

陈亚宁 等 著

新疆塔里木河流域

生态水文问题研究



科学出版社

www.sciencep.com

新疆塔里木河流域 生态水文问题研究

陈亚宁 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书内容是近 10 年来作者课题组对塔里木河流域生态水文问题研究的总结。全书从山区气候-水文过程、平原区绿洲农业-水文过程以及荒漠区生态-水文过程入手,系统介绍了干旱区内陆河流的特点,分析了塔里木河流域水文水资源构成、变化特点、可持续性问题,以及在未来全球气候变化下的水资源趋势,探讨了干旱区内陆河流域水资源约束下的绿洲发展规模与绿洲农田水文过程,描述了荒漠区地下水与植被系统,揭示了荒漠河岸林植被对环境胁迫的响应与适应策略,提出了流域生态系统可持续对策与建议。

本书的读者对象为高等院校的师生以及从事干旱区水资源学、生态学、地理学、环境学及管理学研究的科技与管理人员。

图书在版编目(CIP)数据

新疆塔里木河流域生态水文问题研究/陈亚宁等著. —北京:科学出版社, 2010

ISBN 978-7-03-027849-4

I. ①新… II. ①陈… III. ①塔里木河-流域-生态学:水文学-研究 IV. ①X321.245

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 103513 号

责任编辑:李秀伟 李晶晶/责任校对:李奕莹

责任印制:钱玉芬/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

*

2010 年 7 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2010 年 7 月第一次印刷 印张: 55 插页: 8

印数: 1—1 000 字数: 1 280 000

定价: 180.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序 一

伴随全球生态与环境问题的不断突显,探寻水循环变化过程及与之相关的生态环境问题已成为一种迫切需求,UNESCO/IHP 第 5 阶段(1996~2001 年)、第 6 阶段(2002~2007 年)和第 7 阶段(2008~2013 年)分别将“地表生态过程”、“陆地生境水文学”和“生态水文学与环境可持续性”作为该研究计划的主题之一。研究流域尺度上水文与生态之间的相互关系,探索实现流域生态平衡与水资源可持续利用新途径,是生态水文学研究关注的热点。

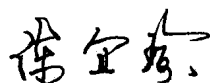
我国西北干旱区,丰富的高山雪冰资源发育了相对独立的内陆河,形成了山地、绿洲、荒漠共存的独特地理景观。水是生命线,贯穿其中。山区乃河川径流形成区,水资源的变化受制于气候变化,未来全球气候变化背景下干旱区水资源的变化情势决定了这一区域水资源的可利用性,是关系区域经济社会可持续发展的一个首要问题;绿洲是干旱区人类从事经济社会活动的主要载体,其承载能力受到水资源的限制,在人口不断增加的压力下,如何提高水资源的利用效率、确保绿洲的可持续性,是干旱区经济社会可持续发展的关键;荒漠是干旱区的主体,荒漠区土地资源的相对丰富与生态环境的极端脆弱交织在一起,荒漠生态系统的健康对绿洲的可持续发展至关重要。因此,在流域尺度上用景观生态学的方法研究生态水文问题在干旱区内陆河流域开发与保护中具有重要的科学意义。

塔里木河流域地处我国西北干旱区,属典型的内陆河流域。区内各种资源异常丰富,是支撑中国 21 世纪经济社会可持续发展的后备资源库,但由于所处地理位置原因,气候干燥少雨,生态环境十分脆弱。特别是近 50 年,在以水资源开发利用为核心的高强度人类经济、社会活动作用下,流域自然生态过程显著变化,特别是下游地区,以天然植被为主体的生态系统和生态过程因人为对水资源时空格局的改变而受到严重影响,生态环境严重退化,河道断流,湖泊干涸,地下水位大幅度下降,以胡杨林为主体的荒漠植被全面衰败,沙漠化过程加剧发展,生物多样性严重受损,已危及区域社会经济可持续发展和人类生存环境。塔里木河下游生态退化问题归根到底是一个“水”的问题。从上游山区水资源的形成、演化和循环,到绿洲区水资源的开发、利用和保护,再到荒漠区维系天然植被和荒漠生态系统稳定的适宜地下水位,水贯穿始终,水资源对维持当地社会经济的可持续发展和生态环境的保护起着举足轻重的作用。为此,开展塔里木河流域的生态水文问题研究有着十分重要的普遍意义和应用价值。

