

高等学校教材試用本

普通地球物理勘探法

(水文地质及工程地质专业适用)

賈苓希等編

只限学校内部使用



中国工业出版社

高等学校教材試用本



普通地球物理勘探法

(水文地质及工程地质专业适用)

74.221/JLX

賈 苓 希 等 編

中国工业出版社

本书为水文地质及工程地质专业适用的普通地球物理勘探试用教材。根据这个专业的需要，对于电法勘探(直流部分)着重作了介绍，其次是地球物理测井和地震勘探，对放射性勘探和重力、磁力勘探，则由于应用不多，只作极其简单的介绍。

本书由北京地质学院金属物探教研室賈苓希等同志编写。

普通地球物理勘探法
(水文地质及工程地质专业适用)
賈苓希等編

*

地质部地质书刊编辑部編輯(北京西四羊市大街地质部院内)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ ·印张 $1 \frac{1}{4}$ ·插页2·字数294,000

1963年12月北京第一版·1963年12月北京第一次印刷

印数0001—1,070·定价(10-5)1 65元

*

统一书号: K15165·2649(地质-258)

前 言

根据地质部的委托和指示，为满足地质院校水文地质及工程地质专业的教学需要，编写出这本普通地球物理勘探法教材，作为试用教科书。

本书着重对目前在水文、工程地质工作中最常用的方法——电法勘探(直流部分)加以介绍；其次是地球物理测井和地震勘探；对放射性勘探和重力、磁力勘探，由于目前在水文、工程地质工作中应用不多，只做极其简单的叙述。

为了适合水文地质及工程地质专业学生的需要，使他们在工作中能初步分析物探资料，并了解在什么条件下使用哪种物探方法最合理，在讨论各种方法时，对方法的基本原理、物理实质、应用条件、解释方法，特别是对方法在水文、工程地质工作中的应用进行了重点讨论。对方法的数学物理基础叙述得比较简单。对野外工作方法技术以及仪器的叙述，考虑到实际工作中应用的情况，在电法勘探部分较仔细，在其他方法部分较简单。

编写本书时，是以80学时讲课进行安排的（讲课与实验之比大致为2.5:1），绪论—2；电法勘探—36；地球物理测井—16；地震勘探—12；放射性勘探—4；重力勘探—4；磁力勘探—6。在学习本课程时，应配合以下实验内容：一般物探仪器的认识；资料解释(电法、地球物理测井、磁法、地震及综合解释)；电法模型实验和物探方法的选择与工作设计等。除了讲课与实验之外，为使同学初步掌握最常用的方法尚安排一周至二周的教学实习。

本书是在几年来本院水文地质及工程地质专业用的普通地球物理勘探讲义基础上修改而成的。1961年作了较大的补充，电测深部分主要参考了电测深基础(傅良魁编)；测井在水文、工程地质中的应用部分主要参考了平顶山水文测井训练班和本院测井

教研室所編的水文測井讲义，放射性勘探部分主要参考了成都地质学院所編的讲义。修編后由本院印刷所印成鉛印讲义，由于編写時間短促，质量很低。1962年对部分內容又做了一些补充。书中参考过的主要文献列在后面，但引用的插图都未注明来源。

本书主要由北京地质学院金属物探教研室賈荅希同志編写，其中部分內容由楊錫敏同志編写并校閱，地震部分由构造物探教研室張学华等同志編写。最后由王恕銘、傅良魁、聞殿輝、王惠濂、熊維綱、程叶勳等同志审閱。由于資料掌握不足，特別是編者水平的限制，更加上在我国还没有一本为水文、工程地质专业用的普通地球物理勘探教科书作为借鉴，因此內容的取舍編排必然存在許多問題，书中可能有不少缺点，希閱讀本书的同志們，能及时給予批評指正，以便再版时进一步修改。另外在編写过程中得到許多同志的帮助，在此謹致謝意。

