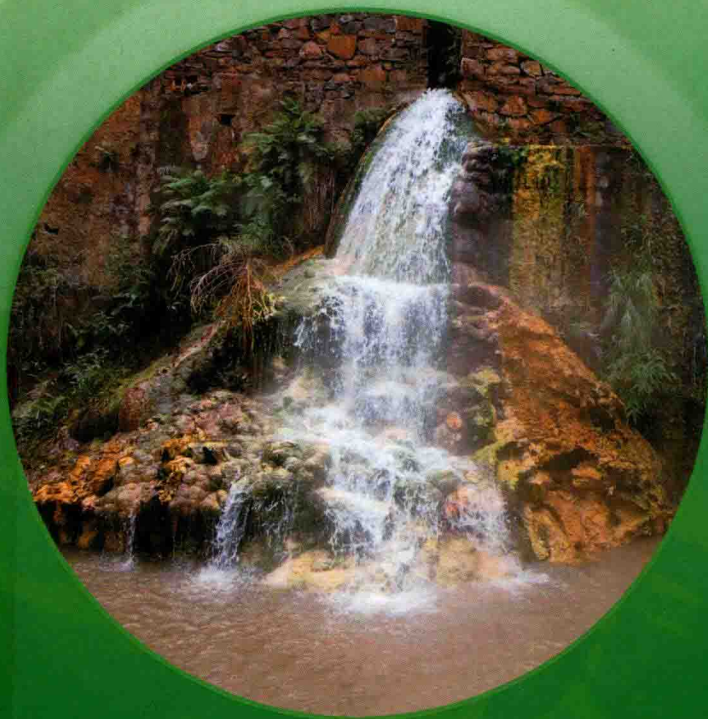


普通高等学校地下水科学专业教材

地下水科学专论

(第二版·彩色版)

周 训 金晓媚 梁四海 沈 晔 张红梅 编著



地质出版社

高等学校国家级特色专业“地下水科学与工程”建设点项目
北京市重点学科“水文学及水资源”建设项目 资助出版
北京市特色专业“地下水科学与工程”建设项目

地下水科学专论

(第二版·彩色版)

周 训 金晓媚 梁四海 沈 晔 张红梅 编著



地

内 容 提 要

本教材是在地质出版社出版的《地下水科学专论》(周训等, 2010)的基础上修订而成的。全书共分9章, 阐述地下水科学若干专门领域的基本知识和基本理论。内容涉及: ①现代技术方法, 包括遥感的原理及其应用和同位素方法及其应用; ②特殊类型地下水, 包括地下热水、地下卤水和天然矿泉水; ③特殊地区地下水, 包括海岸带地下水、干旱区地下水和多年冻土区地下水。

本教材可以作为地下水科学与工程专业、水文地质与工程地质专业、水文与水资源工程专业等的教学用书, 也可以作为从事相关专业的生产、科研、管理人员和研究生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

地下水科学专论: 彩色版 / 周训等编著. —2版.
—北京: 地质出版社, 2017. 8
ISBN 978-7-116-10375-7

I. ①地… II. ①周… III. ①地下水-高等学校-教材 IV. ①P64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 131498 号

Dixiashui Kexue Zhuanlun

责任编辑: 李惠娣

责任校对: 王素荣

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010)66554646 (邮购部); (010)66554579 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真: (010)66554582

印 刷: 北京全景印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 16.25

字 数: 395 千字

印 数: 1—3000 册

版 次: 2017 年 8 月北京第 2 版

印 次: 2017 年 8 月北京第 1 次印刷

审 图 号: GS (2017) 850 号

定 价: 38.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-10375-7

(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

地下水科学在现代技术方法、特殊类型地下水、特殊地区地下水等领域取得了很大的进展，形成了基本知识和基本理论，在“地下水科学专论”课程讲授这些领域的知识，可以使学生了解和掌握相关的基本概念、基本结论和基本专业技能，提高科学研究能力，为今后继续学习和开展科学研究与生产工作奠定重要基础。“地下水科学专论”课程是地下水科学与工程（以及水文地质、环境地质、地质工程、岩土工程、水文与水资源工程等）本科专业教学的专业核心（主干）课程，是该专业课程教学的最后一门专业课程，是在完成“地下水科学概论”等若干专业基础课程和核心课程学习之后的必修课程。本教材是“地下水科学专论”课程教学使用的教材，第一版于2010年出版后，被一些高等院校用作专业课教材或教学参考书，也被许多相关专业的科技人员和研究生用作专业参考书。几年里的教学实践表明，本教材的章节安排、内容体系和主要内容是合理的和有特色的，同时也存在一些需要修改的地方。本次主要在以下几方面对教材作了重要的修订，目的是为了更好地突出教材的特色，提高教材的适用性。主要修改内容如下：

