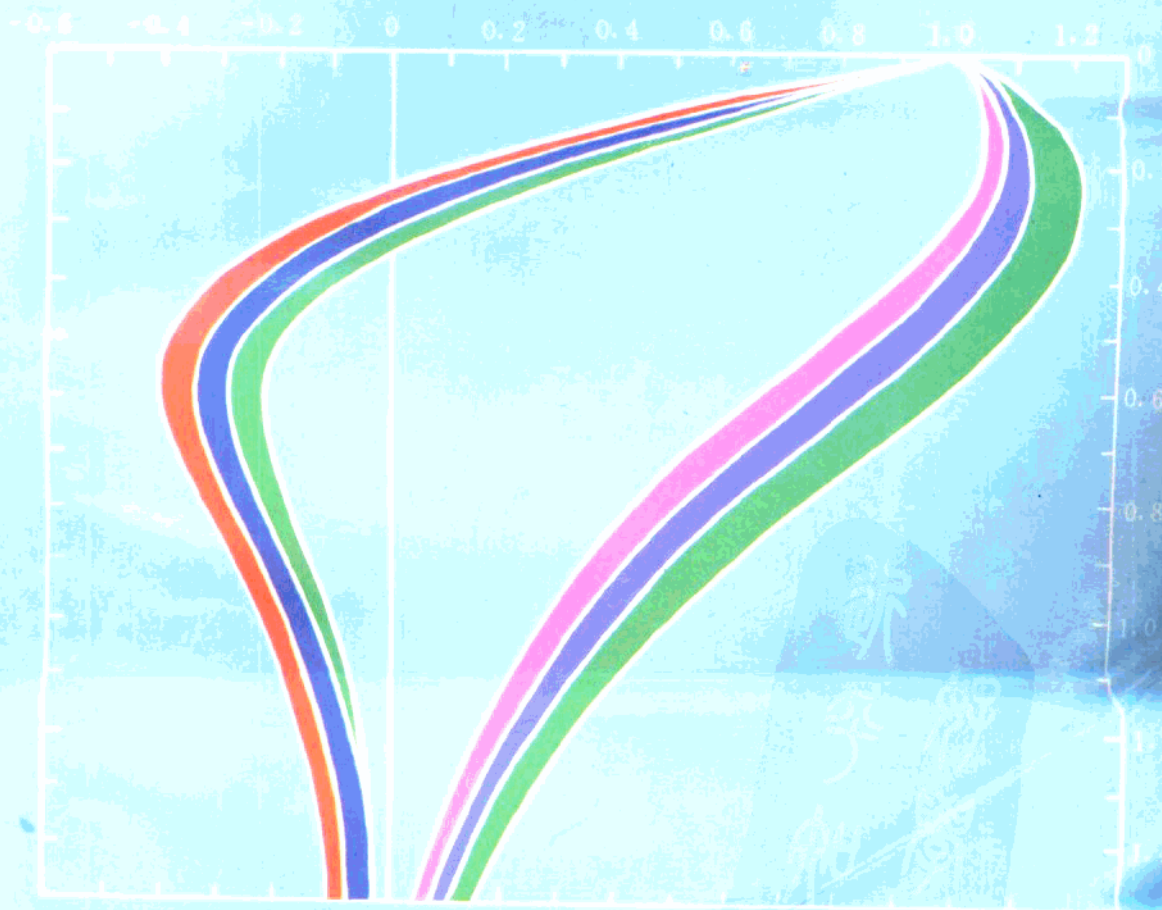


矿井物探应用

储绍良

主编

煤炭工业出版社



PDG

P631
2872

矿井物探应用

储绍良 主编

煤炭工业出版社

(京)新登字042号

图书在版编目(CIP)数据

矿井物探应用/储绍良等编. —北京: 煤炭工业出版社
, 1994

ISBN 7-5020-1113-7

I. 矿… II. 储… III. 矿井-综合物探-应用 IV.
P631

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第14944号

矿井物探应用

储绍良 主编

责任编辑: 罗 雁 民

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

北京怀柔燕文印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787×1092mm^{1/32} 印张 16^{3/4} 插页 3

字数 394 千字 印数 1—1,440

1995年10月第1版 1995年10月第1次印刷

书号 3881 C0316 定价 18.90 元

305-5

序

地下的各种隐伏地质构造，常常给煤矿的生产建设带来很多问题，甚至会造成工程上的失误和重大的灾害。查清隐伏地质构造，在各项采掘工程中加以妥善处理，减少甚至避免由于地质条件不清盲目开采造成的经济损失和人身事故，是地质工作者的责任。

地质工作都是超前的，但限于技术条件，在地质勘探阶段，有些隐伏地质构造还不能查探清楚，必须在建设和生产过程中逐步认识。为此，矿井物探技术应运而生，成为煤矿生产建设中必不可少的一门实用学科。

