



国土资源部重点教材

勘查技术工程学

Kancha Jishu Gongchengxue

主编 李正文 贺振华

地质出版社

国土资源部重点教材

勘 查 技 术 工 程 学

Kancha Jishu Gongcheng Xue

主编 李正文 贺振华

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书分为八部分：绪论；第一篇重力与磁法勘探；第二篇电法勘探；第三篇反射波法地震勘探；第四篇核法勘探；第五篇地球物理测井；第六篇勘查地球化学；第七篇遥感勘查方法技术。本书内容包括了勘查技术工程领域内各种勘查方法的基本原理、工作方法与技术以及数据处理与解释。本书将门类多而复杂的勘查技术方法有机地结合构成一个统一体，形成为一门新的综合性学科，便于读者了解勘查技术工程的全貌，有利于多源信息的综合分析和应用。

图书在版编目 (CIP) 数据

勘查技术工程学/李正文, 贺振华主编. —北京: 地质出版社, 2003.6
ISBN 7-116-03715-2

I. 勘… II. ①李… ②贺… III. 勘探 IV. P62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 049621 号

责任编辑: 陈军中
责任校对: 李 玫
出版发行: 地质出版社
社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083
电 话: (010) 82324508 (邮购部)
网 址: <http://www.gph.com.cn>
电子邮箱: gzs@gph.com.cn
传 真: (010) 82310759
印 刷: 北京市朝阳区小红门印刷厂
开 本: 787mm × 1092mm¹/₁₆
印 张: 32.125
字 数: 750 千字
印 数: 1—2000 册
版 次: 2003 年 6 月北京第一版·第一次印刷
定 价: 32.00 元

ISBN 7-116-03715-2/P·2322

(凡购买地质出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行处负责调换)

前 言

本教材是为高等院校“勘查技术与工程”专业及相关专业编写的通用教材,适用学制为四年,教学时数为 160 学时(实践性教学学时除外),它属国土资源部重点教材。本教材也可作为大学本科生、专科生和从事勘查技术工程工作的广大工程技术人员的参考书。

本教材内涵十分广泛,它覆盖了“应用地球物理”、“应用地球化学”及“遥感方法技术”等内容。我们将门类多而复杂的勘查技术的基本理论和方法与新发展的方法、技术有机地结合构成了一个统一体,形成了一门新的综合性学科。

本教材是以“勘查技术与工程”专业专业委员会所确定的指导性原则和现行教学计划为基础而编写的,并参考了国内外主要教材和文献。在内容上,全面系统地介绍了勘查技术的基础理论及简介现代理论,基本方法和主要的新方法,现代技术手段、技术方法的选择与配置,数据处理与资料解释,以及勘查技术方法的发展趋势。

由于勘查技术工程学分支方法较多,应用领域较广,并且目前仍处在不断扩大中。因此,必须向学生讲授并让其掌握较多的内容。为了提高教学效果,教材中选用了较多的插图,教师在选用本教材进行授课时,均宜预先制作多媒体,以免多占用授课时间。

本教材分为绪论和七篇,共二十章。绪论由贺振华编写;第一篇(共三章)由陈佩良和李才明编写;第二篇(共四章)由邓一谦、李正文、王绪本编写;第三篇(共三章)由李录明和李正文编写;第四篇(共二章)由邓一谦编写;第五篇(共三章)由肖慈珣编写;第六篇(共三章)由倪师军编写;第七篇(共二章)由杨武年编写。全书由李正文和贺振华主编。

编写教材的过程中,一直得到了国土资源部人教司等各级领导的支持、关心和帮助,特别感谢薛平同志;此外,还得到了成都理工大学教务处的支持和帮助,谨向他们致以真诚的感谢。

本教材已经过试用,正式出版时对原教材内容进行了修改。由于我们是第一次编写新的综合性学科教材,图书内容、结构、图件和文字表述等方面难免有不当之处,恳请专家和读者批评指正。

编 者

2002 年 8 月

目 录

前 言

绪 论

0.1 勘查技术的内容与特点	1
0.2 勘查技术工程学的分支学科	1
0.3 勘查技术方法的历史、现状及发展趋势	4
0.4 勘查技术工程学的内容结构特征	8

第一篇 重力与磁法勘探

1 重力与磁法勘探的基本原理	9
1.1 地球重力场和地球磁场	9
1.2 岩(矿)石的密度和磁性	28
2 重力与磁法勘探工作方法与技术	34
2.1 重、磁测量的技术设计	34
2.2 野外施工	36
2.3 岩(矿)石物性参数的研究方法	37
3 重、磁测量的数据处理与解释方法技术	38
3.1 野外观测数据的整理	38
3.2 重、磁异常的计算	38
3.3 重、磁异常图示	42
3.4 重、磁异常的质量评价	43
3.5 重、磁异常的正演方法	44
3.6 重、磁异常的反演方法	55
3.7 重、磁资料解释方法与技术	59

第二篇 电 法 勘 探

4 电阻率法的基本原理与方法	63
4.1 电阻率法基础	63
4.2 电阻率剖面法	79
4.3 电阻率测深法	92
5 自然电场法的基本原理与方法技术	104
5.1 岩石和矿石的自然极化	104
5.2 自然极化球体的电场	105

