

水文科学的挑战与机遇

Challenges and Opportunities in the Hydrologic Sciences

美国国家研究理事会 著
刘杰 郑春苗 译



科学出版社

水文科学的挑战与机遇

美国国家研究理事会 著

刘 杰 郑春苗 译

图字:01-2014-5988号

内 容 简 介

本书是美国国家研究理事会(National Research Council of the National Academies, NRC) 2012年出版的 *Challenges and Opportunities in the Hydrologic Sciences* 一书的中文译著。NRC于1991年出版了里程碑式的《水文科学的机遇》*Opportunities in the Hydrological Sciences* 一书,对美国以及全世界范围的水文科学的发展产生了极其深远的影响。本书回顾了1991年之后20年以来水文科学的巨大进步以及该学科与相关地球科学和生命科学的协同研究情况;确立了能够推动水文科学发展的新机遇,以增进对水循环的认知程度,进一步改善环境质量、造福人类。本书主要内容包括水文科学的三大挑战:①水循环;变化的驱动因子;②水与生命;③人类和生态系统所需的清洁水。

本书可供从事水文科学研究、水利工程及水资源管理的有关技术和决策人员使用和参考。承担与水相关的研究及工程任务或对水文科学在地球表面科学中的应用感兴趣的人员也会发现本书具有重要的参考价值。同时,本书还可供本科生和研究生了解水文科学领域的发展和并在选择研究焦点时获得启示和指导。

This book is the Chinese translation of *Challenges and Opportunities in the Hydrologic Sciences*, by Committee on Challenges and Opportunities in the Hydrologic Sciences of the National Research Council. © 2012 National Academy of Sciences. First published in English by National Academies Press. All rights reserved.

图书在版编目(CIP)数据

水文科学的挑战与机遇/美国国家研究理事会著;刘杰,郑春苗译. —北京:科学出版社, 2015. 1

书名原文:Challenges and Opportunities in the Hydrologic Sciences

ISBN 978-7-03-042268-2

I. ①水… II. ①美…②刘…③郑… III. ①水文学—研究 IV. ①P33

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第248207号

责任编辑:韦 沁/责任校对:赵桂芬
责任印制:肖 兴/封面设计:王 浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年1月第一版 开本:720×1000 1/16

2015年1月第一次印刷 印张:13 1/4

字数:267 000

定价:118.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

译者前言

1991年美国国家研究理事会(National Research Council of the National Academies,简称NRC)出版了《水文科学的机遇》(*Opportunities in the Hydrological Sciences*)一书,成为水文学发展史上一个里程碑式标志,对美国乃至全世界水文科学的发展产生了深远影响,因为其蓝色的封面被亲切地称为“蓝皮书”。之后的二十多年间,随着不断涌现出的新的分析、测量和计算技术,水文科学取得了巨大进步和完善;同时,当今多变的气候和日益加剧的人类活动使得水文科学的发展又面临着全新的挑战。在此背景下,美国国家科学基金会(NSF)地学部要求美国NRC下属的水科学与技术委员会于2009年组织水文学及相关地球科学、生命科学领域的研究工作者,“回顾水文学及其子领域的研究现状,水文学及与相关地球科学及生命科学的协同研究状况,确立出能够推动水文科学发展的新机遇,以增进对水循环的认知程度,进一步改善环境质量、造福人类”。

*Challenges and Opportunities in the Hydrologic Sciences*一书便是上述工作的最终成果。该书的主旨并非要为水文科学提出详细研究计划的纲要,也不是要像“蓝皮书”一样定义一个地球科学的独特分支,而是阐释水文科学发展的总体概况,列举寻求水文科学研究发展新机遇的广泛实例,同时指出NSF及其他从事水文科学研究的高校及科研机构所面临的挑战。该书不仅可以对水文科学研究起到积极的促进作用,同时其中某些研究甚至超出水文科学领域的范畴。本书译者之一(郑春苗)作为作者小组成员之一,参与了原著的编写工作。

近30年来,中国经济社会快速发展,极端干旱气候频繁发生,水资源短缺和水污染问题日益突出,水资源与能源一同被列为中国2006~2020

年中长期规划中的两大优先领域,国家投入大量资金支持水资源和环境领域的研究和工 作,为中国水文科学发展带来了前所未有的严峻挑战和重大机遇。在此背景下,将 *Challenges and Opportunities in the Hydrologic Sciences* 一书翻译成中文,不仅可以使广大中文读者了解当今世界水文科学研究的前沿和热点问题,同时还可以借鉴国外应对水文科学挑战的对策,推动中国水文科学的发展。

