

普通高等教育“十四五”系列教材

生态水文学

主 编 王慧亮

副主编 吕翠美

主 审 吴泽宁

原文林



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十四五”系列教材

生态水文学

主 编 王慧亮

副主编 吕翠美 原文林

主 审 吴泽宁



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本教材系统介绍了生态水文学的基本理论、方法和应用。主要内容包括：绪论、生态学基础、生态水文学原理、湿地生态系统的生态水文过程、森林生态系统的生态水文过程、河流生态系统的生态水文过程、城市生态系统的生态水文过程以及应用生态水文学等基础知识。

本教材主要作为水文与水资源工程专业“生态水文学”课程的教材，也可以作为其他有关专业相关课程的教学参考书，同时可以供水文学、生态学、水资源规划与管理等领域的相关专业技术人员或者研究生参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

生态水文学 / 王慧亮主编. — 北京 : 中国水利水电出版社, 2021. 6
普通高等教育“十四五”系列教材
ISBN 978-7-5170-9670-2

I. ①生… II. ①王… III. ①生态学—水文学—高等学校—教材 IV. ①P33

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第120743号

书 名	普通高等教育“十四五”系列教材 生态水文学 SHENGTAI SHUIWENXUE
作 者	主 编 王慧亮 副主编 吕翠美 原文林 主 审 吴泽宁
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	清淤永业(天津)印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 13.25印张 339千字
版 次	2021年6月第1版 2021年6月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	39.00元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

前 言

“生态水文学”是水文与水资源工程本科专业基础课程，是工程专业认证要求的必修课。本书在参考生态水文学研究的最新理论与学科前沿的基础上，根据郑州大学校内讲义与近年来的实际应用情况编写完成。编写过程中，在征求广大师生的意见和与同行交流探讨的基础上，参考同类教材的相关经验，力求在保证论述学科的基本知识和基本理论的基础上，能够反映本学科的最新研究成果。

本书共分为8章，按照32学时的教学课时编写。本书的主要内容包括生态学基础、生态水文学原理、湿地生态系统的生态水文过程、森林生态系统的生态水文过程、河流生态系统的生态水文过程、城市生态系统的生态水文过程、生态水文过程集成模拟与管理、河道生态需水评估、水生态修复与规划和水库联合生态调度等应用生态水文学前沿。教材在参考大量学科发展前沿的基础上，凝练和遴选了生态水文学学科主体内容，取材丰富、体系完整，章节编排合理，适用于水利类和生态类相关专业的本（专）科教学，也可以供相关工程技术人员和研究生参考。

本书由郑州大学王慧亮担任主编，吕翠美和原文林担任副主编。第1章由王慧亮编写；第2章由王慧亮、吕翠美编写；第3章由王慧亮编写；第4章由吕翠美、王慧亮编写；第5章由王慧亮编写、第6章由王慧亮、原文林编写；第7章由王慧亮编写，第8章由王慧亮、原文林编写。全书由王慧亮统稿，陈开放、申晨阳、鲁珂瑜、何鹏、康永飞、申言霞、黄硕俏、张海君等研究生参与了书稿的整理与校正工作。

本书由郑州大学吴泽宁教授主审，主审人对书稿进行了认真细致的审查，并提出了许多建设性的意见，编者在此深表感谢。

本书在编写过程中参考了大量的生态水文学最新研究成果和诸多学者出版的专著，同时参阅了有关院校和科研单位的技术文献，在书后列出了主要参考

文献，在此也表示感谢。

本书的编写和出版，得到了郑州大学教务处、郑州大学水利科学与工程学院以及中国水利水电出版社的大力支持，在此一并致谢。

生态水文学目前还没有供本科生使用的教材，本教材是编者根据生态水文学研究进展以及自己教学经验的总结，还存在诸多不足和需要改进的地方，希望各位同行和广大师生提出宝贵意见。书中如有不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2021年4月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 生态水文学的内涵及定义	1
1.1.1 生态水文学的内涵	1
1.1.2 生态水文学的定义	1
1.2 生态水文学的发展	2
1.3 生态水文学的学科体系	5
1.3.1 生态水文学的学科体系构建	5
1.3.2 生态水文学的研究对象	6
1.3.3 生态水文学的分支学科	6
1.4 生态水文学的主要研究内容	7
1.5 生态水文学发展趋势	9
思考题	10
第 2 章 生态学基础	11
2.1 生态学概述	11
2.1.1 生态学的概念	11
2.1.2 生态学的起源	11
2.1.3 生态学的发展	11
2.2 生态因子及其作用	12
2.2.1 生态因子的概念	12
2.2.2 生态因子的分类	13
2.2.3 生态因子的一般特征	13
2.2.4 生态因子作用的规律	14
2.3 生物种群与生物群落	15
2.3.1 生物种群	15
2.3.2 生物群落	18
2.4 生态系统的基本概念及类型	23
2.4.1 生态系统的概念	23
2.4.2 生态系统的组成	24