5.3 自然电场法的工作方法与技术	108
6 激发极化法的基本原理与方法技术	110
6.1 岩石和矿石的激发极化性质	110
6.2 激发极化场的计算	119
6.3 时间域激发极化法	127
6.4 频率域激发极化法	135
7 电磁感应法的基本原理与方法技术	139
7.1 电磁感应法基础	139
7.2 电磁剖面法	151
7.3 大地电磁测深法	161

第三篇 反射波法地震勘探

8 反射波法地震勘探的基本原理	176
8.1 地震地质模型基本分类	177
8.2 均匀、各向同性、理想弹性介质中的三维波动方程	178
8.3 无限大均匀各向同性介质中弹性波场及特征	180
8.4 地震波的反射、透射和折射	191
8.5 多层介质中弹性波场及特征	199
8.6 几何地震学原理	204
8.7 地震波速度及地震地质条件	219
9 地震勘探工作方法与技术	225
9.1 地震测线的布置和观测系统	225
9.2 激发地震波	230
9.3 地震干扰波及特征	233
9.4 组合检波	236
9.5 共反射点多次叠加技术	240
9.6 地震勘探野外工作技术	242
10 地震资料处理与解释方法技术	246
10.1 地震资料处理流程	246
10.2 校正和叠加处理方法	246
10.3 振幅处理及提高信噪比、分辨率的处理方法	253
10.4 反射地震资料的偏移处理方法	263
10.5 地震速度参数提取方法	269
10.6 地震资料解释方法与技术	275

第四篇 核法勘探

11 核法勘探的理论基础	303
11.1 原子核	303
11.2 放射性衰变	304

11.3	天然放射性系列及不成系列的放射性核素	310
11.4	放射性核素的衰变与积累规律	311
11.5	天然放射性核素的射线能谱	315
11.6	射线与物质的相互作用	317
11.7	原子核反应	321
11.8	核辐射测量的单位及标准源	322
11.9	自然界中放射性核素的分布	325
12	核法勘探工作方法与技术	327
12.1	γ 测量方法	327
12.2	α 测量方法	337
12.3	人工核辐射测量方法	345

第五篇 地球物理测井

13	地球物理测井方法的基本原理	353
13.1	地球物理测井概述	353
13.2	基于岩石导电性和电化性质的测井方法原理	355
13.3	基于岩石弹性性质的测井方法原理	368
13.4	基于岩石核物理性质的测井方法原理	373
13.5	核磁测井	380
13.6	基于成像技术的成像测井方法原理	382
13.7	重力测井方法的基本原理	385
14	地球物理测井的工作方法与技术	387
14.1	测井方法的选择	387
14.2	测井质量控制	388
14.3	测井设备	389
15	测井数据处理与解释方法技术	392
15.1	测井数据处理过程概述	392
15.2	测井数据编辑	392
15.3	测井资料预处理	394
15.4	测井数据分析技术	396
15.5	测井分析程序处理方法	398
15.6	测井资料解释方法与技术	413

第六篇 勘查地球化学

16	勘查地球化学的基本原理	420
16.1	地壳中元素丰度	420
16.2	元素地球化学分类	422
16.3	地表或近地表环境下元素地球化学行为	424
16.4	地球化学背景和异常	428

16.5 地球化学晕和地球化学指示元素	431
17 勘查地球化学的工作方法与技术	433
17.1 岩石地球化学勘查方法与技术	433
17.2 土壤地球化学勘查方法与技术	439
17.3 水系沉积物地球化学勘查方法与技术	441
17.4 水文地球化学勘查方法与技术	443
17.5 生物地球化学勘查方法	449
17.6 气体地球化学勘查方法	454
17.7 同位素地球化学勘查方法	462
18 勘查地球化学数据处理与解释方法技术	466
18.1 勘查地球化学数据获取	466
18.2 勘查地球化学数据处理	470
18.3 勘查地球化学资料解释	481

第七篇 遥感勘查方法技术

19 遥感技术和遥感图像	485
19.1 遥感技术的概念和遥感基本原理	485
19.2 遥感技术系统及其特点	486
19.3 遥感图像	488
20 遥感图像处理分析与3S技术	493
20.1 遥感图像分析与信息提取	493
20.2 RS、GIS 和 GPS 集成——3S 技术系统	498
主要参考文献	504

绪 论

0.1 勘查技术的内容与特点

勘查技术工程学是按我国高等院校“勘查技术与工程”本科专业的要求而设置的一门主要专业课程。由于勘查技术与工程专业本身是近年来在我国高等院校学科专业调整、合并的基础上组建的一个跨学科新专业,因此勘查技术工程学是一门新课程。勘查技术作为一个术语,至今尚无一个严格的、公认的定义。在本教材中,编者按照我国“勘查技术与工程”本科专业专业委员会所确定的指导性原则和人们通常的认识与做法,把**勘查技术工程学**(Prospecting Technology and Engineering)界定为:利用应用地球物理、应用地球化学、钻掘工程和遥感、遥测等技术方法探测地球物质的组成、性态、结构及变化规律,为地质调查、矿产资源勘查、岩土工程、地质环境保护与地质灾害防治、考古与遗迹保护、军事及刑侦工程等多种目的服务的应用科学技术。上述定义指明了勘查技术工程学的基本研究对象,主要研究内容与分支学科,基本任务与应用范围等要点。勘查技术的基本特点在于它的工程活动集中在地表开展,但它的主要研究对象在地下,是由表及内探测地下奥秘的应用科学。

