

高等院校地学研究生教学用书

环境与工程地球物理

*Environmental and
Engineering Geophysics*

● 杨 进 编著

地 质 出 版 社

中国地质大学(北京)研究生教材基金资助(2010001)

环境与工程地球物理

Environmental and Engineering Geophysics

杨 进 编著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书为环境与工程地球物理专业的研究生教材。全书分四篇十三章。基础篇介绍了环境与工程地球物理的概念、特征、面临的环境与工程问题及岩矿石的物理性质；方法篇讲述了电磁类、地震类、重磁类、放射性类勘探方法及测井等；仪器软件篇中展示了目前常用的勘探仪器和资料处理解释的专业软件；应用篇阐述了介质污染监测、基础工程质量检测、地质灾害预警、地下管线探测、隧道超前预报及考古研究等应用领域的应用现状、检测方法技术及实际应用效果。

本书可供地球物理学、环境与工程地球物理、地球探测与信息技术、勘查技术与工程、地质工程、环境工程等专业的研究生学习，也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

环境与工程地球物理 / 杨进编著. —北京：地质出版社，2011.8

ISBN 978 - 7 - 116 - 07288 - 6

I. ①环… II. ①杨… III. ①环境物理学：地球物理学—研究生—教材②地球物理勘探—研究生—教材 IV. ①X14②P631

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 149798 号

HUANJING YU GONGCHENG DIQIU WULI

责任编辑：王春庆

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)；(010) 82324514 (编辑室)

网 址：<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱：zbs@gph.com.cn

传 真：(010) 82324340

印 刷：北京天成印务有限责任公司

开 本：787mm×960mm 1/6

印 张：27

字 数：500 千字

版 次：2011 年 8 月北京第 1 版

印 次：2011 年 8 月北京第 1 次印刷

定 价：45.00 元

书 号：ISBN 978 - 7 - 116 - 07288 - 6

(如对本书有建议或意见，敬请致电本社；如本书有印装问题，本社负责调换)

前 言

随着社会的发展、科技的进步,我国在资源开发、能源利用、土地规划、城市建设、设施改造、环境保护、国家安全等方面发展突飞猛进,国民经济建设蒸蒸日上,人民的生活水平得到大幅度的提高。然而在国民经济建设发展的同时,不同程度地引发了地质灾害、资源浪费、环境污染、工程劣质等环境与工程问题,给人民生活的环境、质量和安全带来恶劣的影响和严重的危害。在解决环境与工程问题的过程中,逐渐形成了环境与工程地球物理学科。近年来,就环境与工程地球物理而言,成立了专委会、召开了国际会、建设了学科组、设置了硕士点、增添了博士点、招收了研究生、开设了专业课,发展势头如火如荼。为了迎合学科的飞速发展、满足本专业研究生的教学和实践,笔者特撰写此书。

本书是根据环境与工程地球物理专业硕士研究生的教学大纲编写的,主要内容为地球物理学,同时涉及部分地质学、地质工程学、环境学及计算机应用技术等。在编排上的总体思路流程是:问题的提出→解决问题的物理基础→环境与工程地球物理方法→信号采集仪器→野外工作技术→软件资料处理→地质解释结论→工程处理技术→解决问题的方案。内容编制中不仅考虑了环境与工程中的问题和检测方法,而且还考虑了测量仪器和处理解释软件,同时也兼顾了解决问题的具体处理技术。内容撰写力求系统、完整、全面、适用,尽可能地精炼简洁、拓展宽泛。

本书分基础篇、方法篇、仪器软件篇和应用篇。基础篇介绍了:①研究内容、应用现状、发展趋势;②大气污染、水资源污染、油气污染、固体废弃物污染的环境问题和工程地质灾害、工程质量评

价等工程问题；③岩矿石的密度、弹性、磁性、电性、放射性等物理性质。方法篇讲述了电阻率法、激发极化法、大地电磁测深法、可控源音频大地电磁法、瞬变电磁法、甚低频电磁法、探地雷达法、震电法、地震反射波法、地震折射波法、瑞利波法、声波检测法、常时微动法、重力法、磁法、放射性、地热、地球物理测井法等。仪器和软件篇简介了电（磁）法勘探、重磁勘探、地震勘探及测井勘探中常用的测量仪器和相应的数据处理解释软件系统。应用篇阐述了：①水、油、固体废料和放射性等污染的监测方法与处置技术；②桩基动态检测法、道路质量的无损检测、地基勘察和建筑物质量检测；③滑坡、泥石流、岩溶塌陷、地裂缝、矿井塌陷等地质灾害的监测和桩、注浆、连续墙、锚固等预警技术；④地下管线的探测方法和技术；⑤隧道超前探测技术及考古研究。