该书是陈亚宁和他的研究团队在多年从事干旱区内陆河流域资源环境和生态研究所取得的成果和资料基础上编写而成的。全书以水资源的发生、演变和开发、利用为主线,从上游山区气候水文过程,到中游平原区绿洲水文过程,再到下游荒漠区生态水文过程,对流域气候变化与变异、水文水资源过程及演变、全球变化环境下的水文

水资源响应及未来趋势预测、绿洲系统及可持续性、绿洲农田水循环与蒸散发、绿洲适宜发展规模与承载力、土地利用与土地覆被变化到荒漠河岸林植被特征、环境解释以及对干旱胁迫的响应与适应等进行了系统分析和有益探索。这部著作是作者多年刻苦钻研和辛勤劳动的成果，是集体智慧的结晶。本项成果不仅对提高干旱区内陆河流域水资源的利用效率、保护和恢复塔里木河下游“绿色走廊”提供了重要科学依据，同时也对拓展干旱区内陆河流域的生态水文问题研究、促进本学科领域的发展及相关领域的研究起到了借鉴和指导作用。著作资料丰富翔实，具有重要的学习和参考价值。

值此《新疆塔里木河流域生态水文问题研究》出版之际，我谨表示衷心的祝贺，并期望各界人士对干旱区内陆河流域的资源开发、利用和保护，以及生态环境的改善和提高给予高度关注。我深信，在西北干旱区科技工作者和各族民众的共同努力下，定能实现区域经济的跨越式发展，同时也能使生态环境变得更加美好。



2009年12月

序 二

人口、资源、环境和发展是当今世界面临的重大问题，对于干旱荒漠区这样一个既饱含希望，又蕴藏危机的地区，如何在利用优势资源提高生产的同时，确保区域生态安全，实现社会-经济-生态-环境的可持续发展，成为了西部大开发生态环境建设宏伟战略目标的关键所在。

西北干旱区，约占我国陆地面积的 1/4，它以独特的气候和地貌，形成了独具一格的山地、绿洲、荒漠共存的地理景观。这里光、热充足，土地辽阔，是我国重要的农垦地区之一，并以丰富的能源和矿产资源被誉为我国 21 世纪重要的资源、能源战略后备基地。然而，荒漠环境的独特性也形成了它极其敏感而脆弱的生态环境。随着人类对干旱区荒漠生态系统干扰的不断加剧，经济发展、资源开发和生态保护之间的矛盾日趋突出，沙漠化过程加剧发展，盐渍化问题日益加重，物种多样性急剧减少，生态系统面临着前所未有的严峻挑战。西北干旱区的资源开发，犹如一柄双刃剑，丰富的自然资源带给人类以无限希望，脆弱的生态环境又暗藏灾难和危机。

塔里木河是我国第一大内陆河，是西北干旱区灌溉农业规模最大的流域，它经历了荒漠变绿洲的辉煌，也面临着沙漠化和沙尘暴的尴尬。水资源的高强度开发利用，严重挤占了生态用水，河道断流点上移，断流时间增长，湖泊干涸，水质盐化，大面积荒漠河岸林死亡，沙漠化过程加剧发展，生物多样性严重受损，已危及人类生存环境和区域经济社会可持续发展。塔里木河流域日益退化的生态问题引起了国内外社会各界和政府的高度重视，开展塔里木河流域从水资源形成演变、保护利用到生态可持续性等方面的系统研究，揭示其内部变化规律和驱动机制，寻求内陆河流域生态安全和经济建设和谐发展的途径，不仅对塔里木河流域经济社会可持续发展和生态安全有着重要现实意义，同时也是干旱荒漠区科学研究发展的内在需要。

《新疆塔里木河流域生态水文问题研究》是中国科学院新疆生态与地理研究所陈亚宁研究员和他的研究团队多年在对塔里木河流域进行的一系列野外实地调查、监测工作基础上，通过对流域生态、水文、经济等多方面深入研究编写而成，是一部以流域为单元的集水文过程-生态安全-经济发展为一体的综合研究论著。该书以大量翔实的数据为依托，以生态-水文过程为主线，从流域生态水文学研究的理念入手，自山区、平原区绿洲至荒漠，对塔里木河流域山地生态系统、绿洲生态系统和荒漠生态系统三大系统进行了系统分析和有益的探索，探讨了山区水资源形成、水循环过程及对全球气候变化的响应，平原区绿洲农业生态经济过程与绿洲系统以及荒漠区天然植被与地下水系统，在流域尺度上，分析了水资源开发利用、土地利用与覆被变化的生态效应，评估了塔里木河流域绿洲适宜规模与承载力。该研究成果既有方法上的创新，也有理论上的突破，对促进干旱区内陆河流域生态水文学、荒漠环境学及干旱区地理学等学

