

物探工人自学参考读物

金属矿钻孔 地球物理勘探

蔡柏林等 编

地质出版社

物探工人自学参考读物

金属矿钻孔地球物理勘探

蔡柏林等 编

物探工人自学参考读物
金属矿钻孔地球物理勘探

蔡柏林等 编

*

地质部书刊编辑室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

地质印刷厂印刷

(北京安德路47号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：787×1092¹/₃₂·印张：12¹/₄·字数：271,000

1981年6月北京第一版·1981年6月北京第一次印刷

印数1—5,580册·定价1.90元

统一书号：15038·新599

前 言

地质部书刊编辑室组织编写出版一套物探工人自学参考读物，其中包括基础知识和专业技术读物，金属矿钻孔地球物理勘探就是其中之一。

本书共分六章，着重叙述国内金属矿常用的钻孔地球物理勘探方法的基本原理、仪器、工作方法技术及一般解释方法和应用实例，对具有发展远景的一些方法也作了概要介绍。为物探工人掌握这方面的科学知识、提高业务水平更好地普查找矿创造条件。读者对象是具有初中以上文化程度，并有一定实践经验的物探工人。也可供七·二一工人大学和物探技术人员参考。

本书由武汉地质学院物探系地下物探教研室蔡柏林主编，王惠濂、黄南晖、黄智辉、古端龙参加，河北省物探队刘振铎、舒铁珍、周学思编写第三章，湖北省地质三队方松耕参加编写第四章。全书经方松耕审稿、修改，校订。在编写过程中并得到内蒙物探队九分队的支持和帮助，在此一并感谢。

由于编者水平有限，书中存在缺点甚至错误之处请读者批评指正。

目 录

绪言	1
第一章 电测井	5
第一节 有关直流电场的基本知识	5
一、欧姆定律和电阻率	5
二、直流电场的三个基本物理量	8
三、均匀介质中点电源的电流场	13
四、非均匀介质中点电源的电流场	17
第二节 视电阻率测井	23
一、均匀介质电阻率的测定 视电阻率	23
二、电极系	26
三、 ρ_a 电极系的探测半径	31
四、视电阻率测井理论曲线	36
五、视电阻率曲线的影响因素	42
六、实测视电阻率测井曲线的解释	46
第三节 电流测井	52
一、单极电流法	53
二、滑动接触法	57
第四节 自然电位测井和电极电位测井	60
一、自然电位测井	60
二、电极电位测井	67
第五节 电测井的主要仪器及工作技术	71
一、JBC 型轻便自动测井仪	73
二、JDC 型电子自动测井仪	77
三、数字测井仪	80

四、电测井的工作技术	82
第二章 井中激发极化法	87
第一节 激发极化电场的基本知识	87
一、电子导体和离子导体的激发极化机理	88
二、什么是一次场、极化场和二次场	91
三、井中激发极化法的工作方式	93
第二节 激发极化测井	94
一、激电测井的工作方法技术	94
二、激电测井曲线的解释和应用	97
第三节 地—井工作方式	106
一、地—井方式的工作方法技术	106
二、地—井方式的背景场和使用参数	109
三、地—井方式的异常场	116
四、地—井方式成果的解释和应用	128
第四节 井—地工作方式	132
一、井—地方式的工作方法技术	133
二、井—地方式的背景场	137
三、井—地方式的异常场特征及其解释	141
第五节 井—井工作方式	148
一、井—井方式的工作方法技术	148
二、井—井方式的背景场	150
三、井—井方式的解释和应用	152
第六节 应用实例	156
一、物化探异常研究验证阶段	156
二、圈定控制矿化带及矿体阶段	161
第三章 井中三分量磁测	165
第一节 方法的基础知识	165
一、有关磁的一些基本知识	165
二、地球磁场	168