2.4.3	生态系统的基本特征	25
2.4.4	生态系统的结构	26
2.4.5	生态系统的类型	27
2.5	生态系统的基本功能	27
2.5.1	生物生产	28
2.5.2	能量流动	29
2.5.3	物质循环	31
2.5.4	信息传递	36
2.6	生态平衡	37
2.6.1	生态平衡的概念	37
2.6.2	保持生态平衡的因素	38
2.6.3	生态失衡的原因	38
2.6.4	生态系统平衡的调节机制	40
	思考题	41
第3章 生态水文学原理		42
3.1	水分收支与水量平衡	42
3.1.1	水量平衡原理	42
3.1.2	全球的水分收支与水量平衡	42
3.1.3	陆地的水分收支和水量平衡	44
3.2	蒸散发及其物理机制	46
3.2.1	蒸发	46
3.2.2	植物蒸腾	49
3.2.3	蒸散发	50
3.3	蒸发和蒸腾界面上的能量交换	50
3.3.1	能量平衡原理及一般方程	50
3.3.2	显热	52
3.3.3	潜热	52
3.3.4	土壤热通量	53
	思考题	53
第4章 湿地生态系统的生态水文过程		54
4.1	湿地生态系统的结构与功能	54
4.1.1	湿地的概念	54
4.1.2	湿地的生态系统服务功能	55
4.1.3	湿地的生物地球化学循环及其发展前沿	56
4.2	湿地生态系统的水文特征	58
4.2.1	湿地生态系统水文周期	60
4.2.2	湿地水分循环与水量平衡	62
4.2.3	湿地生态系统水文结构	65

4.2.4	湿地水文的影响因素	65
4.3	湿地水文生态作用及反馈机制	67
4.3.1	湿地植被对水文过程的影响	67
4.3.2	湿地植被对水文过程的适应机制	68
4.3.3	湿地动物对水文过程的影响	69
4.3.4	湿地动物对水文过程的适应	69
4.3.5	湿地微生物对水文过程的影响	70
4.3.6	湿地水文过程对生态系统功能的影响	71
	思考题	73
第5章	森林生态系统的生态水文过程	74
5.1	森林水因子生态作用与生物适应性	74
5.1.1	不同形态的水及其生态学意义	74
5.1.2	森林水分条件与植物群落的关系	75
5.1.3	森林植被对水分不足的生态适应	76
5.1.4	森林树种对水分过剩的适应	77
5.1.5	树种(植物)水分的生态模型	77
5.1.6	森林动物对水分的生态适应	79
5.2	森林生态系统的生态水文特征	80
5.2.1	林冠层生态水文特征	80
5.2.2	枯落物层生态水文特征	81
5.2.3	土壤层生态水文特征	82
5.2.4	林地坡面产流特征	83
5.2.5	林地蒸散特征	83
5.3	森林植被对生态水文过程的影响	84
5.3.1	森林植被对降水的影响	84
5.3.2	森林植被对流域地表径流的影响	85
5.3.3	森林涵养水源和保持水土的作用	86
5.4	森林生态系统土壤碳-氮-水循环过程	86
5.4.1	森林生态系统土壤碳循环	87
5.4.2	森林生态系统土壤氮循环	88
5.4.3	森林生态系统土壤水循环	89
5.4.4	森林生态系统土壤碳-氮-水耦合循环的关键生物物理过程和生物化学过程	89
	思考题	92
第6章	河流生态系统的生态水文过程	93
6.1	河流生态系统的结构和功能	93
6.1.1	河流生态系统概述	93
6.1.2	河流生态系统基本要素	94
6.1.3	河流的纵向结构与河流连续体理论	97

