

普通高等学校地下水科学专业教材

地下水科学概论

(第二版·彩色版)

周训 胡伏生 何江涛 王旭升 方斌 编著



地质出版社

地下水科学专业教材

地下水科学概论

(第二版·彩色版)

周训 胡伏生 何江涛 王旭升 方斌 编著

地质出版社

·北京·

内 容 提 要

本书为普通高等学校教材，共分10章，着重论述了地下水科学的基本知识和基本理论，包括：地下水在地球表层的分布，地下水运动的基本规律，地下水参与地球表层水循环的补给、径流和排泄，地下水水化学基本原理，地下水系统及其动态特征和水均衡分析，孔隙水、裂隙水和岩溶水的基本特点，地下水资源特征及其利用，地下水与地质环境问题等。各章之后给出了相关的思考题，附录部分提供了练习题、基础实验以及中英文对照的专业名词术语。

本教材为地下水科学与工程、水文地质与工程地质、水文与水资源工程、地质工程等专业的教学用书，也可以作为从事相关专业的生产、科研和管理人员的参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

地下水科学概论 / 周训等编著. —2版. —北京：
地质出版社，2014.4

ISBN 978-7-116-08760-6

I. ①地… II. ①周… III. ①地下水资源 - 高等学校
- 教材 IV. ①TV211.1

中国版本图书馆CIP数据核字（2014）第065556号

责任编辑：李惠娣 魏智如
责任校对：黄苏晔
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(编辑部)
网 址：<http://www.gph.com.cn>
传 真：(010) 82324340
印 刷：北京全景印刷有限公司
开 本：787mm × 1092mm 1/16
印 张：18.25 插页：4页
字 数：440千字
印 数：1—3000册
版 次：2014年4月北京第2版
印 次：2014年4月北京第1次印刷
定 价：39.50元
书 号：ISBN 978-7-116-08760-6

（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

地下水科学概论是地下水科学与工程本科专业以及水文与水资源工程、水文地质、环境地质、地质工程、岩土工程等本科专业教学的专业基础课程。通过该课程的教学，可以使学生了解和掌握地下水科学的基本概念和基本理论，深刻理解其内容实质，以及灵活运用地下水科学的基本知识去分析和解决实际问题，为后续专业课程的教学和学生以后开展地下水科学研究奠定坚实的基础。

本教材第一版于2009年出版后，被许多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技术人员用作专业参考书。近几年的教学实践表明，本教材的内容体系、章节安排和主要内容是合理的，但也发现了一些需要修改的地方。本次修订，目的在于查缺补漏，进一步彰显特色，提高教材的实用性。主要在以下几方面作了重要的变动。

第一，对部分章节作了改动，对全书进行修订，对部分内容与文字作了增加、删减和调整。

第二，在每章的结尾增加了思考题。在正文之后增加了练习题，部分练习题给出了答案。

第三，附录部分增加了5个实验指导，以便于学生对地下水科学基本概念和基本原理的理解。

第四，书后增加了教材中出现的名词术语的中英文索引，便于读者在学习本课程的同时熟悉这些专业术语，为学习专业英语和查阅英语文献奠定基础。

第五，为了直观地展现各种野外地质、水文地质现象，各章节增加了彩色照片和彩色插图，全书采用铜版纸彩色印刷。

本书由周训教授主持编写、修订。其中，绪言、第1章、第2章和第3章由周训编写，第4章由何江涛副教授编写，第5章第1节和第2节由周训编写，第5章第3节由王旭升教授编

写，第6章和第7章由胡伏生教授编写，第8章由周训、胡伏生编写，第9章和第10章由王旭升编写。思考题、练习题和名词术语中英文索引由周训编写，基础实验部分由方斌老师编写。感谢本教材第一版的作者之一赵亮老师，他的工作仍凝结在本书之中。前辈老师许涓铭教授对本书插图提出了许多宝贵的意见和建议，编者向他致以衷心的感谢！本书编写过程中，引用了大量他人的成果，包括部分未公开出版的资料，编者已尽力注明出处；这些成果的引用为本书增色，编者谨向这些成果的拥有者致以谢意。

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，北京市重点学科遴选重点支持学科水文学及水资源建设项目，北京市地下水科学与工程专业综合改革试点项目和地下水循环与环境演化教育部重点实验室，水资源与环境工程北京市重点实验室的资助，编者谨致谢意。