生产建设的需要，推动着科学技术的发展。随着我国煤矿采掘机械化的发展，矿井向纵深延伸而引起的自然灾害，特别是水害的威胁日益严重。70年代以来，紧紧围绕着机械化和防治水两个领域，大规模地开展了矿井物探的科学试验工作。经过20几年的努力，在科学实验和生产实践两方面均取得了令人瞩目的成绩，矿井物探工作成为煤炭行业技术进步的一朵新花，它的前景是令人钦羡和神往的。

然而，矿井物探毕竟是一门年轻的学科，还远远不能满足煤矿生产建设中需要解决的诸多问题。希望通过本书的介绍，引起更多人的关注，开展更多的科学试验，并在实践中完善、充实、提高、发展，为煤矿的技术进步做出贡献。

陈炳强

前 言

我国煤矿矿井物探工作从70年代初起步,到目前已发展到了一定规模。20余年的经验证明,物探技术用于煤矿生产的超前地质工作不但是必要的,而且是可行的。众所周知,传统的地质工作由于其技术的局限性,难以查出隐伏的地质构造,这不但增加了地质工作的困难,而且往往给生产造成潜在的威胁。矿井物探正是在这种情况下应运而生,并日益明显地发挥了它神奇的作用。它的发展不仅是科技进步的成果,更是生产力发展的迫切需要。近10多年来,矿井物探工作无论在生产实践中还是在科学研究中,都取得了令人瞩目的成果。随着煤矿技术的发展和采掘机械化程度的提高,矿井物探技术必将得到进一步的发展和提高。为了系统地总结我国煤矿矿井物探技术20多年来的发展经验,提高人们对它的认识程度,更广泛地推广应用这一项新的技术,帮助矿井物探人员了解和掌握各种物探方法的应用条件,各种仪器的性能、使用和成果处理等技术,更有效地应用于煤矿的生产实践,我们组织编写了本书。

矿井物探是一门新兴的学科。在生产应用上,多数单位还处在起步阶段,因此本书在编写过程中力求通俗易懂。在介绍一种物探方法时,以生产实践为主,同时简要地介绍了该方法的基本原理和当前国内、外技术发展动态,注重理论联系实际,具有较强的可读性和实用性。全书共分五章,综合叙述了各种物探方法的基本原理以及坑道无线电透视法、矿井直流电法、槽波地震法和其它方法(包括瑞利波、地质雷达、浅层地震、磁偶源电磁频率测深等)的特点、所用仪器、工作方法、资料处理与解释等。此外,还介绍了常用物探仪器的探测实例和效果等。

编写本书的构想起于1989年4月全国统配煤矿矿井物探经验交流会上。原中国统配煤矿总公司生产局马启勋、吴夏季同志在确定编写原则、编写大纲、编写内容及人员分工等方面,都做了具体的组织、指导工作。本书由河北煤研所、煤炭科学研究总院重庆、西安、唐山分院,以及开滦矿务局分头搜集资料、编写初稿,最后由西安分院物探所教授级高级工程师储绍良完成本书的编纂工作。参加本书部分编写工作的有王振华、蒋成站、李志聘、魏庆余、李天元、高克德、王鹤龄、吴燕青、陶冬琴、韩德品、潘秋明、王连成、庞文莎、陈兆平、李桂林、夏宇靖等。在成书的过程中,还得到了煤炭科学研究总院西安分院、中国矿业大学、邯郸矿务局等单位的大力支持,在此表示感谢。

目 录

结 论	1
第一章 矿井物探方法的基本原理	5
第一节 电法勘探	5
一、直流电法	6
二、电磁频率测深法	10
三、无线电波透视法	18
四、地质雷达法	23
第二节 地震勘探	27
一、地面地震勘探(包括浅层地震勘探)	28
二、瑞利波勘探	40
三、槽波地震勘探	45
第二章 坑道无线电波透视法	57
第一节 坑道无线电波透视法及其特点	57
一、现状与应用效果	57
二、特点与应用条件	58
第二节 坑道无线电波透视仪器	59
一、概况	59
二、WKT-F ₁ 型与WKT-Ⅲ型坑道无线电波透视仪	59
三、仪器的操作、维修与注意事项	66
第三节 坑道无线电波透视法的工作方法	74
一、井下工作方法	74
二、井下干扰因素及其排除方法	77
第四节 资料的整理与解释	80
一、资料的整理	80
二、资料解释	85
第五节 探测实例与效果	95
一、陷落柱的探测	95
二、断层的探测	98
三、其它地质构造的探测	98
第三章 矿井直流电法	103
第一节 矿井直流电法及其特点	103
一、现状与应用效果	103
二、特点与发展前景	103
第二节 矿井直流电法仪器	104
一、概况	104
二、DZ-Ⅱ型防爆数字直流电法仪	104
三、DZ-Ⅱ型防爆直流电法仪的操作使用	109