編 者 1962.11.北京

目 录

前 言

緒 論	1
-----------	---

第一編 电法勘探

第一章 电阻率法的基本原理	12
§1. 岩石和水的电阻率以及岩石电阻率与各种因素的关系	12
§2. 点电源在半无限均匀介质中形成的电场及介质电阻率的确定 和视电阻率的概念	17
§3. 均匀各向同性半空间的电流分布	21
§4. 岩石和水电阻率的测定方法	24
§5. 电阻率法的测量仪器和装备	26
第二章 剖面法	44
§1. 剖面法的基本原理和应用范围	44
§2. 剖面法野外工作方法与技术	50
§3. 剖面法各种图的绘制及对其初步认识	53
§4. 地形对剖面法 ρ_K 曲线的影响	60
第三章 电测深法	64
§1. 垂向电测深的基本原理	64
§2. 电测深法野外工作方法和技术	77
§3. 电测深各种成果图的绘制及其初步认识	86
§4. 电测深结果的定量解释	101
§5. 在找浅地下水时电测深曲线的解释方法	123
第四章 其他种类的电测深法	126
§1. 环形电测深法	126
§2. 三极电测深法	128
§3. 水上和水下电测深法	130
第五章 充电法	133

§1. 充电法的实质	133
§2. 充电法测定滑坡体滑动速度及探测喀斯特区地下暗河的 基本原理	136
§3. 充电法的野外工作方法和技术	138
第六章 自然电场法	143
§1. 岩石和矿石的电化学活动性	143
§2. 自然电场法在解决水文工程地质若干问题上的原理和 应用条件	148
§3. 自然电场法仪器和装备	154
§4. 自然电场法野外工作方法和技术	158
第七章 电法勘探在水文、工程地质工作中的应用实例	164

第二編 地球物理測井

第一章 电法测井	184
§1. 电极系概念	184
§2. 视电阻率测井法(KC)	186
§3. 横向测井法	195
§4. 自然极化电位法测井	197
§5. 其它形式的电测井方法	202
§6. 电测井测量方法和技术	207
第二章 放射性测井法	212
§1. 概述	212
§2. 伽玛测井法(γ 测井)	215
§3. 中子 γ 测井法	218
§4. 放射性测井的其他方法	221
第三章 测井在水文、工程地质中的应用	222
§1. 鉴定钻孔地质剖面 and 划分含水层	222
§2. 了解含水层的富水程度	228
§3. 含水层的透水程度——含水层渗透系数的确定	235
§4. 了解地下水运动规律有关问题——渗透速度的测定及含 水层补给关系补给量的测定	241
§5. 地下水矿化度的测定	255

§6. 測井配合开展无岩心钻探.....	262
第四章 地球物理測井的装备、仪器及井温、井徑測量.....	265
§1. 地球物理測井工作的装备.....	265
§2. 地面測量仪器.....	267
§3. 下井仪器.....	269
§4. 井温測量.....	271
§5. 井徑測量.....	275

第三編 地震勘探、放射性測量 和重力、磁力勘探

第一章 地震勘探的物理及地质基础.....	278
§1. 完全彈性体的概念.....	278
§2. 地震波的形成及傳播.....	279
§3. 运动地震学.....	286
§4. 地震勘探的地质基础.....	293
第二章 地震勘探的仪器、野外工作方法和队的組織.....	297
§1. 仪器.....	297
§2. 野外工作方法.....	300
§3. 地震队的組織.....	305
第三章 地震資料的整理与解釋.....	306
§1. 地震記錄的对比原則与时距曲綫的繪制.....	306
§2. 时距曲綫的解釋.....	308
第四章 地震勘探在工程地质中的某些应用.....	313
§1. 研究基岩表面的深度及岩石的性质.....	314
§2. 断层的研究.....	317
§3. 研究岩石的彈性性质.....	318
第五章 放射性測量.....	321
§1. 野外工作方法和資料整理.....	321
§2. 放射性測量在工程地质中的应用.....	326
第六章 重力勘探.....	331
§1. 重力勘探的理論基础.....	331
§2. 重力异常的图形表示法及异常图的解釋.....	335