这本中文译著的出版受到 NRC 的大力支持,在版权授权、书稿及文件提供的各个环节中给予极大便利和帮助。特别感谢美国范德堡大学的 George M. Hornberger 教授和 NRC 的 Laura J. Helsabeck 博士所做的努力。本书的出版也得到中国国家自然科学基金委员会的大力支持(基金号码:91225301 和 41330632)。同时,北京大学水资源研究中心多位在读或已毕业的研究生(余成、秦欢欢、逯向明、宋小源、姚莹莹、黄翔、刘传琨、胡玥、王雅婷、周敏)及科研助理王晓丽均参与了本书的翻译工作,在此深表感谢。

刘 杰 郑春苗

2014 年 11 月 5 日于北京

序 言

1991年,《水文科学的机遇》一书的出版成为水文学发展史上的一个重要的分水岭,这本具有深刻影响力的报告由美国国家研究理事会的一个小组(时任主席为麻省理工大学教授 Peter S. Eagleson)编著。在该书中,水文学被视为地球科学的一门独特的分支,并制定出相应的研究议程。

今天,任何阅读过此“蓝皮书”(即1991年美国国家研究理事会出版的《水文科学的机遇》一书的昵称)的读者均会感到惊讶不已,当时报告中提出的预言在今天及未来相当长时间内依然为水文领域内的坚固研究框架。当然自1991年以后,水文科学研究已经取得了巨大的进步和完善。过去所奠定的坚实基础使得独创性的科学研究成为可能,并且可以应用过去20多年甚至过去几年间涌现出来的功能强大的新分析、测量和计算技术。现在已经完全能够研究水体如何塑造地球(与其他行星)的表面并决定植被的格局、地表水文物理现象如何与大气过程相互驱动、复杂的生物地球化学过程与水文过程如何交互作用以及如何能够有效解决“蓝皮书”中提出的一系列问题。在气候多变的环境条件下,既要保护地球上生态系统的完整性、生物多样性和不可替代的地貌景观,又要为人类提供足够的能源、食物和水,这势必带来诸多与水有关的问题。为了解决这些问题,除了需要建立水文科学的概念、经验和理论基础之外,完善和加强水文科学的根基同样重要。这些都是我们所面临的挑战!

2009年,在意识到加强和调整水文科学研究工作的必要性之后,美国国家科学基金会(National Science Foundation, NSF)地学部要求美国国家研究理事会水科学与技术委员会(NRC's Water Science and Tech-

nology Board, WSTB)组织一项工作,旨在研究当今水文科学面临的新机遇与新挑战。水科学与技术委员会任命了一个小组,委托其“回顾水文学及其子领域的研究现状、水文学及与相关地球科学及生命科学之间的耦合性,以及通过寻求具有良好前景的新机遇促进水文科学的发展,以便更好理解水循环的过程,最终提升人类福祉及环境健康”。该小组的成员来自于水文科学及相关生命科学和地球科学领域。小组成员会晤了来自美国国家科学基金会及其他联邦机构的项目管理者,听取了在本领域内享有盛誉的众科学家和工程师的观点,在美国地球物理联合会 2009 年秋季年会上举办“市政厅会议”,积极听取了联合会成员的看法,并收集了水文科学界及更广的地球科学界有关人员的书面材料。小组成员仔细阅读了以往的报告,并查阅了大量文献资料。在小组内部会议上,小组成员充分讨论并商议了水文科学的前景以及如何履行赋予小组的职责。本书便是上述所有工作的最终成果。它不是也从未打算成为一个水文科学详细研究计划的综合纲领,也不是用来跟“蓝皮书”一样定义一个地球科学的独特分支,而是阐释水文科学领域的总体概况,并列举水文科学发展新机遇的广泛实例,同时列出美国国家科学基金会、其他水文科学研究机构以及水文科学界为实现该领域的愿景所面临的一些挑战。小组成员一致希望这份报告可以对水文科学研究起到积极促进作用。毫无疑问,其中某些研究肯定会超出水文科学领域,但所有研究都将对充满活力并令人兴奋的水文科学研究的未来发展前景做出贡献。