第一，对少部分章节作了改动，对全书内容进行了修订，对一些内容与文字作了增加、删减和调整，以便更好地体现教材的基础性、系统性和适用性。

第二，在每章的最后增加了思考题，在书后增加了练习题及部分练习题的答案，以便于实际教学和读者加深对地下水科学若干领域基本知识的理解。

第三，在课堂教学的同时有必要开展地下水科学的专业实验教学，在正文之后增加了专业实验的教学内容，以便于加深学生对地下水科学专业基本原理的理解。

第四，在正文之后增加了本教材出现的主要专业名词或术语的中英文索引，以便于读者在学习本课程和阅读本书的同时熟悉这些名称，为查阅英文文献和提高英文学术论文的写作能力奠定基础。

第五，在各章节增加了彩色插图和彩色照片，全书以彩色印刷，更加直观地展现各种野外地质水文地质现象，以便于读者更好地阅读和理解地下水科学相关专业的基本知识。

本教材由周训主持编写和修订。其中第1章、第3章、第4章、第5章和第7章由周训编写，第2章由金晓媚编写，第6章由沈晔编写，第8章由张红梅编写，第9章由梁四海编写，练习题、专业实验和名词术语中英文索引由周训编写。本书在编写过程中引用了大量他人成果或资料，作者尽力注明出处，也难免有遗漏之处，这些成果或资料为本书增添色彩，作者向这些成果或资料的拥有者表示感谢！

本教材的出版，得到了高等学校国家级特色专业“地下水科学与工程”建设点项目、北京市特色专业“地下水科学与工程”建设项目、北京市重点学科“水文学及水资源”建设项目、“地下水循环与环境演化教育部重点实验室”建设项目、“水资源与环境工程北京市重点实验室”建设项目和中国地质大学（北京）教材出版基金的资助，作者谨致谢意。

欢迎读者对本书提出意见和建议。联系地址：北京市海淀区学院路29号中国地质大学（北京）水资源与环境学院；邮编：100083；E-mail: zhouxun@cugb.edu.cn.

周 训

2016年12月

第一版前言

我国地下水科学与工程本科专业于 2007 年开始招生，为了满足该专业开设地下水科学专论课程教学需要，我们编写了《地下水科学专论》教材。地下水科学专论课程是地下水科学与工程本科专业教学的主干课程，是在学习了若干专业基础课程之后的必修课程，通过该课程的教学，学生可以初步了解和掌握地下水科学在现代技术方法、特殊类型地下水、特殊地区地下水等方面的基本知识和基本理论，掌握相关的基本概念、基本结论和基本专业技能，提高科学研究能力，为今后继续学习和开展相关领域的科学研究和生产工作奠定重要基础。

自 20 世纪 50 年代以来，地下水科学在现代技术方法、特殊类型地下水、特殊地区地下水等若干专门领域的研究也取得了迅速的发展，在基本概念、基本原理及应用等多个方面都取得了重要的进展，本教材选取若干方面予以介绍。本教材分别阐述和介绍了现代技术方法及其应用，包括遥感的原理及其应用、同位素方法及其应用，介绍了特殊类型地下水，包括地下热水、地下卤水和天然矿泉水，以及特殊地区的地下水，包括海岸带地下水、干旱区地下水以及多年冻土区地下水等领域的基本知识和基本理论。通过阅读本教材，读者能够了解和掌握这些专门领域的基本内容，拓宽专业知识面，有助于进一步深入开展相关的研究工作。在编写本教材的过程中，我们力求汇集上述专门领域的经典内容，同时尽可能补充这些领域获得的新成果。

本教材共分 9 章。第 1 章为绪论。第 2 章介绍遥感的原理及其应用，着重介绍遥感技术应用于研究生态植被与地下水关系和植被与河流流量关系，以及遥感在蒸发量估算中的应用。第 3 章介绍同位素的基本知识及其在地下水科学

