

高等学校试用教材

# 电法勘探教程

武汉地质学院金属物探教研室 编

地质出版社

高等学校试用教材

# 电法勘探教程

武汉地质学院金属物探教研室 编

地质出版社

## 电法勘探教程

武汉地质学院金属物探教研室 编

\*

地质部教育司教材室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

张家口地区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

\*

开本：787×1092 <sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张：35.25 字数：848,000

1980年4月北京第一版·1981年12月第二次印刷

印数6,091—8,700册·定价4.90元

统一书号：15038·教73

## 几点说明

一、本书为高等地质院校地球物理勘探系金属地球物理勘探专业的试用教材。本书主要内容按四年制一百八十学时（野外现场数学除外）编写，但考虑到学生的自学需要，以及提供其他系统地质院校有关专业的师生和野外队有关技术人员等参考，本书的某些章节略有扩展，叙述亦较详细，以利自学。

二、本书的编写大纲由武汉地质学院金属物探教研室电法组拟定初稿后分赴河北地质学院、长春地质学院、成都地质学院、中南矿冶学院、地质科学研究所、桂林冶金地质研究所、河北省地质局物探大队、湖北省地质局物探大队、辽宁省地质局、辽宁省冶金地质勘探公司等十余个有关单位征求意见，以后在集中分析、研究这些意见的基础上，对大纲初稿进行了修改，即成当前本书的这种章节体系。其主要特点是，将利用传导电流的一些方法与利用感应电流的一些方法分为两大类，前者为第一篇，后者为第二篇。

本书与已往同类教材在体系上变动较大。在第一篇中，主要是将同一种装置的电阻率法与激发极化法结合到一起，即以供电装置的类型划分方法，以便对各种常用测量参数或收录的全部信息，在同一种装置形式的方法中进行综合分析和充分利用，这既与我国当前大多数野外队的实际生产状况相吻合，也与电法勘探的发展趋势相适应。在第二篇中，主要是按场源的波动形式分方法编写的。所有这些均与已往教材不同，因此，本书在体系上可以说是一种新的尝试，希望各使用单位在试用中，不断总结，积累正、反两方面经验，也请读者多提宝贵意见，以便今改编正式教材时参考。

三、本书初稿的执笔者为傅良魁、李金铭、许洪海、史元盛、罗延钟、刘崧、陈晦鸣、王守坦、杨旭、张桂清、周国芬等同志。此外，还有魏新发、严家祥、潘玉玲、魏文博、鲁永康、宁淑敏等同志参加了绘图工作。

由于本书执笔者较多，为了使本书尽可能按大纲的统一要求按时完成，本书由傅良魁、李金铭进行统编，但由于本书内容多，编写时间紧，故缺点、错误在所难免，希望读者批评指正。

四、由于近年来电法勘探在新技术方面发展较快，故本书在各方法中，主要内容侧重在方法的找矿原理方面，对有关的基本实验技术和野外现场教学中经常可能遇到的某些基本技术理论问题，作为附录，列于本书之后，各使用本书的教学单位，在教学过程中，还可根据具体情况适当编写补充性教学资料。

五、由于直到目前为止，在电法勘探的某些重要方面，还研究得相当不成熟。有的刚刚开始，有的还只能说处于萌芽阶段。如岩石、矿物与电法勘探有关的物理、化学机理问题；理论上欠成熟、实际上又无稳定效果的各种评价异常的方法问题；电法勘探直接找矿的方法问题以及电子计算机和信息科学如何在电法勘探中起变革性的有效作用等问题，在所有这些方面，本书均取材甚少或未采纳，留给教授本书者灵活地选讲或指给学生参考文献阅读。

