

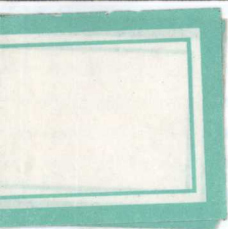
北京市水资源与环境工程重点实验室资助

高等学校教材

生态水文地质学

SHENGTAI SHUIWEN DIZHIXUE

万 力 曹文炳 胡伏生 金晓媚 陈劲松 龚 斌 著



地质出版社

北京市水资源与环境工程重点实验室资助

56.3
109

生态水文地质学

万 力 曹文炳 胡伏生 著
金晓媚 陈劲松 龚 斌

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书在阐明地下水系统与植被生态关系的基础上,着重论述了包气带中气态水运移机制及其对水分分布和热传导的影响;深入探讨了包气带特有的生物化学净化功能;详细地论述了地下水与植被生态系统的关系,以及青藏高原多年冻土区、西北内陆盆地的生态水文地质特征,及其生态环境演化趋势。

本书可作为水文地质、水资源、生态环境、土壤、生态环境地质调查研究者和高等院校教师、研究生及高年级学生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

生态水文地质学/万力等著. —北京:地质出版社,
2005. 8

ISBN 7-116-04451-5

I. 生... II. 万... III. 生态系统—水文地质
IV. P641

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 083829 号

责任编辑:孙亚芸 屠涌泉

责任校对:郑淑艳

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)82324573 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京朝阳区小红门印刷厂

开 本:787 mm × 1092 mm 1/16

印 张:14.125 彩版:2 页

字 数:348 千字

印 数:1—2000 册

版 次:2005 年 8 月北京第一版·第一次印刷

定 价:28.00 元

ISBN 7-116-04451-5/P · 2580

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

前 言

笔者长期从事水文地质教学、科研工作,经历了水文地质学由找水水文地质学向资源水文地质学转变的过程。水文地质学重心的转换,既是学科发展适应社会和国民经济发展需求的要求,也是水文地质学科与其他相关学科之间相互融合的结果。

当前,淡水资源短缺已成为仅次于石油资源短缺的全球性问题,是21世纪人类必须面对的重要问题之一。1992年都柏林国际水环境会议将生态水文学作为一门独立学科提出来,联合国教科文组织国际水文计划将水文生态学作为重要的研究领域。各国学者之所以对生态水文学如此重视,是因为生态水文学提出了一个新的理念,即生态水文学的最终目标是在保持生物多样性、保证水资源数量和质量的前提下提供一个环境健康、经济可行和社会可接受的水资源持续管理范式,用于谋求解决水资源的可持续利用,保持经济持续发展。这一理念为各国学者所接受,并开始在水文学的范畴内,从不同的角度和视野探寻各个子学科与生态之间的相互影响。当一种理念或理论影响人类的生存乃至社会发展时,也就是新学科的诞生之际。

我国许多地区,清洁淡水资源的匮乏已成为经济发展的瓶颈,尤其是北方广大干旱半干旱地区,地下水在整个水资源中所占比例极高,地下水资源可持续利用已成为整个社会可持续发展的重要组成部分。近几年来,国土资源部开始将生态调查纳入国土资源调查中,在具体实施过程中,明显感觉缺少理论依据和学科基础。在此需求下,必然导致水文地质学重心的再次转移,催生出一门新的学科——生态水文地质学。

笔者认为:生态水文地质学是一门研究地下水与地表植被生态之间相互作用过程和机制的学科;既是生态水文学的分支,又是水文地质学的研究领域,最终将成为地下水资源可持续利用理念实施的学科基础;有理由相信生态学与水文地质学的交叉必将加深人们对生态系统演变和演化过程及其机制的认识。地下水与植被生态系统关系密切,借助生态学和水文地质学的研究方法,融合两个学科的研究成果,在保持生态多样性的基础上,使地下水水量、水质保持均衡,预测地下水文过程对生态环境的影响效应,达到地下水资源可持续利用的目的,是生态水文地质学当前的主要任务。

近几年来,笔者有幸参与了国土资源部下达的《黄河源区1:20万生态环境地质调查》、《黄河源区冻结层上水地质环境影响研究》和《黑河流域水资源利用对生态环境的影响》三个项目,积累了一些经验和资料,有关内容也写在本书中,供读者参考。

