

QUYUSHENGTAI
HUANJING XUSHUILIANG
YU SHUIZIYUAN HELI PEIZHI

区域生态

环境需水量 与水资源合理配置

张鑫 蔡焕杰 著

西北农林科技大学出版社

区域生态环境需水量与水资源合理配置

张 鑫 蔡焕杰 著

西北农林科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

区域生态环境需水量与水资源合理配置/张 鑫,蔡焕杰著. —杨凌:
西北农林科技大学出版社,2007. 12
ISBN 978-7-81092-316-3

I. 区… II. ①张…②蔡… III. ①区域环境:生态环境—需水量—研究
②区域环境:生态环境—水资源—配置—研究 IV. TV21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 192935 号

区域生态环境需水量与水资源合理配置

张 鑫 蔡焕杰 著

出版发行: 西北农林科技大学出版社

地 址: 陕西杨凌杨武路 3 号 邮 编:712100

电 话: 总编室:029-87093105 发行部:87093302

电子邮箱: press0809@163.com

印 刷: 西安华新彩印有限责任公司

版 次: 2008 年 3 月第 1 版

印 次: 2008 年 3 月第 1 版

开 本: 787 mm × 960 mm 1/16

印 张: 8.75

字 数: 161 千字

ISBN 978-7-81092-316-3

定价:15.00 元

本书如有印装质量问题,请与本社联系

前 言

当发展中国家面对非常严重的自然资源限制和环境退化挑战时,往往倾向于尽力维持社会经济的发展。但事实上,天然资源和环境的挑战则更应该被重视。因此,避免增加对生态环境的伤害,在相同条件下,除了必须要提高水资源使用效率,而且还必须维持依赖水的生态系统的需求,并且将此纳入水的分配中。但是,目前我国还没有非常完善、具体的生态环境用水分配的适当原则和方法。

随着工业与农业的发展,人口与经济的增长,农业、工业和生活用水不断增加,水资源危机加剧。尤其是我国西北干旱区,水资源严重短缺,生态环境极其脆弱,轻度人类活动就有可能引发土地退化、沙漠化以及生物多样性的减少。因此,区域生态环境需水量和生态系统水资源合理配置的研究,不仅有利于社会经济的可持续发展,而且还有利于生态环境的保护和修复。该研究在以下几个方面取得了一些成果。

在界定区域生态环境需水量(EEWRs)的概念和内涵的基础上,建立了区域生态环境需水量的数学模型。该模型不仅包含陆地 EEWRs、河流 EEWRs,还包括河口、湿地等 EEWRs。尤其是从水质的角度建立了计算河流水质稀释自净需水量、考虑非洪水季节冲沙需水量和河口 EEWRs 的数学模型。

在 Costanza 等计算全球生态系统服务功能价值的基础上,建立了区域生态系统服务功能价值的二次修正模型。首先利用生物量订正法,对 Costanza 等提出的生态系统服务功能单价进行了修正,然后利用恩格尔系数推算发展系数,对生态价值进行修正,最后得到区域生态价值。

构建了生态系统水资源动态反馈式合理配置的理论框架体系,把水资源配置放在生态环境这个大系统中去研究,既考虑生态环境需水的要求,又考虑了生态系统和水文系统对水资源配置的响应反馈,进而对水资源配置进行修正,以达到人与自然的协调。该水资源配置模式,不仅有利于水资源的高效利用,而且还有利于生态环境的保护,防止水污染。

从效益系数的定义出发,提出了生态环境用水效益系数的概念,建立了确定生态用水净效益系数的数学模型。同时对农业用水、工业用水和生活用水的效益系数的确定方法进行了分析研究。

建立了基于生态的经济、社会和生态环境等综合效益最大为目标函数的水

资源合理配置模型,模型将生态环境需水量、生态环境价值、用水净效益系数等融为一体,为水资源合理配置提供了一条新的思路,同时也丰富了生态系统水资源合理配置的理论体系。

利用本文对区域生态环境需水量、生态价值、水资源合理配置模型和模型的GA算法的研究结论,结合石羊河下游区——民勤县的自然地理情况,对民勤县的生态环境需水量和生态系统水资源合理配置进行了应用研究。结果表明,模型稳定、实用、合理、可操作性强。

研究结果表明:①民勤县生态环境需水量主要包括陆地植被(森林与草地)生态需水量和水库蒸发渗漏环境需水量,其生态环境需水量的上限为 $2.289 \times 10^8 \text{ m}^3$,下限为 $0.537 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。②2000年民勤县在相应经济水平条件下,生态系统服务功能总价值为 1.2681×10^8 元/年。其中,森林为 0.78×10^8 元/年、草地为 0.081×10^8 元/年、沼泽与湿地为 0.2598×10^8 元/年、湖泊与河流为 0.055×10^8 元/年、农田为 0.0923×10^8 元/年。③民勤县生态用水净效益系数为 0.2734 元/ m^3 。农业用水净效益系数为 0.2769 元/ m^3 ,用水下限为 $2.2226 \times 10^8 \text{ m}^3$,上限为 $4.8497 \times 10^8 \text{ m}^3$;工业用水净效益系数为 0.3159 元/ m^3 ,用水下限为 $0.0486 \times 10^8 \text{ m}^3$,上限为 $0.0616 \times 10^8 \text{ m}^3$;生活用水净效益系数为 0.32 元/ m^3 ,用水下限为 $0.0492 \times 10^8 \text{ m}^3$,上限为 $0.0820 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。④根据民勤县的可供水量,建立了6个水资源合理配置的具体模型,每一个模型又包括3种方案。模型解算结果表明,生态与经济协调用水配置模式是维持民勤县经济可持续发展和有效保护生态环境的合理配置模式。该配置模式在首先满足人民生活用水的基础上,对生态、工业和农业进行协调配置,它既有利于保护生态环境,也维持了一定的经济增长速度。

