

山西省

生态用水态势 及持续评价研究

贺康宁 王治国 朱党生 张卫强 著

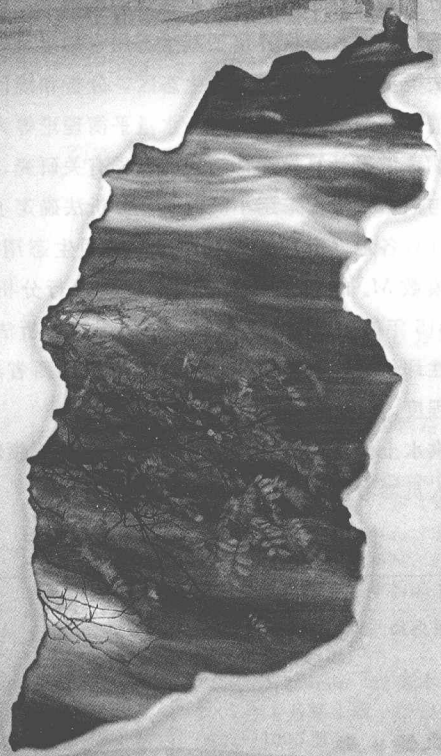


中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

山西省

生态用水态势 及可持续评价研究

贺康宁 王治国 朱党生 张卫强 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

山西省生态用水态势及可持续评价研究 / 贺康宁等
著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2009
ISBN 978-7-5084-6811-2

I. ①山… II. ①贺… III. ①水资源管理—研究—山西省 IV. ①TV213.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第162088号

审图号: 晋S(2009)004号

书 名	山西省生态用水态势及可持续评价研究
作 者	贺康宁 王治国 朱党生 张卫强 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 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 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	北京市兴怀印刷厂
规 格	140mm×203mm 32开本 6.25印张 168千字
版 次	2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	20.00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

内 容 提 要

本书从传统水资源,即地表水资源和地下水资源,及供水与用水、生态用水诸多问题统筹考虑,将山西省生态用水与水资源一并纳入降水资源平衡与可持续发展的分析中,系统研究了山西省生态用水与水资源的关系。

作者在分析与预测山西省水资源态势的基础上,讨论了生态用水和生态需水概念,分析界定了其生态用水的组成,按水系流域、水土流失类型、行政区划三级生态区,分析和统计了山西省的基本背景值。以植物蒸散发理论、水量平衡理论等为依据,试验研究了植物蒸散发计算模型,结合山西省有关研究,推算了全省植物耗水与需水系数,采用小流域对比分析法确定了水土保持用水定额,计算各地(市)的生态用水,采用生态用水系数 C_e 和生态用水模数 M_e 的概念对生态用水现状进行分析,预测了2010年和2015年的生态需水。同时,采用层次分析法构建生态用水可持续性评价的层次结构模型,计算分析山西省各地(市)的协调利用程度。

本书可供水土保持、环境影响和水资源评价等领域的科研、生产和管理人员参考使用。

前言

随着我国经济高速增长，人民生活质量有了大幅度提高，但在经济发展的同时对资源的过度利用引发的水土流失、森林消减、土地荒漠化、水体和空气污染加重、生物多样性锐减、淡水资源短缺等诸多生态环境问题，却严重影响了我国社会经济的可持续发展，引起了政府和社会各界的高度关注。因此，如何保护现有的自然生态系统，综合整治与恢复已退化生态系统，以及重建可持续的人工生态系统，已成为摆在人类面前亟待解决的重要问题，而解决这些问题首先需要研究和解决的是水资源问题。本书通过对山西省的生态用水问题的研究，尝试探讨水资源、生态建设与可持续利用的关系，以期提供一点这方面研究的思路。

山西省是全国水资源严重短缺的省份之一，1956~1984年多年平均年降水量仅为524 mm，而1985~2000年多年平均年降水量则为484 mm。截至2000年底，全省多年平均水资源量为142亿 m^3 ，多年平均河川年径流量108.6亿 m^3 ，地下水资源量93.1亿 m^3 ，扣除重复量63.6亿 m^3 ，其多年平均天然水资源总量为138.1亿 m^3 ，仅占全国水资源总量的0.5%。全省人均水资源量为531 m^3 ，不及全国人均占有量的1/5，

居全国倒数第二，且其中相当大的一部分水量是用于植被（包括人工林、人工草地）蒸腾，土壤、地下水和地表自由水面的蒸发，维持水沙平衡及水盐平衡。为此，山西省内外诸多学者对山西省的水资源与水环境方面的问题进行了研究，但尚未对全省生态用水进行全面和系统的研究。

