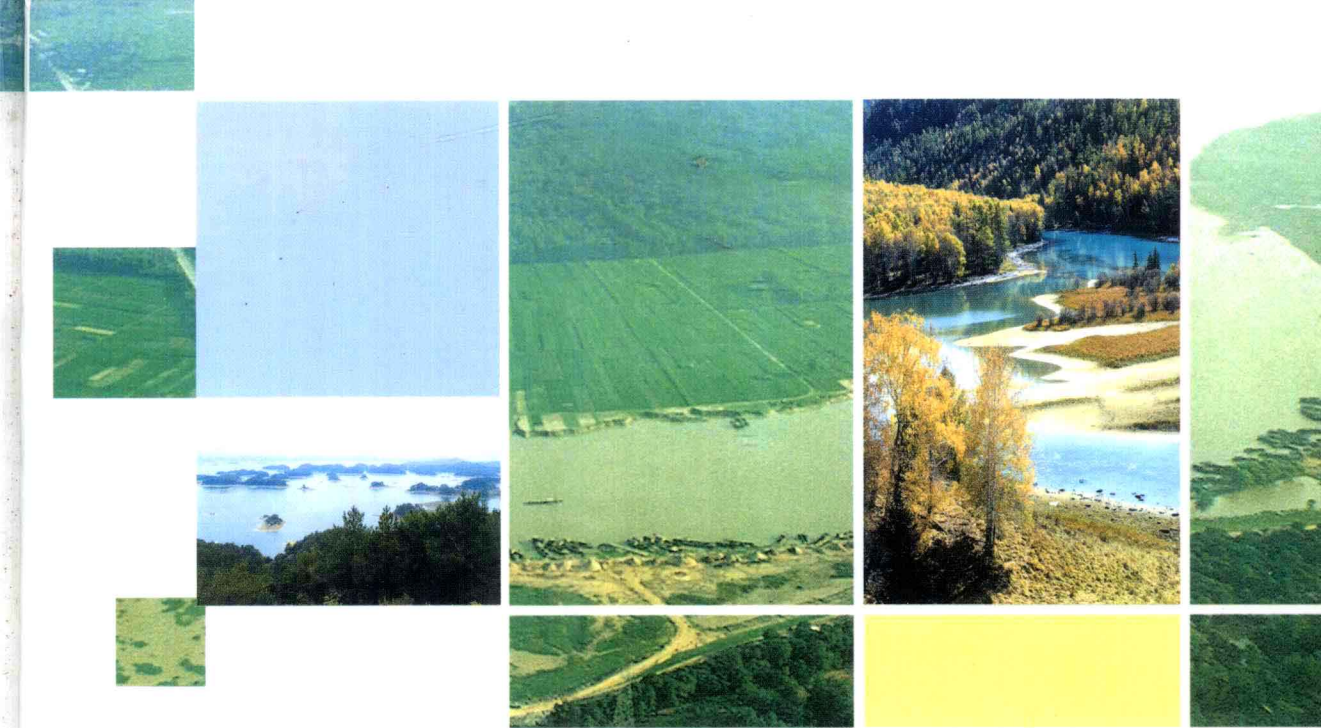


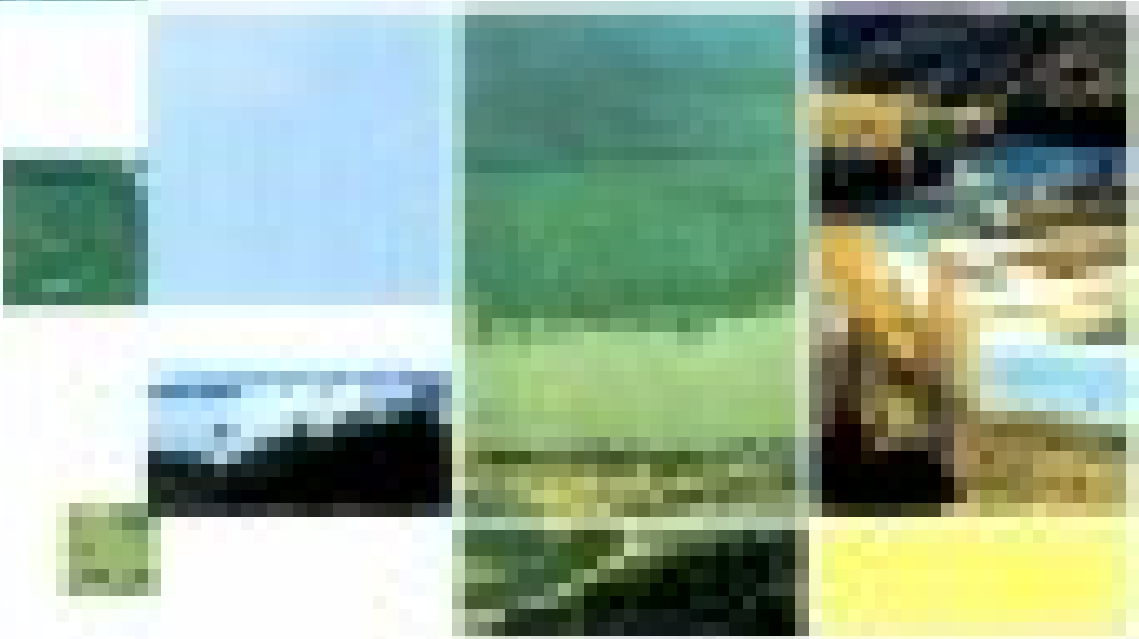


基于 ET 的区域水资源与 水环境综合管理规划 ——理论、方法与应用

马明 吴文勇 刘洪禄 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



基于IT的水资源管理与 决策支持系统构建研究 ——理论、方法与应用

王明 张磊 张磊 张磊 著

基于ET的区域水资源与 水环境综合管理规划

——理论、方法与应用

马明 吴文勇 刘洪禄 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系统总结了基于 ET 的区域水资源与水环境综合管理规划方面的最新科研成果。全书共七章,内容包括:基础理论,规划方法与模型,规划项目的背景,项目区基线数据及土地利用详查,情景分析与方案选择,水资源利用与水环境治理规划,综合管理能力建设规划。

本书可供从事水资源规划和管理的技术人员使用,也可大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于ET的区域水资源与水环境综合管理规划:理论、方法与应用 / 马明, 吴文勇, 刘洪禄著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2012. 2
ISBN 978-7-5084-9453-1

I. ①基… II. ①马… ②吴… ③刘… III. ①区域资源—水资源管理②区域水环境—区域环境管理 IV. ①TV213.4②X143

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第018332号

书 名	基于 ET 的区域水资源与水环境综合管理规划 ——理论、方法与应用
作 者	马明 吴文勇 刘洪禄 著
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 (发行部)
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	北京彩虹伟业印刷有限公司