研究中的应用,重点介绍氢、氧、碳、硫稳定同位素和 ^3H 、 ^{14}C 放射性同位素以及地下水年龄测定的基本原理。第4章阐述地热系统和地下热水的基本知识,包括地下热水的分布、形成和泉华等特殊现象。第5章介绍地下卤水的储集和富集特点、水化学特征、形成机制和有关研究方法。第6章介绍矿泉水的国家标准、类型、特征、形成机理和若干实例。第7章介绍海岸带地下水的基本知识,着重介绍咸淡水突变界面位置的确定方法,介绍地下淡水排泄量、海水入侵以及潮汐效应地下水位变化特点和计算方法等。第8章介绍干旱区的分布、干旱地区地下水的基本特征,包括内陆流域水资源的形成和多次复杂转化的特点,并用实例加以说明。第9章介绍多年冻土的分布,冻土地区地下水的分布、水循环、水化学的基本特点,冻土的退化及其生态水文学意义。

本教材由周训主持编写,其中第1章、第3章、第4章、第5章和第7章由周训编写,第2章由金晓媚编写,第6章由沈晔编写,第8章由张红梅编写,第9章由梁四海编写。初稿完成后,由周训进行修改、统编和定稿。

由于编著者在编写过程中时间仓促,本教材的疏漏和不当之处在所难免,恳请读者予以指正。联系地址:北京市海淀区学院路29号中国地质大学(北京)水资源与环境学院;邮编:100083;E-mail:zhouxun@cugb.edu.cn.

编著者

2010年9月

目 录

前 言

第一版前言

第1章 绪 论	(1)
思考题	(2)
第2章 遥感的原理及其应用	(3)
2.1 遥感的基本原理	(3)
2.1.1 遥感的基本概念	(3)
2.1.2 能量来源及能量在大气中的作用	(4)
2.1.3 能量与地球表面特征的相互作用	(6)
2.1.4 理想遥感系统	(9)
2.1.5 遥感的分类及应用概况	(10)
2.2 遥感在生态植被与地下水关系研究中的应用	(12)
2.2.1 植被指数	(12)
2.2.2 干旱区地下水对植被的影响	(13)
2.2.3 实例研究——银川平原植被生长与地下水位埋深的关系	(14)
2.3 遥感在植被与河流流量关系研究中的应用	(16)
2.3.1 干旱区植被与地表水的依存关系	(16)
2.3.2 干旱区植被与河流流量的关系	(17)
2.3.3 实例研究——额济纳绿洲植被与黑河流量滞后关系研究	(17)
2.4 遥感在蒸散量估算中的应用	(21)
2.4.1 表面能量平衡系统	(22)
2.4.2 卫星数据的获取	(23)
2.4.3 蒸散量的估算——以柴达木盆地平原区为例	(24)
思考题	(30)

第3章 同位素方法及其应用	(31)
3.1 概 述	(31)
3.2 同位素基本概念	(31)
3.2.1 同位素	(31)
3.2.2 同位素的分类	(32)
3.2.3 同位素组成及其表示法	(33)
3.3 氢、氧稳定同位素	(34)
3.3.1 大气降水的 ^2H 和 ^{18}O 组成及其分布	(34)
3.3.2 ^2H 和 ^{18}O 的应用	(37)
3.3.3 ^2H 和 ^{18}O 同位素分馏与氘过量参数	(41)
3.4 ^{13}C和^{34}S稳定同位素	(44)
3.4.1 天然水中的 ^{13}C	(44)
3.4.2 天然水中的 ^{34}S	(45)
3.5 放射性同位素衰变原理与地下水年龄测定方法简介	(46)
3.5.1 放射性衰变基本原理	(46)
3.5.2 地下水年龄测定方法简介	(48)
3.6 ^3H和^{14}C放射性同位素	(50)
3.6.1 ^3H	(50)
3.6.2 ^{14}C	(51)
3.6.3 运用 ^3H 和 ^{14}C 确定补给区	(53)
思考题	(54)
 第4章 地下热水	 (55)
4.1 概 述	(55)
4.2 地下热水分布的地质背景	(56)
4.3 我国地下热水的分布	(59)
4.3.1 地下热水的分布状况	(59)
4.3.2 温泉的分布	(61)
4.3.3 我国地下热水分布的基本特点	(62)
4.3.4 地下热水的分布类型	(63)
4.4 地下热水赋存与地热系统类型	(65)
4.4.1 地下热水的赋存	(65)
4.4.2 温泉出露的控制因素	(65)
4.4.3 地热系统的基本类型	(69)
4.5 地下热水的形成与循环	(73)
4.5.1 地下热水的形成模式	(73)
4.5.2 地下热水的起源	(73)
4.5.3 地下热水循环深度	(75)

