

高 等 学 校 教 材

资源与工程

地球物理勘探

李世峰 金瞰昆 周俊杰 编著



化学工业出版社

高等学校教材

资源与工程地球物理勘探

李世峰 金瞰昆 周俊杰 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书以电、磁、地震、重力勘探为主,兼顾岩土工程领域常用的地下管线及地下埋设物探测、桩基无损探测等基本理论、基本技能方面的内容。面向非物探专业的教学需求,满足“资源勘查工程”、“勘察技术与工程”专业的教学大纲要求,在阐述物探基础理论、基本工作方法的同时,着重考虑地质应用,介绍各种勘探方法的原理、工作方法、应用条件、解释基础、实际应用,剔除不必要的公式推导,以解决资源与工程实际问题为指导思想。

本书可作为高等院校非物探专业的教材,也可以供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

资源与工程地球物理勘探/李世峰,金瞰昆,周俊杰编著.
北京:化学工业出版社,2008.4
高等学校教材
ISBN 978-7-122-02432-9

I. 资… II. ①李…②金…③周… III. 地球物理勘探-
高等学校-教材 IV. P631

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 037315 号

责任编辑:彭喜英 杨 菁
责任校对:郑 捷

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:北京云浩印刷有限责任公司

装 订:三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 18 字数 465 千字 2008 年 4 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:29.80 元

版权所有 违者必究

前 言

地球物理勘探简称为物探。

随着我国市场经济的不断发展，地球物理勘探行业方兴未艾，地质资源、水文地质、岩土工程勘察等方面有了较大发展，利用物探方法解决地质问题一直是重要的发展方向，对拥有物探技术的工程技术人员需求日益增多。然而，适合非物探专业的学生、广大技术人员使用的综合物探书籍较少。为此，编著此书以飨读者。

长期以来，地球物理勘探为适应国民经济发展的需求，在不断的加强基础、拓宽专业领域。笔者也不例外，在长期从事非物探专业的物探课程教学及科研实践中不断加强教学改革，为适应现代勘查技术的需求，工作中迫切需要地球物理勘探方面的系统教材，为勘探事业的壮大和发展起到一定的作用，满足教学与科研的需求。本书是在《工程物探》讲义的基础上，经广泛的调研和讨论，特别是征求生产单位意见，在“河北省资源勘测研究（重点实验室）”、河北省“矿产普查与勘探（重点）学科”的大力支持下完成的。

本书以电、磁、地震、重力勘探为主，兼顾岩土工程领域常用的地下管线及地下埋设物探测、桩基无损探测等基本理论、基本技能方面的内容。其指导思想是面向非物探专业的广大工程技术人员，满足“资源勘查工程”、“勘察技术与工程”专业的教学大纲要求，在阐述物探基础理论、基本工作方法的同时，着重考虑地质应用，介绍各种勘探方法的原理、工作方法、应用条件、解释基础、实际应用，剔除不必要的公式推导，以解决资源与工程实际问题为目的。本书可以作为高等院校非物探专业的教材，也可以供有关工程技术人员参考。

全书共分七章，其中的第一、三、五、六、七章由李世峰教授编写，第二章由周俊杰讲师编写，第四章由金瞰昆教授编写。全书由李世峰教授统稿、金瞰昆教授审定。

本书的出版得到河北省资源勘测研究重点实验室资助，在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限，文中不当和疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者
2007 年 11 月

目 录

绪论	1
第一章 电法勘探	7
第一节 电阻率法基本知识	8
一、岩石的电阻率及影响因素	8
二、稳定电流场的基本规律	13
第二节 电剖面法	27
一、概述	27
二、电剖面法野外工作技术	27
三、联合剖面法	29
四、对称四极剖面法	38
五、中间梯度法	38
六、偶极剖面法	41
七、电阻率剖面法几个问题讨论	41
第三节 电测深法	45
一、基本原理	45
二、电测深资料解释	53
三、综合实例	63
第四节 自然电场法	66
一、概述	66
二、自然电场产生的原因	66
三、自然电场的外业工作方法	68
四、自然电场的应用	68
第五节 充电法	72
一、概述	72
二、工作方法	72
三、充电法的实际应用	74
第六节 激发极化法	77
一、激发极化现象和各种测量参数	77
二、激发极化效应的机制问题	81
三、激发极化法的应用	84
第七节 高密度电法	86
一、基本原理	87
二、系统结构	91
三、野外工作方法	91