欢迎读者对本教材提出意见和建议以利我们进一步修改和完善。

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

2013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概论课程教学需要,我们编写了《地下水科学概论》教材。地下水科学概论课程是地下水科学与工程本科专业教学的第一门专业基础课,通过该课程的教学,可以使学生了解和掌握地下水科学的基本概念和基本原理,深刻理解它们的实质,以及灵活运用地下水科学的基本知识去分析和解决实际问题,提高专业技能,为后续专业课程的教学和学生今后开展地下水科学领域的研究工作奠定坚实的基础。

地下水科学与工程专业的前身是水文地质专业,《地下水科学概论》教材的前身是《水文地质学基础》及类似教材。自20世纪50年代以来,国内外出版了多个版本的《水文地质学基础》教材或类似的教材,对于水文地质专业人才的培养起到了重要的作用。与此同时,地下水科学领域的研究也取得了迅速的发展,在基本概念、基本原理、研究方法、现代技术的应用等多方面都取得了重要的进展。在编写本教材的过程中,我们力求继承前人教材的经典内容,同时尽可能补充本学科所取得的新成果。

本教材共分10章。第1章介绍地下水在地球表层的分布,着重介绍与地下水分布有关的基本概念。第2章介绍地下水运动的基本定律及相关的基本概念,重点是对达西定律的理解和灵活运用。第3章介绍地下水参与地球表层水循环的各个环节及相关的概念和原理。第4章介绍地下水化学成分及其形成作用以及相关表示方法等。第5章介绍地下水系统的基本概念、分析方法和地下水系统的动态特征及水均衡分析。第6章、第7章和第8章分别介绍赋存于不同含水介质的地下水——孔隙水、裂隙水和岩溶水的基本特征。第9章和第10章分别介绍地下水对于人类活动的有利方面和不利方面。

本教材由周训主持编写,其中绪言、第1章、第2章和第3章由周训编写,第4章由何江涛编写,第5章第1节和第2节由周训、赵亮编写,第5章第3节由王旭升编写,第6章和第7

章由胡伏生编写，第8章由周训、胡伏生和赵亮编写，第9章和第10章由王旭升编写。初稿完成后，由周训进行修改、统编和定稿。

由于编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 者

2009年8月

前 言

第一版前言

绪 言	(1)
思考题	(4)
第1章 地下水的分布	(5)
1.1 地下水的存在形式和物理性质	(5)
1.1.1 地下水的存在形式	(5)
1.1.2 地下水的物理性质	(7)
1.2 多孔介质的空隙类型	(8)
1.2.1 孔隙	(10)
1.2.2 裂隙	(13)
1.2.3 溶穴	(14)
1.3 多孔介质的水理性质	(15)
1.3.1 容水性、持水性和给水性	(16)
1.3.2 透水性(渗透性)	(17)
1.3.3 毛细性	(18)
1.4 地下垂直剖面上的水分分带	(20)
1.4.1 包气带	(21)
1.4.2 饱水带	(21)
1.5 含水层、隔水层和弱透水层	(22)
1.5.1 含水层和隔水层	(22)
1.5.2 弱透水层	(23)
1.5.3 含水岩段、含水岩组和含水带	(23)
1.6 潜水、承压水和上层滞水	(24)
1.6.1 潜水	(24)
1.6.2 承压水	(29)
1.6.3 上层滞水	(32)

1.7 储水构造和岩层的富水程度	(33)
1.7.1 储水构造	(33)
1.7.2 岩层的富水程度	(37)
思考题	(40)

第2章 地下水运动的基本规律 (41)

2.1 基本概念和术语	(41)
2.2 渗流基本规律	(43)
2.2.1 达西定律	(43)
2.2.2 达西定律应用举例	(46)
2.2.3 达西定律适用范围与非达西流	(48)
2.3 流网	(49)
2.3.1 流网的绘制方法	(49)
2.3.2 流网的性质和用途	(50)
2.3.3 典型流网图	(51)
2.4 非饱和带水的运动	(53)
2.4.1 非饱和带水的能态	(53)
2.4.2 非饱和带水分特征曲线	(55)
2.4.3 非饱和带水的运动与零通量面	(55)
2.5 其他地下水运动模型简介	(57)
2.5.1 平行板模型	(57)
2.5.2 圆管模型	(58)
2.5.3 变密度地下水运动	(59)
思考题	(60)

