

水文地质工程地质

地球物理探测方法



〔苏联〕A·A·奥吉尔维 著

中国工业出版社

水文地质工程地质

地球物理探测方法

〔苏联〕A·A·奥吉尔维 著

周 镭 庭 译

中国工业出版社

本书比較系統、全面地介紹了水文地质工程地质工作中常用的各种地球物理探测方法，并且举了一些实例。可供大专院校水文地质工程地质专业师生教学“地球物理探测方法”时参考，也适合广大水文地质工程地质者和从事水文工程物探工作的人员閱讀。

本书由周鐮庭同志譯出，桂燮秦同志校訂。

本书附图均按原书附图譯印。

A. A. Огильви

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Издательство Московского Университета 1962

* * *

水文地质工程地质
地球物理探测方法
周 鐮 庭 譯

*

地质部地质书刊編輯部編輯 (北京西四羊市大街地质部院內)

中国工业出版社出版 (北京佳藕閣路丙10号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $10^{1/2}$ ·字数249,000

1965年8月北京第一版·1965年8月北京第一次印刷

印数0001—2320·定价(科六) 1.50元

*

統一书号: 15165·4020 (地质-344)

序 言

最近五年內，作者曾在莫斯科大学为地质系水文地质和工程地质专业的学生講授地球物理探测方法的課程，本书就是在該課程的講稿的基础上編写的。在講課过程中，学生們由于缺乏合适的参考书而感到很大困难。在苏联出版的大部分有关应用地球物理的书籍，大多只是描述一种探测方法，并且都是为地球物理勘探专业的学生編写的。其他专业的学生仅能在有限的范围内利用这些教本。莫斯科石油学院的教师們曾写出了两种普通地球物理勘探教程——适用于高等学校的（索洛金等，1950）和适用于中等技术学校的（索洛金等 1949；加兰諾夫等 1954）。在材料的选择和內容上，它們都不适合水文地质工作人員和地质工程师的需要，且已过于陈旧。至于А.И.查鮑罗夫斯基（1932）和Л.Я.涅斯捷罗夫等（1937）的教程，則就更陈旧了。

在編写本教程的过程中，作者考虑到，对于解决水文地质和工程地质的問題來說，不同地球物理方法所起的作用是很不相同的。重力探测和磁法探测只适用于个别的場合，就整个來說，它們只能算是一种輔助性的方法，用于較詳細地闡明研究地段的某些地质特点。地震探测的效果很好，但方法的成本較高，装备笨重。同时，由于缺乏輕便的仪器，所以在苏联境内这个方法还較少用于水文地质和工程地质勘探。目前，在水文地质和工程地质勘探中，最常用的是地电探测法，其次是地热探测法和核探测法。

根据上面所說的各种方法的用途不同和使用的經常性不同，在本书內对重力探测和磁法探测仅給出一般性的概念。它們排在其他方法的前面，因為它們所依据的是比較簡單的自然場。对地震探测的叙述較多，虽然在这里已省略了許多对閱讀本书的专业

IV

人員來說僅具有次要意義的問題。這樣作者把重點放在地電、地熱和核探測法上。這些章節對其他地質專業的學生不無參考價值，已參加實際工作的地質人員也可參閱。

本書的最後一章給出用地球物理方法解決水文地質和工程地質問題的簡短描述。

作者謹向O.K.朗格、B.K.馬特維耶夫、B.H.伊萬諾夫、Г.Я.切爾涅克，特別是B.A.舍姆舒林表示謝意，他們閱讀了本書的手稿并向作者提出了寶貴的意見。另外，作者還感謝E.B.伊林娜、Г.П.伏爾科娃和P.П.格里哥里耶娃，她們在本書付印前整理了手稿。

目 录

序言

緒論	1
----------	---

第一章 重力探测法 (重力勘探)	8
------------------------	---

1. 岩石的密度—决定重力异常的因素	10
2. 重力勘探用的仪器和重力测量	12
3. 重力异常的概念	20
4. 重力观测资料的解释	22
5. 重力测量能够解决的主要问题	27

第二章 磁法探测 (磁法勘探)	29
-----------------------	----

1. 地球的磁场	30
2. 岩石的磁性和磁异常的成因	33
3. 地面磁测	35
a. M-2型磁力仪的构造	36
6. 野外观测	39
b. 结果解释	40
4. 微磁测量	43
5. 航空磁测	47
6. 磁法探测能够解决的主要问题	54