本书在系统介绍植被生态和水文地质知识等的基础上,吸取了生态学和水文地质学的最新研究成果,详细论述了包气带中气态水运移规律及其对荒漠植被的影响、包气带净化机制和功能;分析了我国主要孔隙含水系统、裂隙含水系统、岩溶含水系统的发育分布特

征,并探讨了流动系统发育深度;综合运用生态学和水文地质学知识,阐述了黑河流域水资源利用对生态环境的影响、青藏高原生态水文地质特征、地面沉降引起的生态环境问题。

撰写本书的目的,是使水文地质和环境专业的高年级本科生、研究生,了解和掌握当前水文地质学研究重心转移的方向和特点,以尽快适应社会对水文地质工作者提出的新需求。

全书共分12章,胡伏生、陈劲松分别参加第一章、第二章部分编写工作,第十二章由金晓媚和龚斌完成,其余各章由曹文炳撰写,最后由万力进行全书统稿。

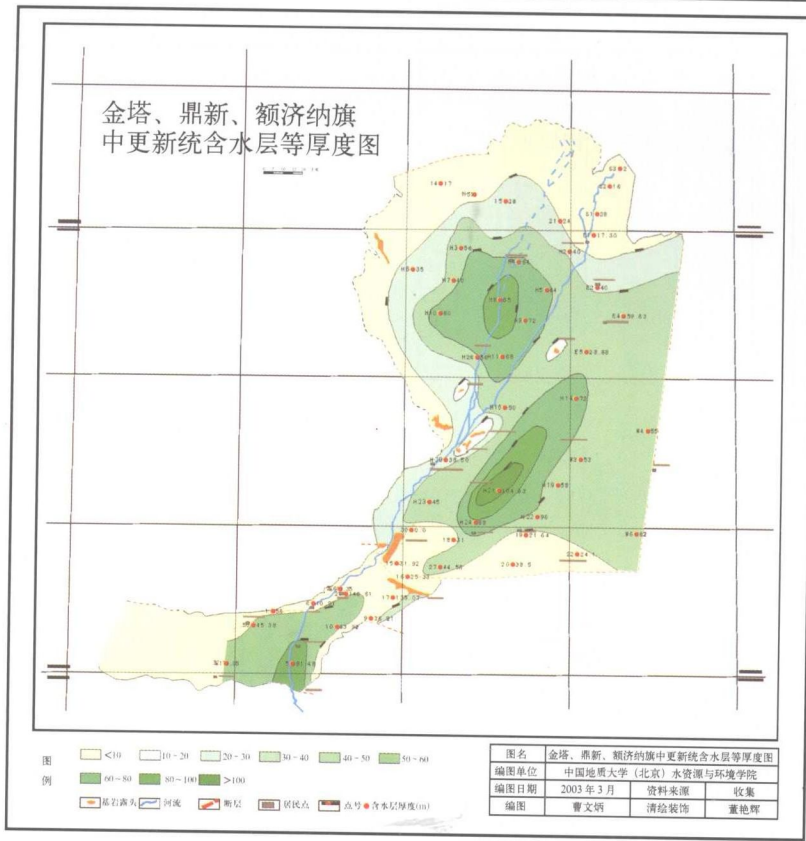
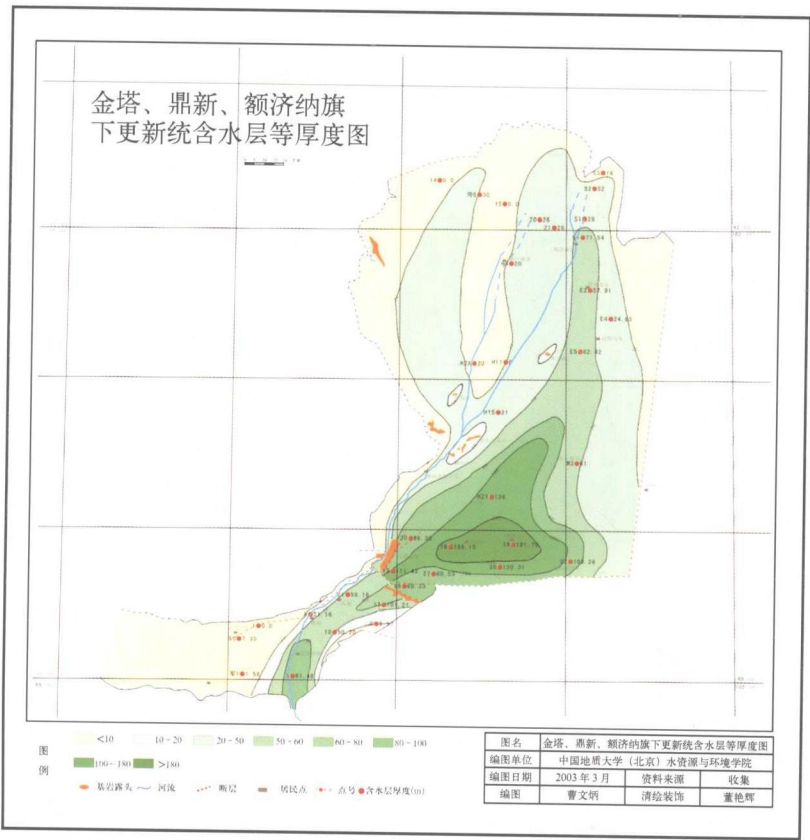
沈继芳教授为本书审稿,并提出了许多宝贵意见,在此深表感谢。

