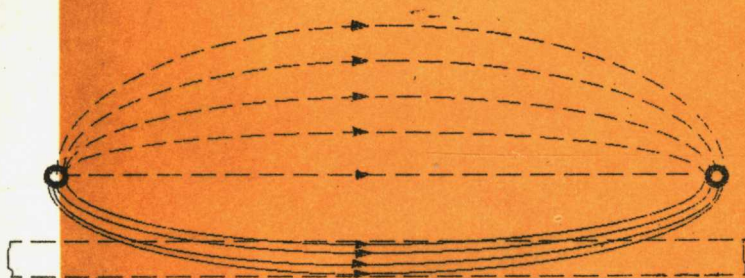


现代测绘科技丛书

地下管线网 探测与信息管理

田应中 张正禄 杨旭 编著



测绘出版社

现代测绘科技丛书

地下管线网探测 与信息管理的

田应中 张正禄 杨 旭 编著

测绘出版社

·北 京·

内 容 简 介

本书就当前城市和工业企业建设和运营中遇到的地下管线探测和信息管理问题作了介绍。前六章讲述电磁法探测地下管线的原理和现场管线探测的工作方法与技术以及管线探测系统简介等；后三章讲述运用地理信息系统(GIS)理论和现代计算机技术建立地下管网信息管理系统的一般原则、方法和步骤，地下管网信息系统的功能、意义和特点，并结合实例作进一步的说明。

本书可供测绘、勘察设计、建筑施工、地球物理勘察、城市规划、市政管理、地理信息管理等部门的技术人员参考使用，也可作为高校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

地下管线网探测与信息管理系统/田应中等编著. - 北京:

测绘出版社, 1997

(现代测绘科技丛书)

ISBN 7-5030-0942-X

I. 地… II. 田… III. ①管道-地下建筑物-探测-技术
②管道-地下建筑物-管理信息系统 IV. U173.9

中国版本图书馆CIP数据核字(97)第05678号

测绘出版社出版发行

(100045 北京市复外三里河路50号 (010)68512182)

北京市怀柔新华印刷厂印刷·新华书店总店北京发行所经销

1997年8月第一版·1997年8月第一次印刷

开本: 850×1168 1/32·印张: 5.5

字数: 144千字·印数: 0001—3000册

定价: 12.00元

《现代测绘科技丛书》

编委会委员名单

主任委员：陈俊勇

副主任委员：宁津生 高俊 张祖勋
楚良才 陈永奇 华彬文

委员：（以姓氏笔划为序）

于来法 方恒 田应中
朱华统 李德仁 陈绍光
张清浦 林宗坚 陶本藻
钱曾波 黄杏元 梁宜希
喻永昌 廖克 潘正风

出版说明

《现代测绘科技丛书》是经国家测绘局批准列入我社“八五”重点出书规划的选题之一。其编写宗旨是对 80 年代以来测绘科技领域在新理论、新技术、新工艺等方面所取得的成果进行总结，整理成册，以期对改造传统测绘生产技术，提高劳动生产率和产品质量，形成我国现代测绘技术体系，发挥科技图书应有的作用；同时也为反映我国测绘科学研究水平，丰富我国测绘学术专著宝库服务。出版本套丛书也是为适应加速测绘科技成果转化、为现实生产力的需要。

本套丛书按专题成册。专题有两种类型：一类偏重学术性，主要反映我国测绘各专业近十年来在理论研究方面所取得的、能代表我国先进水平的新成就和某些老专家毕生研究成果的专著，以及测绘前沿填补国内空白的著作；另一类偏重应用技术，是本丛书的主体，其内容是在理论指导下以新技术、新工艺、新材料、新产品研究成果的推广应用为主，个别的配有实用软件。

丛书编委会于 1992 年 1 月成立，全体编委对丛书出版意图、读者对象，乃至每个选题及其内容都作了充分研究和讨论，在全国测绘界选择了有代表性的专家参加各个分册的撰写和审稿工作。按照计划，这套丛书的各分册将根据撰写完成情况先后定稿出版，陆续与读者见面。

前 言

地下管线是现代化城市和企业的主要传导设备，重要的基础设施。它们担负着各种物料的输送和调配，各种通讯信息的传输，以及在化工生产中用作反应装置。它们的状态和运行状况直接影响着城市和企业整体运营状况。

