

于海鸣 黄琪 索建军 编著

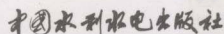
# 干旱区流域生态水权界定 技术体系研究

GANHAN QU LIUYU SHENGTAI SHUIQUAN JIEDING  
JISHU TIXI YANJIU



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

于海鸣 黄琪 索建军 编著



www.waterpub.com.cn

蘇聯音樂中心附設

## 内 容 提 要

缺水干旱是干旱区流域最基本的特征,人类巨大的干扰和全球变暖,进一步激化了干旱区流域的用水矛盾。缺水不但可导致干旱区经济衰退和生态环境恶化,同时还可能引发社会动荡、种族冲突和战争等社会问题。

本书基于可持续发展理论创新生态水权理念,基于3S技术创建生态水权界定技术体系、构建业务化技术规范并进行典型流域应用示范,有效地解决了人类干扰情景下,科学配置生态用水这一重大理论与实践问题,为缓解干旱区流域用水矛盾开辟了新途径。其理论与技术既是遥感应用业务化的重大突破,也是水利科学与生态学理论与技术的创新,为干旱区水资源优化配置,实现真实节水、高效用水、安全用水等现代规划管理奠定了理论技术基础,同时极大地拓展了国产卫星应用的深度和广度。

本书可供水利、农业、林业、生态、环境、地理、遥感等方面的研究人员、技术人员、管理人员以及高等院校师生阅读、参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

干旱区流域生态水权界定技术体系研究 / 于海鸣, 黄琪, 索建军编著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2010.6

ISBN 978-7-5084-7604-9

I. ①干… II. ①于… ②黄… ③索… III. ①干旱区—流域—水资源管理—研究—中国 IV. ①TV213.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第111156号

|      |                                                                                                                                |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名  | 干旱区流域生态水权界定技术体系研究                                                                                                              |
| 作 者  | 于海鸣 黄琪 索建军 编著                                                                                                                  |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社<br>(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)<br>网址: www.waterpub.com.cn<br>E-mail: sales@waterpub.com.cn<br>电话: (010) 68367658 (营销中心) |
| 经 售  | 北京科水图书销售中心(零售)<br>电话: (010) 88383994、63202643<br>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  | 北京市地矿印刷厂                                                                                                                       |
| 规 格  | 145mm×210mm 32开本 6.375印张 188千字 5插页                                                                                             |
| 版 次  | 2010年6月第1版 2010年6月第1次印刷                                                                                                        |
| 印 数  | 0001—2000册                                                                                                                     |
| 定 价  | 22.00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

应用空间技术明细水权，  
是干旱地区和谐稳定的前提。

中国科学院院士

庄逢甘

2010年3月

AAK

nm/srt

AE



科学界定干旱区流域生态水权，是干旱区生态保育的前提，是实现流域和谐发展的重要基础。干旱区生态退化的主要矛盾之一是生态水权遭到侵犯，生态用水被挤占。例如，塔里木河流域上、中、下游的水资源分配失调，自然河道水流量无序和季节性极不均衡，尾间湖的干涸与消失，天然胡杨林生态用水的匮乏已达极限等问题的出现，不仅是由于干旱区自然界本身的匮乏和灾变，而且在相当大的程度上是由于人为不合理的水资源利用，尤其是水权观念的淡薄、水权制度的缺失，以及不尊重天然植被的水权（生态用水）导致的后果。为此，新疆水利部门经过六年多的大量研究、集成和实验，提出了生态水权的理念、指标技术体系、遥感监测系统、业务化系统和水权界定产业化机制，不仅是业务性的重大开拓，也是水利科学和生态学上的理论与技术创新。

生态水权与合理的生态耗水有着密切联系，具有可持续性的内涵和很强的决策性与可行性。干旱区流域生态水权界定技术体系研究，需要通过机理性很强的生态系统耗水估算、补水过程和对人类活动干扰的模拟，对各类生态指标、耗水指标和模型参数等进行集成分析和评价，拟定一系列生态水权界定指标的技术方法。基于国产卫星遥感数据建立的生态环境信息模型，将生态水权分配到各个类型的景观单元，可以极大地提高水资源利用效率、监测精

