

水工建筑物 检测与诊断技术及应用

邓中俊 杨玉波 赵文波 智斌 任志明 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水工建筑物 检测与诊断技术及应用

邓中俊 杨玉波 赵文波 智斌 任志明 著

 中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

为了及时掌握水工建筑物运行状态,保证其正常安全运行,延长使用年限,需要在不影响工程安全运行的前提下进行一系列的现场无损检测,为下一步工程的安全评估和修补加固处理提供科学依据。本书以笔者近年来承担的水工建筑物检测与诊断分析实例为主,对检测对象、检测技术和仪器等做出了详细介绍,主要内容包括:压力钢管衬砌、水工建筑物基础、混凝土坝面等混凝土结构缺陷检测,围堰、坝基、坝体、防渗墙等水工建筑物渗漏检测,水下地形测量、地质调查、水下水工结构异常检查、水域测量、水深测量、水下渗漏区检测等水下检测,其他采空区、地面沉降、除险加固工程、超前地质预报、防渗墙施工质量等工程检测等。

本书可供大坝管理、设计、检测单位的相关人员参考,也可供相关专业院校师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

水工建筑物检测与诊断技术及应用 / 邓中俊等著
— 北京:中国水利水电出版社,2019.11
ISBN 978-7-5170-8158-6

I. ①水… II. ①邓… III. ①水工建筑物—检测
IV. ①TV698.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第240284号

书 名	水工建筑物检测与诊断技术及应用 SHUIGONG JIANZHUYU JIANCE YU ZHENDUAN JISHU JI YINGYONG
作 者	邓中俊 杨玉波 赵文波 智斌 任志明 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	天津嘉恒印务有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 18.75印张 456千字
版 次	2019年11月第1版 2019年11月第1次印刷
印 数	0001—2500册
定 价	98.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

1949年以来我国兴建了混凝土坝、拦河闸、输水渠道、引水隧洞等大量的水工建筑物，它们对国民经济的发展起到了重要作用。重大农业节水工程、重大引调水工程、重点水源工程、江河湖泊治理骨干工程等重大水利工程的陆续实施，为我国水利基础设施网络构建奠定了坚实基础，为我国水安全、粮食安全、国民经济发展、生态环境改善、脱贫攻坚和人民生活水平提高提供了强有力的支撑和保障。

但是，由于技术与认识的局限，规范不完善、设计欠妥、施工材料选择不当、施工质量不佳、结构基础和建筑物本身存在缺陷以及地震影响等，加之运行条件变化、运行年限增加、运行管理存在问题等诸多不利因素的综合作用，致使为数不少的水工混凝土建筑物存在不同程度的病害，有些已严重影响工程安全运行。

为了及时掌握水工混凝土建筑物的运行状态，保证结构的正常安全运行，延长结构的使用年限，需要在不影响结构安全运行的前提下进行一系列的现场无损检测，为下一步工程的安全评估和修补加固处理提供科学依据。水工建筑物无损检测的主要目的是，在不影响结构安全和正常运行的前提下检测其结构强度、内部缺陷及其他性能。

笔者主要从事水利水电工程隐患检测与大坝安全评价工作，曾研制成功瞬变电磁仪、压实计、电化学法监测碾压混凝土初凝时间及相关仪器、表面波裂缝检测仪、地层地温仪、大坝安全监测系统 etc 仪器设备，业务范围涉及水电、火电、核电、矿业、工民建、地质灾害治理等工程领域，主持了包括三峡、二滩、小浪底、龙羊峡、丰满等国内几十个大中型水利工程的相关检测项目，积累了一些工程监测与检测技术经验。本书将有关研究成果和现场应用经验收集整理成册，供同行们进行经验交流。

本书简要介绍了各种水工建筑物检测与诊断技术方法，以作者近年来承担的水工建筑物检测与诊断分析实例为主，对于检测对象、检测技术和仪器均做出了介绍，内容包括：压力钢管衬砌、水工建筑物基础、混凝土坝面等混凝土结构缺陷检测，围堰、坝基、坝体、防渗墙等水工建筑物渗漏检测，水下地形测量、地质调查、水下水工结构异常检查、水域测量、水深测量、水下渗漏区检测等水下检测，其他采空区、地面沉降、除险加固工程、超前地质预报、防渗墙施工质量等工程检测等。检测所采用的仪器有：瞬变电磁仪（TEM）、大地电导率仪（频率域电磁法，FEM）、探地雷达、可控源音频大地电磁仪、表面波裂缝检测仪、浅层地震仪、便携式红外成像渗漏检测仪、多频电磁剖面仪、水下机器人（ROV）、双频侧扫声呐、三维激光扫描仪等。由于物探仪器检测结果的多解性，通常针对一个工程需要采用综合物探法进行检测，即采用几种仪器对同一个目标进行检测，并将各种仪器检测结果进行比对，以提高检测结果解读的准确性。