四、高密度电法资料处理·····	101
五、三维高密度简介·····	103
六、高密度电法实际应用·····	104
第二章 地震勘探·····	108
第一节 地震勘探理论基础·····	109
一、理想介质和黏弹性介质·····	110
二、地震波运动学和动力学特征·····	110
第二节 地震勘探仪器·····	116
一、震源·····	116
二、地震仪·····	119
三、检波器·····	120
第三节 地震波理论时距曲线·····	122
一、直达波时距曲线·····	122
二、折射波时距曲线·····	122
三、绕射波及特殊地层时距曲线·····	125
四、反射波时距曲线·····	125
第四节 地震勘探的野外工作方法·····	129
一、测网布置·····	130
二、试验工作·····	130
三、地震信息的激发·····	130
四、地震信息的接收·····	131
五、组合法·····	132
六、多次覆盖法·····	137
七、地震信息采集中参数的设计·····	145
八、低速带资料的采集·····	147
第五节 地震资料的整理·····	148
一、地震信息的数字处理·····	148
二、速度信息的提取——叠加速度谱·····	157
三、水平叠加处理与剖面的显示·····	159
四、水平叠加时间剖面的取得·····	160
五、叠加偏移处理·····	161
第六节 地震资料的解释·····	163
一、地震反射层位的地质解释·····	163
二、时间剖面的对比·····	167
三、地震解释中可能出现的各种假象·····	171
四、断层解释·····	172
五、典型构造解释·····	176
六、地震构造图的绘制·····	178
七、三维地震资料解释·····	181
八、煤田地震勘探工程实例·····	187

第三章 声波与瑞雷波勘查	194
第一节 声波勘查	194
一、概述.....	194
二、声波仪的基本原理.....	194
三、声波勘探在工程地质中的应用.....	196
第二节 瑞雷波勘探	198
一、概论.....	198
二、瑞雷波法的基本原理.....	200
三、仪器设备.....	201
四、工作方法.....	202
五、应用.....	203
第四章 重力勘探	208
第一节 概述	208
第二节 重力场、重力异常及重力勘探的应用条件	209
一、重力场的基本特征.....	209
二、岩石、矿石的密度.....	210
三、重力异常.....	211
四、重力勘探的应用条件.....	213
第三节 重力仪器、重力勘探的野外工作方法	214
一、重力仪.....	214
二、重力测量的野外工作方法.....	216
三、测量结果的改正及图示.....	219
第四节 重力异常的解释及应用	220
一、重力异常的解释.....	220
二、重力勘探综合应用.....	224
第五章 磁法勘探	226
第一节 概述	227
一、计算磁性体磁场的意义和条件.....	227
二、静力学基本知识.....	228
三、岩石的一般磁性特征.....	231
四、影响岩石磁性的主要因素.....	231
五、地球磁场.....	232
六、研究岩、矿石磁性的意义.....	235
第二节 地面磁测仪器	236
第三节 磁测方法与要求	241
一、测区的选择.....	241
二、野外磁测.....	243
三、磁测精度评价.....	243
四、磁测数据的整理.....	244
五、磁测数据的图示.....	245

第四节 磁力异常的解释及应用·····	246
一、定性解释·····	246
二、定量解释·····	252
三、磁力勘探综合应用·····	254
第六章 其他物探方法·····	257
第一节 桩基无损检测·····	257
一、高应变动力测桩·····	257
二、低应变动力测桩·····	258
三、应用实例·····	260
第二节 地下管线探测·····	261
一、概述·····	261
二、探测方法与解释·····	262
第七章 综合物探方法及应用概要·····	266
第一节 物探方法的一般特点·····	266
一、物探方法的特点·····	266
二、综合应用物探方法应注意的问题·····	267
三、物探资料综合解释的基本原则·····	267
四、不同地质调查阶段物探方法的合理运用·····	268
第二节 资源与工程勘探中综合物探方法的应用·····	269
一、在多金属矿中应用·····	269
二、工程地质调查中物探方法的应用·····	271
参考文献·····	276

绪 论

“物探”，即地球物理勘探的简称，是地质学与物理学相结合的一门边缘科学。

随着社会、经济的不断进步，工农业建设正在蓬勃发展，在水文地质、农田水利、岩土工程勘察、矿产资源勘查等方面的地质勘查已成为迫切任务。物探能够快速地完成勘测任务、提供地质资料，因此，应用非常广泛，如水源地、堤坝渗漏、桥梁、港口、厂房、建筑地基、低品位矿产勘查等，都需要提供快速、准确的地质资料。