第三节 矿井直流电法的工作方法	111
一、巷道顶、底板电测深法和层测深法	111
二、矿井电剖面法	114
三、矿井高密度电阻率法	115
四、直流电透视法	117
第四节 矿井直流电法的资料处理与解释工作	118
一、矿井电测深法的资料处理与解释	118
二、矿井直流电剖面法的资料处理与解释	128
三、矿井高密度电阻率法的资料处理与解释	130
第五节 探测实例与效果	133
一、煤矿含水构造的探测	133
二、煤层底板潜在突水点的探测	136
三、巷道底板分层定厚、断裂破碎带的探测与某层位含水性的评价	138
四、工作面内的超前探测	140
第四章 槽波地震勘探方法	142
第一节 槽波地震勘探方法及其特点	142
一、现状与应用效果	142
二、特点、应用条件和发展前景	144
第二节 槽波地震仪器——数据采集系统	146
一、概况	146
二、DYSD-I型槽波数字地震仪及其系列	147
三、DYSD-I型槽波数字地震仪的操作使用方法	153
第三节 槽波地震勘探的工作方法	160
一、井下测量方法	160
二、井下实际施工方法	168
第四节 槽波地震资料的数据处理与解释	172
一、地面地震资料的数据处理	172
二、槽波地震资料的数据处理	175
三、槽波地震勘探资料的解释	179
第五节 探测实例与效果	181
一、小断层的探测	182
二、冲刷带的探测	189
三、陷落柱的探测	191
第五章 其它方法	197
第一节 瑞利波勘探	197
一、瑞利波勘探仪器	197
二、瑞利波勘探的工作方法	201
三、瑞利波勘探资料的解释	204
四、探测实例与效果	210
第二节 矿井地质雷达	222
一、矿井地质雷达仪器	223
二、工作方法	225

三、探测实例与效果.....	228
第三节 浅层地震勘探.....	231
一、KDY-1型矿井浅层地震仪.....	232
二、工作方法.....	235
三、探测实例与效果.....	241
第四节 磁偶源电磁频率测深.....	245
一、磁偶源频率测深仪器.....	246
二、工作方法与资料解释.....	249
三、探测实例与效果.....	252
参考文献	259

绪 论

采矿是地下作业,受地质条件的制约。任何一个生产的组织者和管理者都清楚,在复杂地质条件下从事开采活动,“查明地质条件,搞清小构造”,无论是对于预报还是事故发生后的处理,都是必须的。对其认识程度越深,对生产活动越有利,对矿山的整体效益和经济效益就越显著。否则将会给生产带来损失,甚至造成事故。科学组织生产离不开地质工作。然而传统的地质工作手段受技术水平的局限,往往不能得到令人满意的效果,特别是要查清一些隐伏地质构造,就更加困难,为解决生产中复杂的地质问题,合理而经济地安排采掘活动,人们期盼有一种新的手段。由此,矿井物探技术应运而生了。

矿井物探技术起源于本世纪50年代,当时在金属矿山进行试验,并逐步取得成功。70年代初,我国煤炭系统的科研单位率先开发这项新技术,经过20余年的科研与生产实践都取得了明显的成果,并且逐步摸索出一套适合我国煤矿条件的物探方法。矿井物探技术的发展,不仅给人们提供了新的矿井地质工作手段,提高了成果资料的可靠程度,而且推动了煤矿开采技术的进一步发展。

矿井物探技术的发展不仅是煤矿开采技术发展的需要,也是矿井地质工作发展的必然结果。

随着矿井机械化的发展,特别是综合机械化的发展,对地质工作要求越来越高,对1/2煤厚的小断层、小陷落柱、煤层变化等等细微的地质构造与变化都要求搞清,传统的地质方法是无能为力的。到1994年末,全国统配煤矿机械化程度已达71.02%,其中综合机械化程度为44.75%。按照煤炭工业发展的构想,为实现矿井现代化,要进行合理集中生产,发展高产、高效工作面,实现一矿一井一面超百万吨的目标。综采面内的局部细小构造都会影响煤矿的生产,拖生产的后腿。据对西山矿务局的调查,1980~1987年的8年间,综采工作面共强行通过陷落柱28次,减产95.7万t,多耗资金2807万元。另外还有51个综采工作面补道绕过陷落柱,重开切眼搬家60次,造成无效进尺12803m,搬家费用多支出1320万元,减产120万t,再加上打钻探查花费65.4万元,总计经济损失达7393万元。全国的数字可想而知。小构造问题靠锤子、钎盘是解决不了的。打钻网度有限,控制不住小断层及小陷落柱。这就迫切需要新技术、新手段、新方法。