科的发展具有一定的学术意义,同时,也为塔里木河流域生态系统的恢复与重建及流域绿洲生态系统管理提供了科学依据。该书资料丰富、数据翔实、技术规范、模式科学,是一本不可多得的科学研究本底资料书,对于普通民众、相关学科科技同仁以及各级政府而言,均具有极高的学习和参考价值。

值此书出版之际,我仅表示诚挚的祝贺,并衷心期望通过该书的出版,推动干旱区地理学、水文学、荒漠环境学等青年科技人才的培养和成长,造就出类拔萃的青年科学家和工程师,提高社会各界对塔里木河经济发展和环境保护和谐共进的关注度,有效促进干旱荒漠区社会-经济-自然复合生态系统的可持续发展,实现生态稳定与经济高效的双赢目标。



2009年12月

前 言

塔里木河地处我国西部干旱区——新疆，是我国最长的内陆河，也是世界著名的内陆河，具有自然资源丰富和生态环境脆弱的双重性特点，以其鲜明的地域特色、干旱的气候特征、日益突出的生态问题、相对滞后的生产力水平以及经济发展与生态维护之间的用水矛盾冲突成为中国西部干旱区备受关注和争相研究的热点地区。在过去的半个世纪里，塔里木河流域在以水资源开发利用为核心的高强度人类经济、社会活动的作用下，流域生态环境发生了显著变化。特别是塔里木河下游以天然植被为主体的生态系统和生态过程因人为对自然水资源时空格局的改变而受到严重影响，河道断流，湖泊干涸，以胡杨林为主体的天然植被全面衰败，沙漠化过程加剧发展，生物多样性严重受损，已危及区域社会经济可持续发展和人类生存环境。塔里木河流域日趋严重的生态问题引起了政府及社会各界的高度关注，专家们多次发出“拯救塔里木河下游绿色走廊”的呼吁，国家把塔里木河流域的综合治理列入“十五”计划，投资 107 亿元进行综合治理。

针对塔里木河流域日益突出的生态与环境问题，课题组结合全球气候变化背景下的流域水文水资源变化的波动性、脆弱生态系统的易损性、地表生态过程的复杂多元性以及流域经济社会与生态环境协调发展面临的种种问题，以水过程为主线，以山地-绿洲-荒漠三大系统为脉络展开研究，试图采用多种技术手段和方法，从多维和不同尺度，对以水文、水资源-绿洲农业经济-荒漠生态保育为核心的流域生态水文过程展开研究，旨在探讨塔里木河流域山地-绿洲-荒漠三大生态系统的时空差异性，分析山区气候-水文过程、平原区绿洲农业-水文过程以及荒漠区生态-水文过程，研究引起流域生态环境变化的因素及其各种因素的叠加互制性，评估流域承载力和绿洲适宜规模，解析流域水文环境及生态格局变化过程中的自然与人为作用及叠加效应，解读干旱区内陆河流域地下水与荒漠河岸林植被系统，提出维系干旱区内陆河流域绿洲水土生态安全和荒漠环境稳定对策，为塔里木河流域综合整治和未来变化环境下流域经济社会可持续发展战略的制定提供科学依据。

本书内容是近 10 年来课题组对塔里木河流域生态水文问题研究的总结，包含了数届博士研究生——刘加珍、陈亚鹏、徐长春、黄湘、郝兴明、陈永金、叶朝霞、付爱红、杨玉海、赵锐锋、孟丽红、周洪华等的辛勤工作和成果，本书以他们的博士论文以及与本人共同发表的科研论文为基础写作而成，是在国家科技支撑计划课题、国家“973”计划课题、国家自然科学基金项目、中国科学院西部行动计划和知识创新工程项目、新疆重大科技专项等项目资助下完成的。全书约 128 万字，分绪论和上、中、下三篇。绪论以山区气候-水文过程、绿洲农业-水文过程以及荒漠区生态-水文过程为主线，扼要地分析了内陆河流域生态水文问题研究的关键科学问题，介绍了开展塔里