本书以山西省土地利用、植被分布、水土流失、水资源等状况为背景资料，从水量平衡入手，在明确界定山西省生态用水类型和划分全省生态用水区的基础上，通过对山西省水资源态势现状分析，利用观测资料经合理修正或校正，确定了不同地类或植被、水土保持拦蓄措施等生态用水定额，据此计算出全省生态用水量，并预测了生态需水量，提出了山西省生态用水可持续性的评价指标体系，采用层次分析法进行了可持续性评价。旨在揭示山西省水资源与生态用水态势，并从中探究山西省生态用水各分量之间的关系，分析水资源、生态用水与生态建设的关系，探讨山西省生态用水可持续发展支撑条件和协调利用的战略与途径，为山西全省水资源的综合利用与管理、生态建设规划等提供新的思路、理念和科学计算依据。对山西省生态建设用水调控具有重要实际应用价值和现实指导意义。

1995年，北京林业大学水土保持学院已故著名教授王斌瑞在其主持承担的“八五”国家重点科技攻关课题“黄土高原径流林业合理配套技术措施的研究(580190208)”和在其主编的《黄土高原径流林业》一

书中，详尽阐述了黄土高原“量水定栽”的水土保持造林用水原则，并通过在山西省吕梁地区方山县的长期水土保持造林实践，从林木耗水规律和林地水量平衡角度，开创了“径林业”的水土保持造林模式。作为王斌瑞的学生，贺康宁和王治国通过先后参加王斌瑞的课题以及他们本人后续主持的课题，开展了有关黄土地区林木耗水和水土保持生态工程用水领域的研究。贺康宁通过主持国家自然科学基金课题“半干旱地区防护林主要造林树种需水量和植物系数的研究（39970622）”和“黄土半干旱区防护林树种耗水量和水分环境容量研究（30371172）”，系统观测研究了北方半干旱区主要造林树种的耗水特性。王治国通过参加并主持国家及山西省“八五”、“九五”攻关项目“晋西黄土残塬区水土流失综合治理与有限水分高效利用”的研究，系统观测研究了小流域水土保持工程拦蓄径流能力以及林木和作物耗水特性，为本书的理论框架和计算方法及参数选取等奠定了基础。

2002年，受山西省水资源管理委员会张江汀主任的委托，贺康宁和王治国初步策划对山西全省的生态用水问题进行研究。2003年由贺康宁、王治国和张卫强初步完成了本书生态用水框架性研究报告。2004年，在北京林业大学贺康宁主持的教育部重大研究课题“北方退耕还林区植被恢复与重建技术（304007）”中，将该研究内容纳入了其研究计划之中，王治国以课题技术顾问的身份参加了继续研究。在此期间，因

工作原因，王治国由山西农业大学调入水利部水利水电规划设计总院工作，参加了该院朱党生主持的全国饮水安全保障规划，并通过实施朱党生的课题，为本书提供了山西省水资源方面的大量最新资料和研究成果，进一步完善和充实了本书的内容，延长了研究时段。至此，2007年底经王治国最后充实完善，2008年底又经贺康宁统稿审核，遂成本书。

为此，本书利用多年、多课题收集并整理的山西省水资源、水文、气象、植被、土地利用、水土流失等资料，结合原有的框架性生态用水研究报告，将多年来在植被、作物、草地等方面的水分研究内容和成果进行了系统整合，深入系统探讨了山西省生态用水问题。

值此《山西省生态用水态势及可持续评价研究》完稿付印之际，特别感谢山西省水资源管理委员会张江汀对本书的关心与支持。本书撰写过程中还得到了北京林业大学水土保持学院林业生态工程室硕士、博士研究生田阳、侯振宏、田晶会，山西农业大学林学院水保专业段喜明教授、胡振华副教授和水利部水规总院的刘卓颖博士、王春红高级工程师，山西省水利厅水土保持生态环境监测中心蔡继清副主任等人的帮助，他们在提供资料、统计、计算、校核等方面付出的辛勤劳动，在此一并致谢！