## II

六、为保证本书质量，国家地质总局教育司对本书送审稿组织了有关地质院校进行集体审查，最后由成都地质学院王益民、雷扬敬同志审查。

傅良魁 主编  
李金铭

一九七九年六月十八日北京

## 目 录

|  |    |
|--|----|
| 绪论 .....   | 1  |
| 第一篇 传导类电法勘探  |    |
| 第一章 岩石和矿物的电学性质 .....                                   | 5  |
| § 1.1 岩石和矿物的导电性 .....                                  | 5  |
| 一、岩、矿物的电阻率与成分和结构的关系 .....                              | 6  |
| 二、岩矿物电阻率与所含水份的关系 .....                                 | 9  |
| 三、岩矿物电阻率与温度的关系 .....                                   | 11 |
| § 1.2 岩石和矿物的自然极化性质 .....                               | 12 |
| 一、电子导体的自然极化 .....                                      | 12 |
| 二、离子导体的自然极化 .....                                      | 14 |
| § 1.3 岩石和矿物的激发极化性质 .....                               | 16 |
| 一、岩、矿物的激发极化机理 .....                                    | 16 |
| 二、岩、矿物的激发极化特性 .....                                    | 20 |
| § 1.4 岩石和矿物的介电极化性质和导磁性 .....                           | 36 |
| 一、岩石和矿物的介电极化性质 .....                                   | 37 |
| 二、岩石和矿物的导磁性 .....                                      | 40 |
| 第二章 传导类电法勘探的基本理论 .....                                 | 43 |
| § 2.1 地中稳定（或似稳定）电流场的一般规律 .....                         | 43 |
| 一、地中电流场分布的一般性质 .....                                   | 43 |
| 二、一次电流场的边界条件 .....                                     | 45 |
| 三、总场的边界条件 .....  | 45 |
| § 2.2 均匀各向同性介质中点源电流场的分布规律 .....                        | 50 |
| 一、一个点电流源的地中电流场 .....                                   | 51 |
| 二、地面上两个异性点电源的地中电流场 .....                               | 54 |
| 三、地下偶极源电流场的分布规律 .....                                  | 57 |
| 四、均匀大地电阻率和极化率的确定及表示方法 .....                            | 63 |
| § 2.3 不均匀条件下地中电流场分布的一般规律及视电阻率、视极化率<br>和视激电率的基本概念 ..... | 65 |
| 一、不均匀条件下地中电流场分布的一般规律 .....                             | 65 |
| 二、视电阻率、视极化率和视激电率的基本概念 .....                            | 67 |
| 三、常用装置类型及装置系数 .....                                    | 73 |
| 第三章 传导类电法勘探常用仪器的基本原理 .....                             | 76 |
| § 3.1 供电系统的组成及常用发送机的基本原理 .....                         | 77 |
| 一、电源 .....   | 77 |
| 二、输出电流控制单元 .....                                       | 78 |

|   |     |
|---|-----|
| 三、程序控制部分 .....  | 84  |
| 四、其他必要的组成部分 .....   | 86  |
| § 3.2 常用测量仪器的基本原理 .....   | 87  |
| 一、时间域电位差的测量原理 .....   | 87  |
| 二、频率域振幅和相位的测量原理 .....   | 97  |
| 三、传导类电法中的磁场测量 .....   | 101 |
| <b>第四章 中间梯度法</b> .....  | 104 |
| § 4.1 球形矿体上中间梯度法的异常及解释方法 .....                                      | 104 |
| 一、均匀电流场中球体的电场解答及异常的量值规律 .....                                       | 104 |
| 二、球形矿体上中间梯度法异常的分布规律 .....   | 109 |
| § 4.2 脉状矿体上中间梯度法的异常及解释方法 .....                                      | 111 |
| 一、均匀电流场中椭球体的电场解答及异常的量值规律 .....                                      | 111 |
| 二、脉状矿体上纵向中间梯度法的异常及解释方法 .....  | 116 |
| 三、脉状矿体上横向中间梯度法的异常及解释方法 .....  | 119 |
| § 4.3 中间梯度法的实际应用 .....  | 120 |
| 一、测区的选择和测网的布置 .....   | 120 |
| 二、装置的选择 .....   | 120 |
| 三、布极方法及装置大小 .....   | 120 |
| 四、测量区段 .....  | 121 |
| 五、中间梯度法的应用实例 .....  | 121 |
| <b>第五章 电测剖面法</b> .....  | 126 |
| § 5.1 在两种电性不同的岩石垂直接触面上剖面法的理论曲线及<br>解释方法 .....                       | 126 |
| 一、点源在具有垂直接触面的两种电性不同的岩石中的电场 .....                                    | 126 |
| 二、联合剖面法在过垂直接触面时 $\rho_s$ 和 $\eta_s$ 的剖面曲线 .....                     | 131 |
| 三、对称四极剖面法在过垂直接触面时 $\rho_s$ 和 $\eta_s$ 的剖面曲线 .....                   | 137 |
| 四、偶极剖面法在过垂直接触面时 $\rho_s$ 和 $\eta_s$ 的剖面曲线 .....                     | 139 |
| 五、有浮土覆盖时两种岩石接触面上剖面法的曲线性质 .....                                      | 141 |
| § 5.2 球体上剖面法的理论曲线及解释方法 .....  | 142 |
| 一、有球体存在时的点源电流场 .....  | 142 |
| 二、联合剖面法在球体上的 $\rho_s$ 、 $G_s$ 和 $\eta_s$ 理论曲线及解释方法 .....            | 146 |
| 三、对称四极剖面法在球体上的 $\rho_s$ 、 $G_s$ 和 $\eta_s$ 理论曲线及解释方法 .....          | 154 |
| 四、偶极剖面法在球体上的 $\rho_s$ 、 $G_s$ 和 $\eta_s$ 理论曲线及解释方法 .....            | 157 |
| § 5.3 板状体上剖面法的模型实验曲线及解释方法 .....                                     | 162 |
| 一、板状体上联合剖面法和对称四极剖面法 $\rho_{sf}$ 、 $G_{sf}$ 和 $P_s$ 的曲线性质及解释方法 ..... | 162 |
| 二、板状体上偶极剖面法 $\rho_{sf}$ 、 $G_{sf}$ 和 $P_s$ 的曲线性质及解释方法 .....         | 172 |
| § 5.4 电测剖面法的实际应用 .....  | 177 |
| 一、联合剖面法 .....   | 177 |
| 二、对称四极剖面法 .....   | 180 |
| 三、偶极剖面法 .....   | 181 |
| <b>第六章 电测深法</b> .....   | 186 |