规 格	175mm×230mm 16 开本 12.75 印张 250 千字 6 插页
版 次	2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 次印刷
印 数	0001—1500 册
定 价	40.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

水作为维持生态系统的要素，是一切生物和人类赖以生存发展的基础。在自然生态系统与人类的众多复杂关系中，水是最为活跃和最具决定性的纽带，水资源开发利用所导致的区域水文过程变化将不可避免地对区域生态环境体系产生影响。急剧膨胀的人类活动破坏了水资源的生态空间，使水资源问题成为 21 世纪人类面临的重要资源问题之一。为维护社会经济的健康发展，人类必须寻求水资源可持续利用的途径。

本书基于生态水文学理论，将水资源与生态系统的服务功能有机地结合在一起，在人类用水和自然用水之间找到一个平衡点。以生态水文学的理论和方法来审视人类经济活动和现行的水资源管理模式，试图为解决严峻的水环境问题和水资源可持续利用问题提供一个新的思路。

GEF 海河项目引进国外先进水管理理念——基于 ET 的水资源与水环境综合管理，属当前国际水管理研究的前沿领域。该理念力图转变传统的水管理观念，在水资源管理方面，要用“耗水控制”的概念代替“用水控制”，分析方法上要用耗水平衡分析取代传统的水资源供需分析；在水环境管理方面，要以“污染物控制”的概念代替“污水达标排放”，分析方法上要通过水环境承载力分析限制污染物排放，从而确保水功能区水质达标。基于 ET 的水资源管理理论认为，在降水、蒸发、径流构成的流域水文循环中，只有水分蒸腾蒸发量才是流域水量的实际减少量，即真实的消耗水量——ET。

平谷区水资源与水环境综合管理规划（IWEMP）是 GEF 海河项目总体组成框架下的区县级子项目。按照 GEF 海河项目的要求，区县水资源与水环境综合管理规划（IWEMP）必须贯彻基于耗水控制（ET）

的水资源与水环境综合管理的理念。在区县目标 ET 的约束下，通过水权三要素分配实施以区域水资源开发利用控制、用水效率控制和水功能区限制纳污为核心的水资源与水环境的综合管理，从而使平谷区在 2020 年达到水资源可持续利用与水环境良性循环的总体目标。