第3章 地下水的循环 (61)

3.1 地球上的水循环	(61)
3.1.1 水文循环	(61)
3.1.2 影响水循环的自然地理因素	(63)
3.1.3 地下水的起源	(65)
3.2 地下水的补给	(66)
3.2.1 大气降水的入渗补给	(66)
3.2.2 地表水的补给	(69)
3.2.3 凝结水的补给	(71)
3.2.4 含水层之间的补给	(71)
3.2.5 地下水的人工补给	(73)

3.2.6 其他类型的补给	(74)
3.3 地下水的排泄	(75)
3.3.1 泉	(75)
3.3.2 泄流	(82)
3.3.3 蒸发排泄	(84)
3.3.4 人工排泄	(85)
3.4 地下水的径流	(86)
3.4.1 径流方向、径流强度和影响径流的因素	(86)
3.4.2 地下径流量与地下径流模数	(88)
3.5 区域地下水的循环简述	(89)
3.5.1 河间地块	(89)
3.5.2 基岩山区和山间盆地	(90)
3.5.3 基岩山区和洪冲积平原	(91)
3.5.4 滨海含水层和海岛含水层	(91)
3.5.5 内陆河流域(盆地)	(92)
3.5.6 大型沉积盆地	(94)
思考题	(94)

第4章 地下水水化学基本原理	(95)
4.1 天然地下水的化学组成	(95)
4.1.1 主要组分和次要组分	(96)
4.1.2 微量组分和特殊组分	(98)
4.1.3 气体成分	(99)
4.1.4 同位素组分	(101)
4.1.5 综合指标	(101)
4.2 天然地下水的成因类型及水化学成分形成作用	(105)
4.2.1 天然地下水的成因类型	(105)
4.2.2 天然地下水化学组分的形成作用	(108)
4.3 天然地下水化学成分的表示法、分类及分带性	(112)
4.3.1 水化学图示法	(112)
4.3.2 舒卡列夫分类	(114)
4.3.3 地下水水化学的水平分带	(115)
4.4 污染地下水水化学特征	(117)
4.4.1 地下水污染基本概念	(119)
4.4.2 常见地下水污染类型	(124)
思考题	(126)

第5章 地下水系统及其动态与均衡 (127)

5.1 地下水系统 (127)

5.1.1 地下水系统的含义 (127)

5.1.2 地下水含水系统与地下水流动系统 (128)

5.2 地下水系统的动态 (132)

5.2.1 地下水系统动态的概念及分类 (132)

5.2.2 地下水动态的成因及影响因素 (133)

5.2.3 典型地下水位与泉流量动态 (139)

5.3 地下水系统的均衡 (143)

5.3.1 均衡要素与均衡方程 (143)

5.3.2 地下水均衡分析方法 (145)

5.3.3 地下水系统均衡状态的演变 (148)

思考题 (150)

第6章 孔隙水..... (151)

6.1 洪积物中的地下水 (151)

6.1.1 洪积扇的沉积特征 (151)

6.1.2 洪积扇中地下水分带 (152)

6.1.3 山前倾斜平原 (153)

6.2 冲积物中的地下水 (156)

6.2.1 冲积物的沉积特征 (156)

6.2.2 河谷地下水 (158)

6.2.3 冲积平原地下水 (159)

6.3 三角洲地下水 (160)

6.4 黄土高原地下水 (161)

思考题 (163)

第7章 裂隙水..... (164)

7.1 裂隙的成因类型 (164)

7.1.1 成岩裂隙 (164)

7.1.2 构造裂隙 (164)

7.1.3 风化裂隙 (165)

7.2 裂隙的水力性质 (166)

7.2.1 裂隙的几何特征 (166)

7.2.2 裂隙的发育特征 (167)