|  |     |
|--|-----|
| § 6.1 二层水平地层上电测深法的理论曲线及解释方法                          | 186 |
| 一、二层水平地层上点电源的电流场及异常表达式                               | 186 |
| 二、二层水平地层上电测深曲线的性质及理论量板的构制                            | 187 |
| 三、二层水平地层上 $\rho_s$ 、 $\eta_s$ 实际曲线的定量解释方法            | 191 |
| § 6.2 三层及多层水平地层上电测深法的理论曲线及解释方法                       | 196 |
| 一、三层及多层水平地层上的点源电流场及异常表达式                             | 196 |
| 二、三层及多层水平地层上电测深法 $\rho_s$ 、 $\eta_s$ 理论曲线的性质及三层量板的构制 | 199 |
| 三、电测深资料的定性解释方法                                       | 205 |
| 四、电测深资料的定量解释   | 207 |
| § 6.3 有限几何体上电测深法的理论曲线及解释方法                           | 211 |
| 一、球体上电测深法曲线的性质及解释方法                                  | 211 |
| 二、板状体上的电测深曲线及解释方法                                    | 214 |
| § 6.4 电测深法的实际应用                                      | 216 |
| 一、电测深法的野外工作方法  | 216 |
| 二、电测深法在金属矿上的应用                                       | 218 |
| 三、电测深法在水文地质和工程地质中的应用                                 | 223 |
| <b>第七章 充电法</b>                                       | 229 |
| § 7.1 充电法的理论基础                                       | 229 |
| 一、均匀大地中的地下点源场  | 229 |
| 二、均匀岩石中理想导电椭球体的充电电场                                  | 232 |
| 三、围岩不均匀条件下的充电电场                                      | 235 |
| 四、在导体附近围岩中充电的电场                                      | 243 |
| 五、不等位体的充电电场  | 246 |
| § 7.2 充电法的实际应用                                       | 247 |
| 一、充电法的任务、应用条件和测网                                     | 247 |
| 二、充电法的观测方式和观测内容                                      | 248 |
| 三、充电法的应用实例   | 249 |
| <b>第八章 自然电场法</b>                                     | 254 |
| § 8.1 球体的自然电场  | 254 |
| 一、垂直极化球体的自然电场  | 254 |
| 二、倾斜极化球体的自然电场  | 257 |
| 三、组合极化球体的自然电场  | 258 |
| 四、极化球体附近有接触面存在时的自然电场                                 | 259 |
| § 8.2 板状体的自然电场                                       | 261 |
| 一、直立板状体的自然电场   | 261 |
| 二、倾斜板状体的自然电场   | 262 |
| § 8.3 自然电场法的实际应用                                     | 264 |
| 一、自然电场法的测网密度及工作比例尺的选择                                | 264 |
| 二、自然电场法的野外工作方法                                       | 265 |
| 三、自然电场法的应用实例   | 268 |
| <b>第九章 复杂条件下电法勘探的应用及资料解释</b>                         | 275 |