度和评价水平，并可大幅降低管理成本。

《干旱区流域生态水权界定技术体系研究》所提出的生态水权技术体系，不仅可作为调配新疆生态环境适当水资源保证的科学管理系统，对于促进干旱区生态保护、水资源的可持续利用以及拓展国产卫星遥感应用深度和广度等具有重要意义，而且可为我国乃至其他国家的干旱半干旱区的生态水权界定和管理所借鉴。我对新疆生态水权系统的建立和完善寄予厚望，因为这是干旱区生态赖以维系的命脉和新疆可持续发展的重要保证。我深信，只有水权的合理分配和生态水权的确立，塔里木河断流的绝境才能得以挽回，新疆母亲河河水才能长流，胡杨林才能永葆青春。

中国科学院院士

A stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to the Chinese Academy of Sciences Academician mentioned in the text.

2010年6月

# 前言



干旱区生态退化的主要矛盾是生态用水被挤占、生态水权遭到侵犯，科学界定干旱区流域生态水权，是干旱区流域生态保护的前提，是实现流域和谐发展的重要基础。新疆地处亚非干旱地带的核心荒漠区，水资源匮乏，生态环境脆弱，全球变暖可能使新疆生态环境更加严酷。干旱缺水是制约新疆发展的主要矛盾，针对干旱区的主要矛盾，研究人员选择新疆典型流域进行研究，经过六年多的多学科交叉融合、联合研究攻关以及大量的研究集成和实验，首次系统性地提出了干旱区流域生态水权的概念。基于水资源管理学、景观生态学理论、遥感和地理信息系统技术等，对景观生态类型、区位、功能及需水类型、数量、需水过程等指标的集成分析，界定干旱区流域生态水权。针对干旱区流域水资源规划管理中生态水权分配这一重大科学关键问题，在国内外首次建立了干旱区流域生态水权界定技术体系。通过构建业务化体系，界定干旱区流域不同生态景观类型的生态水权，解决了人类干扰情景下，如何合理确定不同自然地理环境的生态用水定量化动态管理这一重大理论与实践问题。技术体系在新疆白杨河流域、开都—孔雀河流域、渭干河流域等区域获得成功应用，产生了巨大的社会 and 经济效益。

本研究为我国干旱区开展新型水资源利用规划管理，实现真实节水、高效用水奠定了理论技术基础，同时极大

地拓展了国产卫星应用的深度和广度。项目研究的成果和成功经验，对于干旱区水资源高效管理具有良好的借鉴意义。科学配置干旱区流域生态用水是一项复杂的系统工程，生态水权界定技术体系虽然取得了较大成功，但还存在许多问题需要继续研究。进入 21 世纪，我国航天技术得到快速发展，为水利建设、管理和生态保护提供了新技术支持。为了充分利用我国航天技术的进步成果，促进水利建设与管理技术提高、促进我国乃至世界干旱区生态保护与社会稳定和谐发展，同时也为了进一步促进干旱区生态水权界定研究和成果交流，通过总结提炼六年来从事干旱区流域生态水权界定研究的成果，编著了本书。

本书主要研究干旱区流域生态水权界定的有关理论、技术，并结合实例说明生态水权界定的具体过程。本书的理论部分重点突出新理念和新技术，对于生态水权界定中所必须应用的通用技术和理论仅进行简单的陈述，相关专著对此有更加详细的阐述。书中重点论述生态水权界定技术体系的各个环节和具体应用。在附录部分还给出了典型图件、常用卫星传感器参数、ET 反演常用参数以方便参阅。

全书包括绪论和 9 章内容，其中：绪论，简述研究目标任务和背景；第 1 章干旱区特点及环境问题，简述干旱区特点和面临的共性环境问题；第 2 章新疆水资源与社会经济可持续发展，结合新疆自然地理特点、水资源及开发利用态势，简述实现新疆可持续发展的重要措施；第 3 章人类活动对水循环的影响，描述人类干扰对降水、径流、蒸散发等水文要素的影响，强调人类干扰不可再被忽视；第 4 章国内外研究状况，通过描述国内外详细的、复杂的