三、岩、矿石的磁性	170
第二节 井中测磁原理	172
一、测量系统的定向问题	173
二、测磁原理	175
第三节 JSZ 型井中三分量磁力仪	179
一、仪器的方框原理	180
二、JSZ-II 型仪器操作步骤	182
三、仪器性能的测定	186
第四节 井中三分量磁测的工作方法	188
一、工区选择的基本条件	188
二、正常场的确定	190
三、井场测量	190
四、资料整理及成果图示	191
第五节 井中三分量磁测成果的推断解释	197
一、磁性体的磁场	198
二、钻孔穿过有限厚度磁性层的磁异常	203
三、几种规则形状磁性体磁场的正演公式	205
四、查明磁异常的地质起因	211
五、判断磁性体形状的方法	212
六、研究磁性体产状的方法	216
七、确定钻孔与矿体的相对位置	219
八、定量计算方法	221
第六节 井中三分量磁测的应用	231
一、验证地面磁异常, 判断异常性质	231
二、预报井底盲矿, 指导钻进	235
三、确定井旁盲矿体的位置, 指导布钻	235
四、确定矿体的延伸	238
五、确定矿体的厚度	239
六、在勘探阶段确定主矿体的范围	240

七、确定矿体的产状	240
八、确定钻孔的方位	242
第四章 磁化率测井	244
第一节 岩矿石的磁化率	244
一、磁化率和视磁化率	244
二、磁感应强度和磁导系数	245
三、磁铁矿石的磁化率与磁铁矿物含量的关系	247
四、矿石结构与磁化率的关系	251
五、磁化率测井的主要用途	252
第二节 磁化率测井的方法原理	253
一、测量原理	253
二、灵敏元件的阻抗与介质电磁性质的关系	256
三、钻孔对测量的影响	259
四、单一矿层的磁化率曲线	265
五、标准装置的制作	267
第三节 JCL-1 型磁化率测井仪	268
一、仪器的主要特性	268
二、仪器线路	278
第四节 磁化率测井推算矿石铁品位的研究	287
一、磁铁石英岩矿床	287
二、钒钛磁铁矿矿床	297
第五章 井中电磁波法	304
第一节 基本知识	304
一、电磁能量的传播—电磁波的发射过程	304
二、电磁波的结构	306
三、波在介质中的传播	309
第二节 方法原理	316
一、正常场	318
二、异常场	320

三、物理说明	326
第三节 井场工作方法	330
一、仪器原理	330
二、工作技术	334
三、解释方法	338
第四节 实例	340
第六章 其它井中物探方法和放射性测井	347
第一节 井中低频电磁法	348
一、二次场的频率特性	349
二、曲线的解释	351
三、仪器和技术条件	354
四、方法应用的地质条件和所能解决的地质任务	356
第二节 井中重力	358
一、井中重力仪的技术特性	359
二、井中重力的基本原理	360
第三节 放射性测井	363
一、基本知识	364
二、放射性测井的仪器	367
三、自然伽玛测井	370
四、自然伽玛能谱测井	373
五、伽玛—伽玛测井(密度测井)	375
六、中子—伽玛测井	378
七、中子活化测井	381
八、X射线荧光测井	382

绪 言

金属矿钻孔地球物理勘探属地下物探方法，按其所研究的空间范围，分以下两类：

一、井中地球物理方法

简称井中物探，用它研究井周空间。原则上，所有的地面物探方法都可应用于井中，但近廿多年来，国内外实际应用于金属矿钻孔中，并已取得显著地质效果的只是磁法和电法。其中如井中三分量磁测，井中电阻率法，自然电位法，激发极化法，低频电磁法，以及井中电磁波法等。井中重力测量，用来寻找井周致密金属矿（如富铜、磁铁矿、铬矿等）看来是很有前景的，但由于已制成的井中重力仪外径过大（13—15厘米），所以在金属矿钻孔中尚未实际应用。至于井中地震波方法，尚需进行大量的试验研究，才能确定适合于金属矿普查勘探的方法技术和仪器设备。

