

高等教育“十二五”规划教材

江苏高校优势学科建设工程资助项目

煤田测井方法和原理

Meitian Cejing Fangfa He Yuanli

董守华 张凤威 王连元 祁雪梅 编

中国矿业大学出版社



国家一级出版社 全国百佳图书出版单位

高等教育“十二五”规划教材

采矿学科	31 种	安全学科	20 种
地质学科	34 种	测绘学科	39 种
矿物加工学科	12 种	化学化工学科	13 种
环境学科	6 种	土木建筑学科	29 种
机械学科	25 种	材料学科	11 种
信息与电气学科	23 种	计算机学科	18 种
管理学科	39 种	数理 人文 体育学科	29 种

责任编辑 潘俊成

封面设计 肖新生

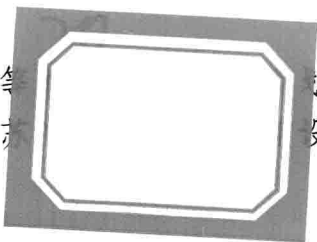
ISBN 978-7-5646-0883-5



9 787564 608835 >

定价: 25.00 元

高等
江苏



规划教材
及工程资助项目

煤田测井方法和原理

董守华 张凤威 王连元 祁雪梅 编

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书以我国测井为背景,全面系统地介绍了地球物理测井方法和原理。全书共分三编:第一编电测井,包括电阻率测井、电化学测井;第二编核测井,包括伽马法测井、中子法测井以及矿井防爆测井;第三编声波测井,包括声测井的物理基础、声速测井以及声幅测井。

该书是高等院校地球物理学(煤田应用地球物理)专业的测井教材,亦可供从事煤田物探和有关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤田测井方法和原理 / 董守华等编. — 徐州:中国矿业大学出版社,2012.2

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0883 - 5

I. ①煤… II. ①董… III. ①煤田—测井
IV. ①P618.110.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 018256 号

书 名 煤田测井方法和原理
编 者 董守华 张凤威 王连元 祁雪梅
责任编辑 潘俊成
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 13 字数 325 千字
版次印次 2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 次印刷
定 价 25.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

本书是按照地球物理学(应用地球物理)专业教学计划和课程教学大纲编写的测井教材。该书主要以我国煤田测井当前使用的方法为基础,并结合国内外煤田测井技术的新发展编写的。在编写上力求系统全面、通俗易懂,并配有相当数量的练习题,因而便于教师教学和学生学习。

全书由中国矿业大学董守华(第二章、第三章、第五章到第七章)、张凤威(第一章)、祁雪梅(第八章)、黑龙江科技学院王连元(第四章)编写。

编写过程中,承蒙中国煤炭地质局物探研究院刘家瑾高级工程师,煤炭科学研究总院西安研究院郭爱煌高级工程师,浙江煤田地质局刘景林高级工程师和韩长林高级工程师,以及河南煤田地质局李文华高级工程师提供的资料和建议。至此,谨向他们致以诚挚的感谢。

由于编者水平所限,时间仓促,疏漏与错误在所难免,恳请读者批评指正。

编 者
2010年10月

绪论.....	1
第一编 电测井	
第一章 电阻率测井.....	5
第一节 矿物和岩石的电阻率.....	5
第二节 普通电阻率测井.....	9
第三节 侧向测井	21
第四节 微电阻率测井	36
思考题	40
第二章 电化学测井	41
第一节 自然电位测井	41
第二节 电极电位测井	48
第三节 电化学测井的应用	50
思考题	53
第二编 核测井	
第三章 伽马法测井	57
第一节 伽马法测井的核物理基础	57
第二节 自然伽马测井	76
第三节 密度测井	96
第四节 选择伽马—伽马测井和岩性密度测井.....	125
思考题.....	132
第四章 中子法测井.....	133
第一节 中子法测井的核物理基础.....	133
第二节 中子—伽马测井.....	144
第三节 中子—热中子测井.....	149
第四节 中子俘获伽马能谱测井.....	154
思考题.....	164