木河流域生态水文问题研究的思路、方法、技术手段以及主要研究结论；上篇为山区气候-水文过程，主要研究内容包括：塔里木河流域气候变化与变异、流域水文水资源过程分析以及全球变化的区域水文水资源响应及未来趋势预测三方面内容；中篇为平原区绿洲农业-水文过程，主要研究内容包括：流域绿洲系统与可持续性、绿洲农田水循环与蒸散发计算、绿洲适宜发展规模与承载力以及土地利用与土地覆被变化四方面内容；下篇为荒漠区生态-水文过程，主要研究内容包括：荒漠河岸林植被特征及环境解释、生态输水与地表过程响应以及荒漠河岸林植被抗旱性机理与生态阈值三方面内容。参与编写的人员：绪论，陈亚宁；上篇，徐长春、陈亚宁；中篇，陈亚宁、赵锐锋、胡顺军、周洪华、孟丽红等；下篇，陈亚宁、李卫红、刘加珍、陈亚鹏、付爱红、杨玉海、陈永金等。陈亚宁对全书进行统稿和总纂。

本项研究工作得到了科技部、国家自然科学基金委、国家 21 世纪议程中心、中国科学院资源环境科学与技术局、中国科学院新疆生态与地理研究所、新疆维吾尔自治区科技厅、塔里木河流域管理局等单位的大力支持，得到了刘昌明、傅伯杰、宋长青、冷疏影、郭日生、田保国、王苏民、冯仁国、黄铁青、庄绪亮、张小雷、张耀、覃新闻、毛晓辉、王小平、陈曦、田长彦等领导和专家的指导和帮助，徐宗学和徐建华教授在气候水文过程分析中提供了技术支持和分析结果，中国科学院院士陈宜瑜、中国工程院院士王浩分别为本书写序。在此，对各位领导和专家对本项研究工作给予的支持、重视和鼓励表示诚挚的感谢。

著 者

2009 年 11 月

目 录

序一	
序二	
前言	
绪论	1
参考文献	15

上篇 山区气候-水文过程

第一章 塔里木河流域气候变化与变异	19
第一节 主要气象要素的时空变化趋势分析	19
第二节 区域气候与全球气候变化的联系	42
第三节 流域未来气候变化情景构建	46
参考文献	55
第二章 流域水文水资源过程分析	58
第一节 源流区地表水文过程变化及分析	58
第二节 干流区近 50 年地表水文过程	75
第三节 流域地表水过程变化驱动力分析	88
第四节 流域山区融雪径流模拟	109
参考文献	126
第三章 全球变化的区域水文水资源响应及未来趋势预测	128
第一节 径流变化与气候因子的关系	128
第二节 未来气候变化对水资源的影响	134
第三节 冰川变化及其对水资源的影响	147
第四节 积雪变化及其对水资源的影响	149
第五节 气候变化与洪水灾害	159
参考文献	165

中篇 平原区绿洲农业-水文过程

第四章 流域绿洲系统与可持续性	169
第一节 绿洲与绿洲生态系统	169
第二节 绿洲农业与绿洲水土生态安全	185
第三节 绿洲农业生态系统及构成	230
第四节 绿洲农业生态系统的可持续性实证分析	236

参考文献.....	278
第五章 绿洲农田水循环与蒸散发计算	280
第一节 绿洲农田水循环与界面水分过程	280
第二节 绿洲农田蒸散发特点	291
第三节 绿洲生态环境需水量的实证分析	324
参考文献.....	343
第六章 绿洲适宜发展规模与承载力	345
第一节 绿洲适宜规模分析	345
第二节 绿洲承载力评估	361
第三节 流域建设管理与资源配置	411
参考文献.....	433
第七章 土地利用与土地覆被变化	435
第一节 土地利用/覆被变化过程分析	435
第二节 土地利用景观格局动态分析.....	452
第三节 土地利用/覆被变化驱动机制分析	467
第四节 土地利用/覆被变化的生态环境效应.....	500
参考文献.....	512