从安全防治水工作需要的角度看,我国煤矿的水文地质条件比较复杂,无论从受水威胁的面积、类型及严重程度都是罕见的。我国960万平方公里的国土上,喀斯特灰岩分布有200万平方公里,含水丰富。我国有60%的煤矿和这种喀斯特灰岩水有关,不同程度地威胁煤矿安全生产。据统计,全国统配煤矿受水威胁储量达108亿吨,占总保有储量的21.1%,随着采深加大,水害的威胁越来越严重,全国统配煤矿矿务局在“六五”、“七五”10年间,就发生突水事故92起,其中造成全部或局部淹井达57起,死亡约90人,直接经济损失14.2亿元以上,减少煤炭产量3000万t以上。从1992年核定的矿井水文地质条件分类结果看,属复杂、极复杂的占29.1%(不包括受洪水和 small 水威胁的矿井),其中华东、河北、河南、湖南省、区复杂矿井占41%,安全问题非常严峻。

在日常生产活动中,随着生产的发展,开采节奏加快。对工程质量的要求也更高。正常的矿井地质工作如判定层位确定采掘方向、方法,探测瓦斯赋存条件,预报煤与瓦斯突出等,都要求更及时、更准确地提供地质资料。

由此可见,作为一种新的、可靠程度更高的探测手段,矿井物探技术的发展是十分必要的,并且一诞生就获得极强的生命力。

矿井物探是从地面地球物理勘探移植到井下的,因此在方法及原理上二者没有根本区别,只是更适合矿井特殊的条件和工作环境。矿井物探方法依其技术原理的不同进行分类(下表)。如地震勘探(简称“地震法”)、直流电法(简称“电法”)、电磁波法(简称“电法”)、以及重磁勘探、放射性同位素测量、地热测量、岩体声波探测等方法。在上述物探方法中,依据各种“波”(如地震波、电波、磁波、重力波等)在不同物性条件载体中传播的方法不同,研究制造出了各种探测仪器。

矿井物探方法分类

类 别	方 法	应 用 范 围
地 震 勘 探	高分辨率矿井地震勘探	底板岩层划分、残留煤厚 小构造探测、超前探等
	拾波地震勘探	
	瑞雷波勘探	
直 流 电 法	顶底板电测深法	底板突水构造探测,电性分层、煤层 小构造和水文地质条件评价、超前探测 等
	矿井电剖面法	
	高密度电阻率法	
	煤层直流电测深法	
	单极、偶极法	
	直流电透视法	
电 磁 波 法	无线电波透视法(坑透法)	煤层小构造探测超前探测等
	地质雷达	
重 磁 勘 探	巷道微重力测量	顶、底板小构造探测固定火成岩、探测火源等
	矿井高精度磁测	
放射性同位素测量	测氡	水文地质条件评价
	能谱测量	
地 热 测 量	红外测温	水文地质条件评价
岩体声波探测		顶板稳定性研究

在我国煤矿比较常用的是地震法、电法和磁法。放射性同位素测量及地热测量方法,在探测水文地质条件,特别是寻找富水带及导水通道方面,取得了初步成果。

矿井物探技术从50年代开始起步,到现在经历了近40年的发展过程。如今,已从单一的方法(无线电坑道透视)发展到多手段、综合立体勘探,精度不断提高,手段日趋完善。

本世纪50年代,前苏联首次进行了坑道无线电透视的试验工作,并在金属矿床上取得

了一定效果。60年代经过大量的生产实验,形成了独立的无线电波透视法。70年代初,我国开始引进、开发这项技术。1974年重庆煤炭研究所(煤炭科学研究总院重庆分院的前身,以下简称重庆分院)等单位研制成功我国第一台无线电波坑道透视仪,应用于煤矿井下探测陷落柱、断层及其它地质构造获得成功。随后,重庆分院、河北煤炭科学研究所相继研制成功WKT-J₁、WKT-J₂、WKT-F、WKT-F₂型以及WKT-Ⅰ、WKT-Ⅲ型防爆坑道无线电透视仪,并投入批量生产。目前,中央直属煤矿约70%~80%的单位已经应用了坑道无线电透视技术。

直流电法用于井下勘探始于60年代。前苏联就在顿巴斯等煤矿进行井下直流电法的试验工作,用来探测巷道之间的小构造获得成功。目前,直流电法(以直流电法为主,配合其它方法)已成为独联体各煤矿井下探测小构造等地质异常的重要手段。我国在1984年开滦范各庄矿突水淹井后,煤矿井下多次应用直流电法探测水文地质条件。邯郸矿务局于1985年前后,采用以直流电法为主、配以放射性同位素测量等方法探测底板隔水层厚度、导升高度以及裂隙发育带等也获得成功。与此同时,中国矿业大学、煤炭科学研究总院西安分院(以下简称西安分院)和唐山分院等相继在淮北、肥城、淄博、新汶、韩城等矿务局、矿探测底板隔水层、富水性、破碎带等取得了较好的效果。1989年,西安分院与邯郸矿务局联合,成功地研制了DZ-I型防爆直流电法仪。1992年,西安分院又在此基础上研制成功DZ-Ⅱ型井下自动数字直流电法仪,为煤矿井下直流电法勘探提供了有力的工具。