第七章 磁力勘探	338
§1. 理論基础及异常測定的原理	339
§2. 磁力勘探結果的解釋	345
主要参考文献	351

緒 論

一、地球物理勘探的国民經济意义及其实质

随着我国社会主义工农业的高速发展，国家对石油、煤、鉄和其他各种有色金属矿及地下水等資源的需要量每年都在增长，对鉄路、水坝、水电站、桥梁、港口和工厂等工程建設的要求也都非常迫切，因此，加速勘探祖国地下資源与各种工程基地就具有重大意义。为了保证我国有计划地进行建設，并以最快的速度发展，用最迅速最有效的方法查明地下資源就显得特別重要。特别是自党提出以农业为基础、以工业为主导的发展国民經济的总方針以后，更需要用有效方法来加强水利建設和地下水源的勘察，如果能合理地使用地球物理勘探方法配合勘探解决地质問題，可以达到多、快、好、省的要求。

地球物理勘探簡称为“物探”，是用物理的方法来勘探地壳上层岩石构造与寻找有用矿床的一門新的科学。物探日益广泛的应用在各种地质勘探工作中，并占着显著地位。物探方法之所以能用来研究各种地质問題是因为各种不同的岩石或矿石往往具有不同的物理性质。例如有的岩石密度大，有的密度小，在密度大些的岩石上重力場强度就强，而在密度小些的岩石上重力場就弱些。同理，岩石磁性的强弱会引起地磁場的变化。由于岩石和矿石有不同的物理性质，根据它們对地面上的物理仪器反映不同即測量結果的差別，就可以判断地下岩石性质的差別，从而解决一定的地质問題，这就是物探方法的实质。

物探方法所利用的岩石物理性质，除了密度和磁性性质之外，还有导电性、彈性和放射性等。因此物探方法主要包括有重力勘探（利用岩石的密度差別），磁力勘探（利用岩石的磁性差別），电法勘探（利用岩石电性差別），地震勘探（利用岩石的彈性差別）以及放射性勘探（利用岩石的放射性差別）等。此外还有在

钻井中利用物理仪器测定岩石各种物理性质差别来了解地质情况的方法称为地球物理测井(简称测井)。

地球物理勘探是地质勘探中的一种方法,是综合地质工作中的一个组成部分。但是物探可以不依靠岩石的露头来研究地下较深处的地质情况,这是它比一般的地质测量工作优越的地方。物探方法是一种效率很高的方法,用物理仪器在一点上观测时,通常不到几分钟。利用物探工作配合可以大大提高地质勘探的效率、降低勘探成本。物探虽然有上述这些优点,同时也存在一些缺陷。它的第一个缺陷就是不同的岩石和矿物的物理性质相同时,它们产生相同的物理现象,因此使得被我们测得某一种物理现象可以用几种假定来说明,这就是所谓结论的不定性,这种不定性多数情况下可由几种不同物探方法的观测结果互相补充验证,求得比较肯定的答案。但也有时由于地质条件复杂,物探方法本身还无法得出唯一的结论。它的第二个缺陷是根据物探计算的有关地质体的深度,产状以及大小等数据,是不十分精确的。这是由于实际地质情况的相当复杂性,地质体的形状是多变的,目前的数学物理水平还不能对任意形状的地质体进行计算,因而由物探计算的结果只能是概略的。由上述情况不难看出用物探工作绝不能完全代替其他地质勘探工作,它的作用是在于减小山地工作和钻探的工作量,使山地工作和钻探工作布置得更合理。

二、几种物探方法的概略介绍

目前应用最广的有下列几种物探方法:

电法勘探,地震勘探,重力勘探,磁力勘探,放射性勘探以及地球物理测井(简称测井)。

(1) 电法勘探:

根据引起电场的原因可分为两大类:一类属于自然电场法,另一类属于人工电场法。前一类是利用地下天然存在的电场,进行找矿和解决某些地质问题;后一类是用人工将电流通入地下的方法研究地下地质情况。在后一类中,又包括直流电场法和交流电场法。在水文地质及工程地质所应用的各种物探方法中,直流