物探主要是用物理方法来勘测地壳上部岩石、构造等来澄清地质问题，寻找有用矿产的新兴科学，是根据地质体的物理性质差异，借助一定装置和专门的仪器来探测其物理量分布规律（水平、垂直），为进一步钻探提供重要依据。因此，决不能把物探与地质、水文地质、工程地质分割开来。如电法中探测到某深度有低阻体，可能有多种解释：水、铁矿体、含矿岩体等。在山东的沂蒙山区、河西走廊、黄河平原等地区找水，工程上的地下管线探测、桩基检测等都有了长足进步。随着计算机技术和仪器的智能化发展，探测技术有了很大进步，也取得了丰硕成果。

物探是通过观测和研究各种地球物理场的变化来解决地质问题的一种勘查方法，其优点是具有透视性、高效率、低成本等，同时也存在一定的限制性、多解性等缺点。定量解释建立在一定规则形状物理模型计算的基础上，有关地质体深度、产状及规模大小等数据，依靠反演法求得。

一、物探方法及分类

1. 地球物理勘探分类

地球物理勘探分为力、热、声、光、电、放几大类。

① 力：重力、磁力、地震勘探、核磁共振等。

② 热：建立热场参数，在石油、地热寻找和灾害防治方面都有重要作用，如煤层自燃产生热、地热、用遥感的热红外探测等。

③ 声：声波勘探，根据声波的传播来探测地质体。

④ 光：激光仪等，红外-遥感-激光。

⑤ 电：电法勘测。

除此以外，还有放射性探测，如 U、Rn、Po 等方法。

2. 应用地球物理的三个方向

应用地球物理方向包括：工程和环境地球物理技术，地球物理信号处理和智能化解释系统，地球物理仪器研制的智能化，防爆型仪器研究。

工程和环境地球物理技术包括层析成像技术（CT），解决工程、水文和环境问题。实际工程项目（图 0-1）包括：

① 煤矿井下五小（小断层，小构造，火成岩侵入体，陷落柱，小夹矸）；

② 岩土工程（地质勘查、桩基检测、地下溶洞、老窑探测、地下管道探测）；

- ③ 考古调查及研究；
- ④ 地下废渣、污染物调查；
- ⑤ 寻找含水层及基岩深度；
- ⑥ 煤层火烧区检测；
- ⑦ 线状工程路基病害检测；
- ⑧ 城市环境调查等。

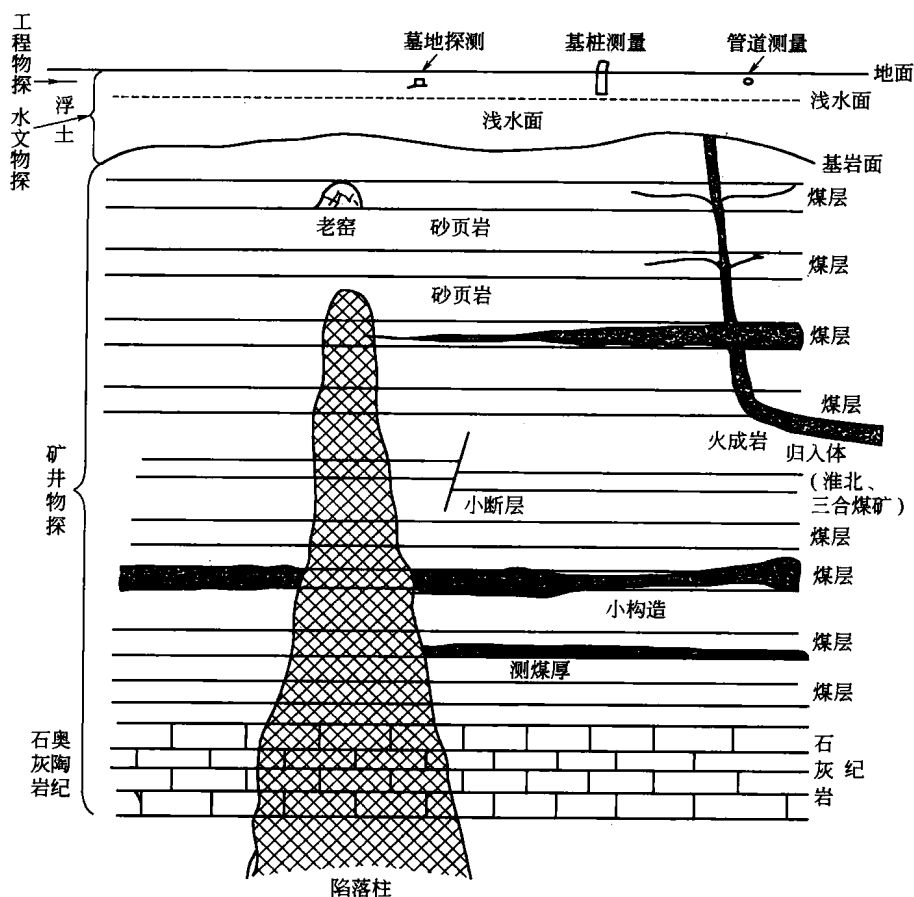
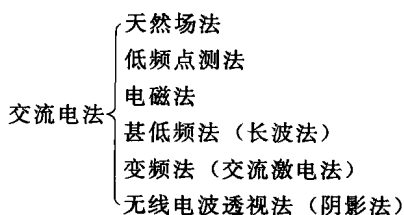