7.3 裂隙水的埋藏类型	(171)
7.3.1 风化壳状裂隙水	(171)
7.3.2 层状裂隙水	(173)
7.3.3 脉状裂隙水	(175)
思考题	(177)
第8章 岩 溶 水	(178)
8.1 岩溶发育的基本条件与岩溶动力系统	(178)
8.1.1 岩石的可溶性	(179)
8.1.2 岩石的透水性	(179)
8.1.3 水的溶蚀性	(180)
8.1.4 水的流动性	(181)
8.1.5 岩溶动力系统	(181)
8.2 岩溶发育特征	(182)
8.2.1 岩溶形态特征	(182)
8.2.2 理想的岩溶发育和岩溶水系统演化过程	(184)
8.2.3 岩溶发育的分带与分层	(185)
8.2.4 岩溶发育的影响因素	(188)
8.2.5 表层岩溶、深部岩溶和古岩溶	(191)
8.3 岩溶水的基本特征	(193)
8.3.1 岩溶水的分布与运动	(193)
8.3.2 岩溶水的补给、排泄、径流与动态	(194)
8.3.3 岩溶水系统的“三水”转化	(195)
8.4 我国南方和北方的岩溶和岩溶水	(196)
8.4.1 南方的岩溶和岩溶水	(196)
8.4.2 北方的岩溶和岩溶水	(198)
思考题	(200)
第9章 地下水资源及其利用	(201)
9.1 地下水资源的概念和特征	(202)
9.2 地下水资源评价简介	(204)
9.2.1 地下水资源(量)的分类	(204)
9.2.2 地下水资源评价方法简述	(205)
9.2.3 流域水资源评价要点	(207)
9.3 地下水资源的可持续利用	(207)
9.3.1 地下水可持续利用的含义	(207)

9.3.2 过量开采地下水的后果 (208)

9.3.3 地下水开发工程的科学管理 (210)

思考题 (211)

第 10 章 地下水与地质环境 (212)

10.1 劣质地下水的危害与控制 (212)

10.1.1 劣质地下水的类型及其危害 (212)

10.1.2 劣质地下水的调查评价 (213)

10.1.3 劣质地下水的利用与控制 (214)

10.2 地下水与地质灾害 (215)

10.2.1 地下水开采引发的地质灾害 (215)

10.2.2 地下水与斜坡稳定性 (216)

10.2.3 地下水与盐渍化和沙漠化问题 (218)

10.3 地下水与工程建设 (219)

10.3.1 矿坑和地下洞室的涌水 (219)

10.3.2 建筑基坑降水 (220)

思考题 (221)

参 考 文 献 (222)

附录 A 练习题 (226)

附录 B 基础实验 (256)

附录 C 名词术语中英文索引 (275)

附 图

地下水科学的研究对象无疑是地下水，主要研究内容包括：①地下水在地球表层的分布、运动、循环和形成特点及规律；②地下水在天然条件和人为因素的影响下，其水量和水质随空间和时间的变化特点；③地下水与地下多孔介质及地质环境、生态环境等的相互作用；④人类如何保护、合理有效地开发和可持续利用地下水资源，以及如何防范地下水对人类活动造成的危害等（周训等，2009）。地下水科学既研究地下水及与之有联系的其他水体，也研究赋存地下水的地下多孔介质；既探索与地下水有关的客观规律，也探讨地下水科学的各种研究方法。

水以液态、固态和气态的形式分布于地球表层的水圈、岩石圈、生物圈和大气圈中，地球表面上约71%的面积被水覆盖。据估计，地球表层分布的水体积约为 $1.36 \times 10^{18} \text{ m}^3$ ，其中海洋中的水约占97.2%，陆地上的水约占2.8%，地下水仅约占总水体积的0.61%。地球表层的水中只有少部分是可供人类利用的淡水，在可利用的淡水中约98%来自地下水。可见，地下水是极其宝贵的自然资源。

人们最早通过泉水和井水来了解、认识和利用地下水。在地形条件、地质条件和地下水分布适当处地下水可以以泉水的形式天然涌出地面，在适当的地方打井也可以揭露和抽取地下水。但是，由于地下水分布于地下岩石空隙中，不像地表水那样容易观察到，而且地下水的分布也是不均匀的，所以在一些地方地下水较为丰富，而在另一些地方可能极其贫乏。赋存地下水的多孔介质主要包括孔隙介质、裂隙介质和岩溶介质，地下多孔介质的性质对地下水的分布和运动有着重要的影响，这与地表水的情形有着很大的不同。大多数地下水在地下岩层中处于运动状态，地下水在含水介质空隙中的流动比地表水的流动缓慢得多。大多数地下水参与地球表层的水循环，大部分地下水来源于大气降水，以泉、泄流、蒸发等方式排泄到地表或进入大气中。受各种天然条件和人为因素的影响，地下水的流量、水位、水温和化学组分等不仅可以随空间变化，而且也随时间发生变化。地下水与其赋存的多孔介质接触会表现出容水、给水、储水、导水等一系列物理性质，它们随着多孔介质的不同而差异甚大。地下水与其流经的多孔介质可以发生水-岩相互作用，致使地下水的化学组分在空间和时间上也存在差异。地下水是自然界长期演化的产物，其水量、水质在时间和空间上分布不均匀，受人为因素影响也越来越明显。了解和掌握地下水科学的基本概念、基本原理、基本结论，把握地下水储存、运动的客观规律，将有助于人们分析和解决与之有关的实际问题。