笔者之所以很详细地介绍工程现场情况、采用的检测技术和仪器，对检测结果进行分

析，其目的是希望本书介绍的这些实例对大坝的管理单位、设计单位，在解决类似问题时有一定的参考作用。

在本书成书过程中，作者单位姚成林、贾永梅、王会宾等同志给予了很多帮助，在此，一并感谢！

作者

2019年7月

目 录

前言

第 1 章 水工建筑物安全	1
1.1 概述	1
1.2 常见水工建筑物隐患探查方法	1
第 2 章 检测方法及技术	5
2.1 电法勘探	5
2.2 地震勘探	20
2.3 声波检测	34
2.4 超声波检测	38
2.5 示踪法	42
2.6 核磁共振找水	46
2.7 水下探测技术	49
第 3 章 土石坝渗漏检测及应用	61
3.1 水库大坝渗漏检测实例一	61
3.2 水库大坝基础渗漏检测	85
3.3 水电站引航道围堰防渗墙渗漏检测	100
3.4 水电站围堰渗漏检测	104
3.5 土石坝渗漏检测	111
3.6 水库渗漏综合检测	121
3.7 黏土心墙土石坝渗漏检测	129
第 4 章 稳态表面波法检测混凝土结构缺陷及质量	137
4.1 混凝土拱坝坝面裂缝检测	137
4.2 混凝土重力坝坝面裂缝检测	146
4.3 水电站厂房基础混凝土破坏情况检测	157
4.4 压力钢管灌浆质量检测	166
4.5 风机基础混凝土质量检测	173
第 5 章 水工建筑物质量检测及应用	183
5.1 超深基础防渗墙施工质量检测	183
5.2 引水隧洞混凝土衬砌检测	199

5.3	输水隧洞缺陷检测与结构测量	211
5.4	引水发电洞混凝土衬砌检测	223
5.5	水库除险加固工程质量检测	231
5.6	输水工程质量抽检	236
5.7	引调水工程建设期质量检测	241
第 6 章	水工建筑物水下检测	251
6.1	枢纽工程建筑物水下检测	251
6.2	重力坝坝前及坝后溢洪道消力池检测	256
6.3	水库淤积及库容曲线校核检测	260
第 7 章	其他无损检测与诊断及应用	266
7.1	道路地面沉降坑探测	266
7.2	煤矿地下采空区探测	274
7.3	水工隧洞超前地质预报	278
7.4	区域地下水勘探及海水入侵检测	284
	参考文献	288

第 1 章 水工建筑物安全

1.1 概 述

我国是水旱灾害频发国家，也是一个能源短缺的国家。水库大坝统筹防洪、发电、供水、灌溉等功能，是保障人民群众生命财产安全，保障经济发展的必然选择。1949 年新中国成立以后，开展了大规模的水库建设，取得了令人瞩目的成就，已成为世界上拥有水库大坝数量最多的国家。特别是近年来，我国水库大坝发展进入了一个新的阶段，相继建设 200m、300m 的世界级高坝大库并投入运行，攻克了高库大坝建设管理中的一系列难题，走在世界坝工领域的前沿。

作为国家重要的基础设施，水利工程建设质量与安全运行不仅关系到其经济效益的实现，而且关系到人民群众的生命财产安全。我国有大坝 9.8 万多座，其中大部分是 20 世纪 50~60 年代修建的中小型土坝。由于当时施工条件的限制和建成时间久远，这些大坝病险严重，许多成为三类坝。从 2007 年开始，3 年时间，国家投入巨资，对 6240 座病险坝进行除险加固，消除病害，保证大坝安全运行。2019 年全国水利工作会议上水利部鄂竟平部长表示，下一步水利工作的重心将转移到“水利工程补短板，水利行业强监管”。他指出“补短板”要坚持问题导向，因地制宜，重点是补好防洪工程、供水工程、生态修复工程、水利信息化工程等几个方面的短板。针对防洪工程，鄂部长要求加强病险水库除险加固、中小河流治理和山洪灾害防治，完善城市防洪排涝基础设施，全面提升水旱灾害综合防治能力。对于病险水库大坝内部存在的裂缝、松散区、不均匀区、渗漏通道等各种隐患，只有采用专用仪器设备才能探测清楚，为除险加固工程设计提供可靠依据。

1.2 常见水工建筑物隐患探查方法

水工建筑物隐患是影响其安全的关键因素，当堤坝处于高洪水位时，堤坝隐患将可能导致溃堤垮坝。水工建筑物隐患探测的首要任务是确定隐患存在的位置、规模、形态，分析隐患形成的原因，以便针对性地采取有效的治理方法和技术。地球物理方法是查明水工建筑物隐患的较为有效的方法之一。从该技术近几年的发展来看，主要应用的物探方法有电法、电磁法、流场法、弹性波法和放射性法等。常规电法主要指自然电场法、电阻率法、高密度电法、激发极化法、充电法等方法。