作为小组的主席,我在此感谢小组成员们在本书编写过程中的努力工作,感谢他们以谦恭有礼的方式积极参与讨论,并在许多问题上达成共识,感谢他们在共同工作中表现出来的团队友情。与其他所有国家研究理事会的报告一样,本书的完成同样归功于理事会工作人员的付出。感谢 Anita Hall 的后勤管理工作;特别感谢水科学与技术委员会负责此项目的主管 Laura J. Helsabeck,她亲自参与编辑和各项实质性工作,让我能够专注于任务本身,并感谢她为推动本报告通过美国国家研究理事会

出版流程而成功出版所做出的不懈努力。

按照国家研究理事会报告审查委员会批准的流程,我们选择了具有宽泛视角和技术专长的专家来对本书的草稿进行审查。独立审查的目的是为了获得坦率和严格的审查意见,确保本书的出版在科学上是可靠的,并符合国家研究理事会关于客观性、循证性以及预定任务积极响应的要求。为了保护讨论内容的机密性,所有审查专家的意见与手稿均严格保密。所有审查意见我们都非常重视,其中很多意见全部或部分包含在最终报告中。我们向以下审查专家表示感谢:威斯康星大学麦迪逊分校 Mary Anderson 教授、科罗拉多大学波尔得分校 Susanne Anderson 教授、威斯康星大学麦迪逊分校 Jean Bahr 教授、亚利桑那大学 Victor Baker 教授、宾夕法尼亚州立大学 Susan Brantley 教授、华盛顿大学 Stephen Burges 教授、俄亥俄州立大学 Yu-Ping Chin 教授、加利福尼亚大学圣巴巴拉分校 Jeff Dozier 教授、弗吉尼亚大学 Howard Epstein 教授、华盛顿大学 Dennis Lettenmaier 教授、明尼苏达大学 Chris Paola 教授、雪城大学 Donald Siegel 教授、明尼苏达大学圣保罗分校 Deborah Swackhamer 教授以及弗吉尼亚大学 Patricia Wieberg 教授。

尽管这些审查人员提供了许多建设性的意见和建议,但他们并未被强求认可本书中结论与建议,也未在正式出版前见到本书的最终版本。本书的审查过程由 Edwin Przybylowicz 院士——柯达公司前高级副总裁——监督。他受国家研究理事会指派,负责确保本书严格按照制度流程实施独立审查,并充分考虑所有的审查意见。作者小组及 NRC 机构对本报告的最终内容负完全责任。

George M. Hornberger

《水文科学的挑战与机遇》小组主席

目 录

译者前言

序言

概论	1
第一章 水文科学	16
什么是水文科学?	17
技术与科学进展	20
跨学科	35
水文科学:未来展望	39
参考文献	44
建议阅读	46
第二章 水循环:变化的驱动因子	48
引言	48
研究机遇	50
结语	81
参考文献	82
建议阅读	86
第三章 水与生命	89
引言	89
研究机遇	90
结语	124
参考文献	126
建议阅读	130

第四章 人类和生态系统所需的清洁水	132
引言	132
研究机遇	134
结语	160
参考文献	161
建议阅读	164
第五章 水文科学:前进之路	165
科学挑战	166
教育问题	169
提供研究支持的各种资助模式的重要性	172
转化水文科学:通过更广泛影响取得成功的关键	184
结语	188
参考文献	190
建议阅读	191
附录 A 为《水文科学的挑战与机遇》一书作出贡献的人员	193
附录 B 《水文科学的挑战与机遇》作者小组成员简介	195

概 论

丰富的液态水使得地球在几乎所有已发现的银河系行星中独树一帜。水流塑造了我们行星表面的地貌形态,并将溶质和沉积物从高山携带至深海。水是天气和气候系统中不可或缺的元素。水决定了生物圈的形态、生命历程中选择的种种策略以及植被的生产力,究其根本,正是水控制了生物圈内的光合作用速率。水不仅是种类繁多的水生生物栖息的家园,也是陆生生物不可或缺的资源。明晰水在生物圈中的存储和运动过程对于探生物圈的物理结构、化学组成、生物多样性以及生产力等方面有着重要意义。因此,不难想象研究地球科学和生态系统的学者为何如此着迷于水流及其所带来的影响等基本问题。