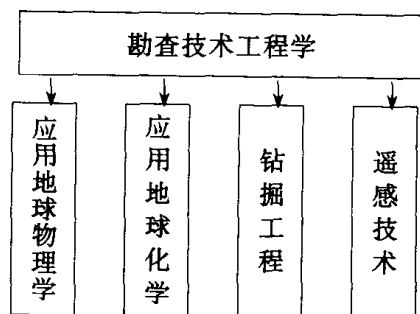


图 0-1 勘查技术工程学的主要分支学科

图 0-1 指出了勘查技术工程学所涵盖的主要分支学科。

0.2 勘查技术工程学的分支学科

应用地球物理学可视为地球物理学(Geophysics)的一个分支学科,是利用物理学的理论和方法研究地球的科学。地球物理学通常分为理论地球物理学(Pure Geophysics)和应用地球物理学(Applied Geophysics)两个分支学科,前者主要研究地球运动的动力学机制和各种地球物理现象产生的原因,如地球磁场,地球重力场,天然地震等产生的原因,基础性强,并侧重于从全局上研究地球以及地球和其他星球的相互作用与影响。就对地球的研究而言,地壳、地幔、地核和地球大气层都是它的研究对象。后者则着重各种地球物理场对地质勘查的应用,注重经济效益,且研究范围多局限在地壳或地壳的近地表部分(包括水圈和生物圈)。虽然研究范围比较小,但却十分重要,因为人类的生产和生活活动直接与地球的这一部分有关。当然,理论地球物理和应用地球物理并不是截然分开的,它们相互存在着联系与交叉,理论地球物理学必定是勘查技术工程学的相关性基础学科之一。根据应用地球物理学上的

述特点与联系,我们可以把应用地球物理学定义为:通过对地球物理场(属性)的观测和解释,确定地下物质的性质、状态和结构,为资源、能源勘查、岩土工程 and 环境保护等经济和社会发展目标服务的科学技术。

被观测的地下介质的物理属性有介质的密度、磁性、电性、弹性、放射法和温度等参数。根据所研究和利用的物理属性参数的不同,应用地球物理学形成了众多的学科分支,常用的有重力勘探、磁法勘探、电法勘探、地震勘探、核法(或放射性法)勘探、地热测量等等。根据应用范围的不同又划分有矿产地球物理、石油地球物理、工程地球物理、水文地球物理、环境地球物理、城市地球物理和海洋地球物理等学科分支。人们还按测量位置的不同把应用地球物理又分为地面地球物理、航空地球物理和井下地球物理等。应用地球物理的学科分支及应用范围详见图 0-2。每一种地球物理勘探方法都有自身的特色和适用范围,在应用时要依照勘查目标和条件选择不同的地球物理方法或不同方法的组合。表 0-1 列举了一些地球物理方法的主要应用范围。