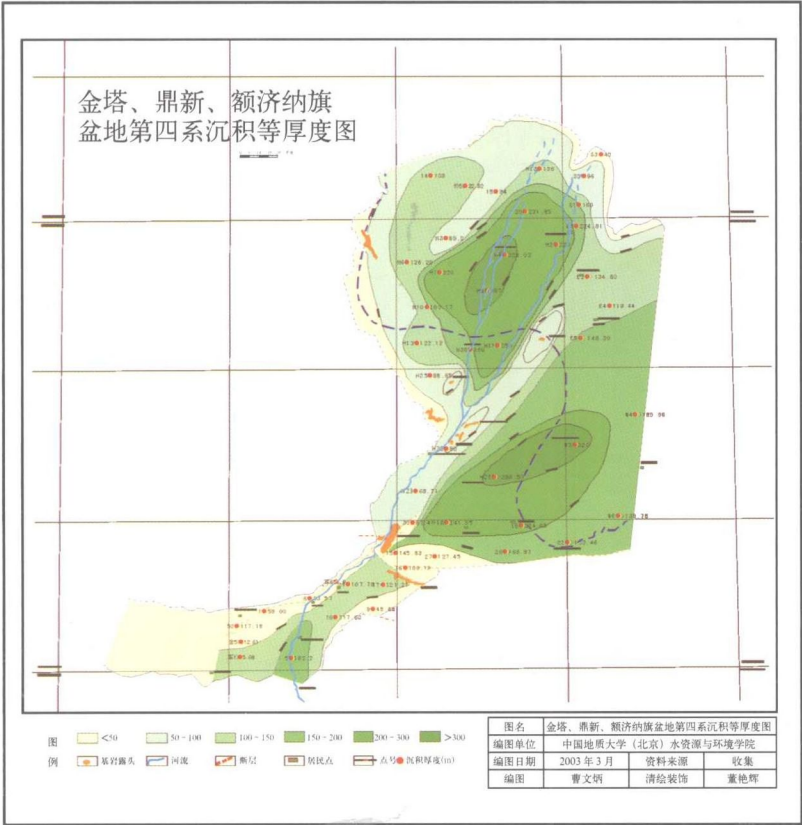
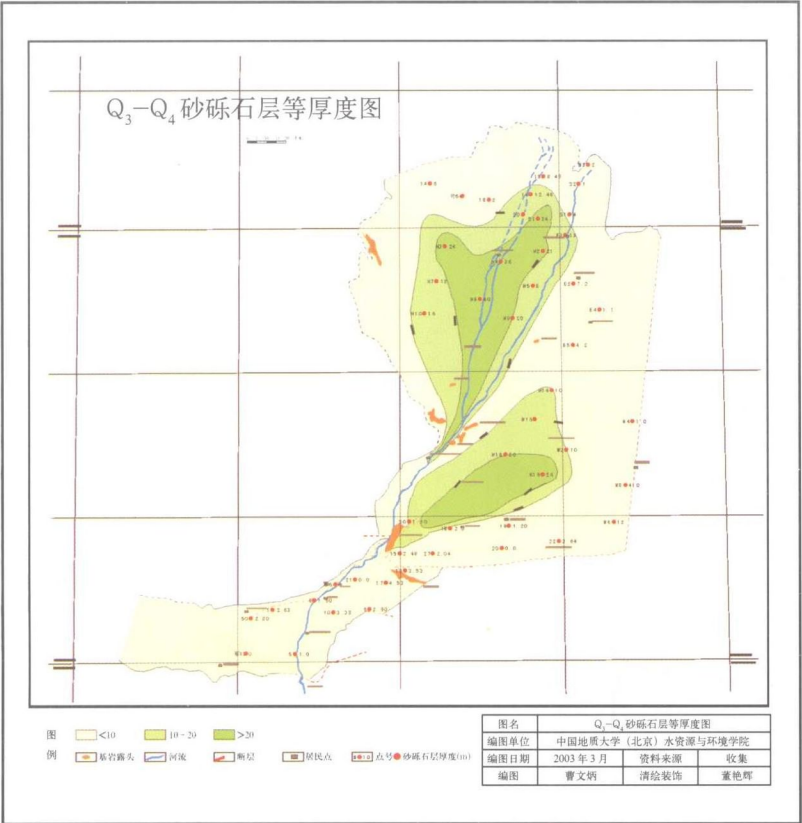
本书编写过程中,得到了水资源环境学院师生的关心和支持,硕士研究生曾亦键、蒋小伟帮助收集了不少资料,博士生王雪莲和硕士生甘小莉帮助清绘了部分图件和校对工作,在此深表谢意。