在本书撰写过程中，引用了大量的科技成果、论文和相关专著，在此谨向文献的作者们致以深切的谢意。限于我们的知识水平和实践经验，缺点、遗漏甚

至谬误在所难免，热切希望各位读者提出批评，以期
本研究内容的不断完善和水平的逐步提高。

贺康宁 王治国

2009 年 1 月于北京

目 录

前言

1 引言	1
1.1 生态用水研究进展	3
1.2 生态用水研究存在的问题	22
2 山西省生态用水研究概述	26
2.1 研究区概况	26
2.2 研究内容、思路与方法	29
3 山西省水资源态势分析与预测	39
3.1 降水特征分析	39
3.2 水资源统计与态势分析	42
3.3 存在问题及生态用水的关系	57
3.4 小结	59
4 山西省生态用水类型界定及分区	61
4.1 生态用水类型界定及划分	61
4.2 用于生态用水分析的生态分区	68
5 山西省生态用水计算与态势分析	88
5.1 林草植被与作物蒸散量研究	88
5.2 林草植被的生态用水量及作物的耗水量计算	102
5.3 水土保持生态用水量计算	112
5.4 河道内生态系统用水量计算	115
5.5 现状生态用水及分析	119
5.6 小结	134

6 山西省生态需水预测与趋势分析	137
6.1 山西省生态环境建设	137
6.2 生态需水量的计算	140
6.3 小结	148
7 山西省生态用水可持续性评价	150
7.1 评价的内容与指标体系	151
7.2 评价程序与标准	160
7.3 评价模型	162
7.4 山西省生态用水协调利用评价	166
7.5 小结	168
8 结语与展望	170
8.1 结语	170
8.2 展望	172
附录	174
参考文献	176

1

引言

在 20 世纪 70 年代末，随着全国人口的增加和工业化的发展，水土流失、森林消减、土地荒漠化、水体和空气污染、生物多样性锐减、淡水资源短缺等一系列生态环境问题引发了人们对一切生命体所赖以生存的“水”这一关键因素的思考，生态用水问题由此越来越引起国内外学者的关注。我国学者近年来对传统水资源概念进行反思后认为：在我国，特别是干旱和半干旱地区，水资源的开发利用主要应用于工农业生产和城乡人民生活用水，而忽视了生态环境保护和发展对水资源的需要，导致水资源相对短缺地区天然生态系统退化和生态环境恶化，反过来影响了社会经济的可持续发展（赵文智等，2001）；长期以来人类只注重了水资源开发利用的一面，而忽视了水与生态系统维系、恢复和建设的关系。其实人类应从更广泛的意义上理解水资源，将水资源看作是维持全球生物地理生态系统水分平衡所需用的水，而将维持水热平衡、生物平衡、水沙平衡、水盐平衡等所需用的水都归为生态用水。研究生态用水是社会对水资源与生态环境关系再认识的必然。

我国最早与生态用水相关的研究是从河流自净需水量开始的，开始主要是河流最小流量即河道内生态用水问题。20 世纪 80 年代以后，随着国家西部地区生态建设的进一步加强和西部大开发战略的实施，长江、黄河源头生态环境效益，以及对黄河水资源开发、利用的重新认识和反思。人们发现沙尘

暴、水土流失、湖泊退缩干涸、土地荒漠化等众多与人类生存环境，密切相关的环境问题，无不与水环境和水资源有关，防沙治沙，防治水土流失，恢复江河源头的生态均需要生态用水。生态用水问题不仅有河道内的问题，也有河道外的问题。此后，随着塔里木河和黑河河流绿洲生态系统的恢复与建设，研究者们对绿洲灌溉形成的内部良好生态环境与绿洲外下游水量锐减、河道流程缩短、湖泊干涸和萎缩、土地沙化面积扩大，沿程植被衰败、土壤次生盐碱化面积扩大等形成的反差作了深刻反思和深入研究。生态用水问题研究不断扩展，提出诸如水土保持生态建设用水、森林植被用水、草地用水等生态用水问题。加之，我国恢复生态研究的迅速发展，也需要对生态恢复的用水量做深入的研究，从而使我国生态用水研究成为近年来水环境与水资源研究的一个热点问题。

山西省是全国水资源严重短缺的省份之一，1956~1984年多年年平均降水量仅为524mm，而1985~2000年多年年平均降水量则为484mm。截至2000年底，全省多年平均水资源量为142亿 m^3 ，多年平均河川径流量108.6亿 m^3 ，地下水资源量93.1亿 m^3 ，扣除重复量63.6亿 m^3 ，其多年年平均天然水资源总量为138.1亿 m^3 ，仅占全国水资源总量的0.5%。全省人均水资源量为531 m^3 ，不及全国人均占有量的1/5，居全国倒数第二，其中相当大的一部分是用于植被（包括人工林、人工草地）蒸腾，土壤、地下水和地表自由水面的蒸发，以及维持水沙平衡与水盐平衡而必要的水量。为此省内许多学者对山西关于水资源与水环境方面的问题进行了研究，但至今尚未有人对全省生态用水进行全面和系统的研究。

