

当代科学前沿论丛
NEW FRONTIERS OF SCIENCES

地球科学进展与评论 第四卷

ADVANCES IN EARTH SCIENCES VOLUME 4

环境地球科学

ENVIRONMENTAL GEOSCIENCES

主编 郑春苗 冯夏红 (ZHENG CHUNMIAO FENG XIAHONG)



高等教育出版社 HIGHER EDUCATION PRESS

当代科学前沿论丛

地球科学
进展与评论
**Advances in Earth
Sciences**

第四卷
Volume 4

中国地球科学促进会
**International Professionals
for the Advancement of
Chinese Earth Sciences**

环境地球科学
Environmental Geosciences

主编 郑春苗 (Chunmiao Zheng)
冯夏红 (Xiahong Feng)

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

环境地球科学/郑春苗,冯夏红主编,一北京:高等教育出版社,2008.6

(地球科学进展与评论)

ISBN 978-7-04-024622-3

I.环... II.①郑... ②冯... III.①全球环境-研究②地球科学-研究 IV.X21 P

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 079234 号

策划编辑 陈正雄 责任编辑 陈正雄 封面设计 刘晓翔
责任绘图 尹莉 责任印制 韩刚

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landracom.com
印 刷	北京中科印刷有限公司		http://www.landracom.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2008 年 6 月第 1 版
印 张	17.25	印 次	2008 年 6 月第 1 次印刷
字 数	310 000	定 价	36.50 元
插 页	1		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 24622-00

内容提要

本书是中国地球科学促进会 (IPACES) 主编的《地球科学进展与评论》第四卷。书中收录了反映现代环境地球科学的一些前沿研究方向的 10 篇文章。第一章综述了表生地球化学环境中具有重要意义的铁氧化物和硫化物与微生物之间的相互作用,以及如何将生物化学和环境微生物学的成熟方法如微生物细胞膜上脂肪酸和呼吸醌移植到地质微生物学研究上。第二章介绍了近期在深海碳储存方面的研究,包括在海水中的实地实验研究,以探讨二氧化碳与海水反应的化学动力学和流体动力学方面的有关理论进展,以及溶于海水的二氧化碳对海洋生态环境的影响。第三章回顾了陆面过程模型的发展历程,总结了陆面过程建模的基本框架及其典型的输入输出,并探讨了陆面过程模型的未来发展方向。第四章概述了估算水流和溶质在流域中运移时间(或滞留时间)的几种方法,包括测年法、示踪试验穿透曲线法、卷积法,以及谱分析法,并重点介绍了谱分析技术的最新发展。第五章介绍了作者们近年来通过将水文模型、空间统计、时间序列分析、非线性理论、空间信息技术(GIS)和遥感图像处理技术等相结合开展加拿大大多伦多地区水系统研究的一些成果,以期对其他地区开展类似研究有借鉴意义。第六章侧重于研究非均匀流场中描述捕获区中常遇到的由区域流动与径向流动相互作用时的溶质迁移问题。第七章综合介绍了近年来发展的三维非平稳地下水流和溶质运移随机模型的理论和方法,并将其中的矩方程方法应用于实际,预报了尤卡山(Yucca Mountain)饱和带中放射性核废料运移的规律,验证了矩方程数值方法在实际应用中的可行性。第八章系统地回顾了近 20 年来地下水污染监测网设计的研究成果,分别介绍了统计方法、模拟方法和模拟-优化模型等监测网设计方法的研究进展。第九章以中国香港吐露港为例,探讨了地下水与海水之间的相互作用,包括地下水排泄量以及通过地下水流入海里的营养盐的量化。第十章描述了一套高精度通用渗透实验装置,可用于高围压及高空隙水压力条件下用定水位、定流量或压力脉冲三种不同方法测试岩石的水力渗透系数。我们相信本书能为对环境地球科学感兴趣的广大科研工作者和学生提供一本十分及时、有用的参考文献。

《当代科学前沿论丛》专家委员会

(按姓氏笔画为序)

(国内部分)

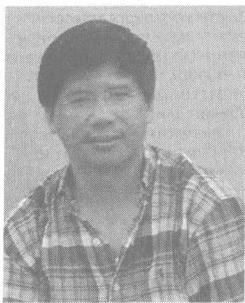
王 夔	冯 端	师昌绪	曲钦岳	朱清时
孙 枢	李三立	李大潜	李国杰	杨芙清
吴建屏	邹承鲁	张尧庭	陈 竺	陈希孺
陈佳洱	陈宜瑜	周秀骥	姜伯驹	袁亚湘
钱 易	徐光宪	徐冠华	徐端夫	瞿中和
戴立信	戴汝为			