水权研究以及水权制度建设状况，反映生态水权被缺失研究、被忽视的现状和危害；第5章生态水权研究理念及理论与技术，描述生态水权界定的有关理论和技术，重点揭示水资源和生态水权新理念；第6章生态水权界定技术体系，详细叙述生态水权界定的技术路线、总体框架以及3类8种关键技术；第7章生态水权界定业务体系及其产业化机制的建立，简要说明生态水权界定业务化机构组成、软硬条件、适用规范以及产业化服务系统；第8章新疆白杨河流域生态水权界定应用示范，结合新疆白杨河生态水权界定过程，详细叙述技术体系的使用过程，是技术体系具体应用的重要参考；第9章研究意义和展望，基于未来需求和我国航天技术发展，概述了研究意义和发展方向。

本书绪论、第1章、第2章、第4章、第9章由于海鸣执笔，第3章、第5章由黄琪执笔，第6章、第7章、第8章由索建军执笔。全书由于海鸣组织编写和统稿。参与研究的人员还有：焦宏波、赵晶、赵晓燕、王惠、董莉莉、孙娅林、李江波、肖继东、玉素甫、孙栋、石玉、孟江丽、张永明、刘文峰、瓦热斯江、陈勤、木克代斯、袁媛、李敏等。

在本研究过程中得到中国资源应用中心、新疆国防工办、新疆遥感中心、中国科学院新疆生地所提供的大量遥感数据及技术支持，在此深表感谢。在本书编写过程中，参考和吸收了国内外相关文献的一些内容，这些文献均在书后逐一列出，在此向文献的各位作者表示感谢。同时，本书在编写过程中还得到中国遥感应用协会胡如忠教授、生态地理过程教育部重点实验室李虎教授、新疆大学陈模教授、新疆国防科工办黄新利处长、中国资源卫星应用中

心宋亚勋经理等的具体指导和支持，在此一并表示感谢。

生态水权界定涉及因素多、涉及专业广，许多技术为新技术，配套技术规范缺乏，加之编写人员水平有限，书中难免存在问题和不足，敬请广大读者批评指正。

于海鸣

2010年2月

于乌鲁木齐

# 目 录

序

前言

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 绪论                    | 1  |
| 1 干旱区特点及环境问题          | 4  |
| 1.1 干旱区特点             | 4  |
| 1.2 全球气候变化与干旱区环境问题    | 5  |
| 2 新疆水资源与社会经济可持续发展     | 7  |
| 2.1 新疆自然地理概况          | 7  |
| 2.2 新疆社会经济            | 9  |
| 2.3 新疆水资源             | 9  |
| 2.4 新疆水资源开发利用         | 11 |
| 2.5 新疆可持续发展           | 12 |
| 3 人类活动对水循环的影响         | 15 |
| 3.1 人类活动对降水的影响        | 15 |
| 3.2 人类活动对径流的影响        | 16 |
| 3.3 人类活动对蒸散发的影响       | 16 |
| 3.4 人类活动的水文效应         | 17 |
| 4 国内外研究状况             | 20 |
| 4.1 国外研究状况            | 20 |
| 4.2 国内研究状况            | 23 |
| 4.3 我国水权制度建设框架目标及研究核心 | 30 |
| 5 生态水权研究理念及理论与技术      | 32 |
| 5.1 研究理念              | 32 |
| 5.2 基本原理              | 35 |
| 5.3 技术方法              | 37 |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| <b>6 生态水权界定技术体系</b> .....           | 41  |
| 6.1 研究思路及技术路线.....                  | 41  |
| 6.2 技术体系总体架构及关键技术环节.....            | 42  |
| 6.3 景观生态分区.....                     | 51  |
| 6.4 景观格局动态演变研究.....                 | 54  |
| 6.5 生态耗水现势反演研究.....                 | 57  |
| 6.6 生态耗水历史过程动态演变研究.....             | 64  |
| 6.7 生态需水预测.....                     | 67  |
| 6.8 景观生态质量及稳定性变化定量分析.....           | 72  |
| 6.9 基于景观生态的水资源优化配置.....             | 76  |
| <b>7 生态水权界定业务体系及其产业化机制的建立</b> ..... | 79  |
| 7.1 生态水权界定业务体系建设.....               | 79  |
| 7.2 产业化机制建立.....                    | 82  |
| <b>8 新疆白杨河流域生态水权界定应用示范</b> .....    | 85  |
| 8.1 示范区概况.....                      | 85  |
| 8.2 示范过程.....                       | 86  |
| 8.3 采用基础数据.....                     | 88  |
| 8.4 景观生态分区.....                     | 89  |
| 8.5 景观格局动态演变研究.....                 | 95  |
| 8.6 生态耗水现势反演研究 .....                | 100 |
| 8.7 生态耗水历史过程动态演变研究 .....            | 120 |
| 8.8 生态需水预测 .....                    | 127 |
| 8.9 景观生态质量变化定量评价 .....              | 151 |
| 8.10 景观生态稳定性定量评价.....               | 154 |
| 8.11 基于景观生态的水资源优化配置.....            | 157 |
| 8.12 研究结论及建议.....                   | 175 |
| <b>9 研究意义和展望</b> .....              | 178 |
| 9.1 研究意义 .....                      | 178 |
| 9.2 展望 .....                        | 179 |
| <b>附录</b> .....                     | 180 |
| <b>参考文献</b> .....                   | 183 |