本文以山西省土地利用、植被分布、水土流失、水资源等状况为背景材料，从水量平衡入手，在明确界定山西省生态用水类型和划分全省生态用水区的基础上，通过山西水资源态势现状分析，利用观测资料经合理修正或校正确定不同地类或植被、水土保持拦蓄措施等生态用水定额，据此计算全省生态用

水量,预测生态需水量,并提出山西生态用水可持续性的评价指标体系,采用层次分析法进行了可持续性评价。本研究论文旨在揭示山西省水资源与生态用水态势,并从中探究山西生态用水各分量之间的关系,分析水资源、生态用水与生态建设关系,探讨山西省生态用水可持续发展支撑条件和协调利用的战略与途径,为全省水资源综合利用与管理、生态建设规划等提供新的思路、理念和科学计算依据,因此,具有重要实际应用价值,对于山西省生态建设用水调控具有重要的现实意义。

1.1 生态用水研究进展

1.1.1 生态用水研究历程

国外生态用水研究主要集中在河流生态环境需水的研究方面,早期的研究始于河道枯水流量的研究 (Sheail, 1984; Armentrout G W et al., 1987; Naiman et al., 1993; Geoffrey, 1996; Kremer et al., 1996; Wassen, 1996; Zalewski, 2001), 从 1940 年美国鱼类和野生动物保护协会对河道内流量的研究开始。20 世纪 60~70 年代按照系统理论对历史上著名的印度、孟加拉的布拉马普特拉河流域 (1960), 比斯坦的印度河流域 (1968), 埃及尼罗河工程 (1972) 等重新进行评价和规划, 1971 年提出用河道内流量法确定自然和景观河流的基本流量。20 世纪 80 年代初期, 美国全面调整对流域的开发和管理目标, 可以说是生态用水分配研究的雏形 (Tennat. D. L, 1976)。美国在 1978 年完成的第二次全国水资源评价中, 既考虑了河道外用水, 也估计了鱼和野生生物、游览、水力发电、航运等河道内用水, 并把生态环境用水作为主要的河道内控制用水。同时期有人提出通过某一生物对水量的要求来确定最小河流需水量。1995 年 Henry 等人又提出了维护良好水的最低河流水流量, 即生态可接受流量的概念并做有关其流量变化方面的研究, 取得了一定的研究成果 (Henry. C. P, Amoros. C, 1995)。

20 世纪 80 年代中期,水资源和生态的相关性研究,特别是生态系统需水量研究才遂成为全球关注的焦点,代表性的研究包括:1984 年和 1996 年 Petts G. E. 分别在其专著中以大量篇幅深入阐述生态环境用水的概念 (Petts G. E, 1984, 1996); Covich 强调了在水资源管理中要保证恢复和维持生态系统健康发展所需的水量 (Covich, 1993)。Gleick 提出了基本生态用水量的概念,即提供一定质量和数量的水给天然生境,以求最小程度地改变天然生态系统的过程,并保护物种多样性和生态整合性。其概念实质是生态建设(恢复)用水,即缺乏天然生态系统维系自身发展而要求的生态用水内涵 (Gleick. P. H., 1995, 1998, 2000)。Falkenmark 将绿水的概念从其他水资源中分离出来,提醒人们注意生态系统对水资源的需求,水资源的供给不仅要满足人类的需求,而且生态系统对水资源的需求也必须得到保证 (Falkenmark. M, 1995)。Rashin 等也提出了可持续的水利用要求保证足够的水量来保护河流、湖泊和湿地生态系统,人类所使用的作为娱乐、航运和水力的河流和湖泊要保持最小流量,但作者并没有给出明确的概念和计算方法 (Raskin. P. D, 1996; Schmitt T G, 1997)。澳大利亚把“低地河流系统环境需水量”作为 1996~1997 年的研究与发展计划。Whipple 等指出国家水供给包括城市、工业、农业利用,还有河道内的环境利用,同时指出流域内应当协调解决环境需水与国民经济需水的矛盾,强调单纯依靠立法保护濒临灭绝物种的弊端 (Whipple. W et al, 1999)。Baid 等针对各类型生态系统(含地、林地、河流、湖泊、淡水湿地等)的基本结构和功能,较详细地分析了植物与水文过程的相互关系,强调了水作为环境因子对自然保护和恢复所起到的巨大作用。作者尽管没有将生态用水量作为研究对象,但许多相关的思想、原理和方法在很大程度上推动了生态用水量的研究进展 (Baird. A. J, 1999)。

