探查、管线测量和沿地下管线的带状地形图测绘,这部分内容是本书的重点;新建地下管线的施工和竣工测量属于工程测量的范畴,本书只作一般性介绍。地下管网信息系统是利用地理信息系统原理和方法,建立地下管线网及其附属设施的空间信息和属性信息,对其进行管理,以满足城市规划、设计、施工和管理需要的计算机网络化信息管理系统,本书在对地下管网信息系统的设计、建立和应用进行综述的基础上,给出了地下综合管网信息系统、供水管线信息系统和燃气管网信息系统三个实例。最后,对地下管线探测和管网信息系统的发展趋势作了展望。

§ 1.1 地下管线现状和探测的目的及意义

1.1.1 地下管线的现状

城市地下管线的现有状况和存在问题可以概括为:①缺少统一领导,缺乏科学规划,缺乏有效监管;②已有地下管线布设不合理,老化严重,家底不清,资料不全;③地下管线普查投入不足、进度较慢,效果欠佳;④修测不及时,养护未跟上,浪费较严重;⑤行业指导不够,专业队伍不强,市场监管不力。

例如:已有管线过密,最密处上下交叉 10 余层,并非铺设近 100 根,管径最小的不到 100 mm,最大的达 4000 mm。管线间的安全距离不足,存在很多隐患。一些城市的老城区,给、排水管道严重老化、锈蚀,内壁结垢,管径偏小,输水能力低;遇到汛期和雷暴雨季节,局部积水严重,城区居民地被淹。有关数据表明,某省会城市平均每天发生自来水管损坏的就有 30 多起,一年上万起,其中 300 mm 以上的水管爆裂有 335 起,年流失自来水 7000 多万吨。

再如:在地下管线现状资料不全方面,有一些城市甚至没有一张完整的“地下管网图”,更谈不上现势性较好的管线资料。在城市建设加快时,经常有管线事故发生,在施工中发生管线被挖断,引起停水、停气、停热、停电和通信中断等事故。据不完全统计,全国每年因施工引发的管线事故所造成的直接经济损失达 50 亿元,间接经济损失达 400 亿元,造成严重的经济损失和不良的社会影响。有的施工单位未向规划部门报批便开工;有的施工单位为了抢进度,边报批边施工,没弄清地下管网的情况就盲目开挖;有时虽然是按图纸施工,但图纸上明明没标有管线,可施工时却挖出了问题,如此等等。

上面所述情况只是现象,从本质上讲,城市地下管网存在的问题主要体现在以下几个方面:

(1) 缺少统一领导和规划 ① 在我国许多城市,尤其是中、小城市,各管线单位从各自的利益出发,在管线的铺设过程中,经常出现城市道路重复开挖、重复施工情况,影响市容交通;另外,管道铺设基础处理差,回填质量差,造成市区道路路面较差。② 旧城区道路狭窄,建筑密度大,违章建筑压在管线上,影响使用、维护、更新,成为事故隐患。③ 各种井盖被埋,难找难补,有的井盖高出地面,妨碍交通,容易被盗,成为车辆损毁、人员伤亡的隐患。④ 由于各类地下管线的资金来源和实施时间不同,造成地下管线位置、走向、标高都比较混乱,各专业单位各行其是,设计施工前缺乏充分勘测,在施工中出现损坏地下管线,造成停水、停电、触电伤亡、排水道堵塞和通信中断等事故。⑤ 管道铺设不留安全距离,造成维修困难。

(2) 资料不全、管理不力 城市建设主管部门是地下管线的管理机构,但由于历史和现实原因,管理职能未能真正履行。目前主要道路干线资料归各专业管线单位存档。已有的地下管线信息数据不完全、不翔实且流通不畅。如没有对管径、长度、埋深及管网中的控制阀门等设施加以标注,综合图对于城市规划及各管线单位无实际指导意义等。由于不能提供准确的现状资料,造成规划、设计和施工困难,规划管理审批的盲目性大。新建管线在竣工后未经主管测量单位审查进行竣工测量,竣工资料归档措施乏力,没有向城市地下管线管理主管部门提供新建地下管线资料,以致大量竣工资料分散。据统计,全国大约有 70% 的城市地下管线没有基础性城建档案资料,地下管线家底不清的情况普遍存在。原有城市地下管线没有普查、建档,新增管线资料没有及时归档入库。