第五章 矿井防爆测井简介	165
第一节 井下测井的原理和方法.....	165
第二节 矿井防爆测井的应用.....	168
思考题.....	169

第三编 声测井

第六章 声测井的物理基础	173
第一节 声波的传播特性.....	173
第二节 声波的产生与接收.....	180
思考题.....	182
第七章 声速测井	183
第一节 单发双收声速测井的基本原理.....	183
第二节 声波时差曲线与声波测井的影响因素.....	184
第三节 声速测井主要技术参数的选择.....	188
第四节 声速测井的应用.....	189
思考题.....	193
第八章 声幅测井	194
第一节 折射声幅测井.....	194
第二节 反射声幅测井.....	195
思考题.....	197
参考文献	198

绪 论

地球物理测井,简称测井,又名矿场地球物理或钻井地球物理。它是应用地球物理方法划分钻孔剖面、评价地层,进而解决某些地质问题的一门技术科学,是地质勘探和工程勘探的重要手段。

按勘探对象的差异,测井分为油田测井、煤田测井、金属与非金属测井、水文与工程测井等。按所利用的物理参数来分,有电测井、核测井、声测井、热测井和磁测井等方法。

地球物理测井起源于煤矿而发展于油田。1929年法国的斯仑贝格尔兄弟最早使用测井技术,当年在罗马尼亚等煤矿初次试验,在划分煤层、解决煤层厚度和层位方面取得了效果。翌年传至南美委内瑞拉,第三年又传入美国和前苏联。不久以后,因石油工业的发展和油田勘探的兴起,使测井“投身”于油田并日臻完善,并成为一门重要的勘探技术学科。20世纪60年代末至70年代初,西方国家石油危机企图求助于煤炭的勘探与开发,以弥补能源的不足,才出现一阵“煤炭资源的勘探热”,使煤田测井开始复苏,并在油田测井已有的先进技术影响和推动下得到新的发展,出现崭新的局面。

我国的测井研究始于1939年,并首先用于油田。翁文波于当年在四川巴县石油沟一号井进行测井试验,次年因甘肃玉门老君庙油田开发,翁文波与赵仁寿一起来到玉门油矿,在一口浅井中进行了电阻率、自然电位和井温测井的试验,取得良好的地质效果,为我国酝酿成立测井队伍打下了基础。1947年,翁文波分别与孟尔盛、刘永年两度到玉门从事测井生产。1948年,留日归国的王曰才在玉门负责研制真空管直流放大器并取得成功,提高了测井仪器的性能,改善了记录曲线的质量。

1954年在王曰才的指导下,开始煤田测井的试验、组织队伍,翌年煤田测井像雨后春笋般地迅速兴起,成立了近百个测井组,并投入了实际工作。20世纪50年代中期,煤田测井仅有电阻率、自然电位、人工电位、电极电位和电流等电学参数的测井曲线,由手摇的半自动测井仪记录,资料解释只限于煤层定性和定厚,以验证钻探成果;50年代末开始使用核测井,增加了自然伽马和伽马—伽马测井,配备了自动照相记录仪,提高了曲线记录的质量和资料解释的可靠程度,使解释工作进入全孔岩性解释和复杂煤层结构的研究阶段;60年代我国煤田以电阻率、自然电位、自然伽马和伽马—伽马四条基本参数为主的测井方法日益成熟,一方面加强单孔解释中对薄煤层和夹矸划分的研究,使煤层分层定厚的精度居世界前列,另一方面开展多孔解释,进行测井曲线的地层对比,扩大了测井资料地质应用的范围;70年代试验了三侧向、声波、选择伽马—伽马、双源距密度、中子测井、地层产状、连续测斜和超声成像等新方法,并研制成功静电显影记录仪和超声成像测井仪,实行了对仪器的刻度,开展了测井资料的定量分析,如求煤层的灰分产率和发热量等;70年代末开始引进国外数字技术,研制了数字测井仪和相应的处理程序,为我国煤田测井数字化迈出了第一步;80年代从美国蒙特公司引进了数台(套)数字测井仪及其生产技术和 LOGSYS 解释系统后,由渭南