中南大学陈绍求等曾于 2000 年前后利用电阻率法对各类堤坝隐患进行探测，采用反

射系数 K 法对结果进行解释,提高了电阻率法对隐患的分辨能力。2003 年,吕玉增、阮百尧通过分析常见堤坝渗漏模型,用三维有限元法对堤坝渗漏模型进行电阻率成像法模拟,并对结果进行解释,取得了较好的效果。2004 年,浙江大学的王振宇、刘国华等利用电阻率层析成像的方法对水库大坝隐患进行探测,并采用基于点源二维电场理论的有限单元法对实测资料进行反演解释,得到了一些有益的结论。

高密度电阻率法是 20 世纪 80 年代由日本地质株式会社提出的,其基本原理与传统的直流电阻率法完全相同,所不同的是它在观测中设置了较高密度的测点,以电极转换开关控制多根电极,可一次性完成纵、横二维勘探过程,它是电剖面法和电测深法的结合。

由于高密度电阻率法具有成本低、效率高等优点,该方法近十几年在水工建筑物隐患探测中应用较多。如中国科学院的底青云教授曾将高密度直流电阻率法用于珠海某防波堤的堤防隐患探测;青岛海洋大学的郭秀军等通过分布式高密度电测系统在天津某水库大坝和北京市某池塘大堤上实践应用,说明该系统在水工建筑物裂缝、水工建筑物内埋设物探测中所取得的良好效果;2001 年,中国地质大学的王传雷等采用高密度电阻率法通过定点重复观测来研究不同水位下堤坝隐患电阻率图像的动态变化,并在武汉长江大堤上进行了实测对比工作;2008 年,成都理工大学的肖宏跃等将高密度电阻率法延时性勘探用于堤坝的渗漏探测中,研究在汛期随时间的延长渗漏通道周围电阻率的变化情况,由此检测堤坝渗漏通道大小的变化情况。此外,中南大学的汤井田等采用有限元模拟的方法,对堤坝渗漏开展了高密度电阻率法成像方面的理论研究。

自然电场法通过研究自然电场的分布规律来解决地质问题。当水工建筑物中存在集中渗漏隐患时,水会在松散层或岩层孔隙、裂隙中流动,在渗透过滤、扩散吸附和氧化还原等作用下,隐患位置附近会产生自然电位异常,由此可分析确定渗漏隐患的位置。张辉等人曾于 2000 年采用该方法对湖南慈利县江垭电站大坝的渗漏问题进行过实地探测。2005 年,山东水利科学研究所的郑灿堂根据现场测试资料,较为系统地归纳总结了自然电场法检测土坝渗漏隐患的一些可贵经验成果,他将集中渗流在自然电位曲线上的反映归纳为五种基本异常形态,并以此来推断集中渗漏带的宽度、埋深、走向和渗流的时空动态等特征。2008 年,山东黄河河务局的刘建伟等将自然电位法应用于长江大堤和江西九江高泉水库大坝的渗漏探测。

尽管直流电阻率法已广泛运用于水工建筑物隐患探测的实践中,但其探测隐患的纵向分辨率问题一直未得到很好解决,仪器所能探测的极限埋深和裂缝宽度难以定量。如高密度电阻率法对浅部缺陷比较敏感,但随着深度的增加,其纵向分辨率急剧降低;根据电法勘探理论,其探测目标体的洞径与埋深之比的极限为 1:10 左右。激电法还可利用极化率的大小,但管涌渗漏通道中水所引起的极化率一般较小,很难测得非常明显的异常,因此在实践中应用该参数进行解释分析的例子比较少。自然电位法是根据渗漏部位越大、电位越低的特点来确定渗漏的位置、埋深及流向,所以该方法对散浸或渗漏量较小的隐患反映不明显。此外,由于天然场较弱,很容易受周围环境的干扰。

应用于水工建筑物隐患探测的电磁法主要包括瞬变电磁法、地质雷达法、频率域电磁法、甚低频电磁法等方法。瞬变电磁法是基于电磁感应原理,即以介质的电(磁)性差异为基础,通过不接地回线或接地电极向地下发射垂直方向的一次脉冲磁场,使地下低阻介

质产生感应涡流,进而产生二次磁场,观测并研究该磁场的时空分布特征,以探查地下介质的性质及分布特征。中国水利水电科学院房纯纲教授等于1998年将瞬变电磁法(TEM)方法应用于土坝、堤防渗漏隐患探测中,并研制成功SDC-1型堤坝渗漏探测仪;同时,还采用从国外引进的频率域电磁法仪器EM34-3型大地电导率仪和SDC-1型堤坝渗漏探测仪对大坝和堤防等开展了现场渗漏隐患探测和管涌通道定位探测。

2003年,中国科学院南京土壤研究所的刘广明、杨劲松、李冬顺等采用EM31和EM38大地电导仪对江苏省新、老海堤的隐患进行探测,确定了海堤内孔洞或质地相对疏松的危害位置,但该仪器设备探测深度有限,单次探测的最大有效深度为6m。