(3)城市建设发展快,基础设施跟不上 高速公路、高速铁路、城市地铁等都是借鉴国外发达国家建设经验的基础上大力发展起来的。地下管线属于公用基础设施,由于城市建设的发展速度太快,基础设施建设往往跟不上,在我国还缺乏经验,加上老城区改造的欠账太多,要从根本上一下子解决地下管线的改造、建设和管理问题是不可能的。特别是城市郊区的居民区,基本没有考虑给排水的统一规划,许多应埋在地下的管线如电力线、通信线等,都无序地布设在地上。城市郊区居民地和乡镇的污水排放问题是城乡差别最突出的一点。

针对上述问题,国家给予了极大重视,城市地下管线普查工作已在各大中城市全面开展,建设部于1994年就制定了《城市地下管线探测技术规程》(本书简称《探测规程》),2003年进行了重新修订并发布。目前,全国有四分之一的城市完成了地下管线普查工作,更多的城市正在或将要全面开展地下管线普查工作。由于地区差异,城市经济实力不同,管理水平参差不齐,各城市地下管线普查的做法存在很大的差异,地下管线普查中也存在不少问题。如普查工作准备不足,经费未完全到位;地下管线普查领导小组的指挥、协调作用存在较大差异;在地下管线普查前,现况调绘资料不落实,影响到普查工作的开展;地下管线普查监理不规范,监理的素质参差不齐;地下管线普查价格偏低,质量得不到保证;有的城市没有建立动态监管机制,还需重新普查;有的城市建立的地下管网信息系统没有发挥积极作用,效果欠佳等。

随着地下管线普查工作的全面深入开展,上述问题已得到较好的解决。如许多城市的地下管线普查领导小组组长都是由市主要领导担任,地下管线普查经费也得到进一步保证。

1.1.2 地下管线探测的目的和意义

(1)目的 地下管线探测的目的是获取地下管线精密、可靠、完整且现势性强的几何及属性数据。用这些数据除了生产地下管线图纸报表和其他城市用图等常规档案资料外,还为建立地下管网信息系统提供基础资料。城市管网信息系统可以提高规划、设计部门以及各专业管线管理单位的工作效率,为城市的规划、设计、施工和管理服务,实现管理的科学化、自动化和规范化。

(2)意义 地下管线探测随着城市的产生、发展而出现和发展,是一件永恒的工作。这关系到每个居民的切身利益,也关系到城市的可持续性发展。从这个角度来看,地下管线探测的意义怎么说都不为过,我们认为,地下管线探测对城市规划管理现代化有非常重要的现实意义,对城市居民和城市可持续性发展来说,又具有极其重大的社会经济意义。

§ 1.2 地下管线分类与结构

1.2.1 地下管线的分类

城市地下管网工程,是指建设于地下的给水、中水、排水(雨水、污水、雨污合流)、燃气、电力(380 V 以上供电线路)、热力、电信(通信、有线电视、信息网络、交通信号等市政公用管网)和特种管道(工业物料)等各种设施。按行业和建立专业地理信息系统的角度,可分为电力、电信、给水、燃气(煤气、天然气)、排水(雨水、污水)、特种(热力、气体、油料、化工物料)管线。

供水系统:自来水经水厂净化消毒后由各类供水管送往机关、工厂、生活区。

中水系统:生产、生活使用过的污水,经处理后再利用的水称为中水。

排水系统:按污水和雨水分流的规划原则,排水系统分别由雨水管沟和污水管道组成,大部分沿街道敷设。

热力系统:可分工业供热、居民供热。热源由蒸汽和余热两部分组成,热力管道分为蒸汽管和热水管,管径一般为 80~500 mm。敷设方式一部分是架空的明管,另一部分是直埋或地下热力管沟的暗管。

燃气系统:管道为中、低压钢管,管径为 50~250 mm。埋设深度为 0.8~3.5 m。

电力电缆:大部分是埋地敷设,深度为 0.8~1.5 m。电缆沟断面一般在 1 m×1 m~1 m×2 m。

物料系统:主要有原油、天然气、石脑油、乙烯、丙烯、汽油、柴油、液化气、渣油等管线,管径为 150~500 mm,埋设深度为 1.0~4.0 m,均采用直埋。

1.2.2 地下管线的结构

地下管线包括管线上的建(构)筑物和附属设施。建(构)筑物包括水源井、给排水泵站、水塔、清水池、化粪池、调压房、动力站、冷却塔、变电所、配电室、电信交换站、电信塔(杆)等,附属设施包括各种窨井、阀门、水表、排气排污装置、变压器、分线箱等。

地下管线可抽象为管线点(管线特征点)和管线段。其中管线点可细分为:各种窨井、各种塔杆电缆分支点、上杆、下杆、消防栓、水表、出水口、测压装置、放气点、排污装置、排水器、涨缩器、凝水井、边坡点、变径点等。管线段又组成环。地下管网为环状网和树状网组成的复杂网络,有的管线还具有方向。