槽波地震勘探方法起源于德国。60年代初,德国首先利用槽波地震勘探技术在煤矿井下进行煤层不连续性的探测。70年代末,随着数字地震技术的发展及数字地震仪器及数据处理技术的广泛应用,槽波地震技术取得了突破性的进展。进入80年代以来,该方法已发展成为一种成功率高、实用性强的井下物探技术。与此同时,德国先后研制成功MOH、SEAMEX-80、SEAMEX-85等型号的防爆槽波地震仪,匈牙利研制成功SSS-1型槽波地震仪。80年代初,我国开始了槽波地震技术的研究工作。重庆分院和渭南煤矿专用设备厂联合研制了TYKC-9型槽波地震仪,并开展了方法试验。1986年西安分院引进了德国SEAMEX-85型仪器,先后在焦作、大同、涟邵、开滦、澄合等局、矿进行了大量的试验工作。1990年该院成功地研制了DYS-1型槽波数字地震仪,并开始投放市场。

在80年代初,另一项矿井物探技术——井下地震层析成像探测技术(地震CT)在匈牙利、德国开始了试验工作,并在探测地应力分布、预测煤与瓦斯突出方面取得了良好效果。80年代后期,我国西安分院开始进行该项技术的引进、试验工作,在探测陷落柱、火成岩体和地应力分布,预测煤与瓦斯突出带方面,也取得了可喜的成果。

高分辨地震勘探是在一般地面地震勘探基础上发展起来的新技术,目的旨在提高探测小构造的能力。资料表明,目前已能探到10 m以上的断层和5 m以上的断点,甚至更精确。早在70年代后期,世界各主要产煤国如美、英、德、澳等,就在提高地震勘探分辨率上做了大量工作。80年代初,美国采用地面和孔中物探相结合的方法,进行地下洞穴与构造的探测研究,研制了自动电阻率系统,并进行了直流电法及地震、重力、电磁、雷达等的综合探测试验,取得了一定的进展。我国西安分院与中国煤田地质总局下属物探队开展的高分辨地震勘探工作,已获得较大的成功。同时,在研制自动电阻率系统方面,也取得了进展。另外,中国矿业大学采用高密度电阻率法为主的电法、地震法等综合物探方法在地面进行的陷落柱探测,以及淮南矿业学院研制、生产的KDY-1型浅层地震仪,用以井下

原
书
缺
页

第一章 矿井物探方法的基本原理

当前我国矿井应用的物探方法主要有直流电法（电阻率法）、电磁频率测深法、无线电波透视法、地质雷达法，以及浅层地震勘探、瑞利波勘探、槽波地震勘探方法等。这些方法主要分属于电法勘探与地震勘探两大领域。下面分别叙述各种方法的基本原理。

第一节 电 法 勘 探

电法勘探是勘探地球物理学中的主要学科之一。电法勘探是利用地壳中各种岩石、矿石电学性质间的差异来发现地质目标的。它是基于观测和研究电场或电磁场空间和时间分布规律来勘查地质构造和寻找有用矿产的一类勘探方法。

按电磁场的时间特性，电法勘探可以划分为三类：

(1) 直流电法，主要观测或利用稳态电场进行勘探。直流电阻率法就属于这一分支。

(2) 交流电法或电磁法，主要观测或利用似稳态电磁场和电磁波进行勘探。电磁频率测深法、无线电波透视法和地质雷达法等都属于这一分支。

(3) 过渡过程法或脉冲瞬变场法，主要观测或利用电磁场的瞬态过程。

电磁法可利用的频带很宽，它可以在 $10^{-3} \sim 10^8 \text{ Hz}$ 范围内工作。比如，电磁频率测深法的工作频率范围为 $10^0 \sim 10^4 \text{ Hz}$ ，无线电波透视法的工作频率为 $10^6 \sim 10^8 \text{ Hz}$ ，而地质雷达法的工作频率则达 10^8 Hz 。正是由于这些方法的工作频率和工作方法不同，所以它们的特点和所解决的地质问题也不相同。

在直流电法勘探中，用来表征岩（矿）

石导电性好坏的参数是电阻率。而低频电磁法也主要利用岩、矿石电阻率的差异。因为低频电磁法的理论依据是电磁感应定律，而感应电流的大小取决于介质的电阻率。然而，在交变电场的情况下，岩、矿石的导电性除显示出传导电流外，还显示出所谓“位移电流”。位移电流与岩、矿石的介电常数有关。即：总电流密度 z 为

$$z = z_c + z_d$$

式中 z_c ——传导电流密度；

z_d ——位移电流密度。

图1-1展示出介质导电性与频率的关系。由图可见，在频率 $f \leq 1000 \text{ Hz}$ 及介质电阻率小于 $10^5 \Omega \cdot \text{m}$ 范围内，皆可忽略位移电流作用。在自然条件下，岩石电阻率一般很少超过 $10^8 \Omega \cdot \text{m}$ ；因此，在低频电磁感应方法中可以不考虑位移电流的影响，即岩石导电性不随频