总体上看,瞬变电磁法比较适用于堤坝中深部隐患探测,探测深度可达数十米,但它对浅部不均匀体反映不够明显。而大地电导率仪的优点是可直接读取大地视电导率,再根据电导率大小判断堤段填料的密实情况、是否容易产生大面积散浸,其缺点是沿深度方向分辨率较低,只能探测几种不同深度大地的视电导率,因而难以发现堤身内埋深较浅、体积较小的异常体。

地质雷达法作为一种新的浅层物探方法,已被广泛应用于堤坝隐患探测中。如吴相安等于1997年就研究了探地雷达探测堤坝隐患的可行性。2000年,中国地质大学的曾校丰教授等举例证明了地质雷达技术应用于水库坝体结构层检测的问题,说明当采集和处理参数选取合理、探测目标空间位置和尺度大小与地质雷达信号的频率与强度匹配适当时,就能取得较好的探测效果;同年,邓世坤探讨了地质雷达技术在拦洪闸闸底板现状探测、海滨防浪堤隐患探测和江堤滑塌成因探测中的应用效果。2001年,吉林大学的薛建等将SIR-2型地质雷达系统应用于黑龙江甘南某大型水库的坝体散浸探测以及吉林省辉南县某水库的渗漏通道检测。2001年,武汉大学光电信息工程学院研制出“双频多普勒相控阵地质雷达”,该设备克服了常规地质雷达电磁波能量分散、探测深度浅、分辨率低等弱点,提高了地质雷达的探测深度,同时为地表以下20m内蚁穴、鼠洞、管涌等的探测提高了精度。此外,浙江水利研究院的葛双成、南京水利科学研究所的何开胜等也应用地质雷达开展过渗漏病害和管涌隐患探测。

地质雷达应用的物性基础是介质之间介电常数的差异,由于水的相对介电常数是81,因此它对含水量少、埋藏较浅的隐患才有较好的探测效果;同时,如果水工建筑物的渗漏隐患位于浸润面以下,由于雷达波的衰减非常大,此时隐患就很难被探测到。水利工程中存在的隐患种类很多,地质雷达技术由于受探测深度和分辨率这一矛盾的制约,过分夸大其作用是不合理的。

利用水工建筑物隐患与周围介质之间的波速或波阻抗差异,可采用纵波、横波技术或面波勘探方法开展水工建筑物隐患探测。黄河水利委员会物探总队曾将瞬态瑞雷波法应用于黄河大堤老口门堤段隐患探测,探测结果表明,当深度小于30m时,频散曲线与介质弹性界面有较好的对应关系,可直接推断界面位置,且可据异常幅值判断软弱层的强度特性和范围。在陕西渭北某水库左坝肩渗漏探测、红石峡水库坝基和坝体质量检测、陕西滴水岩水库坝体渗漏探测中,瑞雷波法都取得了较好的效果。另外,陕西水利电力勘测设计研究院的任健于2003年将瞬态面波剖面法技术应用于病险水库探查中,通过实践应用可知,该方法在病险水库勘探中能较好地探测坝体沉陷变形和软弱夹层等工程地质问题;浙

江省水利河口研究院曾将 SWS21G 工程勘探与检测系统较好地应用于黄岩长潭水库坝体隐患调查、玉环里墩水库坝基处理效果检测、东苕溪防洪工程西险大塘加固工程套井回填质量检测以及椒江外沙海塘和温岭东浦新塘探测。上海市地质调查研究院也曾运用面波法对土坝管涵、土洞、白蚁巢穴、土体疏松带等水库大坝隐患进行探测,并取得了一定的应用效果。

水工建筑物渗水通道一般为细长的通道或裂隙等,其断面尺寸一般较小,地震反射法和折射波法难以有效分辨,因此目前的应用主要以面波勘探为主。长期以来,瑞利面波在地震勘探中被认为是一种强干扰波,研究瑞利面波的目的是压制或消除它的影响。近年来,人们发现利用瑞利波的频散特性和其速度与岩土力学性质间的相关性可以解决许多单用纵波勘探无法解决的工程地质问题,于是发展了面波勘探方法。面波的传播特点是沿介质的表面传播,高频波传入地下的深度小,低频波传入地下的深度大,利用此特点只要改变激振器的振动频率,就可检测不同深度的地层,可利用的面波参数有速度、波幅、波形和相位等多种参数。将多种参数进行综合分析,就可获得较准确的检测结果。根据工作方法的不同,面波勘探可以分为稳态法和瞬态法两种。

由于某些管涌的埋深较大,采用地质雷达、地震勘探、电法等物探手段进行无损探测受到有效探测深度和探测分辨率的影响,难以达到探测的目的。在某些情况下,示踪方法是较为理想的探测方法之一。同位素示踪法就是利用放射性同位素作标记物,根据放射性同位素在地下水中的迁移变化来研究地下水渗流运动规律的方法,包括单孔稀释法、单孔和多孔示踪法,一般要求渗漏流速大于 10^{-6} m/s。