尽管水资源是可更新资源,但并非取之不尽、用之不竭。纵观历史,人类文明曾因丰富的水源而繁荣、为获得水源而建造了一个个工程奇迹,但也曾因水资源匮乏而崩毁。今天,人类对环境的影响远远大于过去,而这些影响带给我们极大的挑战。全球人口增长导致农业、工业和生活用水需求的大大增加,随着水资源萎缩,世界上部分地区已不能维持水资源的可持续利用。气候变异、土地用途改变以及人口增长都对我们星球的水资源带来不断变化的压力。在很多地区,获取安全的水源仍是一个巨大的挑战。由于水量减少、水质恶化,淡水生物的物种灭绝速度达到了最高水平,而水文科学正是研究解决这些复杂挑战的核心关键。

水文科学已经发展成为一门独特的地球科学分支学科,旨在探索与理解所有尺度上与环境中的水循环运动以及地球上水与气候和生物之间的相互作用,而1991年美国国家研究理事会(National Research Council)的报告《水文科学的机遇》在一定程度上推动了这一趋势。这些探索与理解一

方面得益于对科学的好奇心,另一方面得益于利用知识解决一系列关键社会问题的那种渴望。这些社会问题要么与水直接相关,要么与水对人类福利和环境造成的影响直接相关。在过去的 20 年里,化学分析仪器领域的科技进步带来先进的水文过程观测手段、新型传感器的发展、遥感和地球物理方法的应用以及飞速提高的大型计算能力和水文模型等,使我们对水文科学获得了诸多新的认知。今天,水文科学成为地球科学重要且具有独特特征的组成部分,它不仅将大气、陆地、海洋联系在一起,更促进了人们对地球上生命的认识和理解。水文科学的本质决定了这门学科立足于自身与地球科学其他分支学科的交融上,如大气科学、生态学和生物学等,如此孕育了一批新的前沿交叉学科,如水文气候学、水文气象学、地球生物学、水文生态学、水文地貌学、生态地貌学和地球表面动力学等。水文科学是这些交叉领域的核心,借助这些交叉领域的发展水文科学也在其中不断得到更新与充实。

美国国家科学基金会要求美国国家研究理事会提交的报告需包含两方面的内容:①回顾水文科学及其分支领域的现状以及该学科与相关地球科学和生物科学的协同研究情况;②确立出能够推动水文科学发展的新机遇,以增进对水循环的认知程度,从而用于进一步改善环境质量、造福人类(专栏 S.1)。

专栏 S.1

任 务 书

本研究项目将确立水文科学的发展机遇和面临的挑战,包括:

(1) 回顾水文科学及其分支领域的现状以及该学科与相关地球科学和生物科学的协同研究情况;

(2) 确立出能够推动水文科学发展的新机遇,以增进对水循环的认知程度,从而进一步改善环境质量、造福人类。

其目标是发现那些可以充分利用新技术能力的新研究方向,而不

是评估 NSF 或其他单位的现有项目。产生的研究报告无需包括预算建议。

具体来说,本研究项目将:

- ◆ 确立水文科学及其相关学科中新出现的重要问题;
- ◆ 评估当前研究模式如何影响水文科学解决新出现的重要问题的能力;
- ◆ 确立水文科学取得重大进展的需要,以及科研与教育机会等;
- ◆ 评估以下方面的现有能力以及加强这些方面的机遇:观测系统、数据管理、建模能力、支持水文科学持续发展所需的协同合作以及它们与具有具体使命的各个政府机构之间的关系和所带来的价值,同时反过来,这些政府机构的观测系统如何与水文科学发生更多的关联,并对其作出贡献。

为此,美国国家研究理事会(NRC)成立了“水文科学的挑战与机遇”小组来主持本书的编写。本书对象主要是水文领域尤其是研究界,包括学术机构以及来自私营机构和联邦政府机构的科研人员和工程师(尤其是美国国家科学基金会的水文科学项目或相关的其他地球科学项目)、对水资源研究和水资源政策感兴趣的决策人员以及承担地球科学和水资源相关任务且对水文科学在地球表面科学中的应用感兴趣的人员。读者对象还包括研究生和本科生,供其在该领域选择研究焦点时寻找启示、了解该领域的应用并获得指导。虽然主要对象是水文科学界,书中所描述的水资源面对的机遇与挑战相当复杂且十分宽泛。因此,本书还呼吁其他学科的参与,为其他学科与水文科学家和工程师的合作提供机遇并作出贡献。

一个科学挑战的特点是,不管是从认知好奇心的角度还是从造福人类角度来看都是刻不容缓的。我们的星球所面对的水资源相关问题中存在着众多此类科学挑战。过去的水文科学知识如何帮助我们为未来做好准备? 我们的星球是否正面临着冰面缩小与沙漠面积增加? 生物气候带

将如何演化? 无论何时何地, 是否有足够的清洁水能满足人类和生态系统的各种需求? 生态系统到底需要多少水? 我们能否评价并管理水质来保护人类和生态系统的健康?