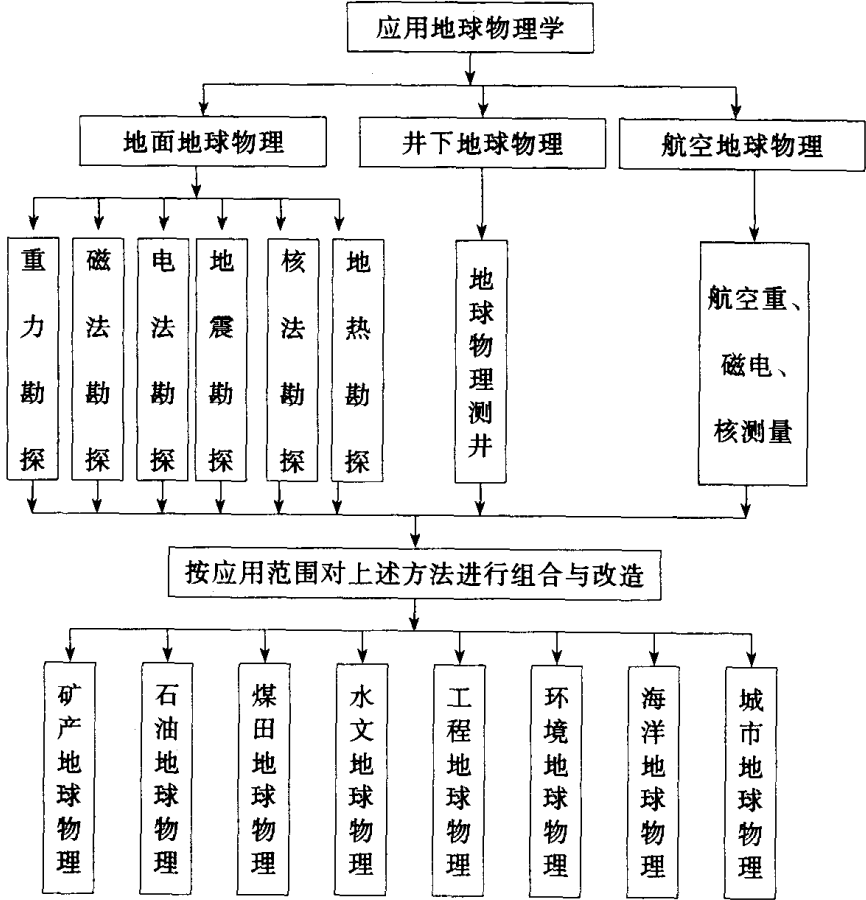


图 0-2 应用地球物理学以及学科分支

应用地球化学是利用组成地球物质的化学性质、化学元素的分布、共生组合及其变化规律来研究和探测地下奥秘,为自然资源勘探、生态环境保护、工程建设和基础地质研究等服务的应用科学和技术。应用地球化学又称勘查地球化学 (Exploration Geochemistry, Geochemical Prospecting),按勘查方法分类有岩石地球化学勘查、土壤地球化学勘查、水地球化学勘查、气体地球化学勘查、生物地球化学勘查等学科分支。按应用领域可分为固体矿产地球化学勘查,水资源地球化学勘查,煤、石油和天然气地球化学勘查,工程地球化学勘查,农业地球化学勘查和环境地球化学勘查等等。应用地球化学及其学科分支请参看图 0-3。

表 0-1 地球物理方法的主要应用范围

地球物理方法	物理属性	应用领域(用数字代码表示)及可行性(用符号表示)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
重力	密度	P	P	S	S	S	S	N	N	S	N
磁法	磁化系数	P	P	P	S	N	C	N	P	P	N
地震折射法	弹性模量,密度	P	P	C	P	S	S	N	N	N	N
地震反射法	弹性模量,密度	P	P	C	S	S	C	N	N	N	N
电阻率法	电阻率	C	C	P	P	P	P	P	S	P	C
自然电位法	电位差	N	N	P	C	P	C	C	C	N	N
激发极化法	电阻率,电容量	C	C	P	C	S	C	C	C	C	C
电磁法(EM)	电导与电感	S	P	P	P	P	P	P	P	P	C
甚低频电磁法	电导与电感	C	C	P	C	S	S	S	C	C	N
电磁探地雷达	介电常数电导率	N	N	C	P	P	P	S	P	P	P
大地电磁法	电阻率	S	P	P	C	C	N	N	N	N	N

表中 P 为主要方法, S 为较重要方法, C 为参考方法, N 为不适用的方法。1 为碳氢化合物勘探(煤、天然气、石油); 2 为区域地质研究(超过 100 km² 的面积); 3 为矿产勘探与开发; 4 为工程现场调查; 5 为水文地质调查; 6 为地下洞穴探测; 7 为淋滤污染羽状区带填图; 8 为埋于地下的金属物体的发现与定位; 9 为地球物理考古; 10 为刑侦地球物理。

(引自 J. M. Reynolds, 1997, 并略作修改)

钻掘工程通过钻探和槽探直接获取地下信息和开发地下资源。它是勘查技术工程的重要分支学科。水井、矿井、油气井、工程探井、科学考察钻井、坑探与槽探等等, 都是钻掘工程的主要方法和应用范围。同时它还还为地球物理和地球化学勘探提供便利条件, 可形成更精确、直接的井下地球物理和地球化学勘查方法。由于钻掘工程除了勘查的功能外, 在生产和开发中还担负着更重要的任务, 并涉及相当多的机电工程、工艺和材料学等问题, 因此本教材未包括这一学科的内容。但从人们的习惯而言, 钻掘工程应纳入勘查技术工程的范畴。

遥感技术是利用离地面一定高度的飞行器上的传感器和观测设备对地球表面进行观测并对结果进行解释和应用的新兴科学技术。早期利用航空摄影, 从航空照片上分析判别地表出露的岩层、构造及其他地物目标。直至今日, 这种方法仍在适宜的地区有效地使用。自上世纪 60 年代以来, 人造地球卫星逐渐成为遥感观测的主要工作平台, 特别是地球资源卫星的发射使遥感技术得到了更快的发展和更广泛的应

用。我国也成为能够发射地球资源卫星的少数国家之一。卫星携带的遥感设备有时采用对重力场、磁场、电场及其他物理场敏感的传感器, 比较常用的是接收自地球表面辐射的电磁场。电磁遥感可分为被动法(Passive)和主动法(Active)两种, 被动法较普遍。被动法所观测的电磁能量由太阳发射到地球, 经地球反射到空中再被卫星上的传感器接收。被动法所用