|   |            |
|---|------------|
| § 9.1 岩石导电性不均匀对电法观测结果的影响及消除方法 .....       | 275        |
| 一、围岩导电性不均匀对联合剖面法视电阻率曲线的影响 .....           | 275        |
| 二、消除电性不均匀体影响的方法 .....                     | 278        |
| 三、岩石导电性不均匀对其它电法观测结果的影响及消除方法 .....         | 283        |
| § 9.2 地形起伏对电法观测结果的影响及消除方法 .....           | 283        |
| 一、单纯起伏地形上的 $\rho_s$ 、 $\eta_s$ 曲线特征 ..... | 283        |
| 二、起伏地形对矿异常的影响 .....                       | 285        |
| 三、校正地形影响的原理及方法 .....                      | 286        |
| § 9.3 岩层非各向同性对电测结果的影响及校正方法 .....          | 289        |
| 一、均匀非各向同性岩石中电场分布的基本理论 .....               | 289        |
| 二、岩层非各向同性对电法观测结果的影响及校正方法 .....            | 294        |
| § 9.4 覆盖层对电法观测结果的影响 .....                 | 303        |
| 一、覆盖层对充电法观测结果的影响 .....                    | 303        |
| 二、覆盖层对自然电场法观测结果的影响 .....                  | 305        |
| 三、覆盖层对激电法观测结果的影响 .....                    | 306        |
| § 9.5 电磁耦合效应及克服方法 .....                   | 307        |
| 一、偶极装置 .....                              | 307        |
| 二、中梯装置 .....                              | 311        |
| <b>第十章 测磁场的传导类电法</b> .....                | <b>317</b> |
| § 10.1 计算传导电流磁场的基本方法 .....                | 317        |
| 一、线电流磁场的计算 .....                          | 318        |
| 二、体电流磁场的计算 .....                          | 319        |
| 三、闭合电流磁场的计算 .....                         | 319        |
| § 10.2 点源电流的磁场 .....                      | 320        |
| 一、点源在地面上供电时的磁场 .....                      | 320        |
| 二、点源在地下供电时的磁场 .....                       | 321        |
| 三、水平偶极电流源在地下供电时的磁场 .....                  | 322        |
| 四、点源在水平地层中供电时的磁场 .....                    | 324        |
| § 10.3 球体异常电流的磁场 .....                    | 324        |
| 一、导电球体的异常电流磁场 .....                       | 325        |
| 二、极化球体的异常电流磁场 .....                       | 332        |
| § 10.4 柱状体和薄板状异常电流的磁场 .....               | 336        |
| 一、水平圆柱体异常电流的磁场 .....                      | 336        |
| 二、薄板状异常电流的磁场 .....                        | 339        |
| § 10.5 在测磁场的传导类电法中矿体导磁性的作用规律及其利用 .....    | 342        |
| 一、磁性导电球体在磁电阻率法异常中的作用规律 .....              | 342        |
| 二、磁性导电板状体在磁电阻率法异常中的作用规律 .....             | 343        |
| 三、磁性导电体导磁性的判定及在评价磁异常中的应用 .....            | 344        |
| § 10.6 实际应用 .....                         | 345        |
| 一、装置选择及资料整理 .....                         | 345        |
| 二、野外实例 .....                              | 348        |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 三、测磁场传导类电法的应用条件及发展远景 ..... | 352 |
|----------------------------|-----|