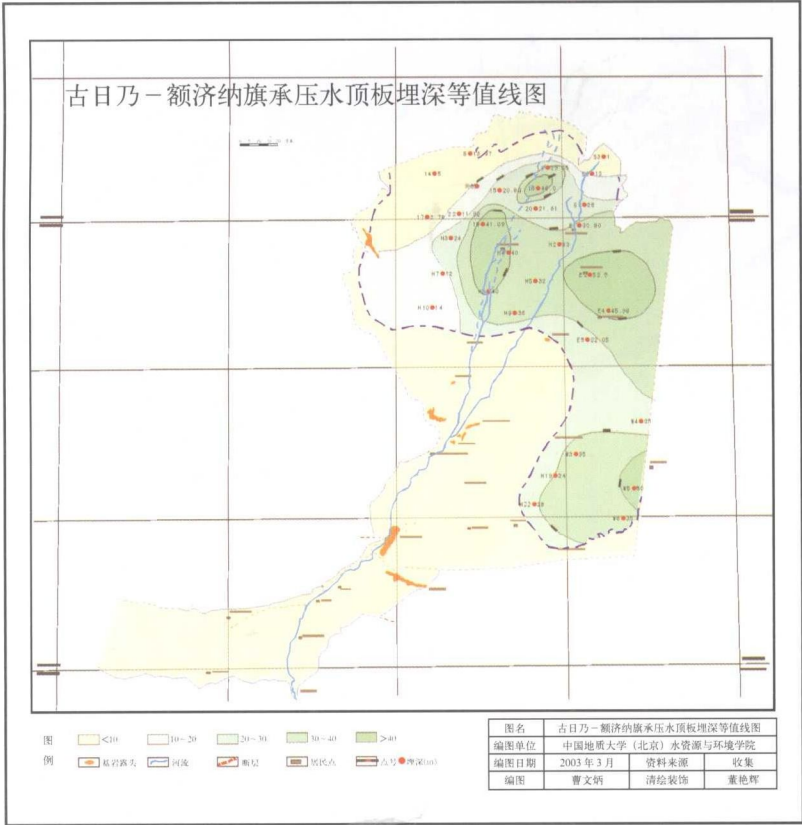
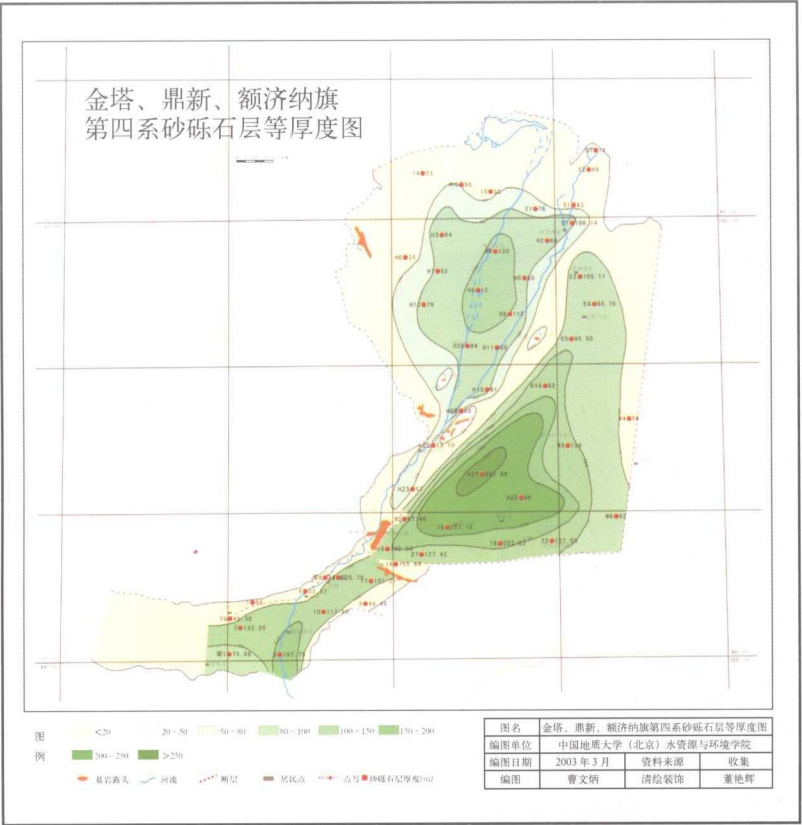
尽管笔者穷尽所能撰写本书,但终究能力和积累有限,错误和缺点在所难免,敬请广大读者批评指正。