电法勘探列居首位，在我們的課程中它是一个重点，以后要詳細叙述。

(2) 地震勘探:

地震勘探研究的是由人工爆炸在岩石中所产生的彈性波傳播的規律。地震勘探有二种基本方法，即反射波法和折射波法。前一种方法，利用爆炸所产生的震波到达具有不同彈性的分界面后被反射到地面来而激发地面上的接收装置；折射波法是利用另外一种，只发生在下层彈性波傳播速度比上层傳播速度大的分界面上的折射波。在勘探过程中，要确定地震波到达接收装置所需的時間，并根据装置的組合情况，确定地震波傳播的速度。此外，知道了爆炸点与接收点間的距离，就可以計算出反射层面或折射层面的深度及傾角。对剖面上的每一反射层(或折射层)都做出这种計算，这样就可以在相当深的範圍內查明該反射层(或折射层)的位置，从而了解地下构造情况。

地震勘探法，在确定某些地质分界面的深度方面精确性很高，所了解的深度也較大，同时在許多极不相同的地质条件下都可采用，所以在石油勘探工作中应用最广。近年来在工程地质中也开始得到应用，主要用来解决淺层地质构造及測定岩石彈性性质等。

(3) 重力勘探:

重力勘探是研究重力在地面上的分布。大家知道地球表面任何一点的重力都是由引力和离心力的合力組成，引力是由地球质量引起的，而离心力則由地球繞南北极軸自轉而引起，离心力比引力小得多，所以引力是重力的主要成分。

重力在每一点的数值与緯度及高度的关系就决定了重力 g 在地球上的一般分布，或称为正常分布，这种分布可以通过計算得到。众所周知，重力值由赤道到两极可增到1.0052倍。可是有些地方，由于岩石密度的局部增加或减少(与圍岩相比)就破坏了这种正常分布，从而发生局部偏差，此偏差即称为重力异常。这种重力变化与地壳上层的地质构造有关，在有致密岩层接近地面的

地方，重力值就增大，在致密岩层远离地面而密度较小岩层接近地面的地方，重力值就减小。将調查区及邻近地区的全部岩层的密度加以研究，并将重力勘探的结果与工作地区調查的地质資料加以对比，可确定这种重力异常在地质上的意义。

(4) 磁力勘探：

磁力勘探的基础在于对地面磁場强度分布的研究。从地磁学观点来看，地球相当于一个很大的磁鉄，它的二极和地理的两极略有偏差。其强度二极最大赤道最小，这种分布也可称为正常分布。但由于岩石矿物受地磁場磁化作用不同，而带有强弱不同的磁性，从而这些岩石矿物也成了一些强弱不同的磁性体。因此在这些地方磁場的正常分布就受到破坏出現偏差，即出現异常。如有磁鉄矿的地区，产生与正常磁力值相差极大的磁力异常，在这种地区磁場强度要超过正常值好几倍，其他某些岩层也会产生显著的磁力异常。根据对調查区岩层磁性所作的研究，再配合地质調查資料的对比分析，就可以对这些异常作出地质解釋。

(5) 放射性勘探：

放射性勘探是一种利用岩石的放射性来研究地质問題的方法。它不仅可以用来找放射性矿床，有时也能解决一些和放射性矿床无关的地质問題，如用来区分岩性进行地质填图等。

由于原子能的应用日广，对放射性物质的需要也日增，因而放射性勘探方法的应用也日益普遍。在水文地质工作中主要用放射性测井来了解含水层的位置，測定岩层透水性以及在地面用放射性方法測定土的容重等。

以上所提到的五种方法中重力，磁法，放射性勘探属天然場法，而地震和电法的絕大部分均属人工場法。所謂人工場是人为制造的，其强弱是受人所控制的物理場（即存在某种物理現象的空間）。例如地震波的震源就是人为造成的。电法勘探的电場也是由人們将直流或交流电通入地下而引起的；天然場是天然存在的場不受人工控制。