## 第二篇 感应类电法勘探

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| <b>第一章 电磁法概论</b> .....             | 357 |
| § 1.1 低频电磁法的物理实质 .....             | 357 |
| § 1.2 电磁法的分类 .....                 | 359 |
| § 1.3 电磁场的基本公式 .....               | 361 |
| 一、基本方程式 .....                      | 361 |
| 二、电磁势和波动方程 .....                   | 361 |
| 三、谐波场的波动方程 .....                   | 365 |
| 四、边界条件 .....                       | 368 |
| § 1.4 模拟原理 .....                   | 369 |
| <b>第二章 均匀场中导体和导磁体的异常场</b> .....    | 371 |
| § 2.1 导电导磁的水平圆柱体的异常场 .....         | 371 |
| 一、圆柱体异常场的表达式 .....                 | 371 |
| 二、圆柱体异常场的频率特性规律 .....              | 375 |
| 三、圆柱体异常场的空间分布规律 .....              | 377 |
| § 2.2 均匀场中球体的异常场 .....             | 378 |
| 一、球体异常场的表达式 .....                  | 378 |
| 二、球体异常场的频率特性规律 .....               | 382 |
| 三、球体异常场的空间分布规律 .....               | 383 |
| § 2.3 导电导磁板状体的异常 .....             | 384 |
| 一、导电板状体的异常 .....                   | 384 |
| 二、导电导磁板状体的异常 .....                 | 389 |
| § 2.4 复杂异常场 .....                  | 391 |
| 一、电性不均匀的导体的异常 .....                | 391 |
| 二、导电覆盖层的影响 .....                   | 392 |
| 三、地形影响 .....                       | 394 |
| 四、电场的影响 .....                      | 395 |
| <b>第三章 磁偶极场中导体的异常场</b> .....       | 399 |
| § 3.1 磁偶极子场的一些特性 .....             | 399 |
| 一、磁偶极子场的空间分布规律 .....               | 399 |
| 二、磁偶极场的等比特性 .....                  | 400 |
| 三、磁偶极场的正交性 .....                   | 401 |
| 四、互换原理和工作装置 .....                  | 402 |
| § 3.2 磁偶极场中导电球体的异常场 .....          | 403 |
| § 3.3 同点( $xz$ )装置在板状导体上的异常场 ..... | 407 |
| 一、板状体异常场的近似表达式 .....               | 408 |
| 二、异常的频率特性 .....                    | 411 |
| § 3.4 其他一些常用装置 .....               | 418 |
| 一、同线( $xz$ )装置 .....               | 413 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 二、同线( $zz$ )装置 .....          | 414 |
| 三、旁线( $xx$ )和( $zz$ )装置 ..... | 415 |
| 四、垂直线框装置 .....                | 416 |
| 五、水平线框装置 .....                | 418 |
| <b>第四章 连续波电磁法</b> .....       | 421 |
| § 4.1 虚分量—振幅法 .....           | 421 |
| 一、测量系统 .....                  | 421 |
| 二、野外工作方法 .....                | 430 |
| 三、解释推断和实例 .....               | 432 |
| § 4.2 振幅比—相位差法 .....          | 444 |
| 一、方法原理 .....                  | 445 |
| 二、仪器 .....                    | 450 |
| 三、资料解释 .....                  | 453 |
| 四、实例 .....                    | 454 |
| § 4.3 水平线圈法 .....             | 456 |
| 一、方法原理 .....                  | 457 |
| 二、仪器 .....                    | 461 |
| 三、资料处理 .....                  | 462 |
| 四、实例 .....                    | 468 |
| § 4.4 椭圆极化法及倾角法 .....         | 469 |
| 一、椭圆极化 .....                  | 469 |
| 二、测量技术及测量仪器 .....             | 472 |
| 三、解释 .....                    | 475 |
| 四、实例 .....                    | 480 |
| § 4.5 甚低频法 .....              | 483 |
| 一、方法原理 .....                  | 484 |
| 二、仪器 .....                    | 489 |
| 三、实例 .....                    | 491 |
| § 4.6 频率电磁测深法 .....           | 493 |
| 一、理论基础 .....                  | 493 |
| 二、电磁测深的理论曲线 .....             | 495 |
| 三、电磁测深法的一些特点 .....            | 499 |
| <b>第五章 脉冲瞬变场法</b> .....       | 502 |
| § 5.1 方法理论 .....              | 502 |
| 一、基本原理 .....                  | 502 |
| 二、均匀场中导体的异常 .....             | 503 |
| 三、偶极场中导体的异常 .....             | 510 |
| 四、瞬变特性与频率特性的关系 .....          | 513 |
| § 5.2 仪器及野外工作方法 .....         | 516 |
| 一、仪器 .....                    | 516 |
| 二、野外工作方法 .....                | 517 |
| § 5.3 资料解释和实例 .....           | 518 |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 一、资料解释 .....                      | 518        |
| 二、实例 .....                        | 519        |
| <b>第六章 航空电法 .....</b>             | <b>524</b> |
| § 6.1 航空电磁法的分类 .....              | 524        |
| 一、音频连续波系统 .....                   | 524        |
| 二、音频脉冲瞬变系统 .....                  | 525        |
| 三、幅射场系统 .....                     | 525        |
| § 6.2 补偿式航电仪系统——固定翼飞机翼尖硬架系统 ..... | 526        |
| 一、基本原理 .....                      | 526        |
| 二、仪器 .....                        | 527        |
| 三、实例 .....                        | 528        |
| § 6.3 脉冲瞬变航电仪系统 .....             | 529        |
| 一、基本原理 .....                      | 529        |
| 二、仪器 .....                        | 534        |
| 三、实例 .....                        | 536        |
| 附 录 .....                         | 537        |
| 附录一、传导类电法勘探模型和模拟实验的原理与方法 .....    | 537        |
| 一、基本原理 .....                      | 537        |
| 二、水槽模型实验 .....                    | 538        |
| 三、土槽模型实验 .....                    | 539        |
| 四、导电纸模拟实验 .....                   | 540        |
| 五、薄水层模拟实验 .....                   | 542        |
| 附录二、传导类电法勘探野外工作中几个基本技术理论问题 .....  | 544        |
| 一、岩、矿石电阻率和极化率的测定方法与技术 .....       | 544        |
| 二、不极化电极的原理与制作方法 .....             | 546        |
| 三、电极的接地电阻 .....                   | 547        |
| 四、导线漏电对观测结果的影响 .....              | 549        |