第三章 地震探测法 (地震勘探)	56
------------------------	----

1. 地壳中激发弹性振动的方法	56
2. 振动在无限弹性介质中的传播	58
3. 地震波在界面上的反射和折射	62
4. 地质介质中弹性振动的传播	65
5. 地震探测仪器	70
a. 地震检波器	70
6. 放大器	72
b. 检流计和示波仪	73

VI

r. 最新式的地震仪器	75
6. 野外观测	76
7. 平均速度的确定	78
8. 反射波法资料的解释	79
9. 折射波法资料的解释	85
10. 高频地震探测	92
11. 简易地震探测装置	96
12. 声波法	101
a. 貯水池底部地质构造的研究	101
6. 钻井剖面的研究 (声波测井)	102
b. 坚硬岩石性状的研究所	107
13. 地震探测能够解决的主要问题	109
第四章 电法探测	111
1. 岩石的电参数	111
a. 岩石的电阻率	113
6. 介电常数	121
2. 电法探测的仪器和装备	122
a. 电极 (接地物)	122
6. 导线与电缆	124
b. 电源	125
r. 测量仪器	127
ЭП-1 型电位计	127
半自动记录仪	131
电法探测用电子自动补偿仪	132
3. 自然电场法	135
a. 探测的技术和方法	135
6. 自然电场的成因	138
b. 自然电场法的应用实例	147
4. 电阻率法	149
a. 电测深法	153
6. 电测深资料的解释	156
b. 电测深的应用条件	162
r. 电测深的应用实例	163

5. 环形测深法	167
6. 电剖面法	170
a. 对称装置	171
б. 三极装置 (联合剖面法)	171
в. 偶极装置	173
г. AB_{fix} 装置 (中间梯度装置)	173
电剖面法的应用条件	173
电剖面法的应用实例	174
7. 电阻率法测井 (ρ_K 测井)	177
a. 单极电测井	178
б. 三极电测井	179
в. 记录技术	183
г. 解释和应用实例	185
д. 横向测井 (БКЗ)	189
8. 井液电阻率测量	193
9. 其他电法	199
a. 充电法	200
б. 激发电位法	205
в. 等位线法	208
г. 感应法	209
д. 频率电磁测深	210
e. 航空电法	211
ж. 无线电波探测法	212
第五章 地热探测法	218
1. 地温测量	221
2. 测量仪器	223
a. 水银惰性温度计和最高温度计	223
б. 压力表式温度计	225
в. 电测温度计	225
3. 大地自然温度场 (根据H.A. 奥吉尔维, 1959)	230
a. 可变温度带	230
б. 稳定温度带	231
4. 地热探测的方法及其能够解决的问题	232

a. 热测井	232
6. 面积测量	238
b. 在坑道掘进时进行观测	241
第六章 核探测法	243
1. 有关放射性和核现象的基本知识	243
2. 岩石和地下水的放射性	245
3. 放射性测量仪器	249
4. 研究天然放射性的方法	252
a. 射气法和电离法	253
6. γ 强度研究法	257
b. γ 测井	262
5. 人工辐照岩石的方法	264
a. 中子 γ 测井	264
6. 中子-中子测井	266
b. γ - γ 测井	267
r. 人工活化测井	267
n. 放射性同位素测井法	267
6. 核探测法总结评述	268
第七章 地球物理方法在水文地质和工程地质勘测中的	
应用	270
1. 基岩产状的填图	270
2. 钻井剖面的研究	278
a. 隔水岩石	278
6. 透水岩石	279
3. 岩石完整性受破坏程度的研究	281
a. 裂隙度的研究	281
6. 浅部喀斯特塌陷的研究	285
b. 深部喀斯特塌陷的研究	287
4. 表层沉积的研究	288
5. 岩石某些工程地质特性的测定	294
a. 弹性的测定	295
6. 湿度和密度的测定	300
6. 物理-地质过程动力学的研究	306

7. 地下水动力学的研究	308
8. 地下水物理性质和化学性质的研究	309
9. 冰川和常年冻土的研究	311
10. 小比例尺工程地质和水文地质勘测中地球物理方法的应用	316
11. 工程地质和水文地质详测中地球物理方法的应用	318
12. 建筑进行期间和建筑物使用期间地球物理方法的应用	320
参考文献	323