下篇 荒漠区生态-水文过程

第八章 荒漠河岸林植被特征及环境解释	517
第一节 荒漠河岸林物种组成的数量特征	517
第二节 荒漠河岸林植物群落类型与结构	531
第三节 荒漠河岸林群落的物种多样性	552
第四节 荒漠河岸林群落组成的环境解释	571
参考文献.....	632
第九章 生态输水与地表过程响应	634
第一节 地下水埋深对生态输水的响应	634
第二节 荒漠河岸林植被对生态输水的响应	648
第三节 地下水化学特征对间歇性输水的响应	663
第四节 土壤生态系统及对生态恢复的响应	698
参考文献.....	737
第十章 荒漠河岸林植被抗旱性机理与生态阈值	739
第一节 荒漠河岸林植物对干旱胁迫的生理响应	739
第二节 干旱胁迫下的胡杨光合作用.....	774
第三节 荒漠河岸林植物的耗水机理.....	794
第四节 荒漠河岸林植物的适宜地下水位确定	833
参考文献.....	847

附录一	作者发表的相关论文目录	850
附录二	作者培养的与本研究相关的研究生及论文目录	862
附录三	作者主持完成的主要相关科研项目	864
附录四	作者获得的主要相关科技成果奖励	866
图版		

绪 论

一、问题的提出

1. 生态水文学——新型的交叉学科

生态水文学是一门新型的交叉学科,在国际上虽然流域生态水文问题研究起步较晚,但其表现出强势劲头,成为当今地理学、环境学、水文学、生态学以及大气动力学学者和气候学家们关注的热点问题。

IGBP(国际地圈生物圈计划)、MAB(人类生物圈计划)、UNESCO(联合国教科文组织)的IHP(国际水文计划)等均将生态水文问题研究作为其核心或重点研究计划之一。研究内容包括两大方面:一是,大尺度生态水文过程模拟模型的提出和应用。其中,SVAT(土壤-植被-气候传输)模型在各种尺度上迅速发展,通过对陆地生态系统的不同参数化处理,形成了种类繁多的生态水文过程模拟模型,如SWIMV 2.1,可解决4种植被类型、土壤中不同根系分布、多层结构土壤的水分与溶质的传输问题(Verburg et al., 1996);SHE模型可以处理流域水文过程所有方面的问题(Feyen et al., 2000);还有其他一些用于简单SVAT和植物生长问题的生态-水文模型,如TOP-MODEL、PATTERN模型等(Beven, 1997)。最近几年围绕地下水与植被群落结构、种类和其他生态特征之间的密切关系,发展了针对地下水生态过程的多种模拟模型,如MXW和IRM等模型(Von Asmuth et al., 2002)。二是,植被对控制土壤侵蚀、河流沉积等问题的研究。这方面的研究进展扩展了早期生态水文学关注的生态系统对湿地或河流系统营养物质、沉积物和污染物质的迁移影响的认识,使得生态水文学在包括水文循环过程和物质循环过程两方面都得到了迅速发展(Palmer et al., 2000)。土地利用与覆被变化是陆地生态系统变化的主要表现,近年来生态水文过程研究的一个突出热点就是围绕土地利用与覆被变化,分析流域水文过程的响应过程,其中最具代表性的研究是在哥伦比亚盆地开展的由美国国家环保局设立的ICBEMP研究计划(Bernt et al., 2000),该计划系统研究和定量描述了1900年以来该区域土地利用与覆被变化对水文过程,包括积雪与消融、蒸散发、土壤水分以及径流的产汇流过程的影响,并由此提出该区域合理的水土资源利用。1998年在波兰召开的UNESCO工作组会议和会后出版的论文集确定了生态水文学研究的目标为:①比较和评价现有的水文和生态过程相互关系的信息;②评论预测的潜力、确定未来研究最重要的方向;③识别与水文过程相关联的环境问题层次;④定量生物因素、非生物因素之间的联系以及它们在水中的沉积物质、营养物质和污染物质运输、转化中的作用,以确定从区域到流域尺度上的转移路径。

我国自20世纪90年代以来,也先后在多方面开展了生态水文学的研究。在模型

方面,如在干旱半干旱地区建立的小尺度描述土壤-植被-大气间水分传输过程的 SPAC 模型、在流域或区域尺度上研究“大气-土壤-植物”系统水分能量交换的 SVAT 模型等。在模拟植被生态系统水分传输方面,无论是试验观测手段和参数确定方法,还是数学模型的开发和模拟研究等,基本与国际水平接近;在干旱内陆河流域,生态水文过程研究集中在三个方面,一是在河源山区森林带开展的以森林水源涵养功能观测研究为核心的森林生态水文过程研究,在黑河流域祁连山区这方面的研究已有近 30 年历史,在国内有一定影响;二是干旱区典型植物的水分利用机理和水分胁迫的响应特征等方面相对微观尺度的生态水文研究,包括干旱区土壤结皮的生态水文规律研究;三是不同景观带植被生态系统的蒸散发及其年内变化规律的研究。这些研究在国际上已经有了一定影响。