煤矿专用设备厂仿造后国产化,生产出适合我国煤田特点和固体矿产勘探的 TYSC 型轻便数字测井仪,并形成方法系列化的补偿密度组合探管、电法测井探管、声波测井探管、岩性密度组合探管和地层倾角测井探管等配套设备。尤其是高分辨率中子俘获伽马能谱测井仪的研制成功,成为世界上掌握该方法和仪器生产的两个国家之一,为我国开展元素测井创造了条件;井下防爆测井的诞生及应用,为煤田测井技术推向煤矿,进行井下生产测井开辟了新领域。至此,我国煤田测井数字技术已完成了第一个飞跃,为今后更深入地发展奠定了良好的基础。

目前,我国煤田测井采用的主要方法是,电测井方面有普通电阻率测井、侧向测井和自然电位测井;核测井方面有自然伽马测井、双源距密度测井、选择伽马—伽马测井和中子测井;声测井主要有声速测井、声幅测井等。但在实际生产中,应根据给定的任务和地质条件,选用相适应的方法组合探管。以陆相为主的煤系地层采用自然伽马、侧向测井、密度测井和井径等方法的补偿密度组合探管;以海相为主或海陆交互的煤系地层采用自然伽马、侧向测井、密度测井、选择伽马—伽马和井径等方法的岩性密度组合探管;冲积层采用普通电阻率、自然电位和激发极化等方法的电法测井探管,甚至还需用中子测井;需要做岩石强度分析,并与地震资料进行对比时,应选用声波测井探管;在测量钻孔内泥浆温度和电阻率时可用井温、井液电阻率测井探管。

测井获得的信息是其探测范围内来自目的层、泥浆、围岩,甚至邻层和其他影响干扰的综合信息,需辨别真假、去伪存真,然后根据测井信息与地质信息的关系进行地质解释。此外,为了克服单一测井方法的局限性和不同岩性在测井响应范围内部分重叠而造成的多解性,以保证解释成果的可靠程度,应坚持多种物性参数综合解释的原则。

第一编 电测井

电测井是以研究岩石电阻率、电化学反应性和介电常数等电学性质为基础的一系列测井方法。它可分为电阻率测井、感应测井、电化学测井、激发极化测井和介电常数测井等，已广泛用于石油、煤田、金属非金属、水文与工程勘查中。本编主要介绍前三种方法。

第一章 电阻率测井

电阻率测井基于在井中测量被钻孔穿过的矿(岩)层的电阻率,并根据电阻率的差异,来划分钻孔地质剖面,研究和解决井下的一些地质问题。电阻率测井可分为普通电阻率测井、侧向测井和微电阻率测井等。

第一节 矿物和岩石的电阻率

一、矿物和岩石的电阻率及其导电方式

(一) 电阻与电阻率

物质的电阻与其组成材料、几何形状有关。由均匀材料组成的正规形状物体(图 1-1)的电阻由下式决定:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-1)$$

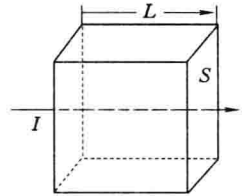


图 1-1 物体的电阻

- 式中 R ——物体的电阻, Ω ;
 ρ ——物体的电阻率, $\Omega \cdot m$;
 L ——物体的长度, m ;
 S ——物体的截面积, m^2 。

电阻率 ρ 是表征物质导电特性的重要参数,它与物体的几何形状无关,仅取决于物质材料的性质(表 1-1)。

表 1-1 常见矿物和岩石的电阻率

矿物	电阻率/ $\Omega \cdot m$	岩石	电阻率/ $\Omega \cdot m$
石墨	$10^{-6} \sim 3 \times 10^{-4}$	黏土	$10^0 \sim 2 \times 10^2$
无烟煤	$10^{-3} \sim 10^0$	泥岩	$10^1 \sim 2 \times 10^2$
黄铁矿	$10^{-4} \sim 10^1$	页岩	$10^1 \sim 2 \times 10^2$
黄铜矿	$10^{-4} \sim 10^0$	泥质板岩	$10^1 \sim 10^3$
褐煤	$10^1 \sim 2 \times 10^2$	砾岩	$2 \times 10^1 \sim 2 \times 10^3$
矿井水	$n \times 10^2$	砂岩	$10^1 \sim 5 \times 10^3$
烟煤	$10^2 \sim 10^4$	白云岩	$5 \times 10^1 \sim 6 \times 10^3$
褐铁矿	$10^3 \sim 10^6$	石灰岩	$5 \times 10^1 \sim 6 \times 10^3$
石膏	$10^4 \sim 10^6$	花岗岩	$6 \times 10^1 \sim 10^6$
长石	$> 10^6$	辉绿岩	$6 \times 10^{12} \sim 10^6$
云母	$> 10^6$	片麻岩	$6 \times 10^{12} \sim 10^6$
方解石	$5 \times 10^8 \sim 5 \times 10^{12}$	橄欖岩	$3 \times 10^3 \sim 5 \times 10^6$
石英	$10^{13} \sim 10^{14}$	玄武岩	$10^1 \sim 10^7$