水是人类生存和发展所依赖的自然资源，在水资源日益短缺的今天显得更加宝贵。

与地表水一样,地下水资源是重要的供水水源,可用于饮用、市政、工业、农业等方面,在人类生活、国民经济建设和社会发展中发挥着重要作用。研究地下水分布和形成的客观规律最重要的目的,首先在于如何合理开发和可持续利用地下水资源。在水资源相对贫乏的地区,寻找丰富优质的地下水,仍然是当前面临的艰巨任务。在地下水分布和循环比较清楚的地区,需要合理开发利用地下水资源,并尽可能减少由于开采地下水引发的地质环境问题。一些特殊类型的地下水有着特殊的用途。例如,含有一些特殊化学成分的地下水对于人体有医疗保健功效,可以作为矿泉水开发利用。某些化学成分含量较高的地下水具有工业原料利用价值,可以作为矿水开发。温度较高的地下热水可以用于洗浴、医疗保健、休闲旅游、取暖、温室种植和养殖等,某些高温地下热水甚至可以用来发电。高浓度的地下卤水和盐湖晶间卤水可以制盐和提取钾、锂、锶、钡、溴、碘等成分。流量较大的泉、温泉和泉华(钙华),配合其他自然或人文景观,可以成为重要的旅游资源。

另一方面,在某些情况下地下水对人类生产和生活活动存在危害,研究地下水客观规律的目的还在于尽可能降低以至消除地下水的危害。一些煤矿和金属矿位于地下水位以下,为了矿山的安全生产,必须进行矿坑排水降低地下水位。过去因为矿坑涌水、突水或透水造成的矿山安全事故时有发生。在地下洞室和工程基坑施工之前和施工过程中,也需要排水或降水使地下水的危害达到最小。一些水库大坝或河道堤坝的坝下或坝肩岩层存在渗透性,致使水库或河道存在渗漏,需要尽可能减少这种渗漏。在一些地形低平的平原地区或山间盆地,地下水位埋藏浅,在干旱半干旱的气候条件下,由于蒸发强烈,导致土壤盐渍化的发生;在另外一些地方由于排水不畅,可能出现土壤沼泽化现象,不利于农业生产。有些地方存在水土异常,特别是水质异常,例如地下水中砷、硒、碘含量过高或过低,长期饮用这类地下水的人们容易患上各种地方病。地下水通常还是引发崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害的活跃因素。

人类活动对地下水的不良影响越来越明显,并引起人们的日益重视。过度砍伐植被、迅速发展的城镇建设及过量开采地下水等,都可以改变天然状态下地下水的补给、径流和排泄条件。人类排放的污水、固体废物以及核废物,可以污染或有可能污染地下水,改变地下水的水质。地下水一旦被污染,治理起来颇为不易。地下水污染及其控制与治理,成为地下水科学研究的重要方面。

人类很早就知道利用地下水,只是在古代无论是利用天然出露的泉水还是通过水井抽取地下水,用水量都不大。自20世纪上半叶以来,特别是在最近几十年里,由于人口增长和经济的快速发展,地下水开采量迅速增加,由此引发的环境地质问题或地质灾害屡有发生。例如,大规模开采地下水,会导致地下水位持续下降和区域地下水位降落漏斗的扩大,导致泉水流量减小乃至断流;在碳酸盐岩分布区的矿区或水源地集中开采地下水,有可能导致岩溶地面塌陷;在松散沉积物分布区大量开采中、深部地下水,有可能出现地面沉降;在滨海地区海岸带过度开采地下水,可能引起海水入侵。此外,某些地区地表出现地裂缝、土地沙漠化加剧等现象,也都与不合理开采地下水有关。

地下水又是一种地质营力、溶剂和信息载体,在地质环境的演化过程中成为活跃的环境因子。地下水可以传递应力,可以吸纳和传输热量。地下水与其周围岩石存在水-岩相互作用,不断改变地下水和岩石的成分。在沉积盆地的演化过程中,地下水对石油、天然