本项目区水资源与水环境综合管理规划的思路是：以区域水循环系统为研究对象，以水资源可持续利用和水功能区水环境良性循环为目标，以流域分布式水文模型（SWAT 模型）、土壤水平衡模型（AquaCrop 模型）、河流水质模拟模型（WQS 模型）以及平谷区水资源与水环境规划模型为工具平台，通过区域层次和地块层次的现状耗水平衡分析，根据不同用水地块耗水状况拟定平谷区目标 ET；通过水环境承载力分析拟定水功能区目标污染物排放。然后针对存在的问题提出工程与管理措施及水资源配置方案，并应用模型工具检验规划效果，最终提出推荐方案。

平谷区水资源与水环境综合管理规划的创新成果包括，根据 ET 管理农田真实节水理念提出了区域综合 ET 空间解析分类方法；引进国际先进的分布式水文模型 SWAT 模型和 FAO 最新开发的 AquaCrop 模型，提出了在区域层次和地块层次进行耗水平衡分析的建模技术及耦合方法；根据平谷山区与平原区 ET 分布特点，耗水平衡分析和目标 ET 按山区和平原区分别进行分析确定，并提出了确定区县目标 ET 的方法和步骤；构建了平谷区水资源与水环境规划模型，实现了用水地块水权三要素分配；利用 3S 技术和平谷 2005 年 1m 分辨率航拍影像遥感图完成了带有相关用水背景信息的平谷区 1:10000 土地利用详查图。为区县水资源与水环境综合管理规划的编制提供了一套完整的解决方案和应用示范案例。

本书由参加该项目的北京市水科所科研人员分工合作撰写，全书由马明、吴文勇撰写统稿，刘洪禄审定。除上述编写人员，先后参加本研究工作的人员还有丁跃元、郝仲勇、史海波、潘兴瑶、尹世洋、邱苏闯。本专著也包含了这些科研人员的研究成果。

本研究得到了世行 GEF 海河项目《北京市平谷区水资源与水环境综合管理规划（IWEMP）》（合同编号：bj3-4）、《北京市农业综合节水

技术与示范》（项目编号：D0706007000091）的支持。本项目在实施过程中得到了北京市 GEF 项目办公室、北京市平谷区水务局、北京师范大学等相关单位的大力支持。本书还参考了其他单位和个人的研究成果，已在参考文献中列出，在此一并致谢。

作者

2011 年 11 月

目 录

前言

第一章 基础理论	1
第一节 基于生态水文的陆地水循环	1
第二节 水资源与水环境	9
第三节 水资源利用与可持续性	14
第四节 水资源与水环境综合管理规划	27
第二章 规划方法与模型	36
第一节 规划项目来源	36
第二节 规划理念	38
第三节 区域目标 ET 分析方法	42
第四节 分布式流域水文模型——SWAT 模型	58
第五节 水与农作物——AquaCrop 模型	60
第六节 一维河流水质模型——WQS 水质模拟工具	63
第三章 规划项目的背景	67
第一节 规划的目标与任务	67
第二节 技术路线	69
第三节 项目区概况	73
第四节 水资源与水环境概况	78
第五节 水管理现状	80
第六节 水资源开发利用存在的问题	83
第四章 项目区基线数据及土地利用详查	86
第一节 项目区基线调查概述	86
第二节 水资源与水环境基线数据	88
第三节 地下水动态基线数据	98
第四节 入河污染物排放基线数据	101

第五节 土地利用及背景信息	104
第六节 遥感 ET 数据分析	115
第五章 情景分析与方案选择	117
第一节 现状趋势情景分析	117
第二节 现状耗水平衡分析	118
第三节 目标 ET 的确定	129
第四节 农业地块目标 ET 与管理方案	130
第五节 水资源可持续利用规划方案	135
第六节 规划期 2020 年耗水平衡	145
第七节 水环境承载力平衡分析	148
第六章 水资源利用与水环境治理规划	158
第一节 节约用水规划	158
第二节 城乡供水规划	160
第三节 城乡污水治理规划	163
第四节 水源地保护规划	168
第五节 河道生态治理规划	172
第七章 综合管理能力建设规划	178
第一节 水资源与水环境综合管理机构	178
第二节 建立管理与协调机制的方案	179
第三节 综合管理政策与管理方案	182
参考文献	187