地下管线按材质可划分为三大类,即由铸铁、钢材构成的金属管线;由钢、铝材料构成的电缆;由水泥、陶瓷和塑料材料构成的非金属管道(含钢筋混凝土管、砖石

沟道)。管线材质与地下管线探查使用的物探仪器和方法密切相关。

§ 1.3 地下管线探测的规定和工作程序

1.3.1 地下管线探测的技术规定

地下管线探测的技术规定主要包括以下方面:平面坐标系统、高程系统和地下管线图的分幅与编号;地下管线普查的取舍标准;地下管线探查和测量精度;地下管线图的测绘精度;管线点的设置、间距、编号,管线点地面标志设置,探查记录要求;地下管线探查工作的质量检验;地下管线测量的内容、方法;测量成果的质量检验;地下管线图的编绘方法、内容和要求,以及成果表编制和编绘检验等。例如对坐标系来说,规定地下管线探测中的坐标系必须与当地城市平面坐标系和高程系统一致。在特殊情况下采用某种独立坐标系时,也一定要将其成果转换到当地城市坐标系中去。具体可参见《探测规程》,在此不一一赘述。

1.3.2 探测精度分析

管线点的探测十分重要,管线点又分为明显管线点和隐蔽管线点。明显管线点不需要作物探探查;隐蔽管线点通过物探方法探查得到其深度和投影到地面的平面位置,在地面上设置标志,再通过测量技术可得到其平面坐标和高程。因此,两种管线点的精度不同,明显管线点的精度即为测量精度,隐蔽管线点的精度包括探查精度和测量精度。在管线探测中,对于管线点来说,探查的质量检验和测量的质量检验与相应的探查精度和测量精度有关。按误差理论,一般限差取中误差的2倍,质量检验通过重复测量方法进行,先计算两次测量结果的差值中误差,再确定差值的限差。例如管线点的平面位置中误差的规程要求为: $m_s = \pm 5 \text{ cm}$, 则复测管线点 i (点数要占总点数的5%) 平面位置差值的限差 Δs_i 应满足:

$$\Delta s_i \leq 2\sqrt{2}m_s \quad (1-1)$$

管线点高程差值的限差 Δh_i 应满足

$$\Delta h_i \leq 2\sqrt{2}m_h \quad (1-2)$$

式中, $m_h = \pm 3 \text{ cm}$, 为管线点的高程测量中误差的规程要求。注意,对于隐蔽管线点来说,标志点的高程若要计算管线点对应的管顶或管底高程,需要加上物探误差影响,应远大于高程测量中误差。

对于隐蔽管线点来说,管线点的平面位置精度和高程精度受探查误差和测量误差的影响,其平面位置中误差 m_{py} 和高程精度中误差 m_{hy} 为

$$m_{py}^2 = m_{ps}^2 + m_s^2 \quad (1-3)$$

$$m_{ky}^2 = m_{\Delta}^2 + m_h^2 \quad (1-4)$$

式中, m_{Δ} 为隐蔽管线点的平面位置探查中误差, 有

$$m_{\Delta} = \frac{1}{2} \Delta_{\Delta} \quad (1-5)$$

式中, m_h 为隐蔽管线点探查的测深中误差, 有

$$m_h = \frac{1}{2} \Delta_h \quad (1-6)$$

其中, Δ_{Δ} 和 Δ_h 分别为地下管线隐蔽管线点探查时的平面位置限差和埋深限差。

由上所述, 管线点的精度分两种, 其中隐蔽管线点的精度包括了物探方法的探查误差, 因此要远远低于明显管线点的精度。这一概念在地下管线探测中十分重要, 建议在建立地下管线数据库时用编码来区分这两种不同类型的管线点, 以便于在信息系统后续的数据处理和空间分析中加以考虑, 使结果更切合实际。

1.3.3 地下管线探测的工作程序

地下管线探测的工作程序可描述如下。

- (1) 签订合同, 接受地下管线探测的任务, 明确测区范围。
- (2) 收集整理资料, 收集测区及邻近的控制点成果、地形图、管线图以及管线的设计、施工与竣工资料。
- (3) 现场踏勘, 了解测区的地形、地物、地质、地貌、交通以及管线分布出露情况。
- (4) 编写技术设计书, 制定管线探查和测量的技术方法, 进行工作进度安排, 提出质量保证措施。
- (5) 已有管线的现况调绘, 编制地下管线现况调绘图。
- (6) 地下管线探查的实地调查, 对明显管线点作调查、记录和量测。
- (7) 采用物探技术方法进行地下管线隐蔽管线点的探测, 在地面设置标志。
- (8) 在管线现况调绘的同时进行管线的控制测量。
- (9) 管线测量, 一般使用全站仪用极坐标法进行。
- (10) 地下管线带状地形图测绘, 应采用数字测绘方法。
- (11) 地下管线探查和测量的质量检查, 编写相应的质量检查报告。
- (12) 地下管线图编绘, 包括综合地下管线图、专业地下管线图、管线横断面图以及局部放大图的编绘。
- (13) 编绘检验和成果表编制。
- (14) 地下管网信息系统的数据库建库与数据库转换工作。