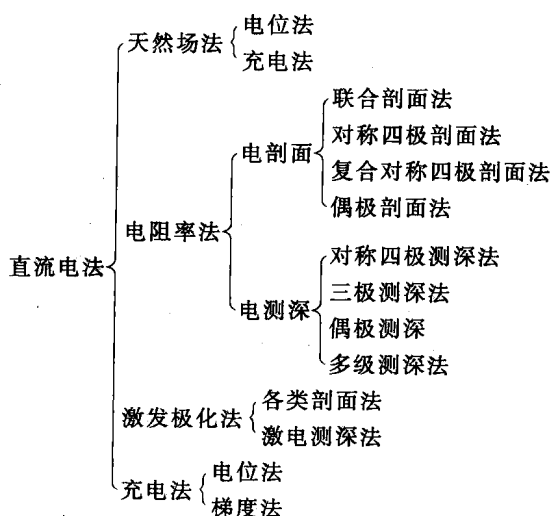
图 0-1 岩土工程、地基、桩基、管道、老窑、古墓、矿层探测示意图

3. 探测方法分类

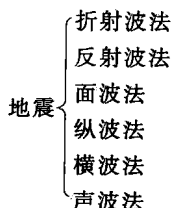
探测方法一般分为电法探测和地震探测两大类。根据场源、装置不同，每一类又可以细分为若干种探测方法。如电法探测又可以分为交流电法、直流电法，还可以再分。地震探测又可以分为反射波法、折射波法等。

(1) 电法探测分类





(2) 地震探测分类



二、发展简史

2004年6月6日至11日，在武汉召开了环境与工程地球物理国际研讨会，包括中国、美国、加拿大、瑞典、日本、法国、韩国等20多个国家和地区的近300名环境与工程地球物理研究人员提交了科研论文，包含大量的环境与工程地球物理的应用实例和解决问题的方法，说明了工程地球物理的应用领域在不断地扩大，内容涵盖了工程建设、水资源和地热资源勘查、灾害评价与预测、环境污染检测和监测、施工质量检测、考古研究等，并且向生态农业、生物生长监测等方面发展，与人们日常生活和国家发展结合更加紧密。环境与工程地球物理勘查中曾经存在的许多疑难问题，得到了较好的解决或获得了解决的具体思路和方法，如水库水坝的渗漏问题、夹心墙的检测问题、隧道的超前预报问题、活断层探测等。

从应用的目标来说，工程地球物理探测的主要目标也在发生变化，趋势是从常规的地层界面探测或目标物定位等逐渐向确定地层和目标物的属性方向发展，例如，采用高分辨率浅层地震方法配合井中地球物理资料，不仅应用于沉积物的界面划分，还利用地球物理资料分析沉积物的属性，提供地层的水文地质学信息，解决含水量、孔隙度等参数，极大地提高了地球物理方法在水文地质调查中的作用。另一个引人注目的应用实例是采用综合地球物理方法对秦皇陵进行考古研究，秦皇陵是中国，也是世界的一大重要文化遗产，我国地球物理学家在考古研究中，不仅确定了秦始皇陵的存在性，还清晰地确定了地下地宫的位置、陪葬坑以及深部逃逸通道等，初步的验证结果说明了探测的正确性，其研究成果也将极大地促进考古地球物理的应用和发展。

在应用的方法技术方面，传统方法与新方法、新技术并重，如直流电阻率方法、高密度电法、激发极化方法、浅层地震等应用，取得了较好的效果。新的方法技术如采用CSAMT方法进行洞穴探测（胡祥云，2004）、采用电磁法进行地质灾害评价（何兰芳，2004），以及