# 绪 论

## 1. 背景

新疆地处亚非干旱地带的核心荒漠区，水资源匮乏，严重的干旱是新疆最主要的生态发展瓶颈。加上近半个世纪以来人类活动的过度干扰破坏，其已大大超出了自然生态系统和土地自然恢复的能力和速度，导致了自然生态系统结构破坏、生产力下降和土地荒漠化等恶果。根据联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）对本世纪末年均温增  $1.4\sim 5.8^{\circ}\text{C}$  的预估，新疆高山的冰川将消融 80%，甚至全部消失，这意味着本世纪末新疆可用的农田灌溉水量将有很大的波动性和不可预见性，将对工农业生产和经济社会造成重大影响。因此，面向可持续发展和水资源集约经营管理，科学准确地界定不同区域生态环境类型的生态水权，不仅在地学环境领域具有重大的理论价值，而且对于我国西部边疆的稳定和国防安全具有举足轻重的意义。

生态水权界定是保障生态用水、监测评价生态保护措施效能的前提。科学合理的水权划分是流域和谐发展的基础，对社会经济发展和生态环境保护具有重要意义。景观生态与流域水文过程密切相关，景观生态水资源配置变化驱动景观生态耗水和土地利用变化，进而驱动景观生态格局变化，格局变化驱动景观生态功能变化并进而影响水资源配置。基于景观生态学理论，准确界定生态类型、区位、格局，可望解决生态用水对象模糊、水资源合理配置与生态功能耦合等科学瓶颈问题。

国产卫星对地观测数据是对农业、灾害、资源环境、公共安全等重大问题进行宏观决策的有力根据，是保障国家安全的基础性和战略性资源。我国虽有气象卫星和资源卫星等观测手段，但高分辨率数据主要依靠国外，未形成完整的对地观测系统。高分辨率对地



观测系统是国务院《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》确定的重大专项之一，是我国科技发展的重中之重。在国家高分应用系统建设的诸多重大专项研究中，解决若干基础支撑性与业务系统升级性的共性技术是拓展不同载荷国产高分数据应用的深度和广度的关键之所在。为了解决这些问题，必须根据国家国土、生态、资源和太空安全的重大需求，选取重点领域和区域开展前期系统研究。基于国产卫星载荷的生态水权界定技术体系研究正是这一科学目标实现的重要举措。

目前国内外生态耗水需水预测尚无系统成熟的理论技术体系，生态耗水需水研究概念模糊、指标多、缺乏统一标准；计算难度大、复杂度高；计算方法多、精度差别大、缺乏统一有效的标准方法，又由于传统耗水需水计算没有考虑生态耗水需水的全面特征，在处理蒸散发、降水、地表水、地下水和土壤水等转换关系和重复计算时存在着许多不确定因素以及欠缺有效的技术手段，导致计算预测的生态耗水需水与实际情况存在较大偏差，现有的水资源管理理念和技术体系难以适应国家应对全球气候变化和国家可持续发展的多项重大需求。为了最大可能地去除上述弊端，需要借用目前国际上先进的基于ET的新型水资源规划管理模式，开发设计一套适合我国尤其是干旱区流域景观生态耗水、需水分析计算的新指标体系，有效解决生态用水与水资源形成区存在空间异位问题、生态用水计算存在重复计算问题和时空异质问题等，提高生态耗水需水计算预测的客观准确性与合理性。