§ 1.4 地下管线探查技术与方法

1.4.1 地下管线探查方法分类

地下管线探查的方法有两种:一是开井调查与开挖样洞或触探相结合的方法;另一种是用地下管线探测仪的物探方法。物探方法又分电探测法、磁探测法和弹性波法等,下面分别予以简介。

(1)电探测法 分为直流电探测法和交流电探测法两类。

直流电探测法是用两个供电电极向地下供直流电,电流从正极传入地下再回到负极,在地下形成一个电场。当存在金属管线时,金属管线对电流有“吸引”作用,使电流密度的分布产生异常。若地下存在水泥或塑料管道,它们的导电性极差,于是对电流有“排斥”作用,同样也使电流密度的分布产生异常。通过在地面布置两个测量电极便可观测到这种异常,从而可以判断是否存在金属管线或非金属管线并确定其位置。

交流电探测法是利用交变电磁场对导电性或导磁性或介电性的物体具有感应作用的特性,观测通过发射产生的二次电磁场来发现被感应的物体。

交流电探测法主要有电磁法、电磁波法(探地雷达法, Ground Penetrating Radar Method)。电磁法又分为频率域电磁法和时间域电磁法。频率域电磁法因具有探查精度高、抗干扰能力强、应用范围广、工作方式灵活、成本低等优点而应用最为广泛。电磁法通常是先使导电的地下管线带电,然后在地面上测量由此电流产生的电磁异常,从而达到探查地下管线的目的。其前提是:地下管线与周围介质之间有明显的电性差异;管线长度远大于管线埋深。常用的方法又有两种:一是主动源法,即利用人工方法把电磁信号施加于地下的金属管线上,包括直接法、夹钳法、电偶极感应法、磁偶极感应法及示踪法等;二是被动源法,即直接利用金属管线本身所带有的电磁场进行探查,有工频法和甚低频法。探地雷达法是利用高频电磁波以宽频带短脉冲形式由地面通过发射天线送入地下,由于周围介质与管线存在明显的物性差异(主要是电导率和介电常数差异),脉冲在界面上产生反射和绕射回波,接收天线收到这种回波后,通过光缆将信号传输到控制台,经计算机处理,将雷达图像显示出来,最后通过对雷达波形的分析,利用公式确定地下管线的位置和埋深。探地雷达能够很好地探查金属管线,对非金属管线同样具有快速、高效、无损及实时展示地下图像等特点。

(2)磁探测法 由于铁质管道在地球磁场的作用下被磁化,管道磁化后的磁性强弱与管道的铁磁性材料有关。铁质管的磁性较强,非铁质管则无磁性。磁化的铁质管道像一根磁性管道,又因为铁的磁化率强而形成其自身的磁场,与周围物质

的磁性差异很明显。通过地面观测铁质管道的磁场的分布,可以发现铁质管道并推算出管道的埋深。

(3)弹性波法 包括反射法、面波法以及弹性波 CT 法等,反射波法又分为 COD 法(共偏移距法,Common Offset Distance)和地震映像法。这里对反射波法的两种方法作一简介。COD 法是当地下有管线存在时,由于非金属管线与周围介质存在物性差异,激发的弹性波在地下传播时遇到这种物性差异界面时会发生反射。反射波被仪器接收并记录,再根据发射信号的同相轴的连续性及其频率的变化来判断管线的空间位置。

地震映像法是近几年才出现的新方法,利用弹性波在地下介质的传播过程中,遇到地下管线后产生反射、折射和绕射波,使弹性波的相位、振幅及频率等发生变化,在反射波时间剖面上出现畸变,从而确定地下管线的存在。

近间距并行管线探查,并排管道的管线区分,拐点、终点、分支点及变坡点的确定,以及上下重叠管线的探查等是地下管线探查中的难点,要采用适当的方法和技术解决。在野外采集数据时尽可能减少噪声的影响,提高信噪比。同时可以将小波变换、遗传算法、神经网络等方法,应用于地下管线探查信号的分析,还可以和化探结合,多种探查方法综合应用,提高地下管线探查的准确度。