6.1.4	河流的横向结构和洪水脉冲理论	100
6.2	河流生态结构功能整体性概念模型	103
6.2.1	河流生态结构功能整体性概念模型框架	103
6.2.2	河流4D连续体子模型	105
6.2.3	水文情势-河流生态过程耦合子模型	106
6.2.4	水力条件-生物生活史特征适宜性子模型	108
6.2.5	地貌景观空间异质性-生物群落多样性关联子模型	110
6.3	河流水文过程对生物的影响	111
6.3.1	河道内流量变化的影响因素	111
6.3.2	流量变化对河流生态系统的影响	114
6.3.3	水利水电工程对水生生物的影响	115
	思考题	119
第7章	城市生态系统的生态水文过程	120
7.1	城市生态系统与城市水生态系统	120
7.1.1	城市生态系统的内涵	120
7.1.2	城市生态系统的特征与功能	120
7.1.3	城市水生态系统及城市水系	123
7.2	城市化及其水文效应	124
7.2.1	城市化对降雨的影响	124
7.2.2	城市化对水文过程的影响	126
7.2.3	城市化对水环境的影响	127
7.3	城市雨洪特性及生态机理	128
7.3.1	城市雨洪的灾害性	129
7.3.2	城市雨洪的资源性	130
7.3.3	城市雨洪形成的生态机理	131
7.4	城市雨洪的生态管理	132
7.4.1	城市雨洪排水系统	132
7.4.2	城市雨洪资源利用技术体系	134
7.4.3	国外典型雨洪管理经验	139
7.4.4	我国基于海绵城市的雨洪管理	148
	思考题	153
第8章	应用生态水文学	154
8.1	生态水文过程集成模拟与管理	154
8.1.1	生态水文模型概述	154
8.1.2	生态水文过程集成模拟功能	156
8.1.3	生态水文模型集成范式	157
8.1.4	生态水文关键过程模拟方法	160
8.2	河道生态需水评估	162

8.2.1	河道生态需水的内涵及相关概念	162
8.2.2	河道需水类型	166
8.2.3	河流生态需水重要水文要素与性能指标	168
8.2.4	河流生态需水估算方法	170
8.3	水生态修复与规划	180
8.3.1	水生态修复的定义	180
8.3.2	水生态修复规划的原则	181
8.3.3	河湖生态修复措施与技术	184
8.3.4	河湖生态修复项目监测与评估	189
8.4	水库联合生态调度	190
8.4.1	生态调度的内涵	190
8.4.2	生态保护的目标	192
8.4.3	生态调度原理及技术方法	194
8.4.4	水库生态调度的适应性管理方法	197
	思考题	198
	参考文献	199

第 1 章 绪 论

在人类活动影响下，水循环及其伴生的水生态、水环境和水沙过程发生了深刻变化，水多、水少、水脏、水浑、水生态退化与水管理缺失并存，极值水文过程及突发性水患灾害事件频繁发生，人水关系越加复杂，原有生态系统结构、功能和水文过程受到一定的影响，仅靠单一学科已经无法全面科学地解释生态-水文伴生过程。在此背景下，生态与水文之间的内在联系逐渐被人们所认识，从而逐渐衍生出一门由生态学和文学交叉的新兴学科——生态水文学。

1.1 生态水文学的内涵及定义

1.1.1 生态水文学的内涵

水是地球这个“蓝色星球”的生命基础，然而地球上的淡水却只占其总水量的 2.5%。在这些淡水资源中，存在于江河（2%）、湿地（11%）和湖泊（87%）中的地表水仅占 0.3%。正是这些所占比例甚微的水资源，支撑着大于 10000 种物种的生存。依赖于水的生境具有高度的多样性特征，从极地到赤道，从高山到低谷的广阔范围内，形成了不同层次的生境类型：从单一个体到庞杂的植被群落；从涓涓细流的河源到宽阔的下游河谷区、复杂的洪泛区、多样的湿地，以及从池塘到大型湖泊等不同层次的静水生态系统等。在这些生境中，许多生境正维系着具有高保护价值的群落和物种，其中部分群落和物种正濒临灭绝。由于水被多方利用，在很多地区人类从根本上改变了自然水循环过程及条件，这导致淡水生态系统（至少是一些受到强烈影响的陆地区域的淡水生态系统）的生物多样性特征发生了退化。随着全球范围内人口和经济的快速增长，人类和生态系统（陆域和淡水生态系统）的需水平衡已经成为首要的环境问题，在这一关键且未知的“平衡行动”中，包含着大量极为复杂的研究主题。在近期，人类不仅需要采用新的综合科学分析方法，而且需要开展真正意义上的交叉学科研究。在这种情况下，生态水文学被认为是识别这一复杂问题的关键因子，同时也是为水资源可持续管理提供支撑的具有潜力的新学科。

1.1.2 生态水文学的定义

“生态水文”由 Ingram 于 1987 年首次使用，用来描述和解释苏格兰地区泥炭湿地中的水文过程和特征。1992 年在都柏林和 1998 年在巴黎召开的水与环境国际会议上，更加强调了生态水文学的应用前景。