緒 論

过去，自然的探索者只能通过直接观察来研究自己的对象。例如，地质工作者开始仅能够在观察岩石地表露头的基础上作出自己的結論。后来，学会了用剝土、井探和鉆探等人工方法来揭露岩石。更晚一些，他們开始在實驗室中分析岩石标本。水文地质工作者也是如此，他們不滿足于对有限的地下水露头所作的观察，开始用人工的方法把它們扩大，然后，学会了取地下水样品来进行研究。

这样的研究方法有着直接观察被研究对象和現象所具备的一切优点，但同时还存在着极为严重的缺点，以致不能适应現代的需求，应用范围愈来愈窄。事实上，这种观察經常是不連續的，即仅观察个别的点。从經濟和技术的观点出发所完成的点数，通常总是少于为足够完整地闡明被研究地段地质特点所需的点数。范围过广的内插和外推造成誤差，还常导致原則錯誤的結論。

因此很自然，地质工作者們愈来愈广泛地使用各种超距离的特殊观察法，以便比直接观察法更快更省地勘查地质对象，因为直接观察經常需要專門的山地工程和鉆探工作。由此，大量加密观测网很自然地变为可能的事，从而提高了解释和外推的可靠程度。此外，借助于許多超距离观察法，能够进行連續的研究，因而消除了漏掉重要的矿床构造特点或地下水分布特点的可能性。这些超距离的方法在本质上基于同样的物理原理，这些原理在人类活动的各个方面，被利用来“观看不可見的”，換句話說，把从前是不透明的东西变成“透明的”。例如，硬的电磁輻射綫被用来透視人体，进行鑄件探伤和完成許多別的工作。雷达技术在第二次世界大战期間得到了飞速的发展。它能发现数百公里以外的飞机、輪船、雨云和鳥群，并根据电子射綫管螢光屏幕上象的移动，

追踪它們在空中的行动。在漆黑的夜晚,利用紅外線——热輻射,可以拍摄大城市的相片,观察城市在一昼夜中的活动特点。这类例子不胜枚举。

当然,地质学不能脱离现代技术发展的总方向而站在一边,因此,很自然地出现了上述各种超距离观察法,从而使埋藏于地下的、被过去健全人們的头脑認為不可見的变成为可見的。

我們在以后把这些新的方法称作地球物理方法,它們的共同特点是不用肉眼观测地质体,而是观测在地质体存在的情况下所反映出的各种不同的物理場。这个标志是研究地壳的地球物理方法与地质方法的根本不同点。

各种地球物理方法都基于利用岩石参数的差异,这种差异能够影响被寻找地质体周围場的分布。例如,磁法探测是研究由磁性岩石的存在而引起的地磁場的畸变;电法探测是研究由較高电阻或較低电阻岩石所引起的电場的畸变等。每种方法通常都只利用岩石的1—2个参数。

地球物理探测所利用的物理場可以分为天然的和人工的。天然物理場是指这样的場,沒有我們的参加它也存在于岩石中,并且与是否进行测量无关。属于这样的場有:大地引力場(重力場);地磁場;产生于地壳层中的准彈性振动場(它由气旋、海浪引起,在較少的情况下也可由地震引起);各种不同成因的电場;地热場;放射性輻射場。

地球物理探测中所应用的人工場有:恒定的和交变的电磁場,它們是由我們人为地在岩石中造成的;由專門的爆炸或冲击所造成的准彈性振动場;由放置在岩石中的热源和放射性源所造成的場。

在把場作这样的划分的情况下,可以把地球物理探测法分为天然場法和人工場法。在六种基本地球物理方法(重力、磁法、地震、电法、地热法和核探测法)中,重力探测和磁法探测是純天然場法,而应用地震测量(地震探测)是普通地球物理的一个分支,与地震学(关于地震的科学)是有区别的,它是純人

工場法。另外三種方法：電法、地熱法和核探測法是混合性的，因為它們既利用人工場，也利用天然場。在圖 1 上列出了各種地球物理探測的方法、它們所應用的物理場以及與這些場有關的岩石的物理性質。

重力探測法是研究由不同密度岩石的產狀引起的重力分布特點。在該法中，以大家所熟知的密度這個特性來表征岩石。作為研究地殼的方法的重力探測的主要用途是查明隱伏構造。它通常只提供一個平面的概念，即確定出構造的位置和外形。在有利的條件下可以估計埋深，但是，若沒有其他方法的資料加以對比，這種估計常常是假定的。在解決水文地質和工程地質的問題方面，直接使用重力探測的機會較少。