# 绪 论

电法勘探是以地壳中岩、矿石的电、磁学性质的差异为主要的物质基础，利用电磁场（天然和人工的）空间和时间的分布规律，研究地质构造和寻找有用矿产的一组地球物理探矿方法，通常简称为“电法”。

大家知道，随着人们对电磁现象及其所表现的各种客观规律获得了逐步深入的认识，便从各个方面广泛地利用“电”来为人们的生产和生活服务。目前，无论在工业、农业、国防、交通、医学等各方面，无不充分利用电来加速工作效率，提高工作质量，降低工作成本等。在地质工作中，为查明地质构造和寻找有用矿产，也毫不例外地充分利用电来实现地质勘探目标。尤其近二、三十年来，电法勘探发展十分迅速，找矿效果显著，越来越多地吸引着人们对它感到极大的兴趣。

在电法勘探中，利用岩石和矿石的物理性质目前主要有四种：导电性、激电性、介电性和导磁性。不同岩石和矿石在这些性质上的差异，能够在岩矿中电磁场（人工的和天然的）空间和时间分布方面表现出来。只要岩矿的电磁学性质发生了变化，则在岩矿或空间中的电磁场性质，也相应地发生变化。一般说，岩矿的电磁学参数值改变的越明显，则电磁场的相应变化也越强烈。因此，人们便可通过对电磁场空间和时间分布状态的观测和研究，查明岩矿或寻找地质对象在地中存在的状态（大小、形状、埋藏深度）以及物理参数值的大小，以达到电法勘探的地质目的。

任何一种地质体，或强或弱地都具有几种电磁学性质，在地质找矿中，人们可以单独只利用其中的一种性质，也可以同时或分别利用其中的两种和三种以及全部的电磁学性质。以便从不同方面或从多方面（单方面或综合方面）研究地质目标。这往往要由地质任务和方法的特点来确定。而通常利用不同电磁学性质从不同方面研究地质对象或观测与其有关的不同电磁要素时，需要采用不同的仪器和不同的测量方法。于是，在电法勘探中，根据观测方式和测量要素以及地质目标的不同，便命名出许多种电法。如通过测量由地质对象本身所形成的天然电流场，研究或寻找地下埋藏的地质体时，便称为“自然电场法”，又如，在天空中用飞机观测天然或人工形成的电磁场，借以研究地下地质情况或寻找矿体时，乃称为“航空电法”等。目前，在实际生产中，获得实际应用的电法已有二十余种，而处于试验研究阶段的电法，还有许多种。

电法勘探的方法虽然很多，但从不同方面看，有些方法很相类似，为了研究和学习的方便，可以把它们划分为一类。然而，分类方案的确定，常随分类的目的为转移，为着不同的地质目标，可以作出不同的分类方案。如有些方法在这一方面很类似，可将其分成一类。但从另一方面来看时，又可以划分到别的一类中。例如，就观测场所的不同来分类时，所有的几十种电法，可分为四类：①航空电法；②地面电法；③海洋电法；④地下或井中电法。而就地质目标来分类时，又可分为另外的四类：①金属电法；②石油电法；③煤田电法；④水（文）工（程）电法。当就使用和观测电磁场的时间特性来分类时，又可分为三类：①直流（稳定）电法；②交流电法；③过渡过程（瞬变）场法。除此之外，还

有其他的一些分类方案。所以，直到目前为止，还没有一种公认的和统一不变的分 类 方 案。因为各种电法之间，既有不同的方面，又有相同的方面，因此，很难作出一个标准化的固定分类方案。然而，根据本专业当前电法的发展现状，本书将简化地分为以下两大类：①传导类电法勘探；②感应类电法勘探。前者以利用地中传导电流（交流的或直流的；天然的或人工的）为主，后者以利用地中涡旋感应电流为主。在传导类电法中，包括岩、矿石的电磁学性质；传导电流场的基础理论；目前常用仪器的基本原理及利用岩矿的两个物理参数（导电性和激电性）为主的五种方法（中间梯度法；电测剖面法；电测深法；充电法和自然电场法），以及利用三个物理参数（导电性、导磁性、激电性）的测磁场的传导类电法等；在感应类电法中，包括交变电磁场的基础理论和仪器原理，以及按交变场的时间形式划分的两种方法（连续波电磁法和脉冲瞬变场法），最后，还有其他几种发展中的方法等。并且，在上列的每种方法中，又包括多种不同装置形式或不同观测方式的变种方法。各种方法的地质效果，决定于方法的原理、地质对象以及地质条件的复杂程度和人为因素等，均不是绝对不变的。有的方法用于找寻金属矿时可能相当有效，而用于调查地质构造时，便可能得不到预期的结果。但是，对另外一种方法而言，情况可能恰恰相反。因此，在实际中，应该根据各种具体条件，合理地选择方法，这是与完成找矿任务紧密相连的一项重要措施，应予以充分重视。