地下管线也是现代化城市和企业地下空间的主要工程设施。其空间配置合理与否不仅直接关系到工程造价、系统本身以及用户的运营状况和安全，还影响到城市和企业地下空间其它工程设施的配置和运营，甚而涉及到整个地下空间合理的开发和利用。

因此，地下管线有现代化城市和企业生命线工程之誉，比喻十分恰当。

由于地下管线属于隐蔽性工程，因而对地下管线从规划设计、施工，到建成投入运营进行全面、系统、及时和有效的管理，以及获取对其进行管理的及时、全面、系统、准确的信息，就成为当前现代化城市和工业企业面临的重大管理和技术问题。本书介绍了与此有关的地下管线探测技术及其信息管理技术问题。

本书由中国兵器工业勘察研究院田应中高级工程师主持题纲的拟订，负责组织编写和统稿工作。前六章由中国地质大学(北京)杨旭教授编写，沈阳地球物理勘察院张亚南高级工程师审阅；后三章由武汉测绘科技大学张正禄教授编写。在编著过程中，得到作者所在院校和不少同事的帮助和支持，在此表示诚挚的谢意。

限于篇幅和作者水平，不足和错误之处，敬请批评指正。

作 者

1996 年 12 月

目 录

第一章 概论	(1)
§ 1.1 地下管线测量是当前社会发展的迫切需要	(1)
§ 1.2 地下管线的探测方法	(3)
§ 1.3 地下管线探测是应用(勘察)地球物理研究的一个“老”而“新”的课题	(4)
§ 1.4 地下管线探测面临的工作环境和地球物理方法的选用	(5)
§ 1.5 将来的地下管线探测技术	(8)
第二章 频率域电磁法探测地下管线的基本原理	(10)
§ 2.1 概述	(10)
§ 2.2 物理模型及其简化	(11)
§ 2.3 载流无限长直导线的磁场	(13)
§ 2.4 磁偶极子场的主要特性	(15)
§ 2.5 圆线圈同单根无限长接地水平导线之间的耦合	(18)
§ 2.6 均匀场中的导电导磁水平圆柱体	(21)
第三章 几种典型的电磁响应	(28)
§ 3.1 水平无限长直导线中电流的电磁响应	(28)
§ 3.2 多条平行的载流长直线上的电磁响应	(35)
§ 3.3 地下磁偶极子场在地面的分布	(43)
第四章 观测资料的解释	(48)
§ 4.1 特征值法	(48)
§ 4.2 剖面全曲线反演	(53)

第五章 现场管线探测的工作方法及技术	(66)
§ 5.1 激发源	(66)
§ 5.2 异常搜索	(72)
§ 5.3 异常剖面探测	(75)
第六章 管线探测系统简介	(78)
§ 6.1 不同探测方案对相应探测系统的要求	(78)
§ 6.2 几种国内外商品专业管线探测系统及非专业 管线探测系统	(79)
§ 6.3 各种类型的金属探测器	(89)
第七章 地下管网信息系统概述	(97)
§ 7.1 地下管网信息及其特点	(97)
§ 7.2 地下管网信息管理的现状和发展趋势	(100)
§ 7.3 建立地下管网信息系统的意义和步骤	(102)
第八章 地下管网信息系统的设计、建立和应用	(105)
§ 8.1 系统的设计方法和运行环境	(105)
§ 8.2 系统的数据库设计和功能设计	(109)
§ 8.3 系统的数据采集和录入	(113)
§ 8.4 空间数据的组织与管理	(119)
§ 8.5 系统的特别功能和新技术应用	(121)
§ 8.6 系统的输出、应用与维护	(125)
第九章 地下管网信息系统实例	(130)
§ 9.1 系统概述	(132)
§ 9.2 系统设计	(135)
§ 9.3 系统的特别功能	(147)
§ 9.4 系统使用说明	(153)
§ 9.5 系统的维护与应用	(159)
参考文献	(162)

第一章 概 论

地下管线探测是一门中间科学，是一门技术，是一门集几种学科于一身的应用技术科学。它涉及物理学，地球物理学，电磁测量技术，工程测量，计算技术及有关的市政、规划，各类工业工程系统，工艺设计等学科。从它的研究领域看，应属于地球物理学。准确地讲，是属于地球物理学的测量(地)学中的特种工程测量。当然也可以把它归于应用地球物理学中的土木工程应用，或俗称为工程或环境地球物理探测。地下管线测量，就目前的科技发展及应用水平看，应包括三大部分：一是地下管线探测，即把地下管线的空间分布“投影”到地面上；二是地下管线测绘，即使用常规的测地技术，对这些“投影”的坐标赋值；三是将各地下管线的坐标(X, Y, Z)、用途、几何尺寸、材质等参数输入相关的计算机成图系统或数据库，满足各类用户使用。