多道面波技术的应用。GPS 技术和可视化技术等新技术紧密地与地球物理结合, 可以更加直观、准确地解决环境与工程中的问题。

从方法的研究和发展来看, 新方法、新技术大量涌现, 使得工程地球物理更加富有朝气, 如多道面波技术 (MASW)、瞬变电磁技术 (TEM)、层析成像技术 (CT) 等反映出具有探测速度快、成像精度高的优点, 在工程地球物理中具有巨大的应用前景。

电法和电磁法获得了长足的发展, 取得了许多新成果, 同时又开辟了新的研究领域, 例如, 分布式高密度电阻率/激发极化的开发成功, 提高了测量的效率和增加测量的信息, 同时也提出了复杂地形条件下任意测量极距的探测结果三维处理和成像解释技术的研究。昌彦君、罗延钟 (2004) 等将激发极化方法和电磁法研究成果结合起来, 提出了时间谱电阻率方法 (TSR): 测量激发电流关断后的时间谱, 分别提取地下介质的激发响应和电磁响应, 应用于解决各种地质问题。一些重要的电磁法, 如 CSAMT、MT、EM (EH—4) 方法在环境和工程领域发挥重要的作用。航空电磁法也发展很快, 测量稳定性和测量精度都有很大的提高, 其应用包括探测海水入侵范围和边界、区域水资源评价等方面。

探地雷达 (GPR) 方法经过近 30 年的发展, 方法技术逐渐成熟起来。从目前的发展趋势来看, 在探地雷达传统应用领域得到加强的同时, 又出现了一些新的应用领域, 如多维探测, 阵列天线的探测, 方向性的探测, 高分辨、大深度的探测等。

重磁方法在工程地球物理中应用不多, 但在金属矿勘探中起着重要作用。由于重磁多分量梯度测量技术的解释和快速准确定位技术的发展, 特别是梯度测量和涨量测量提供了丰富的信息, 重磁方法在环境与工程中的作用越来越明显, 例如, 在沉船探测、秦皇陵考古研究等方面都具有重要的应用效果。高精度重磁探测在低品位矿开发中具有不可替代的作用。

资源与工程地球物理的发展也促进了数据处理、正反演解释和成像技术的发展。频谱分析、小波分析和统计方法广泛应用于数据的去噪和弱信号的提取。反射地震和探地雷达资料的偏移成像等, 采用包括解析、有限元、有限差分等方法, 研究介质从各向同性向各向异性介质的方向发展, 正演拟合也逐步趋于真实的介质, 反演方法也从线性方法向非线性方法发展。但从目前的软件分析来看, 还有很大的发展空间, 如多道面波技术的频散曲线反演主要是一维, 还没有二维反演方法和软件; 电磁法的反演也大多集中在一维和二维, 广泛应用的三维反演软件很难见到; 浅层反射地震和探地雷达很少有商业的反演软件。

我国在建国初期就成立了工程物探、水文物探和环境物探的相关部门。经过几十年的发展, 相关部门还保留了相应的机构, 但作为学术组织和学科的建设, 逐渐将水文、工程、环境物探融合成为环境与工程地球物理, 研究的内容也有较大的扩展和增加。对于传统的三个方向, 在我国占主导地位的是工程地球物理, 主要表现在大型和特大型工程的开工建设, 需要进行大量的探测和质量检测工作, 在工程地球物理方面的投资也较大。而我国的干旱和半干旱国土面积达到 52%, 水文物探方向主要目标是找水, 在西部大开发战略中, 要建设和开发西部, 找水和水资源的评价是非常重要而关键的一环。资源地球物理是一个越来越受到重视的方向, 具有巨大的发展潜力。我国改革开放以来, 经济得到了巨大的发展, 随着钢铁、航空航天及高科技的发展, 矿石短缺也是不争的事实, 过去认为是“废石”, 现在已成为有价值的矿产, 国家和地方都注意到这个问题, 需要大量的物探工作来开辟新的资源。在进行开发的同时, 也要注重环境的保护和灾害的治理, 实现可持续发展, 这成为资源地球物理发展的一个重要契机, 也是地球物理人员为国家服务的最好的时机。

1. 发展阶段

在世界范围内, 水文物探经历了 20 世纪 50、70 年代两个大的发展时期, 其特点是水文、工程物探的投资产量大幅度增加, 尤其是工程物探的投资更快, 每年以 20% 的速度增