近年来,水工建筑物无损检测领域基础研究鲜有重大突破,多数是对检测仪器的现代化。本书凝聚了作者单位从事水工建筑物无损检测数十年的实践经验,对相关类似的检测项目具有指导意义和借鉴作用。

第 2 章 检测方法及技术

2.1 电法勘探

电法勘探是根据各类岩石或矿体的电磁学性质（如导电性、导磁性、介电性）和电化学特性的差异，通过对人工或天然电场、电磁场或电化场的空间分布规律和时间特性的观测和研究，查明地质构造，解决工程地质问题的地球物理勘探方法。该方法主要用于寻找金属、非金属矿床，勘查地下水资源和能源，解决某些工程地质及深部地质问题。

电法勘探按场源性质可分为人工场法（主动源法）、天然场法（被动源法）；按观测空间可分为航空电法、地面电法、井中电法、海洋电法；按电磁场的时间特性可分为直流电法（时间域电法）、交流电法（频率域电法）、过渡过程法（脉冲瞬变场法）；按产生异常电磁场的原因可分为传导类电法、感应类电法。

电法勘探的特点主要有：①可利用的物性参数多，包括导电性（电阻率 ρ 或电导率 σ ）、电学活动性（ η ）、介电性（ ϵ ）、导磁性（ μ ）等；②可利用的场源多，包括人工场源和天然场源，其中人工场源又分为直流电场和交流电场。

目前常用的电法勘探方法有电阻率法、高密度电阻率法、充电法、自然电场法、激发极化法、瞬变电磁法、频率域电磁法、可控源音频大地电磁法和探地雷达法等。

2.1.1 电阻率法

电阻率法是以岩土介质的导电性差异为基础，通过观测和研究人工建立的大地中稳定电流场的分布规律来探测地下地层结构，了解地下地质构造特征，达到解决水文、工程与环境地质问题的目的，或寻找矿产资源的一类电法勘探方法。

1. 电阻率法分类

在电法勘探中，根据不同的地质任务与地电条件，采用不同的探测装置。所谓装置类型是指一定的电极排列形式。由于电极移动方式不同，电阻率法又分为电阻率剖面法和电阻率测深法。

(1) 电阻率剖面法。电阻率剖面法，简称电剖面法，是以地下岩（矿）石电阻率差异为基础，人工建立地下稳定直流或脉动电场，按照某种极距的装置形式沿测线逐点观察，研究某一深度范围内岩（矿）石沿水平方向的空间电阻率变化，以查明矿产资源和研究有关地质问题的一组直流电法勘探方法。它包括许多分支装置：二级装置、三级装置、联合三级装置、对称四级装置、偶极装置和中间梯度装置等，如图 2-1 所示。