总的来说,20 世纪 90 年代以前河流流量的研究主要集中

在：分别根据河道物理形态、所关心的鱼类、无脊椎动物等对流量的需求，来确定最小最佳的流量。在确定河流流量的过程中未能充分考虑生态系统的完整性。90年代后的研究，不仅考虑维持河道的流量，包括最小和最适宜流量，而且还考虑了河流流量在纵向上的连接，并充分认识到了洪泛平原流量在研究中的重要性，以及河流生态系统的完整性和生态系统可以接受的流量变化。同时，各国政府也开始重视生态用水问题，21世纪实现生态用水和人类需水的协调配置是人类的追求目标，如英国环境部在2001年的《面向未来的水资源》报告中对未来25年英国的环境用水和社会需水进行了分析，提出了30个行动方案和措施（《中国水利报》2001年4月10日第4版）。Falkenmark在2004年提出了人类需水和自然需水之间的平衡问题，指出人类应通过土地、水与生态系统综合管理，实现人与自然和谐用水（Falkenmark, 2004）。

我国生态用水的研究首先从河流系统开始，随着对生态用水认识的加深，生态用水研究逐步扩展到其他类型的生态系统。

1970年末，长江水资源保护研究所在《环境用水初步探讨》中研究了河流最小流量的问题（崔宗培，1990），1988年在方子云主编的《水资源保护工作手册》中，已经涉及了流域生态用水方面的内容，但未明确采用生态用水术语（方子云，1988）。1990年，《中国水利百科全书》中采用了环境用水的概念。1994年出版的《环境水利学导论》一书中，则明确地写有“环境用水”一节，这表明人们对环境用水问题已有了初步认识（方子云等，1994）。但是，在实际工作中，我国水资源管理模式均从水资源与人类相互作用关系角度出发，在社会经济发展预测的基础上，对水资源供需平衡、水资源优化配置、水资源开发方案和投资需求等方面进行分析研究和决策。这种模式仅仅从人类和水资源两大系统的相互作用来考虑，并没有考虑到这些活动对上述两大系统之外的自然生态系统的影响（崔树彬，2001；程慎玉，2005）。

在 90 年代后期,针对我国北方流域出现的水资源短缺现象,人们对生态用水开始新的探讨,并相继提出一些理论。其中,刘昌明根据流域水资源开发利用与生态用水的关系,提出了生态水利的“四大平衡”原理[水热(能)平衡、水盐平衡、水沙平衡、水量平衡与供需平衡],探讨了“三生”用水(生活、生产与生态)之间的共享性(刘昌明等,1996a, b; 1998; 1999a, b, c; 2001a, b)。国家“九五”科技攻关项目“西北地区水资源合理开发与生态环境保护研究”,针对我国干旱半干旱地区生态用水进行了研究。中国工程院咨询项目“中国可持续发展水资源战略研究”(钱正英,张光斗,2001)对我国生态环境建设与保护需要的生态用水,进行了较为深入的研究。鉴于绿洲地区所普遍存在的生态环境问题的严重性,汤奇成等人(1995)在分析新疆塔里木盆地水资源与绿洲建设问题时首次提出了生态用水的概念。他认为应该在水资源总量中专门划分出一部分作为生态用水,其目的是使绿洲内部及其周围的生态环境不再恶化,主要用途是:①向对绿洲经济的持续发展和周围生态环境起重要作用的湖泊进行补水。②用于进行绿洲及周边地区人工造林和草场植被的恢复(丁启夏等,1996)。

1992 年,水利部主持编制的 SL 45—92《江河流域规划环境影响评价》行业标准中,根据新疆叶尔羌河流域规划环境影响评价的实践,将生态环境用水正式作为环境脆弱地区水资源规划中必须予以考虑的用水类型,2006 年该标准修订后 SL 45—2006《江河流域规划环境影响评价》,附录中列出了河道内生态用水需水量的计算方法。

进入 21 世纪后,我国陆域和湿地湖泊的生态用水对国家生态建设和水资源综合配置有着十分重要的作用,特别是进入 1990 年末以后,更多地关注于河道外生态用水问题的研究(崔保山和杨志峰,2002;杨爱民,2005)