长。我国发展与国际发展大致相当，从 20 世纪以来，经过四个发展阶段：

第一阶段 40~50 年代 找水

第二阶段 60~70 年代 找水与管理

第三阶段 80~90 年代 找水、管理与治水

第四阶段 90~现在 智能化

2. 特点

① 技术方法不断增加，由第一阶段的几种发展到现在几十种；

② 仪器设备迅速现代化，实现了“三化”（小型化、轻便化、自动化），达到了“三高”（高灵敏度、高分辨率、高倍噪化），发展了“三多”（多通道、多参数、多功能）；

③ 范围扩大，应用水平提高，由浅部到深部，从松散层到各类构造，由国内到国外，成井率不断提高；

④ 勘探量不断增加，水文物探 1:50 万~1:5 万并列性调查已覆盖大部分国土面积，大比例尺 1:2.5 万~1:1 万水文物探普查已达到相当面积，完成多个供水项目物探，目前开发大西北水文物探和资源物探又在加大力度，如沙漠找水、国家“305 计划”等。

3. 工程物探发展

1996 年度原地矿部统计资料，完成工程物探和桩基检测项目 459 个，年总产值达到 10 亿元，比 1995 年增长 30%。

① 地下管线探测，完成了大城市普查工作（包括电缆），在市政建设方面有了较大发展；

② 地下障碍物探测，包括防空洞、老桩基等埋设物探测有了长足进步；

③ 基坑施工、软土地基及其他灾害监测、工程质量无损检测等投入小、见效快的行业迅速发展。

从发展前景来看，常规物理方法的发展主要是提高探测深度、广度、分辨能力及新仪器的使用，新物理参数的使用；高频技术、微波技术、激电参数测定，如 η 、 ρ 、 D 、 J 、 T 等；地热勘探中对岩石力学参数的测定；工程勘探中对 E 、 k 、 λ 等的测定。其次是如何提高物探工作的速度和效率，如航空探测、遥测、综合物探的运用等。

三、资源与工程物探的应用

1. 探测条件

物探不同于钻探，在使用上要正确理解其含义。因此，利用物探方法解决各种地质问题时，必须有一定的地球物理条件才能取得满意的效果。这些条件主要是：

- （1）探测对象与周围介质存在一定的物性差异；
- （2）探讨对象须具备一定的规模，能产生相对地球物理异常；
- （3）能正确区分干扰场带来的异常；
- （4）克服多解性带来的偏差。

2. 拟解决问题

尽管物探方法具有许多应用先决条件，但高速度和低成本的特点使其仍然是被广泛采用的重要勘探手段，概括起来，在资源与工程领域可以解决如下问题：

- ① 测定覆盖层、风化层厚度及基岩面起伏状态；
- ② 探测断层、裂隙带、溶洞、采空区等地质体的空间分布；
- ③ 测定岩石的动弹性参数，利用波速划分岩石、建筑场地类型，进行地基土的分层与评价；

- ④ 滑坡、泥石流探测、路基病害及水库渗漏评价；
- ⑤ 地下管线、不明埋设物分布探测；
- ⑥ 地下水资源的勘查与评价；
- ⑦ 矿产资源的勘查与评价；
- ⑧ 利用伟晶岩脉探测，评价微量金属矿床的空间分布；
- ⑨ 桩基无损探测及建筑物常时微动观测。

据以上介绍可以看出，资源与工程物探应用是十分广泛的，可以预见，随着经济和科学技术的不断发展，物探工作的应用深度、广度都将不断发展，新的仪器设备、探测方法、新参数将会不断涌现，定量解释将会更加完善和准确。

第一章 电法勘探

电法勘探是根据岩石及矿石的导电性、电化学反应性、介电性等电学性质差异，借助专门的仪器设备观测和研究地球物理场的变化及分布规律，来找矿和研究地质结构的一种地球物理勘探方法，进而达到解决地质问题的目的。

电法勘探的主要特点是利用的场源形式多（主动源、被动源）、方法变种多、解决的地质问题多，工作领域宽广，可以在航空、海洋、地下空间实施，是一种有着较长发展历史、又有发展前途的勘查方法。实践证明，直流电法无论在金属矿普查、地质结构研究、水文地质工程地质调查以及能源勘查等方面，均取得了良好的地质效果。

19 世纪 20 年代，P. 福克斯在英国康瓦尔铜矿上测得由硫化矿床引起的自然电场，但当时仅限于科学研究，未得到实际应用。

20 世纪初，西方发达国家发展较快，需要进行大量矿床勘探，于是电法就产生了。到 20 世纪 20 年代，初步理论已形成，在法、美、瑞典、前苏联、加拿大等国得到广泛应用，并不断发展。