井中物探的提出和发展，是金属矿普查勘探向深度和广度进军的产物。由于地表浅部矿产日益减少，老矿山要求进一步挖潜扩大矿源，因而寻找深部隐伏矿体的任务提到了日程。此外，在覆盖地区主要依靠地面物化探方法普查找矿，而地面方法的勘探深度由于种种原因，受到一定的限制。井中物探方法的突出优点是可以把场源或测量装置放入地下深部，使其接近矿体，再则它研究的是地下全空间的物理场分布特征，可以从不同的高度和方位对被探测对象进行观测，从而增大了有用信息的份量，减小了地表种种干扰因素，所

以它发现深部矿的能力往往比地面物探方法要大。在金属矿区，合理地应用井中物探方法，可在验证地面物化探异常普查评价矿区远景阶段和勘探阶段发挥良好的作用，如发现井周、井底、深部盲矿，确定矿体相对于钻孔的位置、形状、大小、产状，追索和圈定矿体或矿化带范围以及研究钻孔间矿体连续性等，用来指导钻进、合理地布置钻孔网和加快普查勘探速度。因此，它是一种有效而又经济的普查勘探手段。

二、地球物理测井

简称测井，由于它的探测范围远较井中物探方法要小，所以主要用来研究井壁地质问题。应用于金属矿的综合测井方法有电测井（如视电阻率、滑动接触、自然电位，电极电位、激发极化测井等），磁化率测井，感应测井，电磁波测井，核技术测井（如自然伽玛测井，伽玛—伽玛测井，中子伽玛测井等）等，这些方法的合理综合应用，可能解决如下地质任务：

1. 划分和校验钻孔地质剖面，查明矿层，确定其深度和厚度。提供地面或井中物探解释所需的物性参数。

2. 研究和确定矿石成份、品位（含量），即以物理分析方法替代取芯劈样的化学分析方法，以实现局部不取芯或无岩芯钻进，提高钻探效率。

但就目前金属矿所使用的综合测井方法技术来说，还不能完满地解决确定矿石成分和品位问题，加之金属矿钻探取芯率较高，单纯解决划分钻孔地质剖面问题就不十分迫切，这就要求进一步改善综合测井方法技术，研究新方法新技术，以期完满地解决上述地质任务，最终实现无岩芯钻探。为此，近年来国内外都重视研究用磁化率测井确定磁铁矿含量，用

中子活化测井，或X射线荧光测井研究确定铜和多金属矿成份和含量等方法技术，在国外为在无岩芯钻探中直接验证地球物理测井成果，还发展了一套井中直接观测的电子或机械的仪器，如钻孔电视、井内照相、井壁切割器等。

其实研究井壁和井周空间是不可分割的，两者相互补充，又各有其不同的地质任务。

新中国成立以来，我国金属矿钻孔地球物理勘探，从无到有不断获得发展。目前，井中三分量磁测，井中电磁波法，井中激发极化法，已用于生产。重庆地质仪器厂成批生产了JSZ-I、II型及小口径井中三分量磁力仪。地质部第一综合物探队一〇一队对井中三分量磁测方法理论和实际应用进行了大量的研究，促使该方法广泛应用于磁铁矿普查勘探，并取得了良好的地质效果，成为必不可少的有效勘探手段。地科院物探所研制和不断改进了JWT型井中电磁波法仪器，并与武汉地院、长春地院，一五〇工程等单位协作对井中电磁波法的理论、物理模拟和计算技术方法进行了研究，在铁矿、多金属矿、铬矿以及解决水文工程地质问题上的应用都取得了可喜的成果，为方法进一步推广应用奠定了基础。内蒙物探队和武汉地院协作较系统地研究了井中激发极化法，并于一九七六年推广，该方法在多金属矿及高极化弱磁性铁矿上的应用取得了一定的地质效果。除此，有关单位还正在积极研究井中低频电磁法。井中物探方法的应用正越来越受到重视，航空、地面、井中物探工作的立体纵向综合正在逐步实现。