4.5.4 混合作用	(76)
4.5.5 地下热水的年龄	(76)
4.5.6 地热温标估算热储温度	(77)
4.6 地下热水的温度场和水动力场	(79)
4.7 泉 华	(83)
4.7.1 钙华	(83)
4.7.2 硅华、硫华和盐华	(86)
思考题	(87)
第5章 地下卤水	(88)
5.1 概 述	(88)
5.2 地下卤水的分布和富集	(89)
5.2.1 地下卤水的分布	(89)
5.2.2 地下卤水的富集	(91)
5.3 卤水水化学基本特征	(94)
5.3.1 矿化度	(96)
5.3.2 主要离子组分	(97)
5.3.3 微量组分	(98)
5.3.4 比例系数	(98)
5.4 地下卤水的起源	(99)
5.4.1 地下卤水的几种起源	(99)
5.4.2 地下卤水的氢、氧稳定同位素	(99)
5.5 地下卤水的形成机制	(103)
5.5.1 含盐岩系的溶滤	(103)
5.5.2 蒸发岩卤水的形成	(104)
5.5.3 隔膜渗滤作用	(104)
5.6 地下卤水化学组分演化的水-岩作用	(107)
5.7 海水蒸发实验及其在卤水形成研究中的意义	(108)
5.7.1 海水蒸发实验	(108)
5.7.2 海水蒸发过程中离子含量与 Br^- 含量的变化关系	(108)
5.7.3 某些地下卤水与海水蒸发过程的比较	(110)
思考题	(112)
第6章 天然矿泉水	(113)
6.1 基本概念	(113)
6.1.1 饮用天然矿泉水	(113)
6.1.2 理疗矿泉水	(115)
6.1.3 物理性质	(115)

6.1.4 天然矿泉水与人体健康	(117)
6.2 天然矿泉水形成的基本条件	(121)
6.2.1 地质构造条件	(122)
6.2.2 岩石地球化学条件	(123)
6.2.3 水-岩作用条件	(123)
6.2.4 水文地质条件	(124)
6.3 天然矿泉水形成机理	(125)
6.3.1 偏硅酸矿泉水	(125)
6.3.2 碳酸矿泉水	(125)
6.3.3 锂矿泉水	(127)
6.3.4 锶矿泉水	(128)
6.3.5 锌矿泉水	(129)
6.3.6 硒矿泉水	(130)
6.3.7 碘矿泉水	(131)
6.3.8 溴水	(131)
6.3.9 氡水	(132)
6.4 我国矿泉水的分布和举例	(132)
6.4.1 矿泉水的分布	(132)
6.4.2 矿泉水实例	(133)
思考题	(136)
 第7章 海岸带地下水	 (137)
7.1 概 述	(137)
7.2 咸淡水突变界面	(138)
7.2.1 Ghyben-Herzberg 公式	(138)
7.2.2 Hubbert 公式	(139)
7.2.3 根据淡水带潜水位和咸水带水头确定界面位置的公式	(140)
7.2.4 根据淡水带水头和咸水带水头确定界面位置的公式	(141)
7.2.5 根据淡水带压力和咸水带压力确定界面位置的公式	(142)
7.3 海岸带地下淡水排泄量的估算	(143)
7.3.1 无地表入渗潜水含水层	(143)
7.3.2 地表存在均匀入渗的潜水含水层	(145)
7.3.3 承压含水层	(146)
7.3.4 圆柱形海岛含水层	(148)
7.4 海水入侵	(149)
7.4.1 海水入侵的现象	(149)
7.4.2 咸淡水界面向内陆延伸距离的估算	(150)
7.4.3 海水入侵的防治对策	(151)