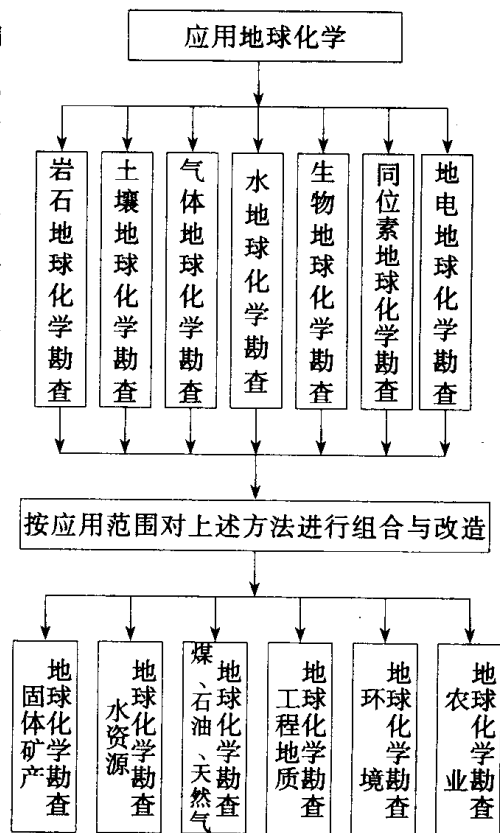


图 0-3 应用地球化学及其学科分支

的电磁波最有意义的频带位于可见光谱和红外光谱范围,其波长为 $0.3\ \mu\text{m}$ 至 $3\ \text{cm}$ 。

除遥感技术外,在其他勘查技术方法中也可分为被动法和主动法。例如在应用地球物理方法中,凡采用人工场源的勘查方法均为主动法,如地震勘探、直流电法、激发极化、人工放射法、探地雷达等等,被动法(或称无源法)有重力场、磁场法、自然电位法、无源地震法、天然放射性方法等等,被动法利用的是自然场源。从经济、效率和效果考虑,两种方法各有优缺点,应根据实际情况确定。

0.3 勘查技术方法的历史、现状及发展趋势

0.3.1 古代的勘查技术

人类的生存与发展从一开始就和岩石、土壤、矿产、盐和水等自然资源的开发和利用息息相关。人类历史上的旧石器时代、新石器(包括粘土烧制的陶器的使用)时代、铜器时代、铁器时代的划分就是按照人类对矿产品的开发利用水平(生产力发展的标志)确定的。在各种矿产资源的开发利用过程中,勘查技术与工程也就逐渐形成了。

我国是一个有五千多年悠久历史和文化的文明古国,勘查技术的发展具有很长的历史。公元前 180 年成书的《管子·地数篇》明确记载着:“山有赭者,其下有铁;上有铅者,其下有银;上有丹砂者,其下有金;上有慈石者,其下有铜金,此山之见荣者也。”它不仅揭示了矿床学上金、汞共生,铁、铜、金共生,铅、银共生的事实与规律,而且还为现代地球化学勘查采用指示矿物(指示元素)找矿提供了启蒙思想。我国西晋时期张华所著《博物志》中,有“积艾草三年后,烧,津液下流成铅锡,已有试验”的记述,实际上就是现代生物地球化学找矿的原始思路与方法(朱训《地质科学与地矿事业》,1997)。

至于找地下水和取盐的钻掘技术则发展更早,成就更加辉煌。早在我国夏代就有“伯益作井”之说。到了北宋,为从地下采卤制盐,四川遂宁卓筒井的打井深度已达 $3000\ \text{m}$,发展出了一整套钻井工程、工艺及相关技术,并在自贡、遂宁,五通桥等地广为使用,世代相袭,至今仍保留着几十口这样的井。该项采盐钻井技术,被誉为“现代石油钻井之父”,“中国古代第五大发明”(《中国矿业》·四川卷,1998)。

我国的战国时期已能利用天然磁铁磨制指南针,并产生了我国古代的四大发明之一的罗盘。这是人类对岩石磁性和地球磁场的早期认识和具体应用。后来英国伊丽莎白女王一世的医生(威廉·吉尔伯特)通过对罗盘指向北方的进一步研究,得出了地球本身是一个巨大而又非规则的磁体的结论。这一结论在某种程度上又启发了牛顿思考树上的苹果为什么要落地?他认为,一定是物体与物体之间有引力,最后产生了他著名的重力理论(A. E. Mussett 等,2000)。地球磁场和重力场理论的建立,奠定了现代地球物理重、磁勘探的基础。我国东汉时期著名学者张衡在公元 132 年发明了地震仪——候风地动仪,这是我国学者对地震、地震灾害的认识和地震观测技术发展的杰出贡献。图 0-4 是候风地动仪的外形和利用惯性原理使其中的倒立摆向着地震波传播方向摆动引发该方向龙嘴的小球吐出的原理图。