2. 生态水文学——备受关注的热点学科

水文过程及其变化如何在不同时空尺度上影响生态过程,生态系统和陆地表面生态过程如何反作用于水文过程,在全球气候变化下,山区气候水文过程如何响应、绿洲农业生态系统如何维系、荒漠生态系统安全的生态需水量如何确定等一系列涉及山区气候水文过程、绿洲农业水文过程、荒漠生态水文过程的生态水文学热点问题凸显出来。

(1) 生态安全与生态需水量成为当今地理学、生态学研究热点

生态需水(ecological water requirement)是指维系一定环境功能状况或目标下(现状、恢复或发展)客观需求的水资源量,是当前生态、环境研究与水资源管理的热点,同时,也是环境脆弱区生态建设的需求点。它涉及诸多有关地学、水文学、资源学、生物多样性、生态保育与恢复生态学等方面的内容,凡是与水过程相关的生态系统自然发育和人类活动干预下的生态系统退化与恢复,以及生态脆弱区的水资源开发、利用和可持续管理等问题,都要涉及和回答维系生态系统安全的生态需水量等问题,尤其在生态脆弱的干旱地区。生态安全和生态需水问题不仅仅在学科研究方面是当今地学、资源环境学、生态学的热点问题和前沿任务,而且,其研究结果可以直接服务于实践,为区域自然资源的高效利用和生态安全提供科技支撑。

早在 20 世纪 90 年代,生态保育与恢复等大项目推进和交错带(ECOTONE)研究的深入,拓宽了生态水文学的视野,研究对象开始打破过去局限于某一单一目标的形式,趋于实现宏观、微观结合,向纵深方向发展。人们开始考虑维持河流系统完整性的生态流量需求,提高对河流生态系统保护的有效性;1994 年 8 月在英国曼彻斯特举行的第六届国际生态学大会上,代表们就包括恢复生态在内的 15 类现代生态学议题进行了广泛的学术交流;1997 年联合国教科文组织出版了小流域生态水文学过程会议论文集,提出了以生态过程、景观格局和生态安全的流域水文学机制为研究核心,以植物与水分关系为基础理论的生态水文学概念;同年,由英国生态学会和水文学会共同发起,并在谢菲尔德大学举办了生态水文学公开研讨会,就干旱区生态水文过程和生态需水进行了讨论,并于 1999 年出版了《生态水文学》;进入 21 世纪以来,生态安全

和生态需水问题愈加被人们所关注。

一是,从宏观角度考虑有关生态与环境安全问题,学术界与政治圈针对安全领域中环境问题产生的作用进行了争论。Dennis 提出生态安全必须要保证人类与自然环境的平衡与协调,在人类活动严重威胁自然环境的时代,应重视对安全范畴的思考。生态安全是反映一个国家或社会所能承受诸如资源短缺、生态环境风险或环境聚变以及由环境引起的冲突的能力,生态安全涉及各学科各领域的综合性问题,甚至生态环境所引起安全问题将导致政权的更替、国家的消亡。二是,从中观和微观尺度进行维持河流系统完整性和退化生态系统恢复重建的流域水生态过程相关的流域生态安全等方面的研究,探讨维护生态系统稳定的自然生态过程和天然生态保护的生态需水问题,分析干旱区植物分布如何影响径流和水分分布以及“土壤-植被-大气”传输相互作用过程等。再是,从生态需水的理论分析和建模方面,刘昌明先生强调要在研究水循环和水量转化规律的基础上确定生态需水的理论内涵,提出陆地系统中的水可分解为资源水、灾害水、生态水 and 环境水,要综合考虑生态建设中的生态需水量问题。