笔者基于长期专业知识的学习、多年教学经验的积累、多项科学研究的实践，加之对环境与工程地球物理的认识和理解，在大量收集资料的基础上，通过甄别、遴选、组织、撰写，完成本书编著。本书撰写中一直得到地球物理与信息技术学院的领导和同仁的鼓励和支持；在内容架构、读者定位等方面得到了中国地质大学程业勋教授、王光铎教授的赐教；在资料收集中得到武炜、苑守成、刘兆平、曾卫华、武美慧、张前进、刘海军、李耀华、杜瑞庆、周志政、曹锡秋、李子梅、侯征等博士生的积极帮助；本书出版过程中得到中国地质大学（北京）研究生教材基金的资助，在此一并表示衷心感谢。

由于时间紧迫、能力和水平有限，内容上可能出现疏漏或错误，敬请读者批评指正。

杨 进

2011年6月

目 录

前 言

基础篇

第1章 绪 论	(3)
1.1 环境与工程地球物理的研究内容	(3)
1.1.1 概念与特点	(3)
1.1.2 研究内容	(4)
1.1.3 应用条件	(4)
1.2 环境与工程地球物理的应用现状	(5)
1.2.1 发展概况	(5)
1.2.2 应用现状	(5)
1.3 环境与工程地球物理的发展趋势	(6)
1.3.1 仪器设备的更新	(6)
1.3.2 方法技术的提高	(7)
1.3.3 应用领域的拓宽	(8)
第2章 环境与工程问题	(10)
2.1 环境问题	(10)
2.1.1 大气污染	(10)
2.1.2 水资源污染	(17)
2.1.3 油气污染	(21)
2.1.4 固体废弃物污染	(23)
2.2 工程问题	(25)
2.2.1 工程地质灾害	(25)
2.2.2 工程质量评价	(27)
2.2.3 工程设施选址	(29)
2.2.4 地下管线勘察	(30)

第3章 物质的物理性质	(32)
3.1 概述	(32)
3.2 物质密度和孔隙度	(33)
3.2.1 密度和孔隙度的参数	(33)
3.2.2 矿物的密度	(33)
3.2.3 岩(矿)石的密度	(34)
3.3 物质的弹性	(36)
3.3.1 物质的弹性参数	(36)
3.3.2 矿物的弹性波传播速度	(37)
3.3.3 岩石的弹性波传播速度	(38)
3.4 物质的磁性	(39)
3.4.1 物质的磁参数	(39)
3.4.2 矿物的磁性质	(40)
3.4.3 岩石的磁性质	(41)
3.5 物质的电性	(42)
3.5.1 物质的电性参数	(42)
3.5.2 物质的电阻率	(43)
3.5.4 物质的介电常数	(44)
3.5.5 物质的压电效应	(45)
3.5.6 物质的极化效应	(46)
3.6 物质的核物理性质	(46)
3.6.1 天然放射性核素	(47)
3.6.2 人工放射性核素	(47)
3.7 物质的热学性质	(47)
3.7.1 物体的热物理参数	(47)
3.7.2 岩石和矿物的热物理性质	(48)

方 法 篇

第4章 电(磁)法类勘探	(51)
4.1 电阻率法	(51)
4.1.1 电阻率法基础	(51)
4.1.2 电阻率剖面法	(53)

4.1.3	电阻率测深法	(56)
4.1.4	高密度电阻率法	(58)
4.1.5	磁电阻率法	(60)
4.2	激发极化法	(61)
4.2.1	基本理论	(61)
4.2.2	时间域激发极化法	(63)
4.2.3	频率域激发极化法	(64)
4.2.4	谱激发极化法	(65)
4.2.5	天然场激发极化法	(66)
4.3	电磁感应法	(67)
4.3.1	基础知识	(68)
4.3.2	大地电磁测深法	(71)
4.3.3	可控源音频大地电磁法	(73)
4.3.4	瞬变电磁法	(75)
4.3.5	甚低频电磁法	(82)
4.4	探地雷达法	(87)
4.4.1	方法原理	(88)
4.4.2	技术参数	(90)
4.4.3	野外工作	(91)
4.4.4	资料处理解释	(93)
4.4.5	环境与工程中的应用	(94)
4.5	震电法	(96)
4.5.1	压电法	(96)
4.5.2	震源电磁辐射法	(99)
第5章	地震类勘探	(102)
5.1	基础知识	(102)
5.1.1	基本概念	(102)
5.1.2	地震波的类型	(104)
5.1.3	地震波的传播	(106)
5.1.4	地震波的运动学特性	(113)
5.1.5	地震的分辨率	(120)
5.1.6	有效波和干扰波	(121)