第一章 基础理论

第一节 基于生态水文的陆地水循环

一、陆地水文学原理

水文学是研究地球上水的来源、分布、循环、运动，以及与环境及人类活动之间相互作用的基本规律，并运用这些基本规律指导水资源开发利用的一门学科。根据陆地水文学原理，水在自然界中以固态、液态、气态 3 种方式存在，在水圈、大气圈、岩石圈、生物圈范围内处于往复不停的循环运动状态中。在自然力——太阳能和地心引力的作用下，水从陆地和海洋蒸发变成云（水汽），又以雨、雪等方式降落到地面，通过蒸发、蒸腾、下渗、地表径流、地下径流等环节，不断发生水的相态转换。在一个由分水岭包围的处于自然状态的流域，其降落到流域的所有降水最终只有两条输出途径：一是通过流域下垫面蒸腾蒸发 ET 返回到大气层；二是通过汇聚成地表或地下径流最终又回归大海。水的这种周而复始的循环运动称为水的自然循环。

流域尺度上的陆地水循环包括降水、地表径流、下渗、地下径流、蒸腾蒸发等环节。陆地水循环过程中的某一时刻，水以其不同的形态存在于大气、土壤（含水层）、植物（生物）、河流水体等环境中，从而形成了统称为“四水”的大气水、地表水、土壤水和地下水，构成流域水文水资源循环系统^[1]。陆地水循环过程中“四水”转化的概念模型见图 1-1。

概念模型中在陆地水循环流程中设置了 3 个调蓄单元，分别为地表水调蓄、土壤水调蓄和地下水调蓄。降水经过冠层截留蒸发降落地面后称为净雨，净雨在经过不同调蓄单元时，会在水的不同相态之间转换。其中地表水调蓄单元受下垫面植被、土壤、地形、洼槽等的控制，使一部分净雨转化为坡面径流或直接蒸发，绝大部分被土壤拦蓄成为土壤水。土壤水调蓄单元中，受土壤特性控制，超过田间持水能力的饱和状态土壤水在平原区一般向下运动补给含水层成为地下水；在山区一般为侧向流动成为壤中流，最终出露地表进入河流或作为平原区地下含水层的侧向补给。而非饱和状态土壤水存储于包气带土壤中，大部分消耗于土壤蒸发和植物蒸

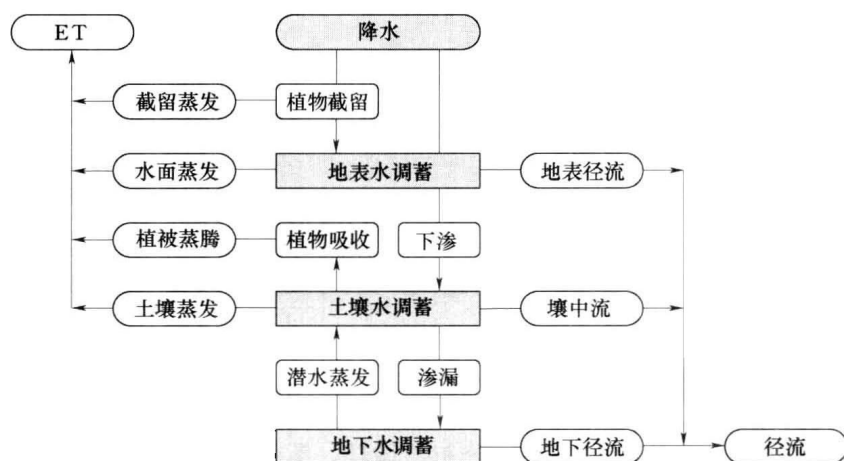


图 1-1 陆地水循环概念模型图

腾。地下水调蓄单元对含水层的地下径流进行调节，依据地下水位埋深以及与河道水位的相对位置，或产生潜水蒸发，或以地下径流的形式回归河道转化为河川基流。

随降水的丰枯年际变化，流域内的调蓄单元每年会滞留或释放一部分当年水量，使得流域进入的水量与出去的水量并不完全相等，这种差值称为蓄水变量，而且该值的多年平均趋近于零。这是因为流域调蓄单元可以看做是一个有限容积的蓄水池，它们不可能无限制地接纳降水。一般来说，当地下水调蓄单元的水位因降水入渗上升到一定程度时，地下水会接触到包气带，从而会通过土壤和植被转化成为 ET，或溢出地表增加湿地面积，或补给河道转化为地表水。闭合流域多年平均水量平衡中降水与“四水”在不同调蓄环节的对应关系见图 1-2。