金属矿区综合地球物理测井的试验应用，始于五十年代。近十年来为解决确定矿石成份和品位问题，一些单位也作了很多研究工作，如四川地质局一〇六地质队在钒钛磁铁

矿区对应用磁化率测井确定磁铁矿含量进行了大量的有价值的试验研究和理论探讨，重庆地质仪器厂试制成了JCL-1型小口径磁化率测井仪为方法推广创造了条件。山东物探队试验研究了中子活化测井，确定铜含量。成都地院正积极研制X射线荧光测井仪等。但总的说来，国内金属矿综合测井方法的研究仍有待于加强。

除方法技术的研究外，我国还成批地生产了钻孔地球物理勘探用的地面记录仪，如重庆和上海地质仪器厂生产的JBC型照相自动记录仪和JDC型电子自动记录仪等。

当前的任务是要逐步地发展和完善一套适合于我国实际情况的金属矿钻孔地球物理勘探方法。并进一步使仪器设备轻便机动和配套。同时应积极研制数字测井仪，发展金属矿钻孔地球物理勘探的数字技术。为实现我国四个现代化，寻找更多的矿产资源作出贡献。

第一章 电 测 井

第一节 有关直流电场的基本知识

一、欧姆定律和电阻率

电，在日常生活中我们对它已经比较熟悉了。电流能够沿着导体（如铜线）流动。电流的方向总是从高电位端（例如电池的正极）流向低电位端（例如电池的负极）。电流的大小是用电流强度 I 来表示的。电流强度就是单位时间内流过导体截面的电量。实验证明，在温度一定的条件下，导体上流过的电流强度 I 与导体两端的电位差 ΔV 成正比，而与导体的电阻 R 成反比，即

$$I = \frac{\Delta V}{R} \quad (1.1)$$

式中， I 的单位若为安培（ A ）， ΔV 的单位为伏特（ V ），则电阻 R 的单位为欧姆（ Ω ）。

这就是电学中最基本的定律——欧姆定律。它表示出一段电路上，电流强度、电位差和电阻这三者之间的关系。

物体电阻的大小，表示出电流通过该物体的难易程度。实验证明，物体电阻的大小不仅与物体的材料有关，而且还与物体的几何形状有关。例如，同样粗的康铜线，线越长，它的电阻就越大；而同样长的康铜线，线越粗，它的电阻却越小。这就是说，由均匀材料制成的具有一定截面积的导体，

它的电阻 R 与导体的长度 l 成正比，而与导体的截面积 s 成反比：

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad (1.2)$$

式中 ρ 为比例系数，称为物质的电阻率。

电阻率 ρ 仅与制成导体的材料有关，它是表示物质导电能力好坏的一个物理量。物质的电阻率越大，这种物质的导电性就越差；反之，电阻率越小，物质的导电性就越好。

(1.2) 式称为电阻公式，它表示出物体的电阻与其电阻率和几何形状之间的关系。显然，当 $l=1$ ， $s=1$ 时，我们得到 $R=\rho$ 。这就说明，虽然电阻和电阻率是不同的两个概念，但是它们又是彼此相联系的，电阻率在数值上就等于长度为 1 单位，截面积也为 1 单位时物体的电阻值。

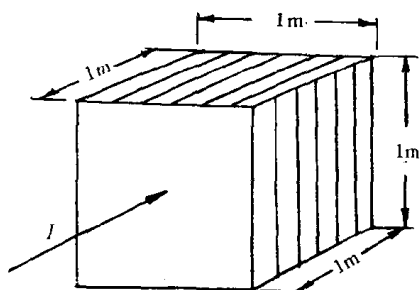


图 1—1

自然界中，各种不同的岩石也具有不同的导电性，即具有不同的电阻率。在钻孔地球物理勘探的实际工作中，长度的单位是米，截面积的单位是平方米。因此，岩石的电阻率在数值上等于边长为