气的聚集起着重要作用。地下水的物理和化学性状的变化记录着地质环境演化的历史。地下水的水位、流量、温度、化学成分等的变化可反映地震、固体潮、地下矿床及地球深部能量等方面的信息。地下水对核废物在地下的迁移起着重要作用。利用地下含水层可以储存热量,利用地下包气带可以去除污染物,利用地下低渗透岩石储存核废物等,在这些方面,地下水科学具有广阔的研究和应用前景。

研究地下水,需要对地下水和地下多孔介质开展野外调查、采样测试、模拟实验及定量计算等工作。通过地面调查、钻探和物探等方法手段,查清地下含水层和隔水层的空间分布,了解地下水的循环状况及与外界的水力联系;通过抽水试验等方法可以求取含水介质参数,在野外可以直接观测地下水和多孔介质的某些物理、化学指标;开展地下水动态观测可以掌握地下水的变化状况。采集地下水及相关水体的样品和岩石样品进行室内测试,以便获取反映地下水分布、形成等的物理、化学等方面信息。开展室内模拟实验,可以有助于探讨地下水分布、运动、形成等方面的物理或化学机理,揭示其内在规律。在获取地下水和地下多孔介质及相关研究对象大量的第一手数据的基础上,可以开展不同目的的地下水水量和水质的定量计算和评价。

地下水水量和水质的定量研究一直是地下水科学的核心内容。1856年,达西定律的提出标志着地下水定量研究的开始并奠定了地下水流计算的理论基础。随后,地下水稳定流动的计算得到了迅速发展。1935年,泰斯公式的提出大大促进了地下水非稳定井流的计算并推进了向实际应用的发展。100多年来,地下水稳定流和非稳定流的解析解法有了很大的发展。随着开采规模的扩大,需要对实际含水系统的地下水流动进行研究。20世纪60年代以来,随着计算机的应用,人们开始应用数值解法模拟地下水的流动,使解析法难以完成的具有复杂含水层结构、非均质、边界不规则和复杂源汇项的地下水系统的计算成为可能,解决了大量生产实际问题。最近30年来,多种地下水数值模拟软件(例如MODFLOW)的出现,使地下水数值模拟得到了普及,从局部含水层到盆地(流域)尺度的地下水系统的数值模拟都能得以实现。溶质运移、热量运移等的数值模拟计算也得到了迅速发展。与此同时,水化学模拟软件(例如PHREEQC)的出现也极大地促进了地下水系统水-岩相互作用的研究。

最近几十年来,现代技术和方法在地下水科学领域的运用促进了人们对地下水的深入研究。同位素技术的应用对于分析地下水的起源、补给区信息、混合程度、流动路径、年龄等提供了丰富的信息和方法手段。遥感技术的应用为人们判别区域地下水的分布、包气带含水量的变化和地表蒸发信息,提供了优越的研究手段。地理信息系统的应用为人们分析在空间分布上有关联的地下水信息提供了便利手段。此外,各种物理指标和化学成分的测试设备和仪器的发明改进(例如各种质谱仪、色谱仪、加速器的使用),大大提高了样品测试的精度和速度,在促进地下水科学进步方面发挥了重要作用。

随着学科的交叉、渗透,其他学科的理论在地下水科学中得到应用,也促进了地下水科学的发展。例如,系统论的思想方法有助于地下水系统理念的建立。运筹学方法为建立和求解地下水资源管理模型,提出地下水优化开采方案奠定了基础。地质统计学方法对分析具有空间变化的许多地下水有关参数提供了便利条件。将来,地下水科学的服务和研究领域还将不断扩大和深化,地下水科学的理论将会得到不断丰富、完善和发展。

作为自然界演化的产物并受人类活动影响的地下水及与之相关的各种现象和问题，吸引着一代又一代科学工作者开展了广泛、深入的研究，并取得了巨大的进展。当代的地下水科学，无论是研究内容还是研究方法，还存在一系列的科学问题和工程技术问题，有待现在和将来的地下水科学工作者去探索 and 解决。



1. 地下水科学有哪些主要研究内容？
2. 地下水对人类活动有哪些有利的方面和不利的方面？
3. 人类是如何认识地下水和开展地下水科学研究的？