在一个有明确分水岭的完整闭合流域内，入流为流域下垫面上的全部降水 P ；出流为两部分：一部分为流域出口处的河川径流 R ，另一部分为逸出流域的蒸腾蒸发量 ET 。在一个水文年度内的流域陆地水循环中，入、出流域的不同相态水有如下水量平衡关系：

$$P = R + ET + (\Delta V + \Delta S + \Delta U) \quad (1-1)$$

式中 R ——流域出口处的河川径流量，包括了不重复的地表水径流和地下水径流；

ET ——流域中全部蒸腾蒸发量，绝大部分来自包气带土壤中的非饱和土壤水；

ΔV 、 ΔS 和 ΔU ——地表水调蓄、土壤水调蓄和地下水调蓄的蓄水变量。

第一节 基于生态水文的陆地水循环

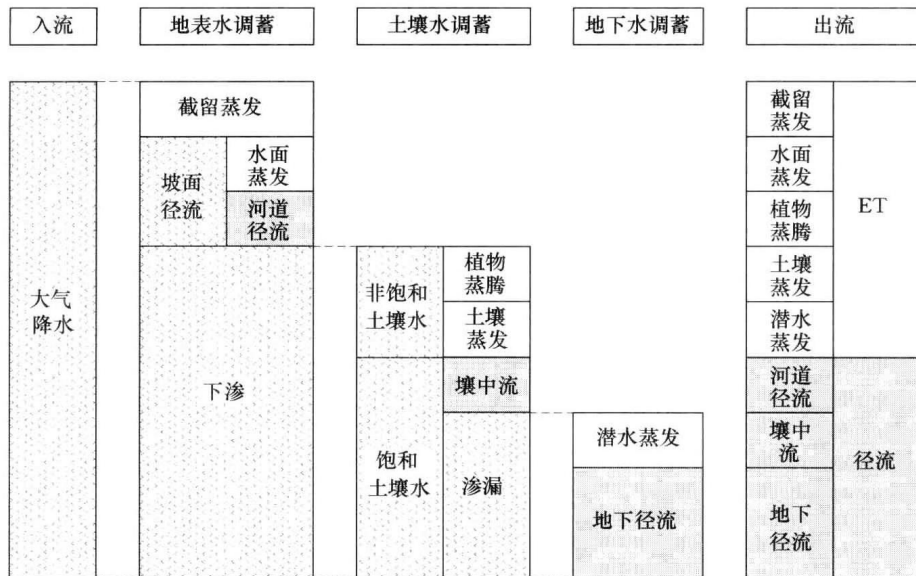


图 1-2 降水与“四水”在不同调蓄环节的对应关系图

蓄水变量在枯水年多为负值，在丰水年多为正值。多年平均条件下，流域中所有蓄水变量之和趋于零，则多年平均流域水平衡表示为

$$P = R + ET + \Delta G,$$

$$\Delta G = \Delta V + \Delta S + \Delta U = 0 \quad (1-2)$$

式中 ΔG ——流域的全部蓄水变量。

对于一个处于某一气候带且形状固定的流域，自然状态下其 ET 与河口径流 R 之间的比例关系应是大致不变的，只是在丰水年和枯水年之间相对有些波动。

二、生态水文学

随着与水有关的生态环境问题的日益突出，生态环境保护备受当今社会的广泛关注，人们越来越认识到与自然生态系统协调共处对人类可持续发展的重要性。在自然生态系统与人类的众多复杂关系中，水是最为活跃和最具决定性的纽带，水资源开发利用所导致的区域水文过程变化将不可避免地会对区域生态环境体系产生影响，而区域生态环境变化，尤其是植被生态系统的变化，将势必对区域水文过程产生作用。急剧膨胀的人类活动破坏了水的自然循环规律，使水资源问题成为 21 世纪人类面临的重要资源问题之一。为维护社会经济的健康发展，人类必须寻求水资源可持续利用的途径，由此促使生态学和水文学的交叉领域研究成为科学界的热点之一。

Ingram H. A. P 在 1987 年首次提出生态水文学 (Eco - hydrology) 这一概念^[6], 并对苏格兰水陆缓冲带泥炭地的生态水文过程进行了研究。1992 年在 Dublin 召开的国际水与环境大会上, 来自各相关领域的与会专家经过认真讨论, 正式提出生态水文学这一学科概念。生态水文学在研究解决人类所面临的淡水资源短缺问题上所表现出的良好前景受到了国际社会的广泛关注。有学者认为生态水文学是实现淡水资源可持续利用的重要理论和有效工具, 认为生态水文学将是今后几年内水资源可持续开发利用研究中最有意义的前沿学科。联合国教科文组织主持的国际水文计划第五阶段研究 (UNESCO/IHP - V) 中也把生态水文学作为其重要的研究领域, 并在 26 个国家和地区开展了 39 个项目的研究^[2]。以生态水文学的理论和方法来重新审视人类经济活动和水的管理模式, 能够为解决日益严峻的水问题提供一个新思路。通过生态水文学的研究, 人类有望走出水资源问题的困境。