7.5 海岸带潮汐效应	(152)
7.5.1 潮汐效率	(153)
7.5.2 周期与滞后	(154)
7.5.3 描述地下水位波动的数学模型	(157)
7.5.4 利用潮汐效应观测资料研究含水层参数	(160)
思考题	(163)
第8章 干旱区地下水	(164)
8.1 基本概念	(164)
8.2 地球上干旱地区的分布	(166)
8.3 干旱地区水资源基本特征	(166)
8.3.1 地下水资源时空分布	(167)
8.3.2 干旱区水文地质分带性	(167)
8.3.3 干旱区山前地带地表水-地下水转换	(168)
8.3.4 干旱区的生态环境	(170)
8.4 干旱区地下水的水循环	(171)
8.4.1 山丘区地表水与地下水的转化	(172)
8.4.2 平原区地表水与地下水的转化	(172)
8.5 干旱区地下水举例——黑河流域	(173)
8.5.1 地理位置	(173)
8.5.2 地形地貌	(173)
8.5.3 气候与水文	(175)
8.5.4 水资源概况	(177)
8.5.5 地质概况和地下水分布	(177)
8.5.6 流域水环境特征	(183)
思考题	(186)
第9章 多年冻土区地下水	(187)
9.1 冻土的概念	(187)
9.2 中国多年冻土分布的基本特征	(187)
9.2.1 东北多年冻土区	(188)
9.2.2 西部高山、高原多年冻土	(189)
9.3 多年冻土区的水文地质条件	(192)
9.3.1 多年冻土区的地下水类型	(192)
9.3.2 多年冻土区地下水的基本特征	(195)
9.4 多年冻土区地下水的补给、径流和排泄	(196)
9.4.1 多年冻土区地下水的补给	(196)
9.4.2 多年冻土区地下水的排泄	(198)

9.4.3 多年冻土区地下水的径流 (200)

9.5 冻土区松散岩层中孔隙水..... (201)

9.5.1 活动层水 (201)

9.5.2 潜水 (202)

9.5.3 承压水 (202)

9.6 冻土区基岩裂隙水 (202)

9.6.1 裂隙水的主要特征 (202)

9.6.2 裂隙水的补给、排泄与分布 (203)

9.7 地下冰及其分类 (204)

9.7.1 内成冰 (205)

9.7.2 外成冰（埋藏冰） (206)

9.8 全球气候变暖下的多年冻土退化 (207)

9.8.1 多年冻土的面积与厚度变化 (208)

9.8.2 多年冻土深埋 (209)

9.8.3 冻土上限附近的少冰冻土的形成 (210)

9.8.4 连续的片状冻土中出现岛状冻土 (211)

9.8.5 融化夹层出现 (211)

9.8.6 热融湖塘 (212)

9.8.7 活动层厚度变化的水文效应 (213)

思考题..... (214)

主要参考文献和资料..... (215)

附录 A 练习题 (222)

一、思考题与练习题 (222)

二、综合练习题 (231)

三、部分练习题答案 (234)

附录 B 专业实验 (236)

实验一 地下热水循环模拟实验 (236)

一、实验目的 (236)

二、实验装置 (236)

三、实验方案 (237)

四、实验成果 (237)

实验二 海岸带咸淡水界面模拟实验 (239)

一、实验目的 (239)

二、实验装置 (239)

三、实验方案 (239)

四、实验结果 (241)

附录 C 名词术语中英文索引 (243)

第1章 绪 论

地下水科学专论阐述和介绍地下水科学在现代技术方法、特殊类型地下水、特殊地区地下水等若干专门领域的基本知识及其应用,包括遥感的原理及其应用、同位素方法及其应用,还包括地下热水、地下卤水、天然矿泉水、海岸带地下水、干旱区地下水以及多年冻土区地下水等领域的基本概念和基本原理。它们是人们进一步深入开展地下水相关领域的科学研究和生产工作的重要基础。

遥感技术为人们提供了从空中观察地球表面的能力,尤其对于那些人类难以进入的自然条件恶劣地区的调查和观测更显示出它的优越性。在已进入航空航天时代的今天,遥感技术已广泛应用于水文、气象、地理、地质、资源、环境等领域,成为一门先进的空间探测技术。遥感技术在研究水资源与生态植被变化的关系、估算地表蒸发量等方面,发挥了重要作用。随着遥感技术的发展,遥感将继续在自然资源调查研究中发挥越来越重要的作用,其应用领域也会越来越广。