作 者

2005年5月20日







目 录

前 言

绪 言	(1)
第一章 植物与生态	(6)
第一节 植物与水分的关系	(6)
一、植物与土壤中水分	(6)
二、植物细胞中的水分	(7)
三、植物根系的吸水作用	(8)
四、植物中水分的输送	(8)
五、蒸腾作用	(9)
第二节 种群生态	(12)
一、种群概念	(12)
二、种群的基本特征	(12)
第三节 群落生态	(14)
一、生物群落的概念	(14)
二、群落的物种组成	(15)
三、生物群落结构	(17)
第四节 生物群落的动态	(17)
一、生物群落的年际和季节变化	(17)
二、生物群落的演替	(18)
三、生物群落的演替顶极	(18)
第五节 陆地生物群落的分布格局	(19)
一、影响陆地生物群落分布的因素	(19)
二、陆地主要植被类型	(19)
第六节 生态系统	(21)
一、生态系统的概念	(21)
二、生态系统的组成和结构	(22)
三、生态系统的功能	(23)
参考文献	(26)
第二章 水文地质基础	(27)
第一节 岩石中的空隙和水分	(27)
一、岩石中的空隙	(27)

二、岩石中水的存在形式	(30)
三、岩石的水理性质	(31)
第二节 地下水的赋存	(32)
一、包气带与饱水带	(32)
二、含水层、隔水层	(33)
三、地下水分类	(33)
四、潜水	(34)
五、承压水	(35)
六、上层滞水	(37)
第三节 地下水运动的基本规律	(37)
一、重力水的运动	(38)
二、流网	(39)
第四节 地下水化学成分及其形成作用	(41)
一、概述	(41)
二、地下水的化学特征	(42)
三、地下水总矿化度及化学成分表示式	(46)
四、地下水的温度	(47)
五、地下水化学成分的形成作用	(47)
六、地下水化学成分的基本成因类型	(50)
七、地下水化学成分的分析内容与分类图示	(52)
参考文献	(53)

第三章 地下水循环	(54)
第一节 地下水的补给	(54)
一、大气降水对地下水的补给	(54)
二、地表水对地下水的补给	(55)
三、含水层之间的补给	(56)
四、地下水的其他补给来源	(56)
第二节 地下水的排泄	(57)
一、泉	(57)
二、泄流	(58)
第三节 蒸发	(58)
一、水面蒸发	(58)
二、土壤蒸发	(60)
第四节 植物的蒸腾	(62)
一、荒漠植物的蒸腾	(62)
二、草原植物的蒸腾	(63)
三、森林的蒸腾	(64)
四、蒸腾量的测定方法	(64)