可见开展干旱区流域生态水权界定技术体系研究具有重大的理论探索意义，具有巨大的应用价值和广阔的推广领域，研究对促进社会、经济和生态可持续发展和拓展国产高分遥感的应用深度和广度均具有重大意义。

## 2. 研究目标

基于空间信息数据、水文气象观测数据、规划数据等，进行干旱区流域生态水权界定、流域水资源利用规划、生态建设规划、生态用水调度监测管理等研究。以保证干旱区的生态安全，实现新疆



水资源可持续利用,促进新疆稳定、和谐、可持续发展,保障国家西部大开发战略顺利实施。

### 3. 研究任务

(1) 基于水资源高效可持续利用理念,通过遥感技术、景观生态学与传统水资源分析评价技术的有机融合,科学界定干旱区流域生态水权。通过生态耗水机理特点分析,以生态模型模拟、遥感反演和数据同化技术为主要手段,耦合地面监测、遥感数据和地理信息,反演模拟流域生态系统耗水与补充的过程。

(2) 对生态指标、耗水指标、需水指标、界定评价指标以及模型参数进行集成分析,建立干旱区流域生态水权界定技术体系,解决干旱区流域生态水权界定等关键科学问题。为促进流域经济社会与生态环境的和谐、可持续发展提供关键技术与基础信息支持。

(3) 通过水资源动态监测与应用示范等多项遥感应应用示范工程,开拓国产卫星数据在资源环境监测评价领域的应用深度和广度。论证我国自主版权卫星数据替代国外同等性能卫星数据用于资源环境监测的可能性和实践性。使项目研究的成果和经验,对基于我国自主版权卫星数据开展区域资源环境监测、城镇化发展、灾害预警与防治等,具有重大的参考价值。

# 1

## 干旱区特点及环境问题

### 1.1 干旱区特点

干旱区通常指那些极端干旱、干旱和半干旱地区，在一些干燥的半湿润地区由于蒸发大，降水不足或用水超负荷，也可能成为干旱地区。世界的干旱地区主要分布在中亚地区、澳大利亚中西部、非洲大部、北美西部和南美西部。澳大利亚干旱面积占总面积的75%；其次是非洲，干旱面积占总面积的64%；再次为亚洲，干旱面积占总面积的46%。欧洲、北美洲、南美洲干旱面积约占总面积的33%。最大干旱区分布在非洲和亚洲，其面积约占世界干旱区总面积的64%。世界干旱区总面积约为61亿 $\text{hm}^2$ ，占世界陆地总面积的35%。其中，9亿多 $\text{hm}^2$ 为极端干旱的沙漠地区，近52亿 $\text{hm}^2$ 为干旱、半干旱和某些干燥的半湿润地区。

来自联合国教科文组织的资料表明，全球1/3的陆地面积被划归为干旱地区，而且集中分布在中纬度地带。世界上近一半国家都不同程度地受干旱问题的影响，其中比较严重的有中东和北非地区各国，南部非洲的纳米比亚和南非，澳大利亚中部，南美的秘鲁和阿根廷，欧洲的西班牙，北美西南和墨西哥北部，前苏联的中亚部分，亚洲的伊朗、巴基斯坦、蒙古以及我国的西北和华北地区。

干旱地区气候属于热带干旱与半干旱气候型、副热带干旱与半干旱气候型和温带干旱与半干旱气候型，气候具有少云、少雨、日照强烈、夏季气温高的特征。干旱区自然景观为各种荒漠景观，生长耐旱能力极强的小灌木和草类；在半干旱区由于水分条件稍好，自然景观为草原，植被为荒漠草原和干草原，土壤为棕钙土、灰钙土、灰棕漠土。

按年平均降雨量，又可分为极度干旱地区0~50mm，干旱区