小组得出的结论是未来十年内关键的水文科学挑战将由三个主要方面构成: 水循环; 变化的驱动因子、水与生命、人类和生态系统所需的清洁水。针对每一个主要方面, 小组都列举了一些最具挑战性的概念并指出一些重要的研究领域, 以期获得进展; 在下文中各方面的主要信息都以黑体显示。21 世纪的水文科学是一个相当宽泛的研究领域, 它不仅包含了《水文科学的挑战与机遇》里定义的所有传统意义上的水文科学, 更延伸至传统上属于其他研究领域以及相关分支学科。如上所说, 这一研究领域亟待与其他相关学科进行整合与合作, 同时吸收来自其他学科与分支学科的研究成果。书中内容涵盖物理-水文科学, 包括物理水文学、地形地貌学、古水文学和气候科学等; 生物-水文科学, 包括生态水文学、水生态学、生物地球化学、土壤学和湖沼学; 化学-水文科学, 包括水文化学和水文地球化学。这三个主要研究领域相互交错互相影响, 反映出水文科学界及其他地学领域正面临着与水相关的错综复杂的挑战。这三个主要方面融合成为目前由“好奇心”和“实际问题”共同驱动的研究。这两股驱动力同样重要。

1991 年出版的《水文科学的机遇》奠定了水文科学领域的基石, 而本报告则强调了不仅要进一步发展水文科学, 而且要在已有基础上拓展这门学科的跨学科研究潜能。在概要中无法列出每个章节包含到的所有科学研究细节, 对更多总结性内容感兴趣的读者可查看每个章节的结论部分。

水循环: 变化的驱动因子

水是一种动态的媒介, 其作用对于形成现今世界以及影响其未来演化的那些过程至关重要。此外, 人类活动对水循环过程的干预改变了水在地球上的动态角色。水循环中的各个阶段和状态之间相互关联互相作

用,若有一个环节受到人类活动影响,则这一影响会随后传递给水循环中的其他环节。自水文科学创立以来,了解水在整个地球系统中过去、现在和未来各个阶段内的物理作用已成为该领域的主线。通过努力,目前已经取得了一些进展。而这些进展恰恰也指明了已有认知与具有挑战性的新研究机遇之间有待我们跨越的鸿沟,只有抓住这些机遇我们才能在不断变化的环境中了解水循环的动力学过程。这些挑战跨越了一系列不仅与物理水文学还与其他学科和分支学科相关的问题,如地貌学、古水文学和气候学。

在相互竞争且不断加剧的人类活动(例如,农业需水、基础公共设施建设以及“水-能关系^①”等)的影响与干预下,水循环被不断改变和重塑。同时,气候变化也能改变水循环,例如,全球降水增多以及由此引起的地表径流改变;而地表水文也能够反过来影响气候,如通过蒸散发过程的改变。传统水循环的研究目前也必须将人类活动视作一个重要且可识别的影响因素,这也与地球科学领域所提出的地球正在进入“人类世^②”地质时代的观点相一致。这种全球范围的重塑已经影响到并将持续影响水资源的可用量和分布。水文科学界所面对的一个挑战是认识水循环重塑作用,例如,城市扩张引起下游的一系列问题,或者因气候变化造成的水灾和旱灾严重程度、持续时间以及发生频率的改变,并将该认识用于对未来的预测。

水通量与水资源、能源以及生物化学循环相互联系、相互作用,且受到人类对水循环影响的制约。对气候学和关键水通量平均时空分布特点(即大范围的蒸散与地下水通量)的认知,还存在着根本性的差距。进一步了解连接水循环各要素的过程以及人类对水循环影响同样重要。这就要求获取直接信息,用以解释蒸散与地下水通量的形式与动力学过程。

① “水-能关系”是人类水需求(水输送需要能源)与能源需求(需要水来生产此类能源)之间的联系纽带。

② Crutzen P J. 2002. Geology of mankind. *Nature*, 415: 23.
Vince G. 2011. An epoch debate. *Science*, 334: 32—37.