第五节 陆面蒸发的估算方法	(65)
一、仪器测量法	(65)
二、气象学估算法	(66)
三、遥感信息估算法	(67)
参考文献	(68)
 第四章 包气带水量转换及净化功能	(69)
第一节 包气带中水的赋存形式	(69)
第二节 毛细现象	(69)
第三节 包气带中水分分布及运动	(70)
第四节 包气带中气态水的运动	(72)
一、气态水运移特征	(72)
二、气态水的液汽相转换模式	(75)
三、包气带内的热管效应和凝结量计算	(76)
四、冷生湿润砂层的形成及其对生态环境的影响	(78)
五、冷生湿润砂层形成的控制因素	(80)
第五节 包气带的净化功能	(81)
一、过滤作用	(81)
二、阳离子交替吸附作用	(81)
三、生物化学降解作用	(82)
四、影响包气带生物降解的因素	(86)
五、包气带生物降解的应用前景	(87)
第六节 小结	(88)
参考文献	(89)
 第五章 地下水系统	(90)
第一节 地下水系统的组成	(90)
第二节 地下水含水系统	(91)
一、地下含水系统的边界	(91)
二、孔隙含水系统	(91)
三、裂隙含水系统	(96)
四、岩溶含水系统	(100)
第三节 地下水流动系统	(105)
一、地下水流动系统基本特征	(105)
二、地下水流动系统的水动力特征	(106)
三、地下水流动系统的水化学特征	(109)
四、地下水流动系统的实际应用	(110)
参考文献	(113)

第六章 地下水的动态与均衡	(114)
第一节 地下水系统的信息传递	(114)
第二节 地下水动态	(115)
一、气象(气候)因素	(115)
二、水文因素	(116)
三、地质因素	(116)
四、地下水动态类型	(117)
第三节 地下水均衡	(118)
参考文献	(121)
第七章 地下水与植被生态的关系	(122)
第一节 地下水对植被分布格局的影响	(122)
第二节 生态地下水位	(123)
一、生态地下水位的概念	(123)
二、主要耐旱植物的生态地下水位	(124)
三、地下水位变化对植被演替的影响	(125)
第三节 植被生态需水量	(126)
第四节 植被生态对地下水的养涵作用	(128)
第五节 小结	(130)
参考文献	(131)
第八章 植被生态地下水优化管理模型	(132)
第一节 生态水文地质学的尺度问题	(132)
一、水文地质观测尺度	(132)
二、植被生态的观测尺度	(133)
三、时间尺度	(133)
第二节 植被生态地下水管理模型	(134)
一、地下水数学模型	(135)
二、植被生态优化管理模型	(135)
参考文献	(137)
第九章 黑河流域水资源利用对生态环境的影响	(138)
第一节 黑河流域水文地质条件	(138)
一、自然地理概况	(138)
二、黑河上游水环境	(140)
三、黑河中游水环境	(142)
四、黑河下游水环境	(144)
第二节 黑河流域生态环境	(149)

一、南部祁连山生态区 (I)	(149)
二、山前断陷盆地生态区 (II)	(151)
三、下游冲积湖积平原生态区 (III)	(153)
第三节 水环境对生态环境的制约作用	(156)
第四节 水资源利用对生态环境的影响	(157)
一、中游地区水资源利用对下游生态环境的影响	(157)
二、人为改变天然河道对生态环境的影响	(158)
三、环境变化对沙尘暴源区形成的影响	(159)
四、下游地区沙尘暴源区发展趋势预测	(161)
第五节 小结	(161)
参考文献	(162)