(2) 干旱区内陆河流域水资源利用、水循环及对荒漠生态系统功能影响问题

水作为干旱荒漠区最关键的生态环境因子,不仅是绿洲生态系统构成、发展和稳定的基础,而且决定着干旱区绿洲化过程与荒漠化过程两类极具对立与冲突性的生态环境演化过程。当前,国际上就干旱区水资源及其相关生态环境问题研究的总趋势不再单纯就水论水,而是把干旱荒漠区水资源短缺以及引起的环境变化和生态问题放在流域、区域乃至全球变化系统,从自然、社会、经济方面相互联系变化的基础和系统综合方面开展研究。国际水文计划已经完成了 5 个阶段的研究任务,主要成果包括:水资源评价、水量平衡计算、水资源管理和保护,并完成了大量的基础研究工作以及基本数据测定。第六阶段(2002~2007 年)则把水问题带来的危机与挑战列为主题。该阶段主要解决 5 个问题,分别为:气候变化和水资源、地表和地下水交换、陆地栖息地水文学、社会与水、水知识的传播与教育。在国际水文计划第六阶段实施方案中,特别支持开展了特殊水文过程和水资源管理方法的研究,探讨气候变化和人类活动对水资源的影响。在国际水文计划第 7 阶段(2008~2013 年)仍将“地表生态过程”、“陆地生境水文学”和“生态水文学与环境可持续性”作为该研究计划的主题之一。国际科学联盟理事会(International Council for Scientific Unions, ICSU)于 1990 年正式启动了水文循环的生物圈方面(Biospheric Aspects of the Hydrological Cycle, BAHC)的专项研究,并把此作为国际地圈、生物圈计划的核心内容之一,其主要任务是研究地表植被在水循环中所起的作用,研发不同时空尺度的土壤-植被-大气模式,模拟地表的能量和水汽通量,最终实现与大气环流模式的耦合;另外建立必要的生态、气象和水文数据库,试验和验证模式模拟的结果。

在干旱区内陆河流域水资源利用、水循环及对生态系统功能影响研究方面,一是,从水循环陆面过程模拟未来发展的方向,强调的是研发有效的陆面过程模式,以便更好地模拟水分及能量在地表-植被-土壤间的传输过程。同时,寻求一个合理的或合适的尺度和尺度转换的理论或方法,使其能够与大气或冰雪融水模式合理地耦合起来研

究陆-气（或冰）的相互作用也是陆面过程研究一直在探索的关键问题，其中，陆面覆盖非均匀性地描述将仍然是水分循环陆面过程模拟的难点。二是，选取何种尺度研究完整意义上的陆-气相互作用下的水循环过程成为水循环研究的难点。至今尚无完整的尺度选取及匹配的理论或方法用于指导陆-气（或冰）耦合的水循环过程研究。三是，对于不同的尺度而言，有很多种变化的参量，不同尺度情景下影响水循环过程的主导因素各不相同，如何选择合适的尺度参量来研究陆-气（或冰）耦合的水循环过程也是陆-气（或冰）相互作用下水循环过程研究的重要方向之一。四是，陆-气（或冰）系统耦合原理和途径，以及耦合模型的研制，尤其是模型尺度的选取及匹配问题，并无完整的尺度选取及匹配的理论或方法用以指导陆-气（或冰）耦合的水循环过程研究。因此，尺度的选取和匹配研究仍然是水循环研究难点问题。五是，全球变化及人类活动对水循环影响及其反馈研究，尤其是生态环境与水资源利用之间的协调性研究，以及定量识别人类活动和气候变化对自然生态系统以及水循环系统的影响，仍是变化环境下水循环研究的主要方向之一。六是，不同自然地理区域，特别是生态脆弱区的水循环过程研究也是未来水循环研究强调的重点之一。

干旱区内陆河流域水资源对荒漠生态系统功能的重要影响受到了众多学者的关注和重视，但是基于内陆河流域生态脆弱区生态系统稳定和生态安全的生态需水研究仍处在探索和发展阶段，要揭示水文过程与植物群落变化之间相互制约的内在联系尚需进一步深入研究。干旱区内陆河流域是一个相对独立的水环境生态系统，系统内的水因子与生态环境因子相互联系、相互制约，共同构成了河流生态系统的主体。解决人类活动导致的河流水环境质量恶化和生态系统的衰退，必须深入研究水循环机理和流域生态需水量等科学问题，从维持流域生态平衡和生态安全的角度出发，在水资源开发利用过程中，把流域系统作为一个有机整体，兼顾流域的经济、环境和生态功能，使三者协调发展。这是干旱区生态学和文学的主要研究内容，也是今后干旱区水资源学研究的前沿和热点。