地下水在其形成演化过程中形成大量微观的同位素踪迹,应用现代测试技术测试地下水中的同位素组分,包括稳定同位素和放射性同位素,可以分析地下水的起源和循环的历史过程,提供地下水及其与环境介质之间的相互作用的重要信息。应用同位素理论与方法研究某些水文地质问题具有一定的优越性,例如查明地下水的起源和不同含水系统的水力联系,示踪地下水的迁移,测定地下水系统的水文地质参数,估算地下水储量,测定地下水年龄等。同位素方法结合传统的研究方法,可以深入研究地下水形成和演化的许多具体问题。

地下热水既是水资源又是能源,已引起人们的极大关注。受大地热流差异性的影响,在地球表层的一些地下水分布区分布有地下热水,或者在地表出现各种地热显示(如温泉、间歇喷泉等)。地下热水可以用于发电、供暖、洗浴、疗养和保健、洗涤和烘干以及温室养殖和种植等。同时由于它在深循环过程中经历了各种水-岩作用和水-热交换过程,载有许多有关地球深部的信息,包括热水所处的区域地质背景,控热构造的性质、规模、深度及其活动性、围岩性质,以及地震、岩浆活动、蚀变、矿化等。地下热水(温泉)的勘查和开发利用越来越受到人们的重视。

沉积盆地常常分布有石油、天然气、盐类矿床和某些金属矿床,也分布有地下卤水(盐泉)。在地表盐湖附近、滨海地区松散沉积层、平原地区下伏拗陷盆地等处也都分布有卤水。地下卤水矿化度高,富含多种微量组分(例如, Br^- 、 I^- 、 Sr^{2+} 、 Ba^{2+} 等),并在某些层位和部位富集。从地下卤水中可以提取石盐及多种有用组分,随着人类对卤水的

开采利用，有关地下卤水的分布、迁移和水化学特征及卤水的形成问题，逐渐成为研究重点。沉积盆地地下卤水的富集和演化，对盆地内矿产的形成特别是石油和天然气的运移和聚集起到重要的作用。

天然矿泉水在近几十年里得到了开发利用。由于含有某些特殊化学成分或气体成分，天然矿泉水对人体健康有一定益处。天然矿泉水可以作为绿色饮品。随着人民生活水平的提高，人们对绿色饮品的质量要求日益增加。我国具有丰富的天然矿泉水资源，矿泉水类型齐全，可采资源量较充足。天然矿泉水的开发利用在饮用、医疗保健等方面形成了相应产业，获得了明显的社会效益。了解天然矿泉水的类型、基本特征和形成机理，是开发利用天然矿泉水的基础。

在天然条件和人为因素影响下海岸带咸淡水界面位置、滨海含水层地下淡水向海洋的排泄量和海潮潮汐效应的分析和预测计算是海岸带地下水动力学研究的重要内容。海水入侵是沿海地区常见的和深受关注的环境地质问题。了解确定海岸带咸淡水界面位置的方法和利用这些方法进行天然条件和人为因素影响下海岸带地下淡水排泄量计算和咸淡水界面向内陆延伸距离估算，以及进行海潮潮汐效应下海岸带地下水流动和水文过程的计算，掌握海岸带水动力场和水文过程的特征，有助于科学地认识、评价和合理开发利用滨海含水层地下水资源和防治海水入侵。

水是人类赖以生存和发展的物质基础，在干旱半干旱地区水资源尤为宝贵。随着世界人口的激增，粮食危机、能源和资源危机、环境污染等问题不断被提到议事日程，世界上越来越多的研究者和舆论界的注意力逐渐转向干旱半干旱地区。在环境条件脆弱的干旱区，水资源已成为制约这些地区资源开发、经济发展、生态环境保护乃至人类生存的关键因素。干旱区水资源分布不均匀、地表水和地下水多次转化等，与其他地区极不相同。了解干旱区地下水资源的分布、形成和循环特征，有助于干旱区地下水资源的保护和可持续开发利用。