磁力探測法通常稱為磁法勘探或磁力測量，它研究的是不同點上的自然地磁場。如果岩石具有不同的磁性，則磁場產生變化（異常），後者就是開啟地下地質構造奧秘的鑰匙。岩石對磁場的作用是用磁化率這個參數來表示的。磁法探測主要用於尋找鐵礦，因為鐵礦的磁化率與圍岩的相差很大。在查明隱伏構造（主要與結晶基底的表面形狀有關）和確定基性岩漿岩發育區方面，磁法探測的作用與重力探測相同。為了勘探大面積難以通行的地區，近年來正在大力推廣航空磁測。在許多情況下，在進行一般性的地質調查和詳細填圖時，若區域內發育有強磁性的岩石，例如基性的和超基性的岩漿岩，則利用磁法是有利的。微磁測量可以用來研究裂隙和第四紀沉積物的生成條件。

地震探測法的內容是研究人工造成的彈性振動，不同岩層的密度和彈性波的傳播速度是不同的，故彈性波的通過特點也不同。此法是一個定量的方法，即用它可以確定彈性不同的岩石之間界面的埋藏深度。在這些界面埋深資料的基礎上，可以作出地質構造圖，其中也包括直接有關的水文地質或工程地質圖件。但是，在這裡應該說明，到最近為止，學者們改進這個方法主要為的是研究較深的層位（數百米或數千米）。由於這個原因，我們暫時還無法獲得標準的儀器和制訂一套工作方法來研究淺部岩石的埋藏

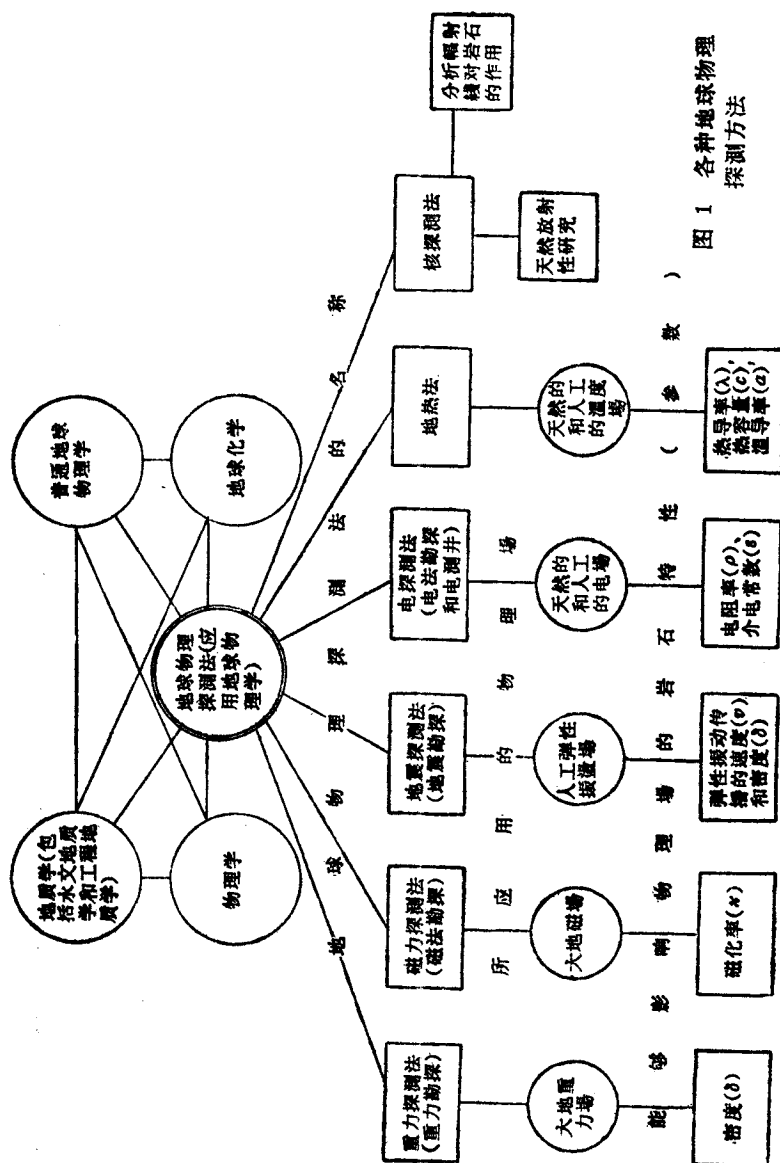


图 1 各种地球物理探测方法

特点，而后者正好是水文地质和工程地质工作者所感兴趣的。此外，苏联生产的仪器通常是装在汽车上的，所以在缺乏稠密的公路网地区利用此法进行勘测是困难的。由于上述因素，再加上地震探测的成本较高，故在苏联的水文地质和工程地质勘测中它应用得比电法探测要少。