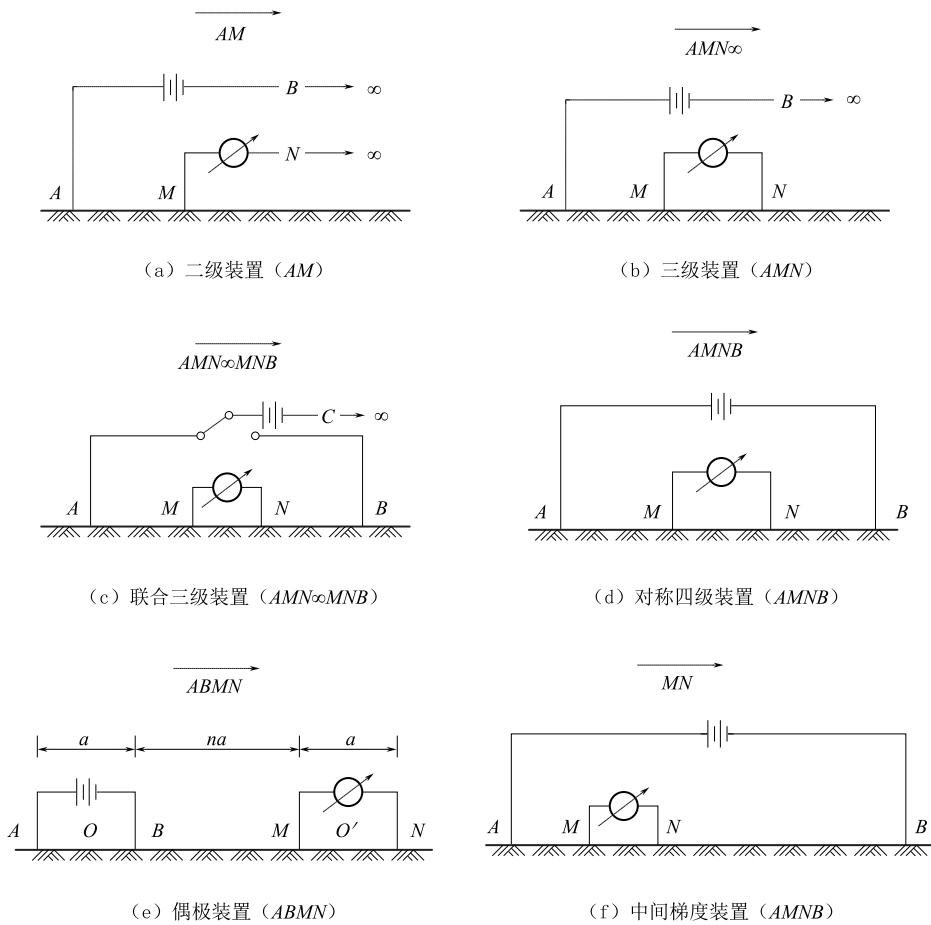


图 2-1 电阻率剖面法不同装置电路图

无论哪种装置类型，其共同特点是：用供电电极（A、B）向地下供电，同时在测量电极（M、N）间观测电位差（ ΔU_{MN} ），并计算出视电阻率（ ρ_s ），各电极选定的测线同时（或仅测量电极）逐点向前移动和观测。电阻率剖面法常用于探查地下一定深度范围内的横向电性变化，以此解决多种地质问题。

(2) 电阻率测深法。电阻率测深法简称电测深法，又名电阻率垂向测深，是利用岩矿石的导电性差异为基础，分析电性不同的岩层沿垂向分布情况的一种电阻率方法。原则上讲，电剖面法中各种装置（除中间梯度外）均可用于电测深，但目前常用测深装置主要是对称四极和等比装置。电测深法的特点是：供电电极（A、B）在测点（O）两侧沿相反方向向外移动，测量电极（M、N）不动或与 AB 保持一定比例（ $MN/AB=c$ ）地同时移动。电测深法主要用于探查垂直方向上由浅到深的 ρ_s 的变化情况。

电测深法探测对象应为产状较平缓（倾角不超过 20° ）、电阻率不同的地质体，且地形起伏不大，主要用于成层岩石的地区，如解决比较平缓的不同电阻率地层的分布，探查油、气田和煤田地质构造，以及用于水文地质与工程地质调查中。而激发极化电测深主要

用于金属矿区的详查工作，借以确定矿体顶部埋深以及了解矿体的空间赋存情况等。

1) 电测深装置如图 2-2 所示。

2) ρ_s 的计算公式为

$$\rho_s = k \frac{\Delta U_{MN}}{I} \quad (2-1)$$

$$k = \pi \frac{AM \cdot AN}{MN} \quad (2-2)$$

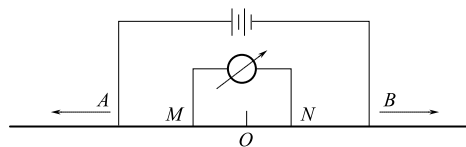


图 2-2 电测深装置示意图
($AO=BO$; $MO=NO$)

式中： k 随电极距地逐次扩大而改变。

3) 电测深曲线。

电测深曲线是指视电阻率 ρ_s 随供电电极距 ($AB/2$) 变化的曲线。电测深曲线的特点是：①每个电测深点均可以得到一条电测深曲线；②该曲线通常以 $AB/2$ 为横坐标，以 ρ_s 为纵坐标，绘制在模数为 6.25cm 的双对数坐标纸上。

2. 电阻率法的应用

- (1) 进行地质填图，确定基岩起伏。
- (2) 确定构造破碎带的倾向。
- (3) 找金属与非金属矿。
- (4) 寻找地下水。

2.1.2 高密度电阻率法

1. 基本理论

高密度电阻率法简称高密度电法，是以岩、土导电性的差异为基础，研究人工施加稳定电流场的作用下地中传导电流的分布规律的电探方法。它的理论基础与常规电法相同，所不同的是方法技术。高密度电法实际上是一种阵列勘探方法。野外测量时只需将所有电极布置在一条测线上，利用程控电极转换装置和微机电测仪便可以实现数据的快速和自动采集。

测量时先以固定间距 x 沿测线布置若干根电极，这些电极在整个测量过程中固定在原处不动；取 $a=nx$ ($n=1, 2, 3, \dots$)，对每一个取定的活动电极间距 a ，将两两相距为 a 的四根电极经电极转换开关连接到仪器上，一次完成各种装置形式的电阻率测量（各装置形式的记录点均选在电极排列的中点）；待一个测点的全部测量任务完成后，将整个电极排列向前移动一个 x 距离，然后进行下一测点的观测，这种过程重复进行，直到活动电极间距为 a 的整条剖面全部测完为止。

由于一条剖面地表测点总数是固定的，因此，当极距扩大时，反映不同勘探深度的测点数将依次减少。把三电位电极系的测量结果置于测点下方深度为 a 的点位上。于是，整条剖面的测量结果便可以表示成一种倒三角形的二维断面的电性分布。