遥感测量、基于地面的测量及模拟都是增进这一了解的重要工具。

定义水通量的过程发生在跨度极大的一系列尺度上,如湍流阵风、大天气系统、形成溪流的第一滴水以及形成流域盆地的复杂河网系统。过去的几十年不仅见证了一些重大科研进展,如理解并模拟水文过程的时空变化,包括降水、土壤水分、基流等,而且更重要的是看到了在多尺度范围内描述这种变化的概念框架的发展——从物理学、现象学和统计学等角度——称为尺度转化理论。考虑到缺乏全天候及全流域观测数据,而且基于物理过程的分布式水文模型要求大量数据进行校准与验证,有了这种尺度转化理论不仅具有理论意义,而且也有巨大的实际重要性。存在挑战的方面还包括小尺度(山坡)过程如何与大尺度(河网系统)相互作用,从而决定水文响应。考虑到在重叠尺度上的相互影响会以微妙的方式改变水文格局,其中的挑战在于明晰这种微妙变化与河川径流流态改变的因果关系以及认知这些改变带来的生态环境影响。

缓慢变化的低温层和海洋条件是驱动气候系统在长时间尺度发生改变的主要因素。同时,气候系统会迅速转变为与以往完全不同的新运动模式。这两个方面都会造成显著的水文变化。我们对急剧气候变化^①在短时间尺度上的水文响应以及缓慢变化的自然气候行为的水文响应的了解还远远不足。这方面的认知对于综合预测未来水文变化情景至关重要(例如,径流量和补给)。古气候记录可以提供自然气候改变引起的水文条件合理变动范围的信息。

万物因水而改变——从地球的深部动力学过程到地表的地貌景观演化再到生命的潜能。因此当我们在探索其他星球的时候,一个重要的目的就是量化该星球的水和其他液体物质的储量和动态。这不仅是为了探究星球是否有生命迹象存在,也是为了了解整个星球的运转方式。我们

^① 作者小组采纳了普遍接受的“急剧”变化定义:“在几十年或更短时间内,气候系统大规模改变,并持续(或预计会持续)至少几十年,同时造成人类和自然系统的显著破坏”(美国气候变化科学计划,集成和评估产品 3.4,2008年)。

用“外星水文学”来描述对其他行星水文过程的研究,关于这方面研究的神秘面纱才刚刚揭开。这种由水文科学工作者建立的经验、认识、观测方法与模型成为揭秘其他星球气候历史演化的重要手段。其他星球存在的液体介质可能不同(如土卫六上的液态碳氢化合物),但是降水、地表径流、地下径流等循环往复的运动过程却仍可能发生。此类研究对于了解其他行星的演化非常必要,也可以验证对地球自身运动机理的科学认识。

水 与 生 命

水与生命是相互作用、相互制约不可分割的两部分。地球生命的进化过程可能始于液态水的形成,而随后被水的流动所塑造。水是地球上一切生命有机体生存的必要条件。在陆地上,水输送的时效性和水供给的量级从时间和空间尺度上决定了生态系统的结构。从地质时间尺度来看,水文变化是自然选择的重要外部驱动力。环顾现代地球,年降雨和温度在很大程度上解释了植被的高度与组成,同时水文连接的形式也制约了众多生物机体为完成其生命周期而进行的迁徙。生态学家、水生物学家、地貌学家、土壤学家和水文学家找到了一个共同的研究前沿——水与生命。

尽管在地质记录中地球的早期历史信息非常有限,但生命与整个物理系统存在相互作用仍然清晰可见。地貌、水文过程、生态系统和气候在整个地球演化史以及所有空间尺度上经历了一个共同演化的过程。此外,这些过程的相对重要性和变化速率在整个地球演化中曾发生过巨大变化。例如,在最初一段长达 40 亿年的时间中,陆地植物并不存在,如今的陆地和大气之间通过植物作用对水分的分配(如流量)也不存在。陆地植物的演化从根本上改变了地球的水文系统。在过去的地球上,有着极为不同的生物群、地貌、大气层和海洋化学成分,这为水文学家提供一个绝好的机会去探索水文循环关键过程之间的差异以及这些过程的改变对地球演化带来的影响。