(海外部分)

王中林	文小刚	邓兴旺	田 刚	丛京生
刘 钧	汤 超	许 田	危 岩	严晓海
李 凯	李 明	邱子强	余振苏	范剑青
周午纵	郑元芳	俞陆平	宫 鹏	袁钧瑛
徐希平	鄂维南	程正迪		

主编简介

郑春苗 (ZHENG Chunmiao)



1983 年获成都理工大学(原成都地质学院)学士学位,1988 年获美国威斯康星(麦迪逊)大学博士学位,现任美国亚拉巴马大学教授和中国北京大学水资源研究中心讲座教授、主任;已主持 30 余项美国和中国政府资助的科研项目;2006 年获中国国家自然科学基金委员会海外青年合作基金(水文地质类);撰写专著 *Applied Contaminant Transport Modeling* (1995 年初版,2002 年再版),发表论文 100 余篇;开发了地下水污染模拟标准软件 MT3D 和 MT3DMS,在 100 多个国家得到广泛使用;提出了小尺度优先水流通道对溶质运移有控制作用的新观点和理论依据,在非均质性对溶质运移影响机理的研究中开辟了新途径;将先进的数学优化方法与复杂的野外条件相结合,在地下水污染治理方案设计、监测网设计和可持续性管理研究中取得了一系列成果;目前担任国际学术刊物 *Ground Water* 和 *Journal of Hydrology* 副主编,美国国家科研委员会(National Research Council)水文科学小组成员,国际水文科协(IAHS)国际地下水委员会主席(2009—2013);美国地质学会 Fellow;美国地下水协会 1998 年度 John Hem 杰出贡献奖获得者;美国地质学会 2009 年度水文地质学杰出讲席(Birdsall-Dreiss Distinguished Lecturer)。

冯夏红 (FENG Xiahong)



1982 年获北京大学学士学位,1985 年获北京大学硕士学位,1991 年获美国凯斯西储大学博士学位,现任美国达特茅斯学院教授及 Frederick Hall 讲席教授;已主持和参加 20 余项美国和中国政府资助的科研项目;发表论文 50 余篇;主要成果包括沸石氧同位素交换的热力学和动力学性质,植物中氢、氧同位素在气候及环境研究中的意义和应用,土壤碳循环及碳同位素的应用,溶质在积雪中的运移特征及季节性融雪对地表水质的影响,氧同位素在积雪中的变化特征及其对水文化学研究的意义,地表水化学变化的时间尺度及其对溶质、污染物运移的影响;曾经担任国际期刊 *Journal of Hydrology* 副主编。

作者

- 李一良 中国香港大学地球科学系和微生物学系
张传伦 美国佐治亚大学海洋科学系
董海良 美国迈阿密大学地质学系
张有学 美国密西根大学地质科学系
梁旭 美国匹兹堡大学土木与环境工程系
冯夏红 美国达特茅斯学院地球科学系
成秋明 加拿大约克大学地球和空间科学与工程系
中国地质大学地质过程和矿产资源国家重点实验室
袁吟欢 加拿大约克大学地球和空间科学与工程系
Connie Ko 加拿大约克大学地球和空间科学与工程系
李令跃 加拿大约克大学地球和空间科学与工程系
张振何 加拿大约克大学地球和空间科学与工程系
詹红兵 美国得克萨斯农工大学地质与地球物理系
孙东敏 美国 Hardin-Simmons 大学地质系
黄冠华 中国农业大学水利与土木工程学院
中国 - 以色列国际农业研究培训中心
吴吉春 中国南京大学水科学系
张东晓 美国南加州大学土木与环境工程系
胡晓农 美国佛罗里达州立大学地质科学系
祝晓彬 中国南京大学水科学系
C. Shirley 美国内华达沙漠研究所
吴剑锋 中国南京大学水科学系
郑春苗 美国亚拉巴马大学地质科学系
谢乔中 中国香港大学地球科学系
焦赳赳 中国香港大学地球科学系
梁干庄 中国香港大学物理系
张一新 中国香港大学生态学和生物多样性学系
张铭 日本产业技术综合研究所地圈资源环境研究部门