Wassen 和 Grootjans (1996) 认为“生态水文学”是一门旨在更好地理解水文学因素对湿地生态系统发展的决定作用，尤其是在自然保护和恢复方面的功能价值的学科。

Baird 等 (1996) 则认为，生态水文学是关于陆地或水生生态系统中植物和水相关关系的学科，扩展了 Wassen 等对生态水文学定义中环境的内容，包括旱地、森林、溪流、江河以及湖泊系统。

Zalewski 等 (2000) 提出, 生态水文学是指对地表环境中水文学和生态学相互关系的研究。他在后来的文章中认为生态水文学是在流域的尺度上, 研究水文和生物相互功能关系的科学, 是实现水资源可持续管理的一种新方法。同时, 他指出气候、地形、植物群落和动态、人类活动的影响这 4 个因素决定了环境中水的动态变化, 表明在不同的环境中生态过程和水文过程之间的相互关系各不相同。

Acreman M C (2001) 认为生态水文学是指运用水文学、水力学、地形学和生物学 (生态学) 的综合知识, 来预测不同时空尺度范围内, 淡水生物和生态系统对非生物环境变化的响应。另外, 生态水文学侧重研究河流及洪泛平原区的水文与生态过程以及建立模拟这两个过程相互作用的模型。

Nuttle (2002) 认为生态水文学是生态学和水利学的亚学科, 它所关心的是水文过程对生态系统配置、结构和动态的影响, 以及生物过程对水循环要素的影响。这一定义聚焦于水文过程在生态系统中所起的作用上, 这与 Rodriguez 所提到的在生态模式和生态过程上研究水文机制的概念相一致。

Rodriguez (2005) 认为生态水文学作为一门学科, 是指在生态模式和生态过程的基础上, 寻求水文机制的一门科学。在这些过程中, 土壤水是时空尺度内连接气候变化和植被动态的关键因子。在他后来的研究中认为植物是生态水文学的核心内容。

Hatton (2005) 认为生态水文学需要在质量守恒和能量守恒定律的基础上, 在周围环境不同的情况下, 研究环境过程的机制。

在国内, 赵文智和程国栋 (2001) 指出生态水文学是研究生态格局和生态过程变化的水文学机制的科学。武强等 (2001) 认为生态水文学是一个集地表水文学、地下水文学、植物生理学、生态学、土壤学、气象学和自然地理学于一体的、彼此间相互影响渗透而形成的一门新型边缘交叉学科。黄奕龙和傅伯杰等 (2003) 提出生态水文学的主要方向是在不同时空尺度上和一系列环境条件下探讨生态水文过程。夏军等 (2003) 认为生态水文学是生态学与水文学交叉研究内容, 即水文过程对生态系统结构、分布、格局、生长状况的影响, 同时研究生态系统 (生态系统中植被类型、格局、配置等) 等变化对水文循环的影响, 是一个相互影响的过程。章光新等 (2006) 提出了流域生态水文学的概念, 流域水文学是以流域为研究单元, 应用生态水文学的理论思维和系统科学的方法, 在时空尺度研究生态过程与水文过程相互影响、相互作用、共同耦合演化的过程、机理和机制, 探求流域水资源持续利用与水环境安全管理的一门新型学科。

1.2 生态水文学的发展

根据不同时期生态水文学发展的状态及特征, 以生态水文学发展的关键历史事件为节点, 可以将该学科的发展历程划分成 5 个阶段 (表 1.1)。

表 1.1 生态水文学各阶段发展历程

时间	阶 段	重要经历 (或代表事件)
1970 年左右 至 1986 年	生态水文学萌芽期	国际水文十年计划 (1965—1974); 1970 年 Hynes 出版 <i>The Ecology of Running Water</i> ; 1971 年人与生物圈计划 (MAB) 及 1986 年第一阶段会议; 生态水力学、土壤水文学等的重要理论探索和发展等