5.2	地震反射波法	(123)
5.2.1	信号采集	(123)
5.2.2	数据处理	(124)
5.2.3	资料解释	(129)
5.2.4	实际应用	(131)
5.3	地震折射波法	(133)
5.3.1	信号采集	(133)
5.3.2	数据处理	(134)
5.3.3	资料解释	(134)
5.3.4	应用实例	(138)
5.4	瑞利波法	(138)
5.4.1	瑞利波勘探原理	(139)
5.4.2	瑞利波工作方法	(141)
5.4.3	资料处理与解释	(142)
5.4.4	瑞利波法的应用	(144)
5.5	声波检测法	(146)
5.5.1	概述	(146)
5.5.2	声波检测的原理	(147)
5.5.3	声波检测的方法	(148)
5.5.4	声波检测的技术	(150)
5.5.5	声波检测的应用	(154)
5.6	常时微动法	(156)
5.6.1	常时微动的基本性质	(157)
5.6.2	测量方法与数据处理	(158)
5.6.3	常时微动的应用	(161)
第6章	重磁类勘探方法	(163)
6.1	重力勘探	(163)
6.1.1	地球的重力场	(163)
6.1.2	重力测量	(169)
6.1.3	野外工作方法	(172)
6.1.4	资料解释	(175)
6.1.5	重力勘探的应用	(176)

6.2	磁法勘探	(178)
6.2.1	地球磁场与磁异常	(178)
6.2.2	磁测工作方法	(182)
6.2.3	数据处理与转换	(188)
6.2.4	磁异常的解释	(192)
6.2.5	磁法勘探的应用	(196)
第7章	其他勘探方法	(198)
7.1	放射性勘探	(198)
7.1.1	基础知识	(198)
7.1.2	放射性测量方法	(204)
7.1.3	放射性测量的应用	(211)
7.2	地热勘探	(214)
7.2.1	基本概念	(214)
7.2.2	地热勘探工作方法	(219)
7.2.3	地热勘探的应用	(221)
7.3	地球物理测井	(223)
7.3.1	电法测井	(224)
7.3.2	核测井	(229)
7.3.3	声波测井	(233)

仪 器 软 件 篇

第8章	环境与工程地球物理仪器与软件	(241)
8.1	环境与工程地球物理仪器	(241)
8.1.1	概述	(241)
8.1.2	电(磁)法勘探仪器	(243)
8.1.3	重磁勘探仪器	(246)
8.1.4	地震勘探仪器	(247)
8.1.5	测井类仪器	(250)
8.2	环境与工程地球物理软件	(251)
8.2.1	概述	(251)
8.2.2	电磁法勘探类软件	(254)
8.2.3	重磁勘探类软件	(256)

8.2.4 地震勘探类软件	(260)
8.2.5 其他勘探类软件	(263)

应 用 篇

第9章 介质污染的监测和处置	(267)
9.1 水资源污染的监测与处置	(267)
9.1.1 水体污染的类型	(267)
9.1.2 水资源污染的监测	(270)
9.1.3 水资源污染的处置	(279)
9.2 地下固体废物污染的监测和处理	(280)
9.2.1 固体废物的特征和分类	(280)
9.2.2 固体废物污染的检测	(283)
9.2.3 固体废物的处理	(286)
9.3 放射性污染的监测与处置	(289)
9.3.1 放射性废物来源与分类	(289)
9.3.2 放射性污染的监测方法	(291)
9.3.3 放射性废物地质处置	(303)
第10章 基础工程质量检测	(306)
10.1 桩基动态检测法	(306)
10.1.1 桩基的类型及常见的缺陷	(306)
10.1.2 桩基检测方法	(307)
10.1.3 桩基检测实例	(315)
10.2 道路质量的无损检测	(317)
10.2.1 道路病害问题	(317)
10.2.2 高速公路、机场跑道质量检测	(318)
10.2.3 铁路路基病害检测	(320)
10.3 地基勘察和建筑物质量检测	(324)
10.3.1 大型地基勘察	(324)
10.3.2 建筑物质量无损检测	(325)
第11章 地质灾害的监测和预警	(327)
11.1 地质灾害概述	(327)
11.1.1 地质灾害的概念及特征	(327)