生态水文学是一门新的交叉学科, 通常在生态学、水文学及环境学的相互研究中有所涉及, 但总的来说, 还是对传统水文学的拓展。如果说传统水文学着重研究自然界水循环过程的物理规律和化学特性, 那么发展到今天的生态水文学则注重研究水的生物特性。生态水文学认为, 水是地球上生命之源, 是生物圈的血液, 是维持人类和生态系统存在的基础。早期生态水文学的研究局限于水域湿地生态系统, 现在已从水域转向陆地生态系统。I Rodriguez - Iturbe 认为生态水文学是研究生态格局下的水文机制的科学, 气候—植被—土壤的相互作用是其控制性的因素, 土壤水是其关键的研究因子。地表生态水文过程包括植被变化, 土地利用和侵蚀过程, 水库和三角洲的沉积过程, 河系、洪泛平原和湿地之间的关系及地表水过程, 并认为生态水文学的实用性含义是研究在不同时空尺度上水文过程与生物动力过程相互综合的科学。

2004 年, 瑞典水文学家 Malin Falkenmark 与 Johan Rockstrom 出版了一部关于生态水文学的专著——*Balancing Water for Humans and Nature: The New Approach in Ecohydrology* (人与自然间的用水平衡: 生态水文学新方法), 该著作是近 10 年来在水资源可持续性研究方面颇具影响力的一本专著。作者围绕水循环、生态系统和降水等主要概念, 分析全球尺度的淡水资源, 重点是将淡水资源的功能及角色与生态系统服务有机地组合在一起, 全面系统地介绍了管理水资源的新的生态学方法, 并通过该生态水文学新方法试图在人类用水与自然用水之间找到一个平衡点。

Falkenmark 提出的生态水文学新方法的核心内容是将降水视为由人类与自然共同分享的淡水资源, 认为最根本的水资源是降水, 而不仅仅是河川径流。作者早在 1995 年的世界粮农组织 (FAO) 召开的水土大会上, 针对雨养农业与粮食安全

问题首次提出了流域下垫面中降水被分割成绿水和蓝水的概念，并在随后提出的生态水文学新方法中将此概念作为研究的切入点和理论基础^[24]。绿水（green water）是指陆地水文循环中的气态水流或总的蒸腾蒸发量，它包括来自植物截留、地表、水面和土壤的非生产性蒸发和源自植物蒸腾、促进植物生长的生产性蒸腾，显然源自降水的绿水支撑着陆地生态系统。蓝水（blue water）是指陆地水循环中的液态水流，它包括降水形成的地表径流和地下水补给，即径流性水资源，它是支撑水域生态系统的基本水源^[99]。

将绿水和蓝水分别与自然生态系统中的陆地生态系统和水域生态系统联系起来是生态水文学新方法的基本特征。认为自然生态系统可以划分为陆地生态系统和水域生态系统。陆地生态系统通常是指地面上有植被生长区域形成的生物群落，如森林、草地和农业耕地等，主要由土壤水构成其生存环境，而且土壤水分以蒸腾蒸发的形式消耗。水域生态系统通常是指由水域支撑的水生生物群落，水域中液态水体构成其生存环境，如河流、湖泊等。为了便于理解降水分割概念模型，需要将陆地生态系统和水域生态系统的概念进行扩展和界定。这里将陆地生态系统的概念扩展到整个下垫面，即陆地生态系统不仅包括有植被生长的区域，也包括只发生蒸发的地面，如裸地和水面等，因而陆地生态系统等同于下垫面。而水域生态系统仅指水域涵盖的水体，其水域发生的蒸发损失已计入陆地生态系统，因而水域生态系统不耗水，形成水体的径流量即可以认为是维持水生生物生存的环境流量。

综上所述，生态水文学新方法着重研究陆地表层系统生态格局与生态过程变化的水文学机理，揭示陆地生态系统和水域生态系统与水的相互作用关系，回答与水循环过程相关的生态系统变化的成因与调控。

三、考虑生态系统的陆地水循环

生态系统是一个生物学概念，涵盖了生活在一定生物物理环境中的不同有机体之间的相互作用。通常生态系统是指人类福利所依赖的生命保障系统，具有特定社会价值以及由生物多样性和特定地域的景观组成，如地方性物种、森林植被、河段、湖泊和湿地等。在陆地水循环中水是特定生态系统的决定性要素，并决定生态系统的生存环境和生长条件。提供生态功能的生态系统既可以是陆地的，也可以是水域的。陆地生态系统的演变与下垫面降水在蒸发、径流和地下水之间的分配有关；水域生态系统则容易受到河流流量衰减、河流水流季节性变化和水质变化的影响。