2. 常用装置

(1) α 排列（温纳装置 AMNB）。温纳装置的电极排列规律是：A、M、N、B（其中 A、B 是供电电极，M、N 是测量电极）， $AM=MN=NB$ 为一个电极间距，随着间隔系数 n 由 n (MAX) 逐渐减小到 n (MIN)，四个电极之间的间距也均匀收拢。该装置适用

于固定断面扫描测量，其特点是测量断面为倒梯形，电极排列如图 2-3 所示。

(2) β 排列 (偶极装置 $ABMN$)。该装置适用于固定断面扫描测量，装置特点是供电电极 A 、 B 和测量电极 M 、 N 均采用偶极，并按一定的距离分开。由于四个电极都在同一测线上，故又称偶向偶极。其 ρ_s 表达式为

$$\rho_s^\beta = K_\beta \frac{\Delta U_{MN}}{I} \quad (2-3)$$

其中

$$K_\beta = 6\pi\alpha$$

β 排列测量断面为倒梯形。测量时， $AB=BM=MN=a$ 为一个电极间距， A 、 B 、 M 、 N 逐点同时向右移动，得到第一条剖面线；接着 AB 、 BM 、 MN 增大一个电极间距， A 、 B 、 M 、 N 逐点同时向右移动，得到另一条剖面线；这样不断扫描测量下去，得到倒梯形断面，其偶极装置排列如图 2-4 所示。

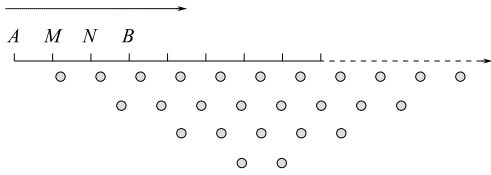


图 2-3 温纳装置排列示意图

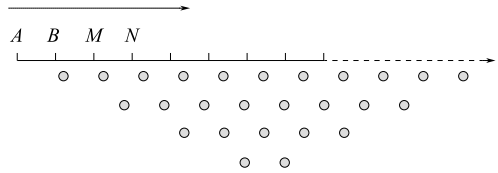


图 2-4 偶极装置排列示意图

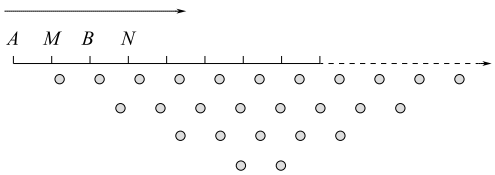


图 2-5 微分装置排列示意图

(3) γ 排列 (微分装置 $AMB N$)。该装置适用于固定断面扫描测量，电极排列如图 2-5 所示。 ρ_s^γ 表达式为

$$\rho_s^\gamma = K_\gamma \frac{\Delta U_{MN}}{I} \quad (2-4)$$

其中

$$K_\gamma = 3\pi\alpha$$

测量时， $AM=MB=BN=a$ 为一个电极间距， A 、 M 、 B 、 N 逐点同时向右移动，得到第一条剖面线；接着 AM 、 MB 、 BN 增大一个电极间距， A 、 M 、 B 、 N 逐点同时向右移动，得到另一条剖面线；这样不断扫描测量下去，得到倒梯形测量断面。

高密度电法是一种多快好省的勘探方法，目前在地基勘查、坝基选址、水库或堤坝查漏、地裂缝探测、岩溶塌陷及煤矿采空区调查等方面得到了广泛的应用，解决了诸多实际问题。

2.1.3 充电法

1. 基本理论

当理想良导体的电阻率远小于围岩电阻率 (<200 倍) 时，可近似看成理想的导体，它位于一般导电介质中时，向其上任意一点供电 (或充电) 后，电流遍及整个理想导体，然后垂直导体的表面流向周围介质。电流在理想导体内流过时，不产生电压降，所以称理想导体为等电位体。理想导体的充电电场与充电点的位置无关，只决定于充电电流的大小，充电导体的形状、产状、大小、位置及周围介质的电性分布情况。这样观测充电电场的分布，便可推断整个地下良导体及围岩电性的分布情况。充电法工作原理示意如图 2-6 所示。

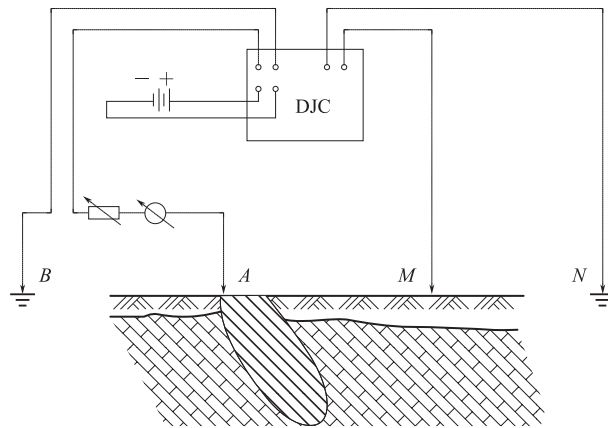


图 2-6 充电法工作原理示意图

2. 应用范围及其条件

(1) 充电法解决的地质问题。

- 1) 确定已揭露（或出露）矿体隐伏部分的形状、产状、规模、平面分布位置及深度。
- 2) 确定已知相邻矿体之间的连接关系。
- 3) 在已知矿附近找盲矿体。
- 4) 利用单井测定地下水的流向和流速。
- 5) 研究滑坡及追踪地下金属管线等。