11.1.2	地质灾害的分类	(328)
11.1.3	地质灾害的分级	(329)
11.2	地质灾害监测	(330)
11.2.1	滑坡的调查和监测	(330)
11.2.2	泥石流灾害的调查及治理	(334)
11.2.3	岩溶塌陷与地裂缝的调查	(335)
11.2.4	矿井灾害的监测与预警	(339)
11.2.5	其他地质灾害的监测与防治	(343)
11.3	地质灾害预警技术	(344)
11.3.1	桩技术	(344)
11.3.2	注浆技术	(347)
11.3.3	连续墙技术	(349)
11.3.4	锚固技术	(351)
第12章	地下管线的探测	(354)
12.1	概述	(354)
12.1.1	地下管线的种类	(354)
12.1.2	地下管线探测特点	(355)
12.1.3	地下管线探测方法	(355)
12.2	地下管线探测的方法	(360)
12.2.1	频率域电磁法	(360)
12.2.2	探地雷达法	(361)
12.2.3	超声波法	(362)
12.2.4	其他物探方法	(363)
12.3	地下管线探测技术	(364)
12.3.1	管线搜索跟踪技术	(364)
12.3.2	平面定位技术	(365)
12.3.3	管线探测定深技术	(366)
12.4	野外工作技术	(367)
12.4.1	踏勘与方法选择	(367)
12.4.2	野外施工技术	(368)
12.4.3	资料整理	(369)
12.4.4	管线探测实例	(370)

第 13 章 其他领域的应用	(372)
13.1 隧道超前探测	(372)
13.1.1 概述	(372)
13.1.2 预报的方法技术	(373)
13.1.3 超前探测方法的有效性	(384)
13.2 考古研究	(385)
13.2.1 概述	(385)
13.2.2 考古方法技术	(387)
13.2.3 考古研究的应用	(388)
参考文献及资料	(394)
附 图	(405)

Content

Preface

FOUNDATION

Chapter 1 Introduction	(3)
1.1 Research content of environment and engineering geophysics	(3)
1.1.1 Definition and characteristic	(3)
1.1.2 Research content	(4)
1.1.3 Working condition	(4)
1.2 Current application of environment and engineering geophysics	(5)
1.2.1 General situation of development	(5)
1.2.2 Current application	(5)
1.3 Developing trend of environment and engineering geophysics	(6)
1.3.1 Renewing instruments and facilities	(6)
1.3.2 Improving methods and technology	(7)
1.3.3 Expanding application field	(8)
Chapter 2 Problems of Environment and Engineering	(10)
2.1 Environmental problems	(10)
2.1.1 Atmospheric pollution	(10)
2.1.2 Pollution of water resource	(17)
2.1.3 Pollution of oil gas	(21)
2.1.4 Pollution of solid waste	(23)
2.2 Engineering problems	(25)
2.2.1 Disaster of engineering geology	(25)
2.2.2 Evaluation of engineering quality	(27)
2.2.3 Field selection	(29)
2.2.4 Prospecting underground pipes and wires	(30)
Chapter 3 Physical Properties of Matter	(32)
3.1 Introduction	(32)
3.2 Density and porosity of substance	(33)

3. 2. 1	Parameter of density and porosity	(33)
3. 2. 2	Mineral density	(33)
3. 2. 3	Density of rock and mineral	(34)
3. 3	Elasticity of substance	(36)
3. 3. 1	Elastic parameter of substance	(36)
3. 3. 2	Transmitting speed of elastic wave of mineral	(37)
3. 3. 3	Transmitting speed of elastic wave of rock	(38)
3. 4	Magnetism of substance	(39)
3. 4. 1	Magnetic parameter of the subject	(39)
3. 4. 2	Magnetic characteristic of mineral	(40)
3. 4. 3	Magnetic characteristic of rock	(41)
3. 5	Material electrical properties	(42)
3. 5. 1	Material electrical parameters	(42)
3. 5. 2	Material resistivity	(43)
3. 5. 4	Material dielectric constant	(44)
3. 5. 5	Material piezoelectric effect	(45)
3. 5. 6	Material induced polarization	(46)
3. 6	Material nuclear physics properties	(46)
3. 6. 1	Natural nuclear elements	(47)
3. 6. 2	Man – made radioactive nuclear elements	(47)
3. 7	Material thermal properties	(47)
3. 7. 1	Thermal physical parameters of the objects	(47)
3. 7. 2	Thermo physical properties of the rock and mineral	(48)