续表

时间	阶段	重要经历 (或代表事件)
1987—1991 年	生态水文学术语提出与初步探索期	1987 年 Ingram 使用 “Ecohydrology” 一词; 1990 年 Pedroli 等, 1991 年 Bragg 等围绕生态水文过程开展的研究; 1988 年 UNESCO 组织的国际研讨会; 1991 年荷兰景观生态协会 (WLO) 组织的水文生态预测方法会议等
1992—1995 年	生态水文学学科建立与初步发展期	1992 年联合国水和环境国际会议正式提出 “生态水文学” 概念; 1993 年 Heathwaite 编著的 <i>Mires: Pmcess, Exploitation and Conservation</i> ; 1995 年 Kloostenman 和 Gieske 等对湿地生态系统的研究; 1993 年马雪华编著的《森林水文学》等
1996—2007 年	生态水文学学科快速发展期	1996 年 Wassen 等给出生态水文学的明确定义: ERB 的 6 次研讨会; (UNESCO/IHP)-V (1996—2001) 和 (UNESCO/IHP)-VI (2002—2007); 1997 年 Zalewski 等、1999 年 Baird 等和刘昌明、2001 年 Aereman、2002 年 Eagleson 编著的生态水文学相关专集或著作; 2001 年创办 <i>Ecohydrology & Hydrobiolog</i> 期刊; 2000 年成立的英国沃林福德生态与水文学研究中心; 2005 年组建 UNESCO 欧洲生态水文学中心; Hatton 等, Rodriguex、王根绪等、Nuttle、夏军、Naiman 等大量学者针对生态水文学不同领域进行的研究等
2008 年至今	生态水文学学科完善期	(UNESCO/IHP)-VII (2008—2013) 主题 3 和 (UNESCO/IHP)-VIII (2014—2021) 主题 5; 2008 年《Ecohydrology》期刊创刊和 UNESCO 海滨生态水文学中心成立; 2008 年 Wood 等、Harper 等、2010 年程国栋等、2012 年杨胜天等编著的生态水文学相关专集或著作; 2014 年举办国际水文及应用生态大会; Chimire 等、Zalewski 等开展的更深入研究等

引自: 夏军, 左其亭, 韩春辉. 生态水文学学科体系及学科发展战略 [J]. 地球科学进展, 2018, 33 (7): 665—674.

1. 生态水文学萌芽期 (1970 年左右至 1986 年)

“生态水文学”一词被提出之前, 经历了一段时间的演化, 也是生态学和水文学逐渐交叉在一起研究的伊始, 目前很难考证和说清具体的起源时间。能找到的具有代表性的较早事件有: 国际水文科学协会 (International Association of Hydrological Sciences, IAHS) 提出的国际水文十年计划 (1965—1974), 对水文过程的研究开始考虑来自生态环境及其他交叉学科的影响; 1970 年 Hynes 出版的 *The Ecology of Running Water* 中初步对水文过程和生态过程的结合展开研究; 1971 年联合国教科文组织 (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO) 倡议的人与生物圈计划 (Man and Biosphere Programme, MAB), 从生态学的角度对人与环境的关系进行了深入研究, 并于 1986 年举办了第一阶段会议, 讨论了陆地生态系统和水生生态系统之间的过渡带。此外, 这一时期其他学科如生态水力学、土壤水文学、山坡水文学和河流生态学等的新理论和发现也有助于该学科的形成。总体来看, 该时期学者们已经开始尝试对水文和生态的交叉过程的研究, 为“生态水文学”概念的形成奠定了基础。

2. 生态水文学术语提出与初步探索期 (1987—1991 年)

1987 年 Ingram 在研究中使用了 “Ecohydrology” 一词, 随后被很多学者采用, 并逐步成为生态水文学的代名词。此后几年, 学者们围绕生态水文过程开展了大量工作, 其中以湿地的生态水文过程研究居多, 如 1991 年 Bragg 等和 Hensel 等所开展的研究; 其他方面如 1990 年 Pedroli 和 Caspary 对生态水文参数、生态水文框架等也有少量研究。该时期还召开

了几次与生态水文研究相关的代表性会议，如1988年UNESCO筹划的过渡带研究国际研讨会，并筹划了水陆过渡带功能方面的合作研究项目；1991年荷兰景观生态协会组织的服务与政策和管理的水文生态预测方法会议。可以看出，自“Ecohydrology”一词提出之后，生态水文学学科已经初见雏形，学者们针对生态水文过程所展开的探索工作，为生态水文学的研究拉开了序幕。

3. 生态水文学学科建立与初步发展期（1992—1995年）

1992年联合国水和环境国际会议正式提出“生态水文学”概念。1993年Heathwaite出版了以生态水文学为主题的专著 *Mires: Process, Exploitation and Conservation*。1995年Kloosterman等从生态水文学的角度对荷兰南部近几十年来的植被格局和水文状况进行了分析，从而揭示了湿地和栖息地环境恶化的原因；Gieske等应用生态水文学理论提出了一种定量描述地下水短缺或干枯对水生态和湿地生态系统影响的方法。我国在该阶段没有及时引入生态水文学概念，没有开展专门的研究，但是相关研究已有所涉及，如马雪华对森林水文生态的研究。可以看出，该阶段是生态水文学学科创立的初始时期，还处于摸索阶段。