出版者的话

人类创造了科学技术,科学技术推动了人类的文明进程。两者的互动影响,今天已达到了前所未有的程度:人类的经济发展和社会进步的需要,为科学技术的迅猛创新,提供了强大的动力;科学技术的发展,在急剧地改变着人类的思维方式、学习方式、工作方式、生活方式、娱乐方式。科学技术已成为强大的社会生产力和巨大的社会资本。现在,每个国家,每个地区,甚至每个单位,都把科技创新、科学技术转化为生产力作为头等大事,抢占科学技术制高点,以此来提高自己的综合实力。

新中国成立 50 多年特别是改革开放 20 多年来,随着经济的蓬勃发展,科学技术得到了长足的进步,两弹一星、载人飞船、生物工程、信息技术等正在大步追赶国际先进水平。科学技术转化成的强大生产力,对国民经济发展和社会进步,对增强综合国力产生了重大的影响。

改革开放以来,在中国共产党的“科教兴国”方针的鼓舞下,举国上下,尊重科技,学习科技,普及科技,创新科技,应用科技,发展科技,已蔚然成风。科技结硕果、神州尽彩虹的绚丽画面,正在展示于世人面前。自 16 世纪中叶中国科学技术失去世界领先地位后所形成的中西科学技术的差距,现在正在缩小。重振中华科学技术雄风的序幕已经拉开。

为了能使我国的科学技术水平在不久的将来赶上并达到世界先进水平,我们不仅要自己进行科学技术创新,也要学习世界上一切国家的先进科学技术;不仅要靠国内的科技工作者发展我国的科学技术,还要借助海外学者特别是华人学者的力量。在这种思想的指导下,我们萌生了组织海外学者编写科技前沿丛书的想法。这一想法在海内外学者中引起了强烈的反响。在他们中,有的出谋献策,有的出资开会,有的撰稿,有的审稿,有的愿把稿酬作为基金……海内外学者的诚言乐行,极大地感染着我们,鼓舞着我们。这一想法得到了教育部陈至立部长和周远清副部长的肯定和支持,这增加了我们开展此项工作的决心和信心。根据各方面的意见,经过反复研究,最后将丛书定名为《当代科学前沿论丛》。《论丛》是我们献给祖国母亲的 21 世纪的圣礼,企盼我国能在 21 世纪夺回三四百年前失去的科学技术领先的地位。《论丛》如能在推动我国科学技术进步和“科教兴国”中有所作用,将是我们的最大欣慰。为了做好本《论丛》的出版工作,我们邀请了国内一些著名科学家和在海外工作的部分优秀学者组成《论丛》的专家委员会,帮助筹划、组织和评议《论丛》的出版。随着学科的发展,专家委

员会的成员可能会有所变化。我们向一切关心和支持《论丛》出版工作的人士,表示衷心的感谢。由于缺乏经验,《论丛》出版后,编辑出版方面的不足,在所难免,诚望各方指正。

高等教育出版社

2000年6月

《地球科学进展与评论》序

《地球科学进展与评论》(Advances in Earth Sciences)是中国地球科学促进会^①在国内出版的第一套中文系列丛书。该学会于1999年成立,其成员为在国外地学界任教和从事研究工作的华人学者。学会的宗旨是交流国际上地球科学发展的最新进展和成果,协助中国地学界与国外的合作和促进中国地学的发展。我们希望通过国内外华人学者的努力,进一步振兴中国地球科学事业,使中国能尽快成为世界地学强国。学会的活动包括在国内举办地球科学年度讲座,出版中文书籍介绍世界地学界的新领域和新进展,与国内学者共同举办学术会议,与国内学者进行科研合作,协助在国内创办世界一流的地学研究所,协助并参与国内地学研究的运作,如帮助国内杂志审稿和编辑以及科技咨询等等。

《地球科学进展与评论》的目的是向国内读者介绍世界地球科学发展的前沿。我们希望本丛书能帮助众多读者了解国际地学界研究动态,很快进入新的研究领域并找到新的研究课题。为了适应更多的读者,每个课题的介绍尽量深入浅出,起点都比较低,基本原理的解释比较详细,但终点都达到该课题的最新成就并包括作者对未来的展望。每篇文章都附有大量参考文献,以便读者追根溯源。

我们计划以后每年配合本促进会的年度讲座出版一卷《地球科学进展与评论》,作者将包括国内外地学界的专家。我们希望通过几年的努力,《地球科学进展与评论》能与《Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences》、《Earth Science Reviews》和《Reviews of Geophysics》并驾齐驱。

^① 英文名称:International Professionals for the Advancement of Chinese Earth Sciences;简称:IPACES;
网址:<http://www.ipaces.org>。