由表可知,石墨、无烟煤及大多数金属矿物的电阻率都非常低;绝大多数的造岩矿物,如石英、长石、角闪石、云母、方解石及白云岩等电阻率都很高。大多数火成岩电阻率比较高,沉积岩的电阻率低于火成岩和变质岩的电阻率。其中,碎屑沉积岩的电阻率低于碳酸盐岩的电阻率,细粒碎屑岩的电阻率又低于粗粒碎屑岩的电阻率。

(二) 导电方式

物质电阻率的差异是由它们的导电性质不同造成的。物质的导电性质按其传导电流的方式不同,可分为电子导电方式、离子导电方式、晶格离子导电方式和泥质颗粒附加导电方式四种类型。

1. 电子导电方式

凡依赖自由电子传导电流的导电方式称为电子导电方式,属于这类的导电物质称为电子导体。如大多数的金属矿物、石墨与高变质无烟煤等均为电子导体,其电阻率极低,一般小于 $10^{-2} \Omega \cdot m$ 。

2. 离子导电方式

由游离的离子来传导电流的导电方式为离子导电方式。岩石不同程度地存在着孔隙水,且在孔隙水中总含有某种成分的盐类。地层水所含盐类的成分主要有氯化钠,其次是氯化钾、硫酸钾、硫酸镁和碳酸钙等。当盐在水中溶解时,因电离形成如 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 等阳离子和如 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 CO_3^{2-} 等阴离子。在外电场作用下,阳离子和阴离子分别向电场的阴极和阳极作定向运动,在溶液中产生电流,呈现出一定的电阻。盐溶液的电阻率(表 1-2)与溶液所含盐类成分的电离度、离子的离子价、离子迁移率以及溶液的盐浓度和溶液的温度有关。在一定的限度内,盐浓度高,电离度大,产生的离子数目多;离子价高使离子在运移中携带的电荷量大;离子迁移率大使离子运动速度快;而溶液的温度高可增加盐类的溶解度、电离度,产生更多的离子。

表 1-2 几种常见盐溶液的电阻率

盐溶液	NaCl	KCl	Na_2SO_4	$MgSO_4$	$CaCO_3$
电阻率/ $\Omega \cdot m$	0.55	0.7	0.95	1.4	0.47

注:18℃及浓度为 10^{-4} mg/L 的电阻率。

当溶液的盐成分和温度一定、盐浓度适宜时,盐溶液的电阻率随其盐浓度的增大而减小。但盐浓度过高之后,因溶液离子密度太大,离子间相互作用加剧,一方面离子复合占主要,降低了电离度;另一方面离子间距小增加碰撞次数,降低了迁移率,破坏了盐溶液电阻率与盐浓度之间的反比关系。

离子导体也是较好的导电物体,其电阻率相当低,但它的影响因素较多,应加以注意。

3. 晶格离子导电方式

这种导电并不依靠游离的离子,而是借物质分子晶格中结合紧密的离子进行电流传导的一种方式。

许多物质原子的分布在三度空间以一定规律周期性地重复排列,形成固定的格子构造,这种格子构造称为晶格。晶格中的阳离子和阴离子的结合能较大,在通常的外电场作用下,不足以使离子克服结合能脱离晶格,而参与传导电流,因此这种导电的能力都很低,呈现很