4. 生态水文学学科快速发展期（1996—2007年）

1996年是生态水文学快速发展的起点。在这一年，Wassen等给出生态水文学的明确定义；欧洲实验与代表性盆地网络（European Network of Experimental and Representative Basins, ERB）第6次研讨会出版了论文集 *Eco-hydrological Processes in Small Basins*；联合国教科文组织国际水文计划第五阶段（UNESCO/IHP）-V（1996—2001）启动，其中生态水文学首次被作为其中的重要研究内容之一。在接下来的几年里，生态水文学获得了长足发展，一直持续到（UNESCO/IHP）-VI（2002—2007）末期。在著作方面：如1997年Zalewski等，1999年Baird等（2002年由赵文智等译为中文）、刘昌明，2001年Acreman，2002年Eagleson（2008年由杨大文等译为中文）编著的生态水文学相关专集和著作。在会议方面：如1998年召开的（UNESCO/IHP）-V（2.3—2.4）关于生态水文学的工作组会议、1998年召开的ERB第7次会议“变化环境中流域的水文和生物地球化学过程”、2003年举办的UNESCOMAB/IHP有关“生态水文学：从理论到实践”的联合讲习班。研究机构及期刊也发展起来，如2000年合并成立英国沃林福德生态与水文学研究中心、2001年创办 *Ecohydrology & Hydrobiology* 学术期刊、2004年成立英国生态与水文中心、2005年组建UNESCO欧洲生态水文学中心。科学研究方面，也产生了大量代表性成果，如Hatton等、Rodriguez、Zalewski、王根绪等、严登华等、武强等、Nuttle、夏军等、崔保山等、Suschka、Naiman等、Porporato等、Kundzewicz、Bonnell和Hiwasaki等的研究。可以说，这些丰富的研究成果极大地促进了生态水文学的发展。

5. 生态水文学学科完善期（2008年至今）

从2008年开始，（UNESCO/IHP）-VII（2008—2013）的主题3“面向可持续的生态水文学”、（UNESCO/IHP）-VIII（2014—2021）的主题5“生态水文学——面向可持续世界的协调管理”中均将生态水文学作为一个独立的专题来进行研究。同年，*Ecohydrology* 期刊创刊和UNESCO海滨生态水文学中心成立。在著作方面，产生了如2008年Wood等（2009年王浩等译为中文）、Harper等（2012年严登华等译为中文），2010年程国栋等，2012年杨胜天编著的生态水文学著作。在技术和应用方面，开展了较为系统的研究，特别是对生态水文模型的研究。在研究机构建设和会议召开方面又有突破，如2009年成立南京

水利科学研究院生态水文实验中心，2014年举办国际水文及应用生态大会。在科研成果方面，如 Ghimire 等、Zalewski 等和张琪琳等开展的研究，将生态水文学拓展到了更广阔的领域。可以说，生态水文学能取得今天的成就，是广大科研工作者共同努力的结果，但仍不完善，需不断深入和补充。

1.3 生态水文学的学科体系

1.3.1 生态水文学的学科体系构建

针对生态水文学学科体系的构建问题，可以从不同的角度和分类出发，形成不同的学科体系框架，但均应能够体现出学科的研究对象、特点、核心内容和分支任务，能够为学科建设和可持续发展提供导向。

夏军院士根据研究，提出生态水文学学科体系的思路是：以生态水文学的研究对象为切入点，按照“理论—方法—应用—分支学科”的逻辑主线，构建了以“理论体系—方法论—应用实践”为核心内容支撑，以分支学科为导向的生态水文学学科体系框架（图 1.1）。该体系包括：