METHODS

Chapter 4	Electrical or Electromagnetic exploration	(51)
4. 1	Resistivity Method	(51)
4. 1. 1	Resistivity basic knowledge	(51)
4. 1. 2	Resistivity profile method	(53)
4. 1. 3	Resistivity sounding method	(56)
4. 1. 4	Multipole resistivity method	(58)
4. 1. 5	Magnetic resistivity method	(60)
4. 2	Induced polarization (IP)	(61)
4. 2. 1	Fundamental theory	(61)

4.2.2	Time domain induced polarization	(63)
4.2.3	Frequency domain induced polarization	(64)
4.2.4	Spectrum induced polarization	(65)
4.2.5	Natural field induced polarization	(66)
4.3	Electromagnetic induction method	(67)
4.3.1	Fundamental knowledge	(68)
4.3.2	Magneto telluric sounding method	(71)
4.3.3	Controlled sound audio frequency magneto telluric method	(73)
4.3.4	Transient electromagnetic method	(75)
4.3.5	Very low frequency electromagnetic method	(82)
4.4	Ground penetrating radar (GPR) method	(87)
4.4.1	Principle of GPR	(88)
4.4.2	Technical parameter	(90)
4.4.3	Field work	(91)
4.4.4	Data processing and interpretation	(93)
4.4.5	Application of environment and engineering	(94)
4.5	Electrokinetic method	(96)
4.5.1	Piezoelectric method	(96)
4.5.2	Electromagnetic radiation method by seismic source	(99)

Chapter 5 Seismic Exploration (102)

5.1	Fundamental knowledge	(102)
5.1.1	Basic conception	(102)
5.1.2	Types of seismic wave	(104)
5.1.3	Seismic wave propagation	(106)
5.1.4	Kinematics characteristics of seismic wave	(113)
5.1.5	Seismic resolution	(120)
5.1.6	Effective wave and disturbing wave	(121)
5.2	Seismic reflection	(123)
5.2.1	Signal acquisition	(123)
5.2.2	Data processing	(124)
5.2.3	Data interpretation	(129)
5.2.4	Practical application	(131)
5.3	Seismic refraction	(133)

5.3.1	Signal acquisition	(133)
5.3.2	Data processing	(134)
5.3.3	Data interpretation	(134)
5.3.4	Example of application	(138)
5.4	Rayleigh wave method	(138)
5.4.1	Exploration principle of relay wave	(139)
5.4.2	Working methods of relay wave	(141)
5.4.3	Data processing and interpretation	(142)
5.4.4	Application of relay wave	(144)
5.5	Acoustic detection	(146)
5.5.1	Introduction	(146)
5.5.2	Principle of acoustic detection	(147)
5.5.3	Methods of acoustic detection	(148)
5.5.4	Technique of acoustic detection	(150)
5.5.5	Application of acoustic detection	(154)
5.6	Micro tremor observation	(156)
5.6.1	Basic properties of micro tremor	(157)
5.6.2	Measure approach and data processing	(158)
5.6.3	Application of micro tremor	(161)
Chapter 6	Exploration Method of Gravity and Magnetism	(163)
6.1	Gravity exploration	(163)
6.1.1	Gravity field of the earth	(163)
6.1.2	Gravity surveys	(169)
6.1.3	Field working methods	(172)
6.1.4	Data interpretation	(175)
6.1.5	Application of gravity exploration	(176)
6.2	Magnetic prospecting	(178)
6.2.1	Earth's magnetic field and magnetic anomaly	(178)
6.2.2	Magnetic survey method	(182)
6.2.3	Data processing and transformation	(188)
6.2.4	Magnetic anomaly interpretation	(192)
6.2.5	Application of magnetic prospecting	(196)
Chapter 7	Other Exploration Methods	(198)
7.1	Radioactive exploration	(198)