高的电阻率。如绝大多数的造岩矿物、岩盐、石膏和石油等,均为晶格离子导体,其电阻率均超过 $10^6 \Omega \cdot m$,常视为绝缘体。

4. 泥质颗粒附加导电方式

该导电方式是在研究泥质岩石导电机理中发现的。在纯岩石中,孔隙中自由流动的地层水是自由水。所以将纯岩石视为岩石骨架和孔隙中的自由水两部分组成的单水模型,这类岩石是以孔隙中自由水为导电媒介物进行传导电流的。但泥质岩石中,地层水在孔道内并非均能自由流动,一部分是附着在泥质颗粒表面的束缚水,称为近水;另一部分是毗邻束缚水但与颗粒表面有一定距离的自由水,称为远水,由此构成双水模型。泥质岩石的导电性,由孔隙中的近水和远水两部分来决定。远水是自由水,为离子导体;近水是束缚水,无自由离子存在,它呈现的导电性为泥质颗粒附加导电的特性,因该导电特性发生在泥质颗粒表面,又称泥质颗粒的表面导电性。

二、岩石电阻率的影响因素

不同类型岩石的电阻率有一定的差异,即同一种岩石的电阻率有相当大的变化范围,这是岩石电阻率受到多种因素影响所致。其主要影响因素如下:

1. 岩石矿物成分的影响

岩石电阻率与岩石中矿物的成分、含量及其分布特征有关。岩石的主要成分是造岩矿物或泥质矿物,由于造岩矿物或干泥质矿物的电阻率都很高,因此岩石的电阻率除取决于岩石孔隙中的地层水之外,主要取决于岩石成分中良导体性矿物的含量及其分布,其中良导体性矿物的分布情况将起着决定性的作用。当良导体性矿物为零星分布时,因颗粒间彼此隔离,电的连通性差,良导体性矿物的影响并不明显;当良导体性矿物含量高于 30% 时,岩石电阻率随良导体性矿物的增加而逐渐降低;当良导体性矿物呈网状或条带状分布时,因颗粒彼此接触,电的连通性好,即使含量小于 30%,岩石电阻率也将随良导体性矿物的轻微增加而急剧减小。

2. 岩石含水性的影响

岩石的含水性是指岩石的含水量、所含水的矿化度以及岩石结构等因素。

饱含地层水的岩石导电性主要取决于岩石的孔隙率、地层水电阻率和孔隙结构。孔隙率越高、地层水电阻率越低,岩石的电阻率越小。理论与实践证明,岩石电阻率与孔隙率、地层水电阻率以及孔隙结构之间的关系为:

$$\rho_r = F\rho_w \quad (1-2)$$

$$F = \frac{a}{n^m}$$

式中 ρ_r ——饱含地层水岩石的电阻率, $\Omega \cdot m$;

ρ_w ——地层水电阻率, $\Omega \cdot m$;

F ——岩石的地层因数;

a ——岩性系数;

n ——孔隙率;

m ——胶结指数。

岩石类型和岩石结构是决定岩石特性的主要因素。系数 a 取决于岩石类型(表 1-3),称为岩性系数; m 与岩石结构、胶结程度有关,称为胶结指数。由式(1-2)可知,地层因数

$F = \rho_r / \rho_w$ 的值与岩石的电阻率 ρ_r 、地层水电阻率 ρ_w 无关,仅决定于岩石的孔隙率 n 、岩性参数 a 和岩石结构参数 m 。式(1-2)是测井资料解释常用的基本公式之一,其中 a 与 m 是一对重要的基本参数,应根据工作地区的地质条件、地质年代,按不同的岩石类型和岩石结构,分别进行大量的实验和数理统计,采用图解法或最小二乘法来确定。

表 1-3 不同类型、不同结构岩石的 a 、 m 值

岩石类型	岩石结构	a	m	岩石类型	岩石结构	a	m
砂岩	疏松	1	1.3	碳酸盐岩	贝壳状疏松	0.55	1.85
	弱胶质	0.7	1.9		中等致密粗晶质	0.6	2.15
	中等胶质	0.5	2.2		致密细晶质	0.8	2.3

3. 沉积构造的影响

层理是沉积岩所具有的重要构造特征之一,它表示岩石性质沿垂向变化而显示的层状构造。因而使岩石的电阻率具有明显的方向性,即沿着层理(横向)和垂直层理(纵向)的导电性不同,这种随方向不同而导电性不同的现象称为岩石各向异性,常用 λ 表示:

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_n}{\rho_r}} \quad (1-3)$$

式中 ρ_n ——岩层的纵向电阻率, $\Omega \cdot m$;

ρ_r ——岩层的横向电阻率, $\Omega \cdot m$ 。

因 $\rho_n > \rho_r$, 故 $\lambda > 1$ 。 λ 值越大,岩层的各向异性越显著。通常石墨层及炭质页岩和无烟煤的各向异性系数最大,烟煤、黏土质页岩次之,块状构造的岩层最小,其各向异性系数接近或等于 1(表 1-4)。

表 1-4 几种常见沉积岩与煤层的各向异性系数

名称	各向异性系数 λ
含砂岩夹层的黏土层	1.05~1.15
成层的砂岩	1.10~1.50
泥质板岩	1.10~1.59
黏土质页岩	1.41~2.55
烟煤层	1.73~2.55
无烟煤层	2.00~2.55
石墨层及炭质页岩	2.00~2.75

三、煤的电阻率及其影响因素

煤是一种可燃有机岩,它由有机质和无机质两大部分组成,其宏观煤岩成分有镜煤、亮煤、暗煤和丝炭四种基本单位。随变质程度加深,煤可分成褐煤、烟煤以及无烟煤等不同种类的煤。

从煤的元素分析、工业分析来说,煤的化学成分大致如下:

有机质主要由碳、氢、氧、氮、硫等五种元素组成。其中,碳是有机质的主体,碳、氢、氧占

有机质的 95% 以上,其他微量元素可忽略不计。有机质的元素组成及其含量,与煤的成因类型、煤岩成分及变质程度有关。

无机质包括矿物杂质和水分。矿物杂质中,一般常见的有黏土类矿物(高岭石)、硫化物类矿物(黄铁矿)、碳酸盐类矿物(方解石)和氧化硅类矿物(石英)等。煤的矿物杂质成分与含量取决于成煤物质和聚煤环境。煤的水分有外在水、内在水和结晶水,其中外在水是指成煤之后由外界浸入煤层次生裂隙中的自由水,在自重或外加压力下能流动,当温度在 45~50 °C 时便可蒸发,它与水文地质条件密切相关;内在水是指在植物遗体堆积时和成煤过程中,伴随沉积、吸附或凝聚在煤粒之间毛细孔内的束缚水,它不能自由流动,常温下难以蒸发,唯有当温度高达 100~110 °C 时方能逸出,内在水分与煤的种类有关,煤变质程度愈高,内在水分愈低;结晶水是以分子或离子形式参与矿物晶格构造的水分,煤中结晶水的多少与有结晶水的矿物含量有关,结晶水需要更高的温度才能失水,如石膏在 163 °C 时方失去结晶水。因含量甚微,故结晶水的存在可忽略。

煤的电阻率与其煤岩成分、变质程度、矿物杂质的成分与含量以及水分等因素有关。褐煤因变质浅,压实差,孔隙率大,水分高并含有腐植酸,故其电阻率较低,一般仅为 $n \times 10^1 \sim n \times 10^2 \Omega \cdot m$ 。在褐煤阶段,随变质加深,因孔隙率减小,水分及腐植酸含量的显著下降,使其电阻率较快地增高。当褐煤变质近于烟煤时,电阻率可达 $n \times 10^3 \Omega \cdot m$ 。

到烟煤阶段,随变质继续加深,水分下降先是较快后渐渐变慢;当到瘦煤之后,水分略有增加。其原因认为:烟煤中较脆弱的孔隙不断破裂和失水,使水分逐渐减少;进入瘦煤阶段之后,因剩余的孔隙难以破裂,失水甚微,而有机质分子的聚合使煤的体积压缩,水分才略显增加趋势。与此同时,由于另一些孔隙的局部破裂而相连,加强了孔隙间的连通性,使烟煤电阻率随变质加深而缓减,由长焰煤的 $4 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3 \Omega \cdot m$ 降为贫煤的 $n \times 10^2 \Omega \cdot m$ 。