电法勘探是一门新兴的应用自然科学，发展历史不过几十年。虽然早在十九世纪二十年代 P. 福克斯在康瓦尔铜矿上测得了由硫化矿产生的自然电场，但当时仅限于科学研究性质，尚未获得实际应用。以后，直到二十世纪初，由于世界上许多国家工业发展十分迅速，对矿产资源的需求，越来越迫切，电法勘探才从科学研究的范围快步地进入了实际应用阶段。回顾电法勘探的简短历史，可以说，在二十世纪的二十年代，电法的理论体系和找矿的实践方案，已经初步形成。以后，在法国、苏联、瑞典、加拿大以及美、英等国的地质勘探中，电法勘探应用得越来越普遍，应用的范围逐年扩大，取得的地质效果，也是多方面的。目前，在一些西方国家中，由于现代物理学、电子学等的迅速发展以及向电法勘探中的及时渗透，又出现了许多新方法和新技术，尤其在电法仪器的小型化、轻便化、数字化和自动化等方面，近年来，发展更快。

我国电法勘探工作的大规模发展，只能从一九四九年人民大众掌握了政权以后算起。在旧中国的半殖民地、半封建的政治、经济情况下，工业十分落后，矿山的开发，多掌握在帝国主义者手中。仅有极少数人，在个别矿区作了些基本上属于科学研究性质的试验工作。据现有资料查知，一九三六年丁毅等曾在安徽省当涂铁矿上进行了电法试验工作。其后，在一九三九~一九四二年，顾功叙先生等在贵州水城县观音山铁矿上进行过电法工作，他又在一九四三年同王子昌先生在云南会泽铅锌矿区及巧家县汤丹铜矿上进行过自然电场法工作，一九四五年顾功叙先生等还曾在贵州赫章县铁矿上进行过电法勘探。工作规模均较小，而且多属试验研究性质。

全国解放后，电法勘探和其他各方面的建设事业一样，在共产党和毛主席的领导下，得到十分迅速的发展。国家设立了领导和发物探工作的专门机构，在全国各主要的金属矿区和油田、煤田等调查区上，立即开展了大规模的电法勘探工作。如一九五〇年在辽宁鞍山铁矿上，曾用电测剖面法进行了生产。而且，为了扩大工作规模的需要，在一九五二~一九五二年间，我国就自制出大批的自然电场法便携式电位计，从此，全国各勘探区，

均组成了相当规模的电法勘探队，从此各种剖面法和电测深法以及自然电场法等开展了大量的生产工作，并且，其他各种电法，也逐年增加，除充电法、等位线法外，还在长江中下游的硫化金属矿上进行了强度法和感应法等交流电法的试验和生产工作。自一九五七年起，在东北辽宁等几个金属矿区试用了激发极化法。至此，我国几乎使用了当时所有有效的电法，对我国的地质找矿工作发挥了很大作用，起到了加速勘探进度，提高工作质量和降低生产成本的良好效果，为我国找到了许多有用矿床。

电法勘探在我国，经过二十余年的大规模发展，不仅队伍扩大了，各方面的经验也在逐渐成熟，水平也不断提高。目前，对许多种新兴的电法，尤其在区分“矿与非矿”异常和克服各种干扰以及研制新型仪器等方面，正在深入、全面地开展研究，不久，必将获得更大的发展。特别在以华主席为首的党中央一举粉碎“四人帮”以来，抓纲治国，已见成效。在华主席提出的“高举毛泽东思想伟大红旗，加强地质工作，为实现四个现代化作出贡献”的英明号召下，今后，电法勘探，必将同其他各条战线和各种学科一样，取得更加蓬蓬勃勃地发展，为我国的社会主义建设起到应有的积极作用。