前 言

仅二三十年前,环境地球科学还大多局限于对地震、火山、飓风、洪水等自然地质灾害的研究。了解这些过程对于保护人类生命安全、降低财产损失无疑具有重要的意义。今天,环境地球科学的主要研究对象已经发展成为人类活动影响下的环境保护,以及地球资源可持续利用的环境要素。

本书内容尽管并不能包含环境地球科学的方方面面,但是其中收录的文章无疑体现了现代环境地球科学的一些前沿课题。书中内容涉及全球气候变化、二氧化碳封存、地质微生物学方法与应用、水循环模拟、流域管理、水质污染与监测等多个方面。我们希望本书能为对环境地球科学感兴趣的广大科研工作者和学生提供一本十分及时、有用的参考文献。

我们在此向下列审稿者表示深切感谢:焦赳赳 (University of Hong Kong, China), 詹红兵 (Texas A&M University, USA), 刘宗炫 (Pacific Northwest National Laboratory, USA), 葛社民 (University of Colorado-Boulder, USA), 余钟波 (University of Nevada-Las Vegas, USA), 胡晓农 (Florida State University, USA), 张幼宽 (University of Iowa, USA), 刘改胜 (Kansas Geological Survey, USA), 刘珂 (Shaw Environmental and Infrastructure, USA) 和 Kitchakarn Promma (Naresuan University, Thailand)。同时我们也感谢高等教育出版社的陈正雄编辑和北京大学的刘杰为本书所做的努力。

郑春苗, University of Alabama, Tuscaloosa, Alabama, USA
冯夏红, Dartmouth College, Hanover, New Hampshire, USA

2008年3月20日

目 录

第一章 地质微生物学的研究技术和方法	(1)
1.1 地质微生物学的兴起——岩石圈和生物圈间的交叉	(2)
1.2 分子生物标志物的结构和碳同位素——地球化学和微生物生态学的桥梁	(4)
1.3 应用于表征生物成因矿物以及表面相互作用的微观分析技术	(8)
1.3.1 透射电镜、选区电子衍射和电子色散谱仪用于含微生物样品的制备	(10)
1.3.2 穆斯堡尔谱在铁氧化物的氧化还原状态和磁性特征中的应用	(12)
1.4 X射线吸收光谱——应用于矿物表面与微生物作用的研究	(15)
1.5 结论与展望	(18)
致谢	(19)
参考文献	(19)
第二章 海水中的碳储存	(25)
2.1 引言	(26)
2.1.1 地球上的碳	(27)
2.1.2 全球气候变化	(28)
2.2 二氧化碳-水体系的性质和相图	(30)
2.3 二氧化碳释放到海水的一些模拟	(35)
2.4 注入二氧化碳到海水中的实地实验	(36)
2.5 二氧化碳液珠在海水中溶解的理论处理	(39)
2.6 二氧化碳注入海水对海洋环境的影响	(44)
致谢	(44)
参考文献	(45)
第三章 陆面过程模型发展综述及建模	(49)
3.1 引言	(50)
3.2 目标	(50)
3.3 背景综述	(51)
3.4 陆面过程(大尺度水文)模型的基本结构	(57)
3.5 模型的输入和输出	(59)
3.6 评论	(60)
致谢	(61)
参考文献	(61)

第四章 流域尺度下水与溶质滞留时间的研究	(69)
4.1 引言	(70)
4.2 年龄测定法	(71)
4.3 穿透曲线(Breakthrough Curves)	(74)
4.4 卷积法	(76)
4.5 谱分析法——运移时间分布	(77)
4.6 结论和新的研究方向	(81)
致谢	(82)
参考文献	(82)
第五章 基于时间-空间-频率模型和 GIS 技术开展加拿大大多伦多地区水系统研究	(87)
5.1 引言	(88)
5.2 加拿大大多伦多橡树岭冰碛地区介绍	(90)
5.3 水系统预测评价模型	(94)
5.3.1 地下水对地表水的补给	(95)
5.3.2 降雨与河流地表径流的时间序列特征	(100)
5.3.3 河流地表径流预测	(103)
5.3.4 洪水作为异常河流径流	(110)
5.4 结论	(115)
致谢	(116)
参考文献	(116)
第六章 非均匀流场中的对流迁移及表观弥散	(119)
6.1 引言	(120)
6.2 垂直与区域流动连续线源问题的表观弥散	(122)
6.2.1 问题提出	(122)
6.2.2 数学模型	(123)
6.2.3 结果分析	(124)
6.3 线源与区域流动不垂直情况下的表观弥散	(128)
6.3.1 首次到达粒子的线源点	(129)
6.3.2 倾斜线源的 BTCs	(130)
6.4 有限时间线源条件下反应性溶质的表观弥散	(133)
6.5 讨论	(134)
6.6 结论	(134)
致谢	(135)
附录 A: 迁移时间推导	(136)
附录 B: u_0 的推导	(137)
参考文献	(138)