当变质进一步加深为无烟煤,尤其高变质无烟煤之后,一方面水分仍为略增的特点,另一方面,因有机质分子高度聚合,分子越趋近于石墨般的规则排列,使煤从烟煤向无烟煤转化过程中,趋于导电性能良好的电子导体电阻率急剧下降。高变质无烟煤时,其电阻率低达 $10^{-1} \sim 10^{-3} \Omega \cdot m$ 。

总的来说,煤层电阻率以烟煤最高、褐煤其次、无烟煤最低;烟煤的电阻率常高于围岩,而无烟煤的电阻率常低于围岩。

第二节 普通电阻率测井

普通电阻率测井又称视电阻率测井,它是使用最早、应用较广的电阻率测井方法。

一、基本概念

(一) 测量原理

根据电场理论,岩石电阻率只有当给岩石供以一定的电流时才能测定,所以在进行电阻率测井时,必须要有电源、供电线路和测量线路(图 1-2)。图中,电源和供电电极 A、B 组成的回路为供电线路,它通过 A 电极供给电流 I ,通过 B 电极返回电源,由此在钻孔内建立电场。由检流计(记录仪)和测量电极 M、N 组成的回路为测量线路,测量电极 M 与 N 之间的电位差为 ΔU_{MN} 。

置于井中的电极,称为下井电极;留在地面的电极,称为地面电极。由下井电极组成的

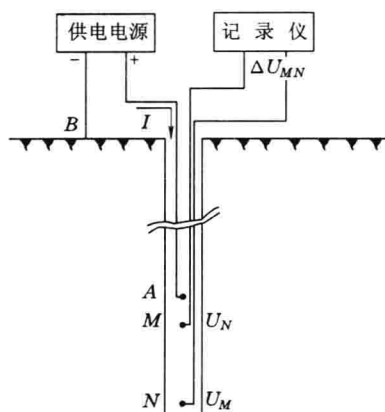


图 1-2 普通电阻率测井的测量原理图

一个可移动但相对位置不变的体系,常称为电极系。测井是在电极系从井底以一定的速度向井口移动时进行的。在电极系提升过程中,由记录仪测量并绘制 M 、 N 之间沿井深变化的电位差曲线,再根据电场与电阻率的关系,可换算成沿井深变化的岩石电阻率曲线。由此可知,电阻率测井的实质是研究钻井剖面各种不同岩层中电场分布特征。

当不考虑钻孔影响,设电极系周围的介质是电阻率为 ρ 的均匀无限各向同性的岩石。考虑到电极的尺寸远小于电极之间的距离,以及地面电极至电极系的距离远超过电极系长度,则电极可视为点电极,且地面电极的影响忽略不计。这样普通电阻率测井的理论就简化为计算点电源在均匀无限各向同性介质中的电场分布问题(图 1-3),则该电场中测量电极 M 、 N 之间的电位差为:

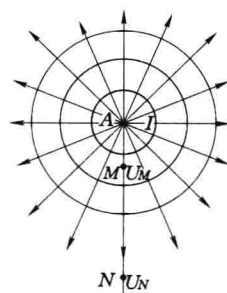


图 1-3 点电源电场

$$\Delta U_{MN} = \frac{\overline{MN}}{4\pi \overline{AM} \times \overline{AN}} I \rho \quad (1-4)$$

并由此得到岩石电阻率为:

$$\rho = K \frac{\Delta U_{MN}}{I} \quad (1-5)$$

$$K = \frac{4\pi \overline{AM} \times \overline{AN}}{\overline{MN}}$$

式中 K ——电极系数;

I ——供电电流(恒流供电),mA;

ΔU_{MN} ——测量电极 M 、 N 之间的电位差,mV。

(二) 电极系

在电极系中,把连接在同一回路(如供电线路或测量线路)中的电极叫做成对电极,如 A 与 B 或 M 与 N ;把电极系中与地面电极构成同一回路的单独电极叫做不成对电极。将电极系中两个成对电极之间的距离称为成对电极的距离;把不成对电极至邻近的成对电极之间的距离称为不成对电极的距离。电极系的书写形式为电极在井中的排序,自上而下写出各电极的符号,在符号间注明以米为单位的两电极间隔距离的符号串,例如 $A0.5M2N$ 。