0.3.2 近代勘查技术

近代勘查技术是从 19 世纪末到 20 世纪初开始发展起来的。1888 年,匈牙利学者 Baron

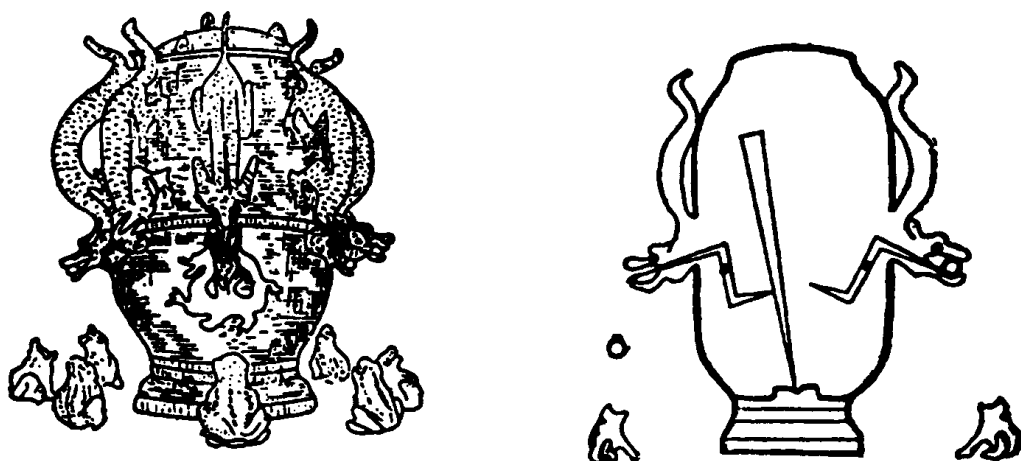


图 0-4 候风地动仪及原理图

Roland Von Eötvös 发明了扭秤(torsion balance);1900 年在欧洲开始用扭秤进行地质构造图的绘制;1922 年在美国得克萨斯州发现了盐丘构造的重力异常,并于 1926 年首次用地球物理扭秤法发现了盐丘构造中的石油。

地震勘探方法是从地震波的理论研究、天然地震研究和声波等研究中发展起来的。1905 年,L. P. Garret 建议用地震折射波法寻找盐丘构造。1912 年发生了英国的泰坦尼克号轮船在大西洋与水下冰山相撞沉没的惨痛事件之后,R. A. Fessenden 立即着手水下冰山的探测研究,于是产生了水下声波探测法,并获得了美国专利。该专利于 1917 年发布,是世界上用地震波进行勘探的首项专利。更有实际应用价值的地震勘探方法是德国学者 Mintrop 提出的,他于 1914 年发明了机械地震仪,以该仪器为基础,他在 1919 年申报了德国专利,名为“确定岩石构造的方法”。该专利于 1926 年发布,阐述了机械波可用人工爆炸产生震源,用地震仪器接收,通过分析各种地震波在地下传播的深度,走时和距离能够确定地层的厚度、密度以及地层构造的走向和倾角等等(R. E. 谢里夫,1995),这几乎涉及到了现代地震勘探所有的重要内容。

1879 年,R. 萨伦教授出版了他的著作《用磁法找铁矿》,随后在瑞典成功制造了萨伦-堤伯格磁力仪和汤姆森-萨伦磁力仪,并形成了确定地下磁性岩脉埋藏深度、走向和倾角的实用方法(W. M. Telford 等,1990)。

电法勘探亦有较长的发展历史,1815 年,R. 福克斯发现某些矿物具有自极化特性,并预言可利用这一效应寻找某些矿产。过了约 100 年相应的仪器才制造出来,1913 年,C. 施伦伯格采用这种仪器发现了硫化物矿床,此后他还发明了有实际勘探价值的电阻率法和等位线法(M. B. 多布林,1976)。

在研究地壳物质的物理性质和结构的同时,人们对其化学成分亦十分重视,并对元素和元素的丰度进行了长期的研究。1889 年,美国学者 F. W. 克拉克发表了《化学元素相对丰度》的著名论文,开创了现代地球化学研究的先河,目前人们通常把地壳中元素的丰度称为克拉克值。

0.3.3 现代勘查技术及发展趋势

现代勘探技术方法的形成与发展,在西方是从第二次世界大战后,在我国则是从 1949 年中华人民共和国成立之后开始的。

按勘查技术的进步和应用领域的变化可将现代勘查技术的发展以上世纪 80 年代为界分为两个时期:第一个时期在 20 世纪 40~80 年代是勘查技术快速发展和成熟的时期,应用领域以矿产勘查为中心。第二个时期从 20 世纪 80 年代到现在是应用领域不断变化和扩大的时期。

在以找矿为中心的第一个时期,勘查技术主要分为油气勘查技术和固体矿产勘查技术两种。

油气勘查技术的典型代表是地震勘探和井下地球物理,通过它们的发展可了解整个油气勘查技术的发展进程和概貌,地震勘探的发展经历了如下三个阶段。

第一阶段(上世纪 40~50 年代),地震仪器采用电子管元件,以光学照相的方式获取以专用相纸为介质的地震记录,用人工进行资料的整理、处理和解释,很多的大油田,包括我国大庆油田的发现,最初都是用这种仪器和技术方法发现的。这类设备的主要缺点是笨重,机动性差,资料不能重新处理,记录动态范围小(20 dB,只能识别 10 倍大小的振幅差别),资料处理效率低。

第二阶段(上世纪 50~70 年代),地震仪器采用晶体管器件,以磁头录制的方式获取用磁带作介质的地震记录。这种记录可以反复回放处理,在处理中可使用模拟电子计算机处理,也可通过模数(A/D)转换后用数字计算机处理,记录的动态范围提高了 1 个数量级(40 dB,可识别相差 100 倍大小的信号)。磁带仪器的出现,使至今仍在有效使用的反射地震多次覆盖水平叠加技术得以应用与发展,大大提高了地震勘探的能力与效果。