第七章 非平稳介质中地下水流和溶质运移的随机模拟研究	(141)
7.1 引言	(142)
7.2 水头和渗透流速各阶矩	(144)
7.3 溶质质量通量各阶矩	(149)
7.4 概率密度函数表达式	(155)
7.5 数值计算	(157)
7.5.1 地下水流问题数值解	(157)
7.5.2 溶质运移问题数值解	(162)
7.6 矩方程数值方法	(164)
7.6.1 网格大小	(164)
7.6.2 溶质质点密度	(167)
7.7 非平稳渗透系数场中的地下水流和溶质通量	(170)
7.8 三维矩方程数值法在尤卡山环评项目中的实际应用	(176)
7.9 结论	(179)
致谢	(181)
附录 A: 式(7.20)~式(7.22)中 $A_1, A_2, B, C_1, C_2, D_1$ 和 D_2 的表达式	(182)
附录 B: 协方差函数	(183)
参考文献	(185)
第八章 地下水污染监测网设计研究进展	(189)
8.1 引言	(190)
8.2 地下水污染监测网设计研究方法	(192)
8.2.1 统计方法	(192)
8.2.2 数值模拟方法	(196)
8.2.3 模拟-优化模型方法	(199)
8.3 实例研究	(201)
8.3.1 场地条件下的污染监测网设计	(202)
8.3.2 考虑参数不确定性的污染监测网设计	(205)
8.4 结论与展望	(212)
致谢	(214)
参考文献	(214)
第九章 中国香港吐露港地下水排泄的初步研究	(223)
9.1 引言	(224)
9.2 水样采集与分析	(227)
9.3 结果分析	(228)
9.4 结论	(235)
致谢	(236)
参考文献	(236)

第十章 岩土材料水力力学性质的实验室实测技术	(239)
10.1 引言	(240)
10.2 室内渗透实验理论解析	(241)
10.3 高精度通用渗透实验装置	(243)
10.4 实验方法及校核实验	(246)
10.4.1 施加空隙水压力	(246)
10.4.2 定水位渗透实验	(247)
10.4.3 定流量渗透实验	(247)
10.4.4 压力脉冲渗透实验	(247)
10.4.5 校核渗透实验	(248)
10.5 结论	(252)
致谢	(252)
参考文献	(253)

Contents

Chapter 1 Advances in Geomicrobiological Studies	(1)
Chapter 2 Carbon Sequestration in Oceans	(25)
Chapter 3 Land Surface Modeling	(49)
Chapter 4 Residence Time of Water and Solutes in Drainage Basins	(69)
Chapter 5 Modeling and GIS Study of Water Systems in the Great Toronto Area, Canada	(87)
Chapter 6 Advective Transport and Apparent Dispersion in Nonuniform Flow Fields	(119)
Chapter 7 Stochastic Analysis of Groundwater Flow and Solute Transport in Nonstationary Conductivity Fields	(141)
Chapter 8 Advances in Optimal Design of Contaminant Monitoring Networks ...	(189)
Chapter 9 A Preliminary Study of Submarine Groundwater Discharge in Tolo Harbour, Hong Kong, China	(223)
Chapter 10 Determining the Hydraulic Properties of Geomaterials in the Laboratory	(239)

地质微生物学的研究 技术和方法

1

第一章

李一良 (Yiliang Li)

中国香港大学地球科学系和微生物学系

E-mail: yiliang@hku.hk

张传伦 (Chuanlun Zhang)

美国佐治亚大学海洋科学系

董海良 (Hailiang Dong)

美国迈阿密大学地质学系

- 1.1 地质微生物学的兴起——岩石圈和生物圈间的交叉 (2)
- 1.2 分子生物标志物的结构和碳同位素——地球化学和微生物生态学的桥梁 (4)
- 1.3 应用于表征生物成因矿物以及表面相互作用的微观分析技术 (8)
- 1.4 X 射线吸收光谱——应用于矿物表面与微生物作用的研究 (15)
- 1.5 结论与展望 (18)
- 致谢 (19)
- 参考文献 (19)