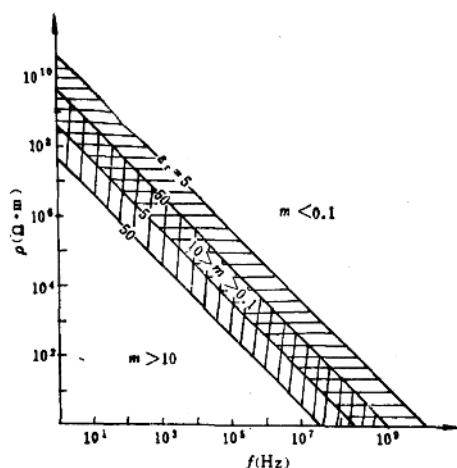


图 1-1 介质导电性与频率的关系

率改变。但是在频率超过 10^4Hz 的高频电磁法（如无线电波透视法、地质雷达法等）中，就必须考虑位移电流的作用。

一、直流电法

直流电法勘探是以岩石、矿石的导电性差异为基础，通过对人工地下电流场的分布规律进行的观测和研究，达到找矿和解决其他地质问题的目的。其基本原理是，当从地面或井下巷道的供电电极通入地下的稳定电流，流经不同的岩层、矿体和地质构造时，在地表或巷道内观测到的电流场将发生变化。我们研究这种电流场的变化规律，便可确定地下不同矿体、不同地质构造的形态和规模。

（一）岩石、矿石的电阻率

在电法勘探中，用来表征岩（矿）石导电性好坏的参数为电阻率（ ρ ）。物体的电阻率越小，其导电性越好。根据实验（图1-2），当对一横截面积为 S 的长方形岩（矿）石标本的 A 、 B 两极进行供电（电流强度为 I ），并在相距为 l 的环形电极 M 、 N 处测出其间电位差为 ΔU 时，则可按下式计算其电阻率。

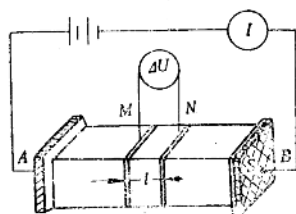


图 1-2 测量岩（矿）石标本电阻率示意图

$$\rho = R \frac{S}{l} = \frac{\Delta U}{I} \frac{S}{l} \quad (\Omega \cdot \text{m}) \quad (1-1)$$

我们知道，物质的电阻率是指电流通过由该物质组成的 1m^3 的立方体时所表现出的电阻值。其单位为欧姆·米，或记作（ $\Omega \cdot \text{m}$ ）。

表1-1列出了常见岩（矿）石的电阻率。表1-1中的数字表明，不同岩（矿）石具有不同的电阻率。但同一种岩（矿）石电阻率的变化范围也很大。这说明决定岩

表 1-1 常见岩（矿）石的电阻率

岩（矿）石名称	电阻率（ $\Omega \cdot \text{m}$ ）	岩（矿）石名称	电阻率（ $\Omega \cdot \text{m}$ ）
粘性土	$10 \sim 10^3$	无烟煤	$10^{-2} \sim 10^4$
砂性土	$10 \sim 10^3$	煤	$10^1 \sim 10^5$
干砂、卵石	$10^3 \sim 10^5$	菱铁矿	$10^1 \sim 10^3$
湿砂	$10^2 \sim 10^3$	黄铜矿	$10^{-1} \sim 10^{-1}$
泥质页岩	$20 \sim 10^3$	磁铁矿	$10^{-4} \sim 10^{-2}$
致密砂岩	$10^2 \sim 10^3$	石墨	$10^{-6} \sim 10^{-4}$
泥灰岩	$50 \sim 8 \times 10^3$	石英、云母、长石	$> 10^6$
石灰岩	$3 \times 10^3 \sim 10^4$	河水	$10 \sim 10^3$
花岗岩	$2 \times 10^3 \sim 10^5$	海水	$5 \times 10^{-3} \sim 1$
玄武岩	$5 \times 10^3 \sim 10^5$	地下水	$10^{-1} \sim 3 \times 10^3$
闪长岩	$5 \times 10^3 \sim 10^5$	冰	$10^4 \sim 10^5$
正长岩	$5 \times 10^3 \sim 10^5$		

（矿）石电阻率的因素很多。诸如岩石的矿物成分、含量和结构，岩石的孔隙度、温度和孔隙水的矿化度以及湿度等都可以影响电阻率的值。在这众多的影响因素中，矿物成分与结构和含水条件两个因素是主要的。