(1) 生态水文学的研究对象。明确的研究对象是学科的立足之本，其涵盖的基本要素既能彰显出学科自身的特点和不可替代性，也能表现出与相关学科的联系及区别。

(2) 生态水文学的核心内容（理论体系、方法论和应用实践）。理论、方法和实践三者

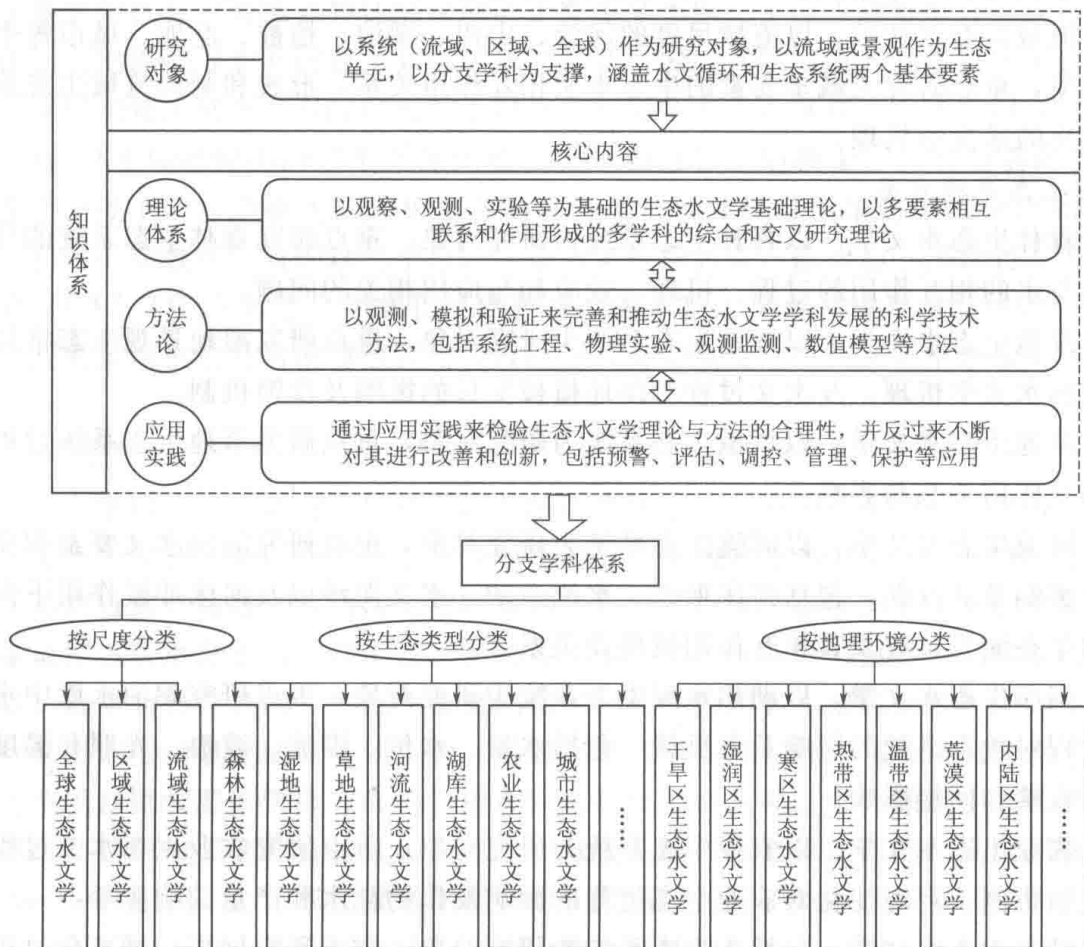


图 1.1 生态水文学学科体系框架

相辅相成，构成一个严密的系统，是学科的重要组成部分，也是学科发展的主要推动力。

(3) 生态水文学的分支学科。按照研究对象、研究范围和手段的不同，可细分为不同的分支体系。

1.3.2 生态水文学的研究对象

生态水文学的研究对象可以是一个流域、区域甚至全球系统。在这个系统里，流域或景观可以被视为基本的生态单元，涵盖两个基本要素（水文循环和生态系统）。直观来看，与生态水文学密切相关的学科是水文学和生态学，它将两门学科中彼此独立而又存在联系的水文要素与生态过程有机地进行了结合，但又不仅仅局限于这两门学科，其研究内容的交叉和系统性需要综合运用多学科的相关知识，如水力学、土壤学、植物学和气象学等。

1.3.3 生态水文学的分支学科

生态水文学由众多分支学科组成，各分支学科间互有联系，有时又自成体系。本书按照尺度、生态类型和地理环境分类方法，对生态水文学各分支学科进行归类。

1. 按尺度分类

(1) 全球生态水文学。以全球尺度的大生态系统作为研究对象，重点研究全球陆地和海洋的生态格局及其变化（地圈、生物圈、岩石圈、水圈、大气圈、人类圈等之间的相互作用）的水文学规律、机制和认识。

(2) 区域生态水文学。以区域尺度的陆地、人类活动等生态系统为研究对象，重点研究区域生态水文的相互作用关系，区域环境变化的生态水文特征及变化规律。

(3) 流域生态水文学。以流域尺度的河流、山川、湖泊、植被、湿地、城市等生态系统为研究对象，重点研究流域多要素的生态水文相互作用关系，形成和制约流域生态系统格局及过程变化的水文学机理。