1 米的立方岩块两对面间的欧姆电阻值（参看图 1—1）。岩石电阻率的单位是欧姆·米（ Ωm ）

表 1.1 中列出了几种常见矿物和岩石的电阻率。

由表 1.1 可以看出，岩矿石的电阻率在百万分之几到几百万欧姆·米甚至更大的范围内变动。一般说来，金属矿石矿物（特别是金属硫化物，如黄铜矿、黄铁矿、辉铜矿、斑

常见矿物和岩石的电阻率 (欧姆·米)

表 1.1

名 称	电 阻 率	名 称	电 阻 率
石 墨 铜 兰 斑 铜 矿	$10^{-6}-10^{-3}$	赤 铁 矿 菱 铁 矿 铬 铁 矿	$1-10^3$
黄 铁 矿 黄 铜 矿 辉 铜 矿	$10^{-3}-1$	赤 铁 矿 褐 铁 矿 闪 锌 矿	10^3-10^6
角 闪 石 石 膏 方 解 石 石 英 长 石 云 母	$>10^6$	白 云 岩 石 灰 岩 砂 岩 泥 质 页 岩	$5 \times 10-6 \times 10^3$ $6 \times 10^2-6 \times 10^3$ $10^{-1}-10^3$ $6 \times 10-10^3$
		辉 绿 岩 片 麻 岩 花 岗 岩	$6 \times 10^2-10^5$

铜矿等)及石墨的电阻率都很低,而造岩矿物(如石英、长石、云母、角闪石、方解石等)的电阻率则相当高。在各类岩石中,一般沉积岩的电阻率比火成岩和变质岩的电阻率要低。在金属矿床上,由金属矿物组成的矿体的电阻率,往往低于不含金属矿物的围岩的电阻率。岩石电阻率的这些差别,正是应用视电阻率测井来划分钻井地质剖面,确定矿层的深度和厚度的物性前提。

自然界中影响岩石电阻率大小的因素是很多的,诸如岩石的矿物成分,胶结物的成分,岩石的结构构造,岩石的破碎及含水情况,等等,所以,岩石的电阻率具有较大的变动范围。在实际工作中,我们应当了解工作地区内各主要岩石电阻率的变动范围及其常见值和主要影响因素,做到心中

有数。这样，才能合理地选择测井方法，正确地进行测井资料的地质解释。

二、直流电场的三个基本物理量

在视电阻率测井中，通常是将与电源正端相联的供电电极 A 和两个测量电极 M 、 N 放入井中，而将与电源负端相联的供电电极 B 置于井口附近的地面上。当接通 AB 供电电路后，强度为 I 的电流自 A 极流出，经过地下岩石后回到 B 极，从而在地下形成一个直流电场。这个直流电场就是视电阻率测井研究的对象。显然，了解这个直流电场的分布特点和变化规律是很重要的，因为它直接决定着所测得的视电阻率测井曲线的形态。那么，都用哪些物理量来表示直流电场的分布特点和变化规律呢？常用的物理量有三个，即电流密度 (j)，电位 (V) 和电场强度 (E)。

电流密度 j ：前已指出，在直流电路中，电流的大小是用电流强度 I 来表示的。在地下岩石中，当形成 AB 电流场后，电流在岩石中具有体积分布的特点，故电流强度这个概念在这里已经不再适用了。为此，引入了电流密度这个概念，电流密度 (j) 是一个矢量，它既有大小又有方向。它的大小（数值）等于研究点处垂直于电流方向上单位面积的电流值，即 $\frac{\Delta I}{\Delta S}$ ，它的方向就是该点电流的方向。

例如，在电阻率为 ρ 的均匀无限大介质中有一个点电源 A ，自 A 点向外流出的电流强度若为 I ，则距 A 点为 r 的球面上各点的电流密度为

$$j = \frac{I}{4\pi r^2} \quad (1.3)$$