我们知道，多数岩石和矿石是由不同形状的矿物颗粒与胶结物组成的。各种矿物的导电性能不同，必然使岩（矿）石的电阻率产生差异。例如含有大量黄铁矿等导电矿物的矿

石电阻率一般比较低,而含有大量石英、长石、云母等非导电矿物的岩石电阻率一般比较高。矿物颗粒在岩石中的分布状态也将影响岩石的电阻率。例如,导电矿物在岩石中连续分布时,电阻率较低,导电矿物分散地包含在非导电矿物之中时,电阻率则较高。自然界中除金属矿物、石墨和碳化程度特高的煤层外,一般岩石中所含导电矿物均很少,所以多数岩石的电阻率都比较高。一般说来,岩浆岩电阻率最高,沉积岩最低,变质岩介于其间。

在自然条件下,岩(矿)石的孔隙或裂隙中或多或少含有水分,尤其是处于潜水面以下的岩层,孔隙中充满含有各种盐类成分的矿化水。因为地下水及其它天然水的电阻率都比较低,并且含盐分越多,电阻率值越低。因此,岩(矿)石中所含水分的多少将对其电阻率值有较大的影响。一般岩石越致密,孔隙度越小,所含水分越少,电阻率越高;岩石结构越疏松,孔隙度越大,所含水分越高,电阻率越低。

(二)地面直流电法的测量原理

由于自然界岩(矿)石的形态和特性非常复杂,所以研究电场的分布状态通常是从最简单的情况入手。即假设电场中的介质是单一、均匀、各向同性的,地面是无限宽广的平面。在这种空间建立的电流场叫做均匀半无限空间电场。现在讨论均匀半无限空间电场的特点及其与岩层电阻率测量的关系。

1. 单个点电源的电场

所谓点电源电场,就是所置电极距 AB 非常大,在研究 A 电源附近的电场分布时, B 电源(位于“无穷远”处)产生的影响可以忽略不计。因而 A 电源建立的电场就是单个点电源的电场。当点电流源 A 在地表向地下供入电流 I 时,地中电流线的分布便以 A 为中心向周围呈辐射状,如图1-3所示。

为了求距 A 为 r_{AM} 的 M 点之电位,可用均匀无限介质中点源电场的拉普拉斯方程。因是半无限介质,故电流密度 j 应较无限介质大一倍,则有

$$j = \frac{I}{2\pi r_{AM}^2} \quad (1-2)$$

因此, M 点的电位 U_{AM} 及电场强度 E_{AM} 分别为

$$U_{AM} = \frac{\rho I}{2\pi} \frac{1}{r_{AM}} \quad (1-3)$$

$$E_{AM} = \frac{\rho I}{2\pi} \frac{1}{r_{AM}^2} \quad (1-4)$$

同样可以求得另一点 N 的电位

$$U_{AN} = \frac{\rho I}{2\pi} \frac{1}{r_{AN}} \quad (1-5)$$

根据式1-3及式1-5,可以求出地面上任意两点 M 和 N 之间的电位差为

$$\Delta U_{MN} = U_M - U_N = \frac{I\rho}{2\pi r_{AM}} - \frac{I\rho}{2\pi r_{AN}} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{AN}} \right) \quad (1-6)$$

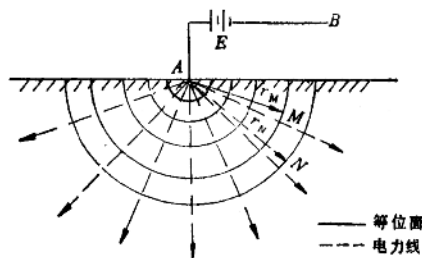


图 1-3 点电源电场

将上式进行变换得

$$\rho = \frac{2\pi}{\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{AN}}} \cdot \frac{\Delta U_{MN}}{I} \quad (1-7)$$

利用1-7式, 通过观测人工电场的电流强度 I 和 M 、 N 点之间的电位差, 再量得电源与 M 、 N 点间的距离, 就可以求得被测地层(均匀介质)的电阻率。

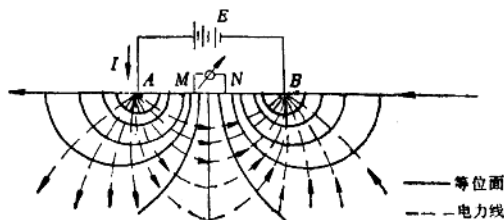


图 1-4 两个异性点电源的电场

在实际工作中采用的 $AMN, B \rightarrow \infty$ 的三极测量装置, 就属于点电源电场。

2. 两个异性点电源的电场

在供电电极 A 和 B 各自建立的电场互有影响而不能忽略的情况下, 地下的电场就应当是 A 和 B 各自引起的电场的叠加, 也就是两个异性点电源的电场(图1-4)。

如果电流由 A 极进入地下而通过 B 电极返回地上, 且规定 A 为正极, B 为负极, 则 A 极建立的电场的场源电流强度为 $+I$, B 极建立的电场的场源电流强度为 $-I$ 。这时可根据场的叠加原理求出电阻率。