地球上现代多年冻土分布面积约占全球陆地面积的 1/4，我国国土面积的 22% 分布有多年冻土。多年冻土区地下水分为冻结层上水、冻结层间水和冻结层下水，在冻结层上水以上还存在包气带水。多年冻土的分布影响着地下水的埋藏条件、分布范围、水力联系及水化学特征等。受全球气候变暖的影响，多年冻土区冻土的温度普遍升高，出现了冻土区下界升高、面积减小、上表面埋深增加、饱冰冻土退化成少冰冻土等现象。了解多年冻土区地下水的特征和变化，有助于多年冻土区地下水的合理开发利用和生态环境保护。

在过去的几十年里，地下水科学在上述专门领域取得了很大的进展，形成了各自领域的基本知识和理论。在未来的岁月里，随着研究方法的丰富和研究课题的深入，地下水科学在上述专门领域的理论知识将会得到不断丰富、完善和发展。随着地下水科学的服务和研究领域的不断扩大和深化，在其他专门领域也会取得丰富的成果。

思考题

- 1. 如何理解地下水科学专论的内容体系？
- 2. 学习地下水科学专门领域基本知识有什么重要意义？

第2章 遥感的原理及其应用

2.1 遥感的基本原理

遥感 (RS) 是以航空摄影技术为基础, 自 20 世纪 60 年代初发展起来的一门新兴技术。最初为航空遥感, 自 1972 年美国发射了第一颗陆地卫星后, 开始了航天遥感时代。经过几十年的迅速发展, 目前遥感技术已广泛应用于资源环境、水文、气象、地理、地质等领域, 成为一门实用、先进的空间探测技术。

2.1.1 遥感的基本概念

遥感是通过不与物体、区域或现象直接接触获取调查数据, 并对数据进行分析, 从而得到与物体、区域或现象有关信息的一门科学和技术。通常, 遥感可以被看作是一种阅读过程。利用各种各样的传感器, 可以收集远处的数据, 经过分析后就可以获得被调查的物体、区域或现象的信息。远距离收集的数据有多种形式, 包括力的分布、声波分布或电磁能量分布的变化等 (Thomas et al., 2000)。

电磁能量传感器目前被广泛安置在航空航天平台上, 用来协助人们进行地球资源的调查、制图和监测。这些传感器通过各种地球表面物体反射和发射的电磁能量来获取相关数据, 而这些数据经过分析后就可以得到所调查的资源信息。

图 2.1 显示了地球资源电磁遥感中涉及的一般过程和组成要素。其中两个基本过程是数据获取和数据分析。数据获取过程的要素包括能量来源 (图 2.1 (a))、能量在大气中的传播 (图 2.1 (b))、地球表面特征 (图 2.1 (c))、能量再次穿过大气层 (图 2.1 (d))、传感系统 (图 2.1 (e)), 以及传感产品 (图 2.1 (f)), 亦即利用传感器来记录地球表面各种物体反射和发射的电磁能量变化。数据解译和分析过程 (图 2.1 (g)) 则是利用各种观测和解译设备来分析图版数据或利用计算机来分析传感器的数字化数据, 从而对获取的数据加以研究。一旦数据源可以获取同时同地的参考数据 (例如土壤分布图、作物统计资料或野外调查验证数据), 这些参考数据将用于帮助进行数据的分析。借助于这些参考数据, 人们可以在传感器采集数据所能覆盖的区域内分析出有关各种资源的类型、内容、位置及其条件信息。这些信息被编辑形成信息产品 (图 2.1 (h)), 一般情况下是以硬拷贝的地图和表格的形式输出, 或者作为可以在地理信息系统 (GIS) 中与其他信息“图层”相结合的计算机文件形式。最后, 将信息提交给用户 (图 2.1 (i)), 以便将其应用到他们的决策过程中。