在考虑生态系统的陆地水循环中，水通过物理作用、化学作用和生物作用在自然界中起到基本的平衡功能^[99]。

物理过程：水自身的相态变化发生蒸发和凝结作用对地球上能量平衡和分布至关重要；

化学过程：水的结晶与溶解作用对地球上可溶物质的平衡和分布至关重要；

生物过程：光合作用中水与二氧化碳被绿色植物利用光能将其所吸收而转化为有机物的过程。

图 1-3 描述了陆地水循环、生态系统与人类社会之间的关系。

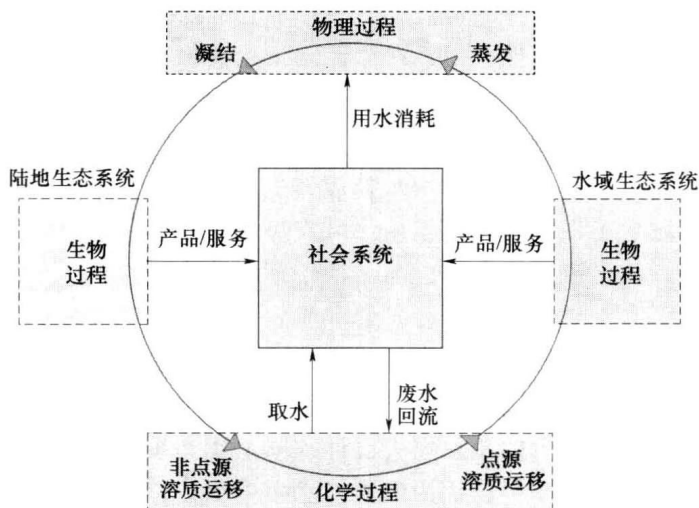


图 1-3 陆地水循环、生态系统与人类社会之间关系图

陆地生态系统以降水为输入，经生物过程将绿水返回大气圈；水域生态系统中水生物种在由液体蓝水构成的栖息地生长；人类社会从淡水供应中受益，以满足日常生活和工农业生产的需求。如果与自然水文过程联系起来，水循环中降水转化为蓝水和绿水的过程基本上由三种关键功能所控制。水循环中的气态绿水具有一定的物理功能，维持下垫面蒸发和形成降水凝结水的平衡。水循环中液态蓝水具有生物和化学功能，蓝水是水生物种栖息地的重要环境因素，陆地生态系统的生物功能与绿水紧密联系。蓝水具有化学功能，其水质取决于陆地生态系统内各部分的相互作用。陆地生命支撑系统有生物圈和社会经济圈构成，其中生物圈与水循环的相互作用遵循自然法则不可协商的，而社会经济圈人类的用水活动在水循环中是可协商的。

一定地貌格局控制下的生态过程和水文循环，彼此都具有一定的等级结构。两者相互促进，同时又相互制约，在一定的时间和空间上发生耦合，形成具有地域特色的生态水文格局。这种生态水文格局制约着物质和能量向水体中释放和从水体中吸收。在一定意义上讲，生物在其生命周期内，主要是从环境中择取物质和能量，

包括从水体中吸纳部分物质，同时向环境中释放排泄（溢）物，以满足其自身的生存和发展。

水在生物圈和人类社会发挥基本功能和作用，水循环联系着社会与自然。因此，有必要将生态学与水文学结合起来，使人类与其生存环境和谐发展。

四、降水的分割

如前所述，自然水循环的驱动力来自太阳能和重力，得以使水循环持续不断。土壤和植物的蒸散发、水汽的凝结都是热量作用的结果。降水、地表径流、土壤水和地下水运动都是重力作用的结果。将降水量转化为蒸发量、地表水、土壤水和地下水是水文学中对大尺度（如江河流域或区域）的陆地水循环进行表述的常用方法，然而这种方法忽略了水文循环中土壤和植被的关联。

Falkenmark 在阐述蓝水和绿水的形成过程时引入了降水分割的概念模型^[99]。认为降水量在热量和重力的作用下可分成两股分支，一个分支是在地表和地下运动的可见径流量，即蓝水；另一分支是进入大气的不可见蒸散发水流，即绿水。绿水包括植物的蒸腾量，地表积水蒸发、土壤水蒸发和截留蒸发。因此绿水等同于常用术语——陆地蒸腾蒸发量 ET。按照蒸发与蒸腾的定义，又可以把绿水划分为生产性绿水和非生产性绿水：生产性绿水是指植物和树木水分蒸腾，是生物生长必不可少的部分，它直接影响植物的生物量。非生产性绿水是指植物之间地表土壤的水分蒸发、水面蒸发或植物冠层截留水量的蒸发。