第十章 青藏高原生态水文地质特征	(163)
第一节 气候	(163)
第二节 冻土的基本特征	(163)
一、冻土的定义	(164)
二、冻土分布及其影响因素	(164)
三、影响季节融化深度的因素	(165)
四、冻土中的冰	(166)
第三节 水文地质特征	(167)
一、多年冻土区的地下水类型	(167)
二、水文地质结构	(170)
第四节 植被生态特征	(171)
第五节 气候变暖对生态环境的影响	(173)
一、气候变暖趋势	(173)
二、水平衡失调	(174)
三、冻土退化	(176)
第六节 冻结层上水对生态环境的影响	(177)
一、冻结层上水的分布特征	(177)
二、冻结层上水水位下降引起的生态环境问题	(178)
三、冻结层上水与冻土退化的关系	(180)
四、与冻结层上水有关的草场退化模式	(181)
第七节 人类活动对生态环境的影响	(182)
一、黄河上修建水电站的影响	(182)
二、打井取水的影响	(182)
三、过度放牧的影响	(182)
四、乱采砂金的影响	(183)
第八节 小结	(184)
参考文献	(185)

第十一章 地面沉降引起的生态环境问题和防治	(186)
第一节 地面沉降现状	(186)
一、地面沉降的类型	(186)
二、国内地面沉降现状	(187)
第二节 地面沉降引起的生态环境问题	(189)
一、对城市生态的危害	(189)
二、对水利和交通设施的危害	(190)
三、地面沉降产生的地裂缝危害	(191)
四、地面沉降对生态环境的危害	(191)
第三节 地面沉降机理及特征	(192)
一、地面沉降机理	(192)
二、地面沉降特征	(195)
第四节 地面沉降的监测技术及预测方法	(197)
一、地面沉降的监测技术	(197)
二、地面沉降的预测	(200)
第五节 地面沉降防治的主要方法	(202)
一、压缩地下水开采量	(202)
二、确定临界开采水位的方法	(203)
三、调整开采层位分层开采	(203)
四、人工回灌	(204)
第六节 地面沉降的综合治理	(204)
一、加强宣传提高民众的环保意识	(205)
二、开源、节流并举	(205)
三、加强水资源的综合管理	(206)
参考文献	(207)
第十二章 遥感技术在生态水文地质调查中的应用	(208)
第一节 植被指数	(209)
第二节 数据校正	(211)
一、土壤线校正法	(212)
二、等面积校正法	(213)
参考文献	(215)

图 版

绪 言

当今,人类越来越关心赖以生存的生态环境,希望在生态环境得到保护的前提下,同时求得可持续发展。近年来,淡水资源短缺已成为仅次于石油资源短缺的全球性问题,是21世纪人类必须面对的重要问题之一。为维护社会稳定,保持经济持续发展,需要谋求水资源的可持续利用,1992年都柏林国际水环境会议将生态水文学作为一门独立学科提出来,希望通过生态水文学的研究,使人类走出水资源短缺的困境。联合国教科文组织国际水文计划也将水文生态学作为重要的研究领域。生态水文学的最终目标是在保持生物多样性、保证水资源数量和质量的前提下提供一个环境健康、经济可行和社会可接受的水资源持续管理范式(M. Zalewski, et al., 1997),这一可持续发展的理念受到各国学者的重视,并开始在水文学的范畴内,从不同的角度和视野探寻各个子学科与生态之间的相互影响。

生态水文学是一门年轻的学科,它从生态水文过程着手研究水环境系统的演化和演变对生态系统现在及将来潜在的影响和作用,以期实现对淡水资源(包括江、河、湖泊、湿地、地下水)全过程的管理,达到社会、经济可持续发展的目的。由于生态环境和水环境的多样性和复杂性,到目前还尚未形成完整的理论框架和方法体系。生态水文学涵盖范围广,研究内容弹性极大,大尺度的可从全球性的视角来研判水文系统变化对生态系统的耦合作用,小尺度可深入到微生物的级别来探寻生物系统与水质之间的关系等。从研究范围和内容的层面来看,生态水文学本身可分为一系列的子学科,如水文学包括地表水(河流、湖泊、湿地)和地下水等子学科,当它们与种类繁多的生态景观、生物种群、群落相组合时,便构成一个多层次的完整学科群。随着不同层面上的生态水文学的发展和完善,许多子学科也会逐渐成熟,从而带动整个学科的发展。