最后，我们说明，在实际找矿中，电法勘探的各种方法，能否取得良好的地质效果，除取决于按照不同矿产、地质条件，合理地选择方法、技术外，还决定于是否与其他物探方法（磁法勘探、重力勘探等）和化探方法以及地质、钻探等多种相邻学科勘探手段的密切配合。这是因为，地球物理场的异常，一般说是多解的，在许多情况下，由于矿产地质条件及其他各种干扰因素的复杂性，单独应用一种方法，往往不易获得肯定的地质结果。因此，在实际工作中，为取得较好的地质效果，需要按照不同的具体条件，适当地配合应用数种物、化探方法，并与地质结合，进行综合研究，以利于更好地解决所面对的地质问题。这一点，不但对电法如此，对其他物、化探及地质方法也一样，均需要树立起综合找矿方法的概念。如果在实际工作中，忽视具体条件、片面地过分强调或固执地迷信和惯用某种单一方法，便很可能造成工作上的严重损失。这是由于物探方法的理论前提和客观地质、地球物理条件的复杂性所决定的。忽视电法勘探与其他相邻学科的这种联系关系，必将产生不良后果。当然，一旦某日有人发明了一种“照矿镜”，对大地的一切岩矿分布和地质构造，都能“一目了然”，那时人们只用这种特效的“镜”就可以了。然而，目前看来，这只能是幻想。恐怕这种绝对化的找矿“武器”是不现实的。因此，人们还是要从地球物理探矿的固有特点出发，按照特定的客观规律，踏踏实实地进行全面、深入的研究，不断总结经验，艰苦奋斗，努力工作，把我国的电法勘探推向一个更高的水平，为我国在二〇〇〇年实现四个现代化的伟大强国，做出应有的贡献。





# 第一篇 传导类电法勘探

## 第一章 岩石和矿石的电学性质

电法勘探是基于不同岩、矿石具有不同电学性质来研究地下地质构造和找矿的一组地球物理方法。因此，研究电法勘探首先应该研究它的物性基础——各种岩、矿石的电学性质。决定地下电（磁）场性质的主要因素包括导电性、电极化特性和导磁性。

### § 1.1 岩石和矿石的导电性

表征物质导电性的参数是电阻率或其倒数导电率。在实用单位制中，某种物质的电阻率被定义为电流流过 1 米<sup>3</sup>该物质组成的立方体时，所表现的电阻（欧姆）值。电阻率的单位为欧姆·米，或表示为  $\Omega \cdot M$ 。物质的导电性越好，其电阻率值便越小，导电率便越大；反之，如某种物质的电阻率较大或导电率较小，则其导电能力便较差。

岩石和矿石是由矿物组成的，按照其导电机理，可将固体矿物分为三种类型：金属导体、半导体和固体电解质<sup>[1,1]</sup>。

各种天然金属属于金属导体。这类矿物在地壳中并不经常出现，但当其出现时便具有一定的经济价值。比较重要的天然金属有自然铜和自然金。此外，石墨也是具有某些特殊性质的一种导体。

大多数金属矿物属于半导体。其电阻率高于金属导体，数值为  $10^{-6} \sim 10^6 \Omega \cdot M$ 。表 1.1 中列出了若干常见的半导体矿物及其电阻率值的变化范围。

常见半导体矿物的电阻率值

表 1-1

| 矿物名称 | 电阻率值<br>( $\Omega \cdot M$ ) | 矿物名称 | 电阻率值<br>( $\Omega \cdot M$ ) |
|------|------------------------------|------|------------------------------|
| 斑铜矿  | $10^{-6} \sim 10^{-3}$       | 赤铁矿  | $10^{-3} \sim 10^0$          |
| 磁铁矿  | $10^{-6} \sim 10^{-3}$       | 锡石   | $10^{-3} \sim 10^6$          |
| 磁黄铁矿 | $10^{-6} \sim 10^{-3}$       | 辉铋矿  | $10^0 \sim 10^3$             |
| 黄铜矿  | $10^{-3} \sim 10^0$          | 软锰矿  | $10^0 \sim 10^3$             |
| 黄铁矿  | $10^{-3} \sim 10^0$          | 菱铁矿  | $10^0 \sim 10^3$             |
| 方铅矿  | $10^{-3} \sim 10^0$          | 铬铁矿  | $10^0 \sim 10^6$             |
| 辉铜矿  | $10^{-3} \sim 10^0$          | 闪锌矿  | $10^3 \sim 10^6$             |
| 辉钼矿  | $10^{-3} \sim 10^0$          | 钛铁矿  | $10^3 \sim 10^6$             |

绝大多数造岩矿物（如辉石、长石、云母、石英、方解石、角闪石及石榴石等等），属于固体电解质。它们多具有很高的电阻率值（ $10^6 \Omega \cdot M$  以上）。

另外，在岩石和矿石中几乎总是含有一定的孔隙水。大量实测资料说明，岩石孔隙水