在降水被分割为绿水和蓝水的过程中，有两个分割点起着关键作用。图 1-4 给出了陆地水文循环的两个分割点。

第一个分割点位于土壤表面（上分割点），降水的一部分渗透到土壤里，另一部分在地表形成径流。渗入土壤的降水形成土壤水分，从而产生第二个分割点（下分割点）。在此点一部分超过土壤持水能力的饱和土壤水继续下渗形成地下水补给，其余部分为非饱和土壤水，或以土壤蒸发的形式变成非生产性绿水返回大气，或被植物根系吸收以植物蒸腾的形式作为生产性绿水返回大气。

降水的分割表明了在水循环中水和土壤紧密相关以及土壤水作为维持生物生长的水源的重要作用。在水文气象条件一定的情况下，降水被分割的过程主要受下垫面生物物理等自然因素和人为因素的双重影响。下垫面因素（土壤结构、特性和坡度、土壤含水量、植被种类）影响上分割点上产生的地表产流量。土壤中有机的构成对土壤的蓄水能力有很大影响，植物根系的分布和活力会影响下分割点划分植物吸收水分和地下水补给的比例。人为因素如农业耕作和城市的不透水面积都会对降水分割绿水和蓝水有很大影响，因而流域上游的土地利用状况会影响下游蓝水的

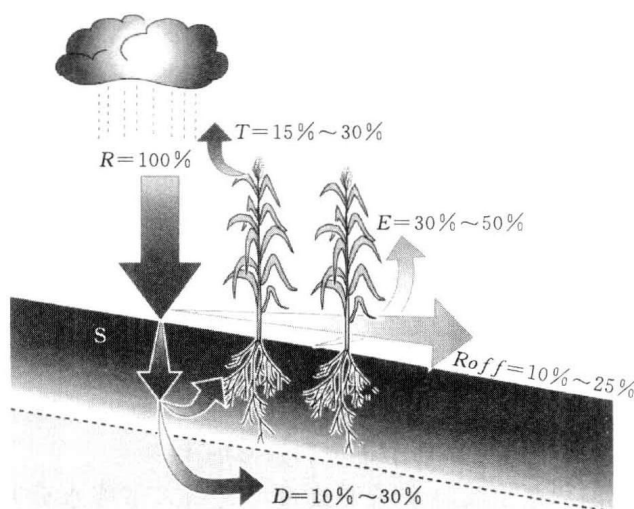


图 1-4 下垫面降水被分割的概念模型图

数量。

如果从流域尺度考察生态水文学的降水分割机理，则与陆地水循环中“四水”转化概念模型的结果具有异曲同工之处。在一个水文年度内，流域的全部降水在在地表水调蓄、土壤水调蓄和地下水调蓄环节中经过“四水”转化，最终被划分为下垫面上的全部蒸腾蒸发量（绿水）与流域出口处的径流量（蓝水）。

由于太阳能和水圈在地球上的分布不均，受所处气候带水文气象条件的影响，流域降水被分割为绿水与蓝水的天然比例关系呈现不同的特征。图 1-5 表示处于地球上 3 类不同气候带的流域，降水被分割为绿水（ET）与蓝水（径流量）的不同分配比例关系^[99]。

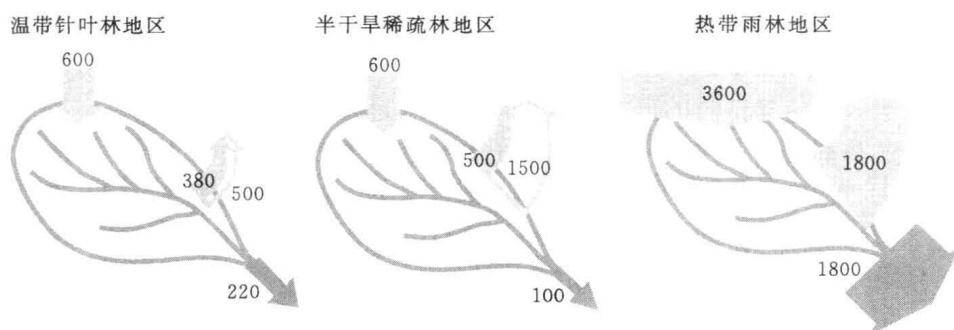


图 1-5 不同气候带降水被分割为径流与 ET 的不同分配比例关系图