最后还要提一种方法，就是地球物理测井，由于它应用很

广，所以成为地球物理勘探中的一門大的分科。如果把上述五种方法統称为地面地球物理的話，那么在井中工作的物探方法就可以称为地下地球物理(即地球物理測井)。应用它能研究钻井中的地质情况，确定钻井所穿过岩层的地质剖面，还可以了解含水层位置、涌水量及渗透速度等問題。地球物理測井中包括有电測井、放射性測井、机械測井、气測井、磁測井、地震測井和热測井等等。其中以电測井应用最广，此外在钻探工程技术中，对井徑、井斜等的測定也是地球物理測井內容之一。

除以上各方法之外，还有空中地球物理勘探，包括航空磁測、航空电測、航空放射性測量及航空重力測量等方法。最近又发展了海洋地球物理勘探，包括有海洋地震、海洋电法及海洋重力等勘探方法。

在本課程中，电法、測井和地震占去了絕大部分篇幅，而重力、磁法、放射性以及其他物探方法由于在水文地质及工程地质中应用不多，只做极简单的介紹。

三、地球物理勘探的应用及其应用条件

物探在地质勘探中应用非常广泛，可用于地质勘察工作的各个阶段，下面列举一些物探可以解决的实际問題。

1. 調查被新的沉积物或海水湖水等所掩盖，因而不能直接观察到的地质构造。

2. 普查适于儲油及天然气的地质构造和儲水构造。并取得正确地布置勘探和山地工作的地质資料。

3. 測定钻井的地质剖面，确定钻井所穿过的岩层中的含油层，含气层，煤层及含水层等的位置、厚度和性质。

4. 普查及勘探金属及非金属矿床。

5. 解决水文地质和工程地质問題。

下面列出物探在水文、工程地质中的应用：概括說来主要可以解决地下水的分布和运动規律、水质、水量和各类工程地质問題以及測定土石的某些物理技术性质，了解建筑工程各部分的状态等等。

1.地下水的勘测：了解地下水的分布和运动规律、水质、水量和地层的水文地质特性，这方面物探工作成绩是显著的，主要包括：

(1)了解貯水构造，测定含水层的分布、厚度、埋深和古河床埋藏洼地、喀斯特带、永久冻土带的分布，以及不透水层的起伏和埋藏深度等。

(2)圈定疏松或坚硬岩石中地下水的汇集区及测定浮土下泉水出露地点，并提供泉水类型。

(3)圈定高矿化水中淡水透鏡体或淡水中矿化水带的分布范围，并提供相对矿化度的资料。

(4)测定地下水的流向和流速。

(5)查明钻孔中各含水层的层位、岩性、透水性、地下水矿化度和含水层的涌水量及其相互补给关系、补给量以及测定地下水的渗透速度和抽水、注水试验中的降落漏斗形状和影响半径等等。

2.了解地壳的地质构造，解决水利工程、道路工程、建筑工程等工程地质问题，以便合理选定坝址、路基、厂址等工程建筑物的位置。在地质构造方面可以解决的问题很多，主要包括：

(1)地质填图中测定各岩层在水平和垂直方向的分界线，基岩起伏及火成岩侵入体的产状接触线等。

(2)了解复盖层及基岩风化层的厚度。

(3)查明古河床的位置。

(4)确定断层、破碎带、喀斯特带及地下空洞的位置。

(5)了解岩层裂隙的主导方向、裂隙程度及其随深度的变化规律。

(6)在钻孔中测定各岩层界面的倾角、岩石成分及相对完整或不均一情况。

(7)勘探建筑材料。

3.测定土石的物理技术性质，这方面的工作过去做得较少，目前已开始研究并取得了一定的成绩，主要包括有：

(1) 測定土石の密度、湿度和容重。

(2) 測孔隙率 and 滲透率。

(3) 彈性及塑性的測定，例如測岩石的楊氏彈性系数、泊松比及剪切模数等。

(4) 土层穩定性的測定，了解坍方及滑坡。

(5) 測地层的电阻率(高压綫路接地設計用)划分高导电地区。

4. 了解建筑工程各部分状态, 这方面做得更少, 主要包括有:

(1) 了解建筑物及其地基的振动情况。

(2) 了解混凝土开始破坏的地段或不均一情况以及混凝土的粘結程度。

(3) 檢查灌漿效果。

(4) 堤坝或水庫的滲漏情况和范围的确定。

(5) 了解金属輸送管的腐蝕情况。

(6) 在钻探中測定井斜、井向及檢查和处理某些井內事故等。

从上面所列举的問題可以看到，物探在水文地质及工程地质方面的应用是十分广泛的。但需指出，物探必須与地质勘探工作很好配合，决不能以物探代替所有地质勘探工作，它的作用在于加速勘探工作的进行，減輕地质勘探工作量(钻探及山地工作)和提高勘探工作质量，簡言之，就是提高效率降低成本，做到多、快、好、省。在某些情况下，为得到可靠結果，除配合地质工作外，物探本身也需要多种方法綜合应用。

下面从原則上談談物探的应用条件:

這個問題很重要，如不搞清楚很可能在实际工作中造成錯誤和損失。如果无条件的使用物探很可能得不到任何可靠的結果，而得出錯誤結論，給工作带来損失。我們知道物探是基于研究物理場的方法来了解勘探对象的，显然这里所指的物理場完全应理解为仅仅由勘探对象本身所引起的，但实际上物理場并不这样單純，它往往包括了非勘探对象的影响在內，例如地形影响、岩石不均匀的影响等等，因此为了得到仅仅由勘探对象引起的物理場，就必須在測量結果中除去其它影响，但这并不是都可以做到

的。此外为了能用仪器去测量勘探对象所引起的所谓异常就希望这种异常显示得比较明显，至少应大于仪器测量精确度，这样就要求勘探对象的物理性质与围岩的物理性质有一定差别，这种差别愈大愈能使异常表现得明显。由此可见，勘探对象与围岩在物理性质上应具有一定差别，原则上愈大愈好。其次，由于非勘探对象所引起的异常应当能除去，或者相对很小，影响不大。这二点仅是物探方法所共有的应用条件。当然每种方法尚有其单独的应用条件，这留在以后各章节中叙述。

四、物探发展简史

物探发展成为一门独立的科学是最近四、五十年的事。二十世纪初，由于许多资本主义国家迅速发展着重工业需要愈来愈多的矿物原料，在靠近地表，能用一般的地质方法找到的矿体很快的被采掘出来，这时就需要查明那些埋在地下较深处的矿产。但是用一般的地质方法进行这一工作显然是困难的，特别是被浮土所盖或在地表没有矿化现象的隐伏矿体更难于被发现，在这种情况下，就要求有新的方法解决这一问题，能用最少的资金调查矿物原料产地也只有用了新方法时才成为可能。在这种情况下，以前只是纯粹研究性质以了解大地物理性质的方法（重力测量，磁力测量及地震测量等）先后被利用到实际工作中了。根据岩石间物理性质的差异来寻找矿体，这就是地球物理学的实际应用。

物探方法中磁法勘探使用的最早，在18世纪时瑞典人就知道利用矿山罗盘找强磁性铁矿；在同一世纪俄国人，发现了世界著名的库尔斯克磁异常，后来断定是铁矿引起的。其次是在19世纪时（1829年）英国人付克斯在一个黄铁矿型铜矿床上发现有自然电流场，从此电法勘探也就开始用来找矿了。十九世纪末（1896年）匈牙利科学家爱特渥斯发明了扭秤（测定重力变化率用的），二十世纪初这种仪器即开始应用于地质普查，许多国家如苏联、美国利用这种仪器找到许多与盐丘构造有关的油田。在1910~1920年期间各种电法勘探方法及放射性勘探，亦获应用。只是地震勘探法出现的比较晚些，1920~1930年期间，在科学技术比较先进的