这时两个异性点电源的电场中任一点 M 的电位 U_M 等于该点分别在点电源 A 和点电源 B 电场中电位的代数和, 即

$$U_M = U_{AM} + U_{BM} = -\frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} \right) \quad (1-8)$$

同理另一任意点 N 的电位为

$$U_N = U_{AN} + U_{BN} = -\frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{AN}} - \frac{1}{r_{BN}} \right) \quad (1-9)$$

于是 M 、 N 两点间的电位差

$$\Delta U_{MN} = U_M - U_N = -\frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{AN}} - \frac{1}{r_{BM}} + \frac{1}{r_{BN}} \right) \quad (1-10)$$

经变换

$$\rho = \frac{2\pi}{\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{AN}} - \frac{1}{r_{BM}} + \frac{1}{r_{BN}}} \cdot \frac{\Delta U_{MN}}{I} = K \frac{\Delta U_{MN}}{I} \quad (1-11)$$

其中

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{AN}} - \frac{1}{r_{BM}} + \frac{1}{r_{BN}}}$$

称为装置系数, 1-11式即为 $AMNB$ 四极测量装置计算电阻率的公式。

3. 电场中电流分布特点与探测深度的关系

在地表通过电场研究地下物质构造, 它所涉及的深度取决于具有一定密度的电流的分布深度。由式1-2可知, 在点电源电场, 均匀半空间介质中任一点的电流密度大小, 与该点至点电源的距离的平方成反比, 与供电电流成正比, 电流密度随深度的增加而减小。而在异性点电源电场中, 电流密度随深度的衰减比在点电源电场中更快。因此, 要想达到预想的

探测深度，必须要有足够的电流密度。也就是说，供电电极 AB 之间的距离 L 与探测深度 h 的比值要足够大。在最有利的条件下，探测深度 h 都不会超过 $AB/2$ ，通常总是取 L 为探测深度 h 的数倍或数十倍。电阻率法的探测深度与供电电极 AB 之间的距离成正比。也就是说， AB 距离越大，电流的穿透能力越大，就可能探测到较深处的岩石。改变供电电极之间的距离，就可以进行不同深度的探测。

4. 视电阻率的概念

以上讨论的是地下介质导电性均匀时电场与岩层电阻率的关系。但在实际工作中，介质往往不是均匀半空间岩层，而是由许多不同电性岩层组成的复杂的地电断面。例如各种岩层互相重叠，断层裂隙纵横交错，或者有矿体充填其中等等。这时，依然采用上述讨论的均匀空间所得公式来计算电阻率，所测得的电阻率就不是某一岩层的真电阻率，而是电场作用范围内各种岩层、各种地质体综合影响的结果。我们称其为视电阻率，用 ρ_s 表示，即

$$\rho_s = K \frac{\Delta U_{MN}}{I} \quad (1-12)$$

视电阻率与下列主要因素有关：①各岩层、地质体的真电阻率；②地下不同电性体实际分布状况（各电性体的厚度、大小和形状、埋藏的深浅）；③供电电极与测量电极的相互位置以及与非均匀电性层的相对位置。

5. 几种常用的测量方法

在电阻率法探测中，必须根据不同的地质情况采取不同的测量方法，即用不同的电极装置进行测量。我国目前在直流电法勘探中采用较多的是电阻率测深法、电阻率剖面法和中间梯度法（图1-5）。电测深法是利用不同供电电极距来测量某测点视电阻率随深度的变化；电剖面法是用供电电极和测量电极间的距离固定的装置来测量测线内横向视电阻的变化；中间梯度法是采用固定 AB 两个电极供电，并将 AB 距离取得很大，测量电极 MN 在中

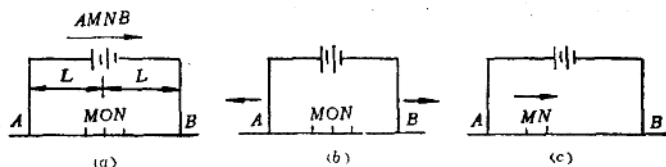


图 1-5 电阻率法的几种装置形式(MN 中点 O 为记录点)

a—对称四极剖面法；b—对称四极电测深法；c—中间梯度法

间区域内移动时的视电阻率的变化。

(三) 矿井直流电法的测量原理

以岩石电性差异为基础的地面直流电法勘探已成功地用于解决各种地质问题，而用直流电法解决矿井地质问题则较晚。由于直流电法在方法上具灵活性和多样性，因此用于探测井下小构造、地下涌水点、岩溶分布、煤层冲刷带和顶板稳定性等方面显示出了经济、有效的特点。

1. 井下全空间电流场的特征

与地面直流电法不同，井下直流电法是以全空间电场分布理论为基础（地面直流电法是以半无限空间电场分布理论为基础的）。在地下巷道中进行电法工作，地下电流通过布置在巷道顶、底板或岩壁的供电电极在巷道周围岩层建立起全空间稳定电场（当不考虑