我国解放初期，只有少数人做过试验。

1936 年，丁毅在安徽当余铁矿进行电法试验，仪器简陋。

1939~1942 年，顾功叙在贵州水城县观音山铁矿进行电法工作。

1950 年，辽宁鞍山铁矿开始使用电法勘探。

1957 年，辽宁鞍山铁矿进行激发极化法勘测。

1958 年，全国成立了勘探队，促进了电法的发展。

实际上电法首先起源于金属矿床勘探，后来发展到水文地质、工程地质。目前，遥测技术、多功能仪器、智能化仪不断得到应用，产生了很大的经济效益。

电法勘探有多种分类方法，主要有如下几种。

1. 按场源性质分类

有人工场法（或主动源法）、天然场法（或被动源法），前者比较灵活，用于各种目标；后者经济，适用于普查。

2. 按地质目标分类

① 金属与非金属矿电法：金属矿的电性特点为不规则低阻体，非金属矿电性特征变化大，石英属于高阻体，黏土矿物一般为低阻体。

② 石油与天然气电法：一般埋深大，表现异常差异不明显。

③ 水文与工程地质电法：前者含水层分布面积大，呈明显的低电阻、高激化率，工程地质方面一般要查明的地质问题埋深浅，要求的精度高。

④ 煤田电法：有其特殊性，往往在煤矿井下探测。

3. 按观测空间或工作场所分类

有航空电法、地面电法、地下电法（坑道中）。

4. 按电磁场的时间特性分类

有直流电法（或时间域电法）、交流电法（或频率域电法）、过渡电场法（或瞬态场法）。

直流电法是利用稳态电场观测，交流电法是观测电磁场和电磁波，过渡电场法观测电磁场的瞬态过程。

5. 按产生异常电磁场的原因分类

有传导类电法和感应类电法：传导类电法观测大地中由于传导而产生的异常电流场，感应类电法观测地壳中感应形成的涡旋电场。

6. 按观测内容分类

有纯异常场法、总场法。

第一节 电阻率法基本知识

一、岩石的电阻率及影响因素

电阻率是岩石的重要参数，在数值上等于该种材料单位立方体所呈现的电阻，单位为欧姆·米，记为 $\Omega \cdot m$ 。1 $\Omega \cdot m$ 为 1 m^3 材料具有 1 Ω 的电阻值。

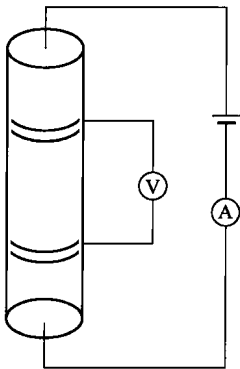


图 1-1 标本电阻率测试示意图

对于粗细均匀的长导体， $R = \rho \frac{L}{S}$ ，电阻与导体长度呈正比，与横截面积呈反比：

$$R = \frac{\Delta V}{\Delta I} \quad (\text{欧姆定律})$$

则
$$\rho = RS/L = \frac{\Delta V S}{\Delta I L}$$

由图 1-1 可测岩石的电阻率 ρ 。若 ρ 大，则岩石的导电性就差，但与岩石性质、含水量有一定关系。

1. 金属元素及常见矿物的电阻率

根据测试数据统计，金属元素及常见矿物的电阻率见表 1-1。从表中可以看出，电阻率值变化很大，主要取决于该类物质杂质成分含量及结构的均匀性。

表 1-1 金属元素及常见矿物的电阻率 $\Omega \cdot m$

金 属		良 导 性 矿 物		中 等 导 电 性 矿 物		劣 导 电 性 矿 物
10^{-8}	10^{-7}	$10^{-6} \sim 10^{-3}$	$10^{-3} \sim 1$	$1 \sim 10^3$	$10^3 \sim 10^6$	$>10^6$
金	铁	石墨	方铅矿	黑钨矿	褐铁矿	石英
银	锡	斑铜矿	辉铜矿	赤铁矿	赤铁矿	长石
铜	铅	铜蓝	黄铁矿	软锡矿	蛇纹石	云母
镍	锑	磁黄铁矿	辉铜矿	菱铁矿	—	角闪石
铝	汞	磁铁矿	黄铜矿	铬铁矿	—	方解石