(2) 充电法的应用条件。

- 1) 被研究的对象（充电体）至少已有一处被揭露或出露，以便设置充电点。
- 2) 充电体相对围岩应是良导体。
- 3) 充电体规模越大，埋藏越浅，应用充电法的效果越理想。充电法的最大研究深度一般为充电体延伸长度之半。

3. 主要观测方式、方法

(1) 电位法。将一个测量电极 N 固定在远离测区的边缘，作为电位零值点，另一测量电极 M 则沿测线逐点移动，观测其相对于 N 极的电位差，作为 M 极所在测点的电位值 U ，同时观测供电电流 I ，计算归一化电位值 U/I 。

(2) 电位梯度法。使测量电极 MN 保持一定距离，沿测线一起移动，逐点进行电位差 ΔU 和供电电流 I 的观测，计算归一化电位梯度值 $\Delta U/(MN \cdot I)$ 。记录点为 MN 的中点，注意观测电位差 ΔU 的符号变化（图 2-7）。

2.1.4 自然电场法 (SP)

1. 基本理论

自然电场法是指利用大地中自然电场作为场源，进行找矿和解决其他地质问题的方法。该法是人们应用最早的一种电法勘探方法。它毋须用人工方法向地下供电。至于自然电场产生的原因，目前尚有不同见解。地下潜水面切割电子导电矿体，潜水面上部发生氧

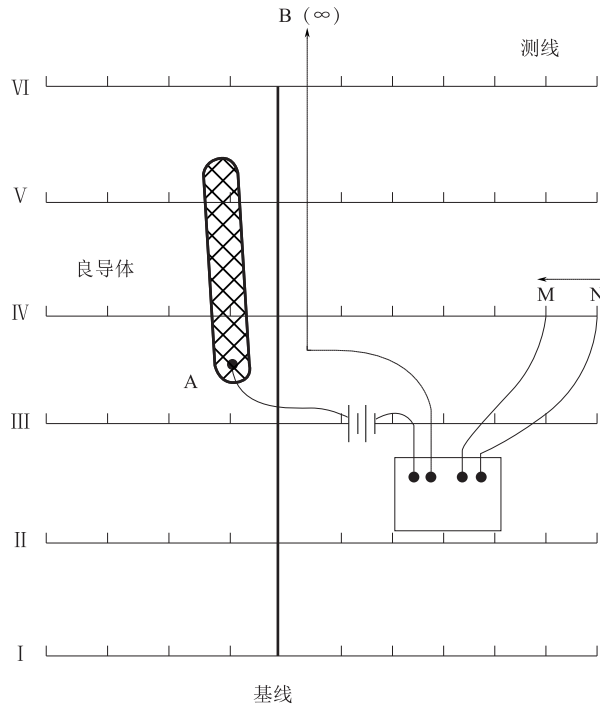


图 2-7 充电法电位梯度法观测布置图

化作用，下部发生还原作用，使矿体上、下两端表面产生不均匀的双电层，进而在矿体内外形成自然电流。通常在矿体上方的地表可观测到负的自然电位异常，依此可实现找矿的目的。另一观点认为，矿体本身并不参加化学反应，只起传递电子的作用。此外，还有学者提出电极电位学说和波差电池学说等。对于离子导体情况，地下水在岩石孔隙中流动时，由于水溶液中常含有大量的正、负离子，且岩石颗粒有吸引负离子的作用，致使地下水带走大量的正离子，形成自然电场。野外工作时，将电极 N 置于很远处 (∞ 处)，测量电极 M (M、N 极皆为不极化电极) 沿测线逐点测量自然电位 U ，测量结果可绘成 U 的剖面曲线图和平面等值线图。自然电场法不用人工供电，故仪器设备较轻便，生产效率较高。

2. 应用范围及条件

(1) 应用范围。

- 1) 用于寻找电子导电的金属矿床与非金属矿床。
- 2) 进行地质填图。
- 3) 确定地下水流速、流向等水文地质问题。

(2) 应用条件。观测大地的自然电场：只需两个接收电极，仪器阻抗要高，采用不极化电极。

3. 工作方法

(1) 电位法。观测所有各测点相对于某一固定点 (基点) 的电位，即将固定电极设在基点上，然后沿测线逐点移动活动电极，观测相对固定电极的电位差。

(2) 梯度法。观测相邻两测点间的电位差。测量电极放置在同一条测线的相邻 2 个测