在讲到地震探测的时候，不能不提一下地震学（关于地震的科学）。地震探测的发展在很大程度上是以地震学为基础的。地震学除了研究大地内部构造和地震地质分区等之外，还有一部分是与工程地质密切结合的。这里说的是工程地震学，它的任务是研究地震和震动对建筑物的影响。但是，这个范围很广、也很重要的应用地震学的分支并不归入地球物理探测方法之中，故在本书中不再赘述。

电法探测包括两个部分，在地表进行研究的电法探测和研究钻井剖面的电测井。它既利用天然电场，也利用人工电场。该法的变种非常多。到目前为止，所用的主要方法都是基于研究恒定电流或似稳电流在地下的分布（电测深、电剖面法和电阻率法测井），以及研究一定条件下在岩石中产生的天然恒定电流。但是，地电方法的最新发展趋势是着重于更加广泛地应用天然的和人工的交变电流。在这种情况下，研究的是在本质上属于同一个电磁场的电分量和磁分量。

决定恒定电流在岩石中分布的参数是电阻率；而对交变电流来说，则是电阻率和介电常数。地电方法是各种地球物理探测方法中应用最广的一种。几乎在解决一切地质和水文地质问题中，都能应用它得到不同的效果。在水文地质和工程地质勘测中，电法用得比其他任何一种地球物理方法都要多。

地热探测法的基础是研究大地的天然热场，虽然在钻井的研究工作中，有时还记录人工造成的热场在岩石中的分布特点。就热场而论，表征岩石特性的有如下三个参数：热导率、热容量和温导率（Температуропроводность），其中最具有实际意义的是热导率。在岩石圈的上部，地下水对温度场的形成具有很大意义。在地质调

查中,地热法的地位不如其他地球物理方法。但是,对于解决水文地质问题和某些工程地质问题来说,它可能起决定性的作用。

近几年来,正象在其他知识领域内那样,在地质矿产研究中也愈来愈广泛地应用核探测法。该法既研究岩石和地下水的天然放射性,还研究岩石对人工辐射的反应。核物理的飞速发展正在给愈来愈新的探测方法开辟道路。

在许多情况下,可以把地球物理勘探方法分为野外地球物理和钻井研究两类。野外地球物理实际上包括所有的地表方法。用各种地球物理方法对钻井进行研究经常统称为“矿场地球物理”。这个名词的由来是因为上述各种研究首先应用于石油钻井。目前,地球物理方法正愈来愈广泛地用来研究不同用途的勘探钻井和水文地质开发钻井。这样,“矿场地球物理”这个名词就变得极不妥当了。

经常用测井(Каротаж^①)这个名词来表征在钻井中进行的地球物理研究。但是,测井这个名词的更正确的涵义应该是用地球物理方法研究钻井的剖面。可以列举出电测井(最常用)、放射性测井、热测井、地震测井和磁测井。此外,在研究钻井时还要完成一系列其他操作——测定泥浆或水的电阻率(井液电阻率测量)、测定不同深度上钻井的直径变化(井径测量)、确定钻井的斜度(井斜测量)以及钻井的其他形式的技术研究。

地球物理探测方法区分为“野外的”和“钻井的”起源自石油地球物理。这样的区分在水文地质和工程地质勘测中是绝对不容许的,因为在这里,井中的研究和地表面或山地工程中的观测是密切不可分的。这样的区分看来在金属矿床地球物理中也是不合理的。

在苏联和其他国家,利用地球物理方法进行工程地质和水文地质勘测的初步尝试始于本世纪的二十年代末。到三十年代末,

① Каротаж 这个字来源于法文 carotte——胡萝卜。看来,某法国专家曾有过这样的印象,认为置入钻井中的设备类似于这种菜蔬。

在設計水电站和工程建筑物，以及勘测地下水資源等方面，已知有許多工作量很大的勘测工作是用地球物理方法完成的。虽然如此，仅是在这以后十年，地球物理方法才在工程地质和水文地质的勘测实践中扎下了根。在今天，不广泛地使用应用地球物理方法，要技术上很正确地进行这类勘测工作是不可想象的。