§ 1.1 地下管线测量是当前社会发展的迫切需要

由于科学技术的进步及经济的发展，目前，世界各国均把交通(海、陆、空)、通讯联系、能源、动力的输送、供水、排水等视为国家社会经济的生命线工程。除道路交通外，其余各类工程的载体——地下管道及电缆的正常运行，对一个社会正常活动的重要性是显而易见的。其实，对道路而言，如若用落伍的开挖法来了解地下管线的现状，该工作本身就会造成交通的中断，最终将使生命线工程全部处于非正常运转状态。以此看来，无损探测或

不用开挖法的地下管线探测技术对生命线工程的正常运转有多么重大的作用。

当前，无论是发达国家还是发展中国家，对地下管线无损探测的需求都是巨大的和迫切的。我国当然也不例外。究其理由，大致如下：

1. 地下各类设施的分布图是一个社会的基础档案。例如，从1990年4月1日起生效的我国城市规划法中，就不只一次地指出，地下管线图是城市规划的基础图件之一。

2. 市政建设和改造，需要准确的地下设施图。例如，我国的几大城市（上海、广州）建设地铁，就迫切需要这方面的资料。

3. 在某些发达国家，科技的高速发展可能导致老的工业布局或整个生产体系改变。由于地上、地下各种设施拥挤，迫切需要了解地下各种设施的状况。据闻，20世纪末期，日本就有这方面的要求。

4. 由于土地紧张和有偿使用，我国不少大单位的改造，不能再靠随意征地而只能在内部“挖潜”，因此，非常希望了解地下管线的分布，以利最佳的规划设计。

5. 地下管线的正常维修，特别需要准确的地下管网图。

6. 由于多种多样的原因，我国每一个具体工程的地下管线的设计图、施工图、竣工图以及实际的现状图并不完全一致。

7. 各种人为或自然灾害（包括战争）前的防灾工作及灾害后的损失评估、减灾等工作都非常需要地下管线的现状资料。

8. 用落伍的全面开挖法来了解地下管线，除速度慢、不安全、不准确外，特别应指出，它对整个社会的经济发展还起了直接或间接的不良作用，这已被越来越多的国家所不容。

9. 土建工程进行机械化施工时，特别需要高精度的管线探测技术，供作现场指导和监测用。

§ 1.2 地下管线的探测方法

与开挖方法相对应的是不用开挖的探测方法。从历史的具体进程看，有两大类：机械式的；地球物理的。

一、机械式的探测法

主要是用机械探杖。这种探杖，国外最初是用硬木条(如榛木枝)，做成丫形叉。后来又有用金属杆的，也有用类似考古用的洛阳铲的。严格地讲，这种方法虽也属技术，但只是一种技巧性的技术，而不能算作一门科学技术。这种技术适用的范围不广，速度甚低，安全性差，且可能导致被探管线受损，因此我们当然不能把它作为主要探测技术，但是并不排除在某些特定条件下它的独特使用价值。

二、地球物理探测方法

从原理上讲，只要被探地下管线本身的物理性质与埋设处周围介质的物理性质在某些方面有差异，我们便可以利用相应的地球物理方法去解决问题。总体上看，要完美地解决地下管线探测，必须用综合的方法进行工作。但在实际工作中，考虑到有效性、工期时间的长短、成本等因素，我们绝对不能不加考虑地将可能有用的方法“平均”地使用一遍，而应该按工程的要求、工作的阶段、工作的地段，选择一或两种作为主要方法。目前在城市、工矿、企业等地域、部门应用较多并较成功的地球物理方法有：频率域电磁法；磁测法；探地雷达法；声波法。而在野外条件下，可供采用的方法大致有：频率域电磁法；时域电磁法；磁测法；探地雷达法；声波法；浅层地震法；电阻率法；激电法；红外或远红外法；遥感法等等。目前国内外流行的商品管线探测仪所用的方法技术都属于地球物理探测法这一大类。

§ 1.3 地下管线探测是应用(勘察) 地球物理研究的一个“老” 而“新”的课题

19 世纪末至 20 世纪初, 科学、工业的巨大发展, 促使人们十分重视运用物理的方法去研究地下的情况。

从 1940 年以前美国、英国、德国、俄国、法国、瑞典、加拿大、澳大利亚等国 451 个专利题录看:

1. 在 1900 年以前, 地球物理学家们把研究的目标, 主要集中在地下金属体、矿石、矿体及地下宝物方面。

2. 1900~1920 年期间, 除继续上述研究领域外, 还新涉及了地下水探测的研究和地下管道探测的研究。

3. 1920~1940 年期间, 除继续研究寻查地下金属体、矿石、矿体、地下水、地下管线的方法外, 开始涉足石油或含油构造的探测问题。

4. 所有涉及探测地下金属体、金属矿石、矿产及地下宝物、地下管线的方法技术, 均属使用电的方法, 而没有发现使用重、磁方法的。

从上述历史事实可知, 地下管线探测这个课题, 从应用或勘察地球物理蓬勃发展的初期, 就是一个主要研究方向。到 20 世纪 30 年代末, 因第二次世界大战爆发, 地球物理学家就把视力集中于矿产、能源及军事方面去了。地下管线探测这个课题, 渐渐被当时现实所遗忘, 也渐渐被地球物理学家们所遗忘。

今日的地下管线探测所面临的问题同几十年前大不相同。地面建筑物越来越多; 地下设施越来越密集; 空间及地面的各类干扰多而严重; 空间、地面及地下的干扰体(源)各式各样; 管线埋设工艺多种多样, 埋设时间各不相同以及地下介质物性参数不均匀且多变等等。在这样的环境条件下, 要满足用户的合理要求,

我们就必须研究新的高精度、高分辨率的地球物理探测法。

§ 1.4 地下管线探测面临的工作环境 和地球物理方法的选用

在野外条件下,因干扰小,工作面相当开阔,地面施工条件较简单,因而可采用的方法技术较多。对于尺寸较小的各种电缆、水管、气管而言,比较有效的方法为电磁法;而对尺寸较大的地下管线,除可用电磁法外,电阻率法、磁法、雷达法、地震法、重力法等,均可视具体条件而加以采用。

在城市、工矿企业、建筑群体区等复杂环境地域进行地下管线探测时,有如下的特殊性:

1. 干扰信号相当严重(图 1-1),可超过野外干扰 10^4 倍以上:

①天然电磁场干扰。它的频谱宽,随机性大。

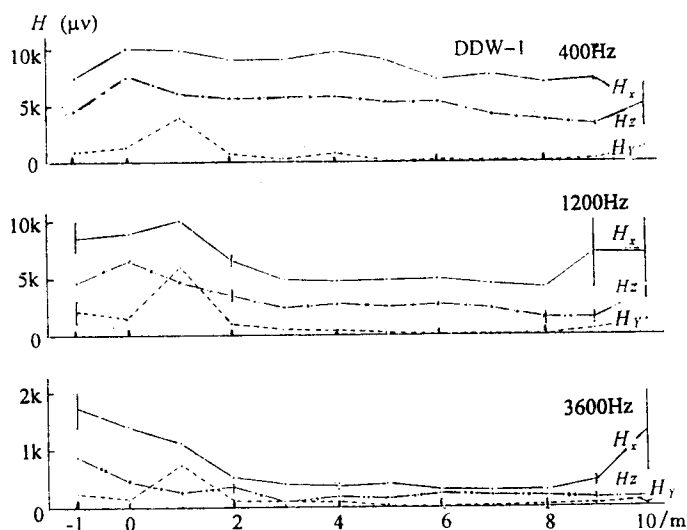


图 1-1

②动力电源的电场及磁场。

③交通工具，如电车、汽车、火车和摩托车的脉冲型电磁场。

④各类电器负载变化及交通信号控制系统引起的电磁场起伏。

⑤各类通讯电路辐射的电磁场。

⑥交通工具引起的各种振动干扰。

⑦各类机械运行引起的振动干扰。

2. 干扰体相当多：

①地面上有铁栅栏、铁花栏围墙、钢筋混凝土(桩)、铁柱(桩)及铁磁性路障等铁磁性物体。

②各种近地表的架空电缆、变压器、信号亭及其它金属构件物。

③地下各种非探测目标体的存在。

3. 地下管线拥挤且支叉多，再加之埋设的年代不同，施工工艺不同，情况就更加复杂。

4. 工作地域狭窄。

5. 地面交通繁忙。路面条件不能改变，交通不能中断。

6. 由于地下管线走向变化大而且具体变化事先未知，因此，采取惯用的测网方式进行工作，不是由于测网过稀而发生漏测、错测，就是因剖面过密而增加很多工作量。因此要研究特殊的工作方法。