第三阶段(上世纪 70~80 年代),以数字磁带记录、数字电子计算机处理,超多道(千道以上)、高覆盖观测,大动态范围(100 dB 以上,可识别强弱相差 10 万倍以上的信号)为特点。这推动了数字处理技术的迅速发展。世界各先进国家用于地震资料处理的电子计算机的运算速度之快,性能之优越,存储量之大与军事、气象部门是并驾齐驱的,或者说有过之而无不及。

除地震勘探之外,为油气勘查服务的其他技术方法也有快速的发展,重力测量已不再使用笨重的扭秤,代之而来的是精度高、轻便的重力仪。它在水下、井下和空中(航空重力)测量。地面重力测量精度可达微伽级,这样的高精度测量在其他方面亦很有用处,例如 20 世纪 70 年代初美国阿波罗-17 登月飞船到达月球时所使用的月球-4 号重力仪与勘查工作中所用的高精度重力仪出自同一公司的同一设计者(LaCoste),其精度就是微伽级的。实验目的是想把月球作为参照质量,在地球和月球上同时进行重力测量以证实爱因斯坦关于存在重力波的预言。可惜因为一些小的设计错误,这项实验未能成功,重力仪的精度和高分辨率是十分肯定的。

这一时期的油气钻井技术工艺也发展很快,出现了深度 7000 m 以上的超深井、斜井、水平井和同一井位多方向钻进的丛式井,以及把钻头作为震源的随钻地震技术等等。

在固体矿产勘查和其他方面的应用中,勘查仪器设备和方法向着轻便化、数字化、高精度和高效率的方向发展。20 世纪 50~60 年代先后出现了航空核子磁力仪和更高精度的光

泵型铯、铷蒸气磁力仪。航空磁测速度快、效率高,便于大面积测量,容易从事地面难以进入地区:沙漠、高山、极地和海洋等的勘查工作,对铁矿的勘查和含油气盆地基底的描绘发挥了重要作用。这一时期与航空磁测相媲美的还出现了遥感、航空摄影、卫星定位、航空电磁法、航空 γ 、航空重力等空中勘查方法和地面与井下的各种放射性、地球化学、电法、探地雷达等新方法、新技术和新仪器,整体上提高了矿产勘查技术水平,全面增强了勘查功能,扩大了找矿效果。

从20世纪80年代起到现在是现代勘查技术工程发展的第二个时期,这个时期的方法和技术,在一定程度上也代表着勘查技术的发展趋势。其显著特点是在勘查技术继续发展的同时,其活动领域从找矿为中心扩大到既继续为资源、能源的勘查服务,又为生态环境建设、城镇建设和大型工程建设服务。活动领域的转变是由以下因素决定的。

首先,人们逐步意识到环境保护的重要性,人类在开发利用大自然,享受用高科技创造的现代物质文明的同时,给大自然和生态环境带来了严重的破坏。环境问题引起世界各国重视,环境地球物理和环境地球化学等新的勘查技术工程的学科分支逐步调整自己的位置与方向。

第二,大型工程的建设速度和规模不断扩大,这包括公路、铁路、地铁、机场、矿山、管道、水坝、大厦、核电站、码头的建设等等,这些设施的质量和安全性及其相应的环境保护,成为人们空前关注的问题。因此,工程地球物理这个较老的学科也受到了特别的重视,环境工程地球化学新学科在20世纪90年代也开始出现。

环境工程地球化学是利用地球化学作用改善环境的科学技术,主要任务有防止污染,改善岩石和土壤的物理、化学性质,改善水的质量。

第三,城镇化进程加快,城市人口不断增加,为城镇建设服务的城市地球物理、地理信息系统(GIS)、遥感(RS)和寻找地下水的水资源勘查技术的市场需求迅速扩大。

由应用领域不同而出现的上述新的勘查技术方法仍由图0-2和图0-3的中部所示的那些方法组合而成,各种方法的适用范围仍应参考表0-1。该表主要是根据技术方法的性能确定的,实际应用中还应注意利用性能价格比来选择适当的方法,比值高的应当优先选择。各种方法在做同一工作的经济成本是有差别的。

20世纪80年代以来,随着信息技术的进步和社会需求的变化,勘查技术有以下的主要发展趋势。

充分利用和发挥信息、网络和计算机的作用,使勘查技术在数据的采集、传输、存储、处理、解释和显示等方面更加现代化。巨型并行计算机、海量存储器、网络数据的高速传输与通讯,各种解释工作站和三维可视化显示将普遍使用。

勘查技术工程将按照研究对象的复杂性,继续提高自身解决复杂问题的能力。地球是一个复杂的巨大系统,目前只能用理想的、简单的数学物理模型去描述它,以这种理想化的模型为基础结合勘查技术工作者在地表或上空观测的有限数据去反演或解释地球内部是不精确的。它只能部分地解决某些简单的问题,如何将一个复杂的、真实的地球内部展示在人们的面前,将是一项困难和长期的任务。

增强勘查技术的功能,调整投入结构。前面已经指出了勘查技术某些新的应用领域,如何在这些领域中取得实质性进展则是人们应着重思考的另一个问题。水资源的勘查就是一个紧迫的问题。世界各国对地下水勘查的投入(1991年)只占勘查总投入的0.1%(R. E.