2. 按生态类型分类

(1) 森林生态水文学。以森林生态系统为研究对象，重点研究森林生态系统的分布、结构和功能与水的相互作用的过程、机理、效应和与应用相关的问题。

(2) 湿地生态水文学。以湿地生态系统为研究对象，重点研究湿地景观生态格局和生态过程演变的水文学机理，及水文过程对湿地植被生长的影响及反馈机制。

(3) 草地生态水文学。以草地生态系统为研究对象，重点研究草地生态系统过程与水文过程的相互作用关系与影响。

(4) 河流生态水文学。以河流生态系统为研究对象，重点研究河流水文要素和变化过程所产生的影响及其反馈，包括河床形态、水流运动、水文泥沙以及河床冲淤作用下河流的生态格局和生态演变过程及其相互作用机理及关系等。

(5) 湖库生态水文学。以湖泊水库生态系统为研究对象，重点研究湖泊水库中水文要素和变化过程对生态系统的影响及其反馈，包括水量、水位、湖流、波浪、光照和温度等对生态系统的直接和间接影响。

(6) 农业生态水文学。以农业生态系统为研究对象，重点研究农业生态水文过程的相互作用和反馈机制、环境变化对农业生态过程的影响及作物耗水和产量的响应等。

(7) 城市生态水文学。以城市生态系统为研究对象，重点研究城市、城市化过程和气候变化背景下日益突出的水灾害、水环境、水资源等生态水文问题。

3. 按地理环境分类

- (1) 干旱区生态水文学。
- (2) 湿润区生态水文学。
- (3) 寒区生态水文学。
- (4) 热带区生态水文学。
- (5) 温带区生态水文学。
- (6) 荒漠区生态水文学。
- (7) 内陆区生态水文学。

按地理环境分类的目的就是以某一特定地理环境区的生态系统为研究对象,重点研究特定环境下该区域生态系统水文生态的作用关系,及形成该特定地理环境区生态系统格局及过程变化的水文学机理。

1.4 生态水文学的主要研究内容

1. 干旱区生态水文过程

水是干旱区关键的生态因子,植被的组成和结构主要由水控制,同时在各种尺度上对水产生重要反馈。在较大的空间尺度上,干旱区地表的复杂性加剧了土壤—植被—大气传输之间联系的复杂性,目前对干旱区气候变化模式和边界层动态的研究程度要远低于草地和森林系统。掌握干旱区气候与地表特性间反馈的重要意义不仅在于深入理解所含过程,而且为了解荒漠化、土地退化等实际问题及其对区域和全球尺度的气候反馈具有重要作用。在较小尺度上,干旱区植被能够在所有时间尺度上以一系列复杂方式对气候变化进行响应。在区域尺度上,最近40年以来提出的“干旱区产流及沉积物迁移一般模型”具有显著的应用价值。然而,在小尺度上,详细描述各种植被群落、产流、侵蚀以及土壤营养成分之间的内部联系,对于获得可靠数据相对困难的干旱区生态水文过程而言,模拟是一种有利方式,最近建立起来的“PAT TERN模型”就提供了能较好预测未来干旱区环境变化的途径。在长时间尺度上,研究区域植被群落演替过程与气候以及其他环境变化的关系是生态水文学关注的焦点问题之一。

2. 湿地生态水文过程

水生生态学以湿地水文与生态过程以及两者之间相互关系的模拟为其主要研究内容,以至于狭义的生态水文学就以这种关系为其内涵所在。湿地水位如何影响植物的生长和生存、湿地水文运动过程对植被群落结构与空间格局的影响是湿地生态水文学主要的研究领域。尽管有大量证据表明水分影响植物生长,但是关于水位或水分状况与植物组成的清晰定量关系仍未建立。近来的研究表明,决定植被组成和水位关系的因素不仅包括水源、养分状况,也包括水分对湿地土壤氧化还原位的影响。随着全球气候变化问题日益引起全社会广泛关注,湿地生态系统在排放温室气体方面的作用逐渐引起人们的重视,研究湿地生态系统排放温室气体的规律及其影响因素,分析这种规律对区域或全球气候变化的影响,成为湿地生态领域日渐活跃的学科领域,由此形成湿地泥炭研究、湿地碳循环研究。湿地因其水陆交替的地貌特征,具有特殊的生态水文特征、最丰富的生物多样性和较高的生物生产力,而且因其对气候变化与人类活动影响的异常敏感性,成为地球上生态系统演变最为剧烈的场所之一。