综上所述，能适用上述工作环境的地球物理探测方法，必须具备下述能力：

——在测量技术上，必须具备相当强的抗外部干扰信号的能力；在原理及技术上，必须具备有分辨或识别目标物及干扰体的能力，或压制干扰体异常的能力。

——在方法技术上，具备能适应在狭窄地域内进行工作的能力。

——在观测技术上，能在不破坏路面，不影响交通，不影响正常生产、生活的条件下 ze 工作的能力。

——在探测方式上，能从点到线，从线到网的连续追索地下管线。同时还要求仪器轻便、探测快速。

根据以上几个方面的考虑，下面两类方法可供优先采用：

(一) 磁测法

在地表铁磁体干扰较少的地段，可优先选用磁测法来查寻地下铁质管道或带有铁磁物屏蔽的电缆。

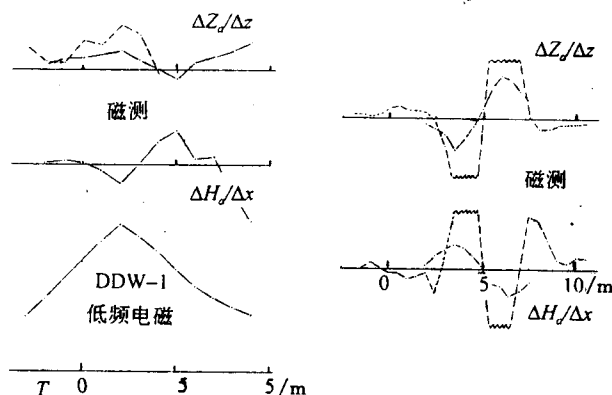


图 1-2 在不同走向的铁质管道上方的磁测结果

图 1-2 所示，是在某工地和公路上磁测的结果。从图中可看出，无论是垂直分量的垂直梯度曲线还是水平分量的水平梯度曲线，对地下的水管及暖气管均有明显的异常。磁测的优点是不需要人工场源。仪器轻便，探测速度快。但在采用磁测方法时，有几点必须注意：

(1) 它分辨铁质目标体和干扰体的能力不很强。压制干扰体异常的能力更谈不上。

(2) 地磁场中有一定走向长度的铁质管线，最多等效于无限长的磁偶线，与线源型异常源产生的场相比，磁偶线产生的场强随其埋深的变化更强烈，即磁测的深度要浅些。

(3) 由于地磁倾角的存在，地下铁质管线产生的磁异常形态与它的走向有关，无疑，这给资料解释带来很大麻烦。

(4) 由于地下铁质管道本身的剩磁是个未知数，所以对资料进行定量解释是个难题。

由此可见，磁测法是一种有效的探测铁质管线的方法。但因精度不太高和易受干扰，所以不能成为一种常用的探测方法。

(二) 频率域电磁法

关于这种方法的理论、方法、技术，我们将在下面详细叙述。这里只提几个特点：

(1) 电磁法既可利用天然场源，也可利用人工场源，再加上工作频率可选，因此抗干扰、压制干扰体异常的能力强。

(2) 电磁场作用下地下管线的等效异常源，绝大多数情况属线型源。因此，与磁测相比，其探测深度大些。

(3) 目标体的剩磁不影响管道的电磁响应；异常形态与管线走向方位无关。因此对资料进行定量解释的精度高。

(4) 对非金属管道或走向长度不大的金属管道，工作效率低或成本较高。

总之，无论是探测地下各种金属管道、各类地下电缆及地下非金属管道，频率域电磁探测技术都是目前国内外使用最广泛，而且也是很有发展前途的一项关键性技术。

§ 1.5 将来的地下管线探测技术

1. 进一步完善实用的各种地球物理探测技术，特别要针对非金属管道，开发出效果更好、效率更高的实用技术。声波技术

可能是一种见效较快的方法。探地雷达也有应用前景，但需改进天线性能。

2. 要开发适用于不同工作阶段的各种不同种类的专用仪器。在发展高精度、高分辨率的专业地下管线探测仪方面，要合理采用自动测量、数据存储、成果显示直观及解释自动化等技术，并使之一体化。对用作普查工作的仪器，应再加大抗干扰能力，使得测量所覆盖的地域更远、更大，工作效率更高。

3. 将地下管线的成果纳入地形图数据库中去，以满足用户的各种需求。