Sheriff, 1995)。改变类似这样不合理的经费投入结构,可促进相应方向技术的发展。

0.4 勘查技术工程学的内容结构特征

0.4.1 基本内容结构

本书由八个主要部分组成:绪论,重力与磁法勘探,电法勘探,反射波法地震勘探,核法勘探,地球物理测井,勘查地球化学与遥感勘查方法技术。绪论部分概要地介绍了勘查技术工程学的学科特点与它的学科分支结构,各分支学科的研究内容、研究对象和应用范围,介绍了勘查技术的历史、现状和今后的发展趋势,给读者建立勘查技术工程的总体面貌,增进读者对勘查技术工作全面、正确的理解。在七篇共二十章中,分别介绍了各种勘查方法的基本原理、工作方法与技术、数据处理与资料解释。勘查方法的基本理论十分重要,必须首先要学习和掌握它。勘查工作工作方法与技术是直接关系到数据采集的质量和勘查工作的效果和效益。数据处理和资料解释关系到勘查技术工作者提供最终成果的质量与应用效果,是对勘探学家理论与实际相结合能力和多源信息(资料)综合分析与应用能力的全面检验。

由于绪论中所述的原因和篇幅的限制,本书中未列入钻掘工程和地热测量方面的内容。

0.4.2 主要特点

勘查技术工程学的内容十分广泛,其中的每一分支学科在以前都是独立成书的,对应的生产部门和教学科研机构,也是单独存在的。把它们综合在一起成为一门课程,这在国际和国内目前均无先例。这一方面为本书的编写提供了机遇,另一方面又成为本教材编写的最大难点:既不能面面俱到,又不能没有重点。为此,我们编写本书时保持了内容的相对完整性,又突出重点,使学习者感到方便。重点突出是指突出基本理论、基本方法和基本概念的讲述,对处于试验研究阶段的新技术、新方法和勘查技术的应用实例等则较少介绍,这些内容留给有兴趣的读者自己去学习和掌握,或在实习和实验等实践环节中加以弥补。

为方便学习,采取将各主要勘查技术分支独立分章节介绍,这样利于相互参照,但并不相互依存,便于仅对某些方法和应用领域有兴趣的专业读者进行选择。为保持结构的完整性,主要勘查技术方法与应用均有阐述。把一般需要数本甚至 10 多本书的内容融合在一本书之中,在一定程度上有“以一当十”的功能。读者可了解勘查技术工程的全貌,有利于多源信息的综合分析和解释。

第一篇 重力与磁法勘探

1 重力与磁法勘探的基本原理

重力勘探(简称重力法)、磁法勘探(简称磁法)是地球物理勘探(简称物探)方法中的两个重要方法。

重力勘探是以探测对象与其周围岩(矿)石之间的密度差异为基础,通过观测和研究重力场的变化规律,查明地质构造、寻找矿产(藏)及探测物的一种物探方法。它主要用于探查含油气远景区中的地质构造、盐丘及圈定煤田盆地;研究区域地质构造和深部地质构造;与其他物探方法配合,寻找金属矿产;工程建设中研究浮土下基岩起伏及有无空洞等。

磁法勘探是以探测对象与其周围岩(矿)石之间的磁性差异为基础,通过观测和研究天然地磁场及人工磁场的变化规律,查明地质构造、寻找矿产(藏)及探测物的一种物探方法。它主要用于各种比例尺的地质填图;勘查油气构造及煤田盆地;预测成矿远景区;研究区域地质构造;寻找铁矿及含磁性矿物的金属矿及非金属矿;为打捞沉车、沉船定位;确定古人类遗迹等。

几十年来,随着人类对各种金属、非金属矿产需要量的不断增加和对油气藏资源需要量的急剧增长,磁法、重力法等地球物理勘探方法得到了巨大的发展。尤其近二十年来,电子学、材料科学及测试技术等现代科学技术的发展,使重力仪、磁力仪的测量精度大大提高;电子计算机的广泛使用,使重、磁观测数据的计算整理、转换及推断解释均发生了深刻的变化;计算数学、计算技术的发展,也使得重、磁资料的解释理论不断地发展和完善。

1.1 地球重力场和地球磁场

地球是一个旋转着的巨大质体,同时也是一个大磁体,在其内部、表面和外部空间既存在着重力场,也存在着磁场,通常称之为重力场和地磁场。

重力场和地磁场是两种不同性质的地球物理场,但二者基本上均是天然稳定场。正常情况下,它们都具有一定的空间分布规律,称为正常重力场和正常地磁场。正常重力场、正常地磁场的分布,在地球上的不同区域,由于各种因素的影响常常会遭到破坏而出现偏差,这种差异被称为重力异常和磁异常。重、磁勘探的核心问题,就是分析、研究重、磁异常,解释其产生的地质因素。