1.4.2 地下管线探测仪器简介

地下管线探测仪(又称管线仪或探管仪)的发展经历了从高频到低频,从单频到双频到多频,功率从小于一瓦到几瓦、几十瓦的历程。1915 年至 1920 年,美国、英国和德国先后生产了探测地下地雷和未引爆的炸弹等金属的探测仪。第二次世界大战后,出现了应用电磁感应原理的地下金属管线探测仪。20 世纪 80 年代后,仪器的信噪比、精度和分辨率大大提高,而且更加轻便和易于操作。探地雷达的开发应用,进一步拓宽了地下管线的探测范围。

英国雷迪公司 RD4000 系列地下管线探测仪采用先进的技术和工艺,在功能、性能和应用范围等方面要优于其他地下管线探测仪。2005 年该公司进一步推出的 LD500 数字管线仪,由于采用差分技术、相位识别技术和超强的发射机,精度比 RD4000 提高了一倍,是探测煤气、电力、电信和给排水等各类地下管线的有效仪器。MALA 公司的管线探测雷达 Easy Locator(易捷)既可以探测金属管线,也可以探测各种材质的非金属管线,与 RD4000 结合使用是地下管线探测的有效方法。

美国 RYCOM 公司的 8850/8875/8878/8831 地下管线探测仪,采用多频率工作模式,可以准确探查地下电缆、管线的位置。德国的竖威管线探测雷达 Pulse EKK01000 型和探管仪 EL/GI,适合城市燃气、供水及市政管网的普查。加拿大 Sensors & Software 公司生产的 EKKO100、EKKO1000 及 Noggin250 型数字探地雷达,可用于各种地下管线及其他埋设物的探查。

国产的 GXY 系列、SL 系列地下管线探测仪,适用于各种复杂的地下管线探查、定位及故障查找,并能对破损点进行定位。

1.4.3 地下管线探查的工作程序

地下管线探查工作一般按以下程序进行:仪器检验、方法试验、实地调查、仪器探查和探查质量检验等。

管线探查作业前,应对所有准备投入使用的仪器设备按照有关技术指标的要求和仪器检验的有关规定进行检验。方法试验应选择在有代表性的路段进行。对不同类型的管线和不同的地球物理条件,应分别进行试验。方法试验的结果是地下管线探测技术设计的依据内容之一。

实地调查时应请管线权属单位或熟悉管线敷设情况的人员协助,主要是根据地下管线现况调绘资料在实地对管线位置、走向和连接关系进行核查,重点对明显管线点如消防栓、接线箱、窨井等作详细调查、记录和量测,同时确定需用仪器探查的管线段。对明显管线点的调查一般采用直接开井量测法,并现场填写明显管线点调查表,按管类分别记录调查项目。应查明每条管线的性质和类型,量测其埋深。地下管线的埋深分为内底埋深、外顶埋深和外底埋深。各种管线实地调查项目按表 2-2 选择或按照委托方的要求确定。所有地面管线点按规定的要求设置地面标志,并绘制位置示意图。

在现况调绘和实地调查的基础上,针对工作区内不同的地球物理条件,应选用不同的物探方法和仪器设备实施仪器探查工作,确定地下管线的水平位置、埋深。探查应遵循从已知到未知,从简单到复杂和快捷有效等原则,对管线分布复杂、地球物理条件较差和干扰较强的路段应综合采用多种物探方法。

1.4.4 地下管线探查的质量控制

地下管线探查要执行作业台组自检、作业项目部抽检和探查施工单位验收检查的三级质量检查验收制度。管线点探查质量检验及评定是针对隐蔽管线点,主要方法是:仪器重复探查,探查点开挖验证。仪器重复探查量不少于全测区总点数的 5%。统计计算隐蔽管线点点位中误差 m_b 、埋深中误差 m_h 和明显点埋深中误差 m_d 。要求点位中误差和埋深中误差不大于相应限差的 0.5 倍,明显点埋深中误差不大于 ± 2.5 cm。

开挖验证是评价地下管线探查工作质量最直接而有效的方法,开挖验证点应遵循“均匀分布、随机抽取”和有代表性的原则。对于隐蔽管线点,每一个工作区应随机抽取不少于隐蔽管线点总数 1% 的点(且不少于 3 个)进行开挖验证。当开挖管线与探查管线点之间的平面位置偏差和埋深偏差超过规定的限差时,要对超限点数进行质量评价和作相应处理(详见本书 § 2.5),最后要编写管线探查质量检查