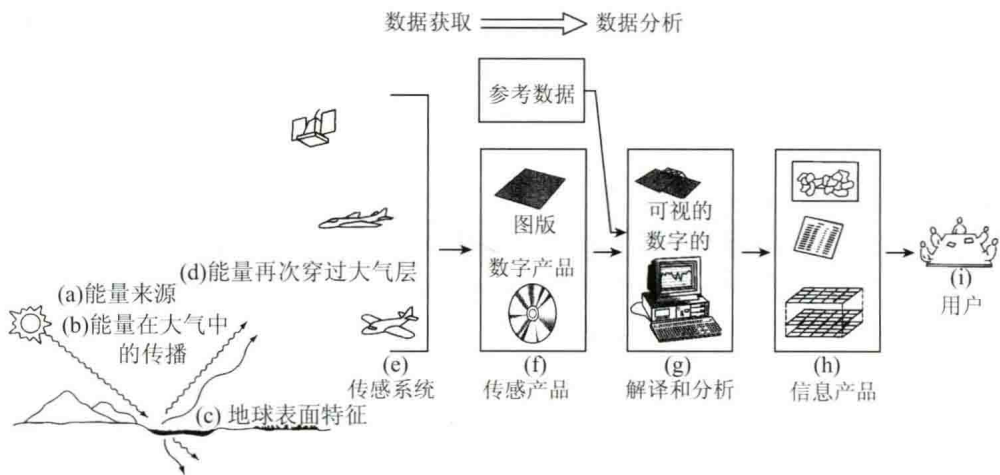


图 2.1 地球资源的电磁遥感示意图

遥感过程中的基本理论一般从电磁能量的基本原理开始，然后讨论能量与大气和地球表面的物体之间是如何相互作用的。在数据分析过程中应重视参考数据的作用，并经常利用全球定位系统（GPS）在野外确定所观测参考数据的空间位置。这些基础知识有助于人们建立一个“理想”遥感系统的概念，并且能够意识到 RS、GIS 和 GPS 之间的紧密联系。

2.1.2 能量来源及能量在大气中的作用

可见光仅仅是多种形式的电磁波之一，其他常见形式包括无线电、热、紫外线和 X 射线。在遥感中，通常根据光谱的波长在电磁波谱中所处的位置来对电磁波进行分类（图 2.2）。波谱中波长的单位通常为微米（ μm ）， $1\ \mu\text{m} = 1 \times 10^{-6}\ \text{m}$ 。

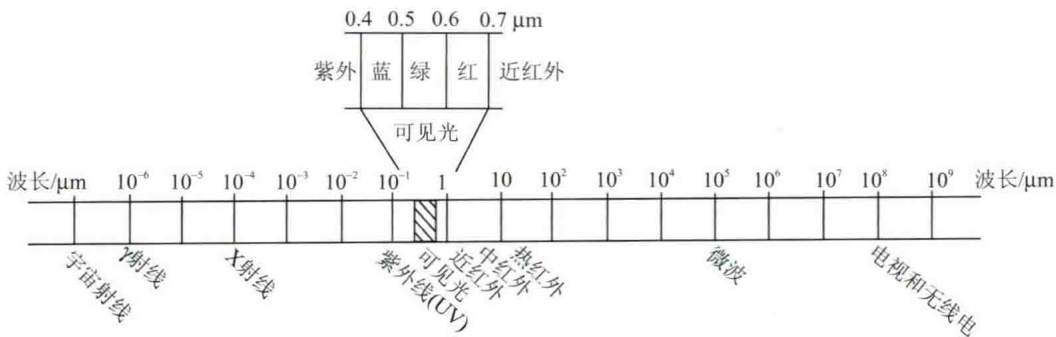


图 2.2 电磁波谱分类

虽然为了方便使用，通常给电磁波谱的不同区间赋予不同的名称（例如“紫外”和“微波”），但对于两个命名的波谱区间之间并没有明确的界限。波谱是用传感器通过不同方法测量每种类型的辐射来划分的，也从各种波长能量特征的固有差异来划分，但前者使用较多。同时需要注意的是，遥感技术中所使用的电磁波谱部分，位于一个连续波段，其特点通过 10 的多次幂的变化量表现出来。因此，通常用对数图描述电磁波谱。图 2.2 中“可见光”部分占有非常小的区间，这是因为人眼对光谱的敏感范围仅为 $0.4 \sim 0.7\ \mu\text{m}$ 。其中，“蓝光”波段大约为 $0.4 \sim 0.5\ \mu\text{m}$ ，“绿光”为 $0.5 \sim 0.6\ \mu\text{m}$ ，“红光”为 $0.6 \sim 0.7\ \mu\text{m}$ 。在电磁波谱中，紫外线（UV）与可见光中的蓝光相邻，而三种不同类别的红外