（3）干旱区内陆河流域维系生态安全的合理地下水位与生态需水量

水是中国西部地区生态系统构成、发展和稳定的基础，决定着西部干旱区绿洲化过程与荒漠化过程这两类极具对立与冲突性的生态环境演化过程，是中国西部生态脆弱区最关键的生态因子。生态需水的实质是生态系统结构、功能和水分之间相互关系问题。干旱内陆河流域涉及荒漠区合理地下水位与生态需水量为主要内容的生态水文过程研究与生态系统的稳定性有着密切的联系。

干旱区内陆河流域的水文过程控制着生态过程，对流域生态系统的稳定性有着直接影响。作为干旱区生态系统的重要组成部分，荒漠河岸林，特别是组成荒漠河岸林的非地带性植物的生存主要依赖于地下水和地表水，而在一些内陆河下游无地表水补给的断流河道，地下水则成为维系荒漠河岸林植物生长的唯一水源。因此，植物群落变化、植被格局则因循于水文过程的改变而做出响应，浅层地下水位变化及土壤水分异质性控制着荒漠河岸林的组成和格局，与生态系统稳定和生态安全有着密切关系。在干旱区内陆河流域下游，浅层地下水位变化及土壤水分异质性与植物群落健康有着

密切的关系,而维系天然植被生存的合理地下水位研究对确定涉及与生态系统稳定和生态安全方面的生态需水量研究有重要意义。干旱区内陆河流域植物恢复和生长的合理地下水位的研究是确立生态需水量的基础,它涉及水分胁迫下的植物适应机理等问题。在干旱荒漠区为了适应荒漠环境,植物具有许多生理结构上的变化。国外学者 Ewenari 把荒漠植物分为两类:一类是随水变植物,这类植物对极端干旱具有许多生理上的适应性,但大多数植物属于恒水植物,这些植物对干旱有许多适应机制。并且,从植物生理、生态角度对不同植物的水分利用效率和对水分亏缺的生理响应机制等进行了研究;Hortont 等(2001)针对植物对不同地下水埋深的生理响应进行了研究,提出了植物进行光合等生理作用的地下水位埋深阈值;我国学者针对西北干旱区特定的生态环境条件,通过分析凝结水对沙生植物作用以及地下水位埋深对植物生长和土壤盐渍化影响,探讨了地下水位对生态环境的控制作用,认为保持合理的生态地下水位是防止植物死亡和土地沙漠化的关键。还有学者结合对塔里木河下游不同地下水位条件下植物生理、生态特性分析,提出了塔里木河下游天然植被生存与退化的合理生态水位、胁迫地下水位和临界地下水位等(陈亚宁等,2004,2006),但涉及由水循环过程联系在一起的流域生态需水量问题还需要进一步探讨。

(4) 干旱区内陆河流域的生态安全分析是以水过程和水生态安全研究为核心的

干旱区内陆河流域生态脆弱区的生态安全分析是以水过程和水生态安全研究为核心的,其主要内容包括生态系统的完整性和稳定性、生态过程的连续性和生态系统健康和服务功能的可持续性。生态安全的研究包括不同的尺度,从自然生态方面分析,包括从个体、种群、群落到生态系统。生态安全所研究的对象具有特定性和针对性,主要发生在生态脆弱区。就自然生态系统的生态安全而言,应包括自然内陆河流域自然绿洲的生态阈值、生物多样性、植被盖度与生物量、生态用水量(比例)、地下水位、地表物质构成与土壤含盐量及沙漠化程度等;而以绿洲适宜规模、绿洲承载力等为主要内容的绿洲农业经济系统的可持续发展和绿洲生态安全问题也仍然是以水资源状况为基础的。而基于流域生态系统稳定和生态安全的生态需水研究还涉及不同气候带与降水条件以及自然生态系统的分区、生态需水计算过程中不同类别的生态-水文参数以及流域降水和径流计算、不同植被类型的蒸散发计算以及由点的植被蒸发扩展到面的植被耗水机理、干旱胁迫条件下植物群落组成结构、分布格局与演变过程等,它们是目前干旱区水文科学、资源环境学科、生态科学研究的重要领域,亟须取得突破性进展。

3. 塔里木河生态水文问题研究

(1) 塔里木河——世人高度关注

新疆塔里木河流域丰富的自然资源和脆弱的生态环境交织在一起,以其鲜明的地域特色和环境问题著称于世,研究塔里木河流域生态水文问题,探讨脆弱生态区退化生态系统恢复整治对策,在干旱内陆河流域资源开发与生态保育研究方面具有广泛的代表性,被世人高度关注。