2. 岩石的电阻率

地壳是由各种岩石组成的，而岩石又是由各种矿物组成的。由于影响岩石电阻率变化的因素很多，因而各种岩石电阻率的变化范围很大。所以，在多数地区，不同岩石之间存在明

显的电阻率差别，也正是这种差别的存在，为电阻率法勘探提供了良好的物理前提。常见岩石电阻率如下：

火成岩： $10^2 \sim 10^6 \Omega \cdot m$ ；变质岩： $10 \sim 10^6 \Omega \cdot m$ ；沉积岩：黏土： $1 \sim 10 \Omega \cdot m$ ；
砂： $n \times 10 \sim n \times 10^3 \Omega \cdot m$ ；软页岩： $0.8 \sim 10 \Omega \cdot m$ ；砂岩： $n \times 10^2 \sim n \times 10^3 \Omega \cdot m$ ；
硬页岩： $10 \sim 800 \Omega \cdot m$ ；灰岩： $n \times 10^2 \sim n \times 10^5 \Omega \cdot m$ 。

在三大岩类中，岩浆岩和变质岩具有较高的电阻率值，沉积岩的电阻率值较低。这些电阻率值是室内测试统计的结果，在野外测量时，受干扰的因素较多，变化值也较大。

3. 水的电阻率

纯水	$2.5 \times 10^5 \Omega \cdot m$	海水	$n \times 10 \sim n \times 100 \Omega \cdot m$
雨水	$> 10^3 \Omega \cdot m$	矿井水	$n \times 100 \Omega \cdot m$
河水	$n \times 10^{-1} \sim n \times 10^2 \Omega \cdot m$	潜水	$< n \times 10^{-1} \Omega \cdot m$
深层盐渍水	$n \times 10 \sim 1 \Omega \cdot m$		

水中含盐量与电阻率的关系如图 1-2 所示。地下水的矿化度变化范围很大，淡水中的矿化度为 0.1g/L，咸水的矿化度可高达 10g/L。因为地下水的电阻率随矿化度增高而明显减小，所以在岩性条件变化不大的前提下，可以在地面或钻孔中应用电阻率的差异来划分咸、淡水层位以及海水入侵部位界限，也有人用电阻率判断纯净水的优劣。

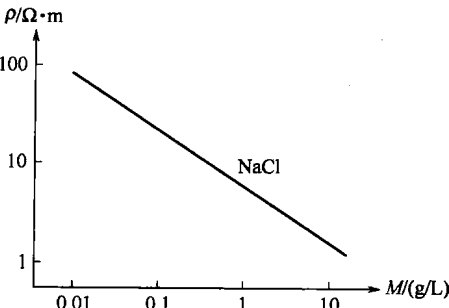


图 1-2 含盐量与电阻率的关系

水的电阻率受温度的控制，温度控制水的活性，温度的变化主要引起水溶液中盐离子活动性的变化。由于水溶液中的盐离子移动速度随温度升高而加快，随着温度的增高，电阻率值降低。因此，水溶液的电阻率随温度升高而降低，用电阻率法圈定地热异常区正是利用了这一特性。在冰冻条件下，地下岩石中的水溶液全处于冻结状态，离子无法迁移，而使冰的电阻率剧增至 $10^5 \Omega \cdot m$ 左右，此时岩石呈现极高的电阻率，从而给电法勘探工作增加了困难。

4. 影响电阻率的因素

通常，任何一种岩石的电阻率值都有一个变化范围（见图 1-3）。这一客观事实表明，在研究某一工作地区岩石的电性时，不仅需要掌握各种岩石电阻率的具体数值和相互间的差异，

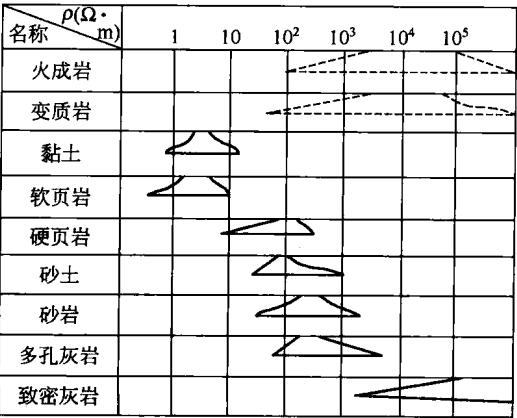


图 1-3 岩石电阻率变化

而且还要了解各种岩石电阻率的稳定程度及其变化规律。用电阻率法研究测区的地质构造或解决水文、工程地质问题的基本物理前提就是测区内各岩层必须具有不同且相对稳定的电阻率值。

在自然条件下，影响岩石电阻率的因素很多，但主要的因素是岩石的矿物成分、结构、构造、孔隙、裂隙发育情况和含水性。

(1) 介质的矿物成分

由于矿物的电阻率随着组成矿物的化学成分及内部结构的不同而在相当大的范围内变化，故岩石的电阻率也存在一定的变化范围。主要的造岩矿物，如石英、云母和长石等硅酸