我国是一个水资源贫乏的国家,清洁淡水资源的缺乏已成为制约国民经济发展的瓶颈,当务之急是采用可持续发展的理念对水资源合理开发利用。自2000年以来,国土资源部开始将生态调查纳入国土资源调查中,进行生态环境地质调查。该项调查是在区域地质调查和区域水文地质普查的基础上,采用地质学、土壤学、地貌学、生态学及其他有关地球科学的方法、理论,调查人类和生物群体赖以生存的岩石圈、地下水圈、生物圈和地表水圈(韩再生,2003)。其中,水文地质的主要研究对象——地下水与植被生态系统关系最为密切,调查和研究地下水系统与生态环境的相互作用,揭示地下水开发利用对生态环境的影响,以期做到地下水资源的可持续利用,是生态地质调查中最重要任务之一。

无论是从国外生态水文学的发展趋势来看,还是为缓解国内水资源短缺状况,保护地下水资源,使之得到可持续利用,正在形成一门新学科——生态水文地质学,作为解决地下水资源可持续利用问题、探索地下水系统与生态系统之间耦合关系的理论基础。

一、生态水文地质学的研究对象

美国《地下水》杂志 2003 年第三期社论指出：社会上关心的问题不仅仅局限在水文学上。比如说，对泉、湖、河流、湿地抽水会有什么影响？公众关心的是，抽水会对与该系统相关的植物、鸟类、鱼类以及其他一些感兴趣的动物产生什么影响？为了让“生态水文学”不只是一个时髦名词，水文学家必须参与交叉学科的研究，不仅要涉及解释水文的原理和概念，还要学习和了解生态的原理和概念。这意味着新的研究中，往往是用定性的语言和统计数据来描述，而不是传统水文学上的定量方程和确定性模型 (J. H. Randall, 2003)。

俄罗斯学者 V. N. Ostrovski (1991) 提出了“生态水文地质学”的概念，将水文地质学的概念引入生态系统中。他认为：生态水文地质学研究的目的是控制地下水圈的体制以防止发生一些不可逆转的对生态环境不利的影响，一方面要预防人类活动对生态环境产生不利的影响，另一方面要科学地预测人类活动对生态环境所产生的影响 (V. Evgeni, 1996)。从国外研究动态来看，目前对生态水文地质学的研究和探索还处于萌芽阶段，人们开始认识到地下水与生态环境之间的联系和重要性，但暂时还没有可供参考的模式。

从全球水循环来看，地下水圈是最大的地下水系统，它与植被生态系统、地表水系统（河、湖、海洋）、大气系统有着密切的联系，共同架构成人类赖以生存的环境生态系统。太阳能和重力势是系统间进行物质 - 信息交换的原动力。水通过系统间的转化得以净化、再生。系统间的水循环乃是维持生命繁衍、人类社会发展的必要前提。

生态水文地质学的目的，是在保持生态多样性的基础上，使地下水水量、水质保持均衡，达到地下水资源的可持续利用。通过水文地质学和生态学等学科的相互融合，研究地下水圈与生物圈之间的相互关系，以及地下水文过程变化引起的生态环境变异产生的问题，最终达到地下水资源的可持续利用。

生态水文地质学研究的主要对象是地下水系统与生态系统、地表水系统、大气系统之间的相互作用和耦合关系。重点是从不同尺度研究地下水系统和陆地植被系统在水循环中的功能。尤其是位于地下水系统表层的包气带，在陆地表面分布面积最广，是地下水系统与大气系统、地表水系统、植被系统进行水量、水质交换的重要纽带。土壤化的表层为植被生长提供了必需的水、热、气和营养环境。因此，不仅要研究包气带的岩性、结构、水分分布、表层土壤及地下水位对植被类型和群落的影响，而且要十分注重揭示包气带中各种微生物群落对渗入水的净化作用和净化机制。

我国是一个地质、水文地质、地形、地貌、气候条件十分复杂的国家，而且植被生态具有多样性和复杂性的特点，不同地区地下水系统对生态环境及生态系统格局的影响差异很大，需要分别对各种介质类型的地下水系统对植被生态的影响进行研究，同时还要研究植被生态系统对地下水的调蓄作用以及水质净化功能。

当前生态水文地质学研究的内容主要包括以下几方面：

- 1) 地下水文过程对植被生态格局的研究。研究不同尺度地下水系统在补给、径流、排泄的水文过程中对植被生态格局的控制及其相互影响，尤其要研究在人为作用干扰下，地下水水文过程发生变化对植被生态系统的影响。