在项目研究过程中,得到了西北农林科技大学魏晓妹教授、刘俊民教授、马孝义教授、王纪科教授、汪志农教授、宋松柏教授、马耀光教授、栗晓玲副教授以及水资源系全体老师的热心指导和帮助,提出了许多宝贵的意见和建议,为此谨向以上各位老师表示由衷的感谢!

本研究得到高等学校博士点基金(20020712020)、高等学校优秀博士论文基金(200052)、西北农林科技大学青年科研基金(2005、2006)、西北农林科技大学博士启动基金(2005)等项目资金的资助。

限于作者水平,书中不少地方尚不尽人意,错误和不当之处,敬请批评指正。

作 者

2007年9月于杨凌

目 录

第1章 概 述	(1)
§ 1.1 研究背景	(1)
§ 1.2 国内外研究进展	(3)
§ 1.2.1 生态需水量	(3)
§ 1.2.2 区域水资源配置	(11)
§ 1.3 存在的问题	(14)
§ 1.3.1 生态环境需水量	(14)
§ 1.3.2 区域水资源合理配置	(16)
§ 1.4 研究趋势	(17)
§ 1.4.1 生态环境需水量	(17)
§ 1.4.2 水资源合理配置	(18)
§ 1.5 研究内容、方法和技术路线	(19)
§ 1.5.1 研究内容	(19)
§ 1.5.2 研究方法	(20)
§ 1.5.3 技术路线	(21)
§ 1.6 小 结	(21)
第2章 研究区概况	(23)
§ 2.1 石羊河流域水资源概况	(23)
§ 2.2 民勤县概况	(25)
§ 2.2.1 地理位置及行政区划	(25)
§ 2.2.2 地形地貌	(26)
§ 2.2.3 土壤植被	(26)
§ 2.2.4 水文气象	(28)
§ 2.2.5 社会经济	(28)
§ 2.2.6 水资源开发利用	(30)
§ 2.2.7 生态环境状况	(33)
§ 2.3 小 结	(33)
第3章 生态环境需水量	(35)
§ 3.1 生态系统及水的生态作用	(35)

§ 3.1.1	生态系统	(35)
§ 3.1.2	水的生态作用及生物的适应性	(36)
§ 3.2	区域生态环境需水量的概念体系	(38)
§ 3.2.1	生态环境和自然环境	(38)
§ 3.2.2	生态需水、环境需水与环境流量	(38)
§ 3.2.3	生态环境需水	(39)
§ 3.2.4	生态环境需水量特征	(41)
§ 3.3	区域生态环境需水量的确定	(44)
§ 3.3.1	确定生态环境需水量的理论框架	(44)
§ 3.3.2	区域生态环境需水量的计算模型	(47)
§ 3.4	陆地生态环境需水量(W_{LEERWs})的确定	(49)
§ 3.4.1	陆地植被生态环境需水量(W_{VEERWs})的确定	(49)
§ 3.4.2	陆地动物生态环境需水量(W_{AEERWs})的确定	(50)
§ 3.5	河流生态环境需水量(W_{REERWs})的确定	(50)
§ 3.5.1	河流基本生态环境需水量(W_b)的确定	(51)
§ 3.5.2	河流水质污染稀释自净需水量(W_c)的确定	(52)
§ 3.5.3	河流输沙需水量(W_s)的确定	(53)
§ 3.5.4	河道渗漏补给需水量(W_l)的确定	(54)
§ 3.5.5	水面蒸发生态需水量(W_e)的确定	(55)
§ 3.5.6	计算示例	(55)
§ 3.6	河口生态环境需水量(W_{EEWRs})的确定	(56)
§ 3.6.1	河口的概念及分区	(56)
§ 3.6.2	确定河口生态环境需水量	(58)
§ 3.7	湿地生态环境需水量(W_{WEWRs})的确定	(58)
§ 3.8	石羊河流域下游区生态环境需水量计算	(59)
§ 3.8.1	合理生态水位	(59)
§ 3.8.2	单位面积蒸散量计算	(62)
§ 3.8.3	生态最低需水量计算	(64)
§ 3.8.4	环境需水量计算	(65)
§ 3.8.5	生态环境需水量	(65)
§ 3.9	小结	(67)
第 4 章	生态价值	(68)
§ 4.1	生态系统服务功能	(68)
§ 4.2	生态服务功能价值的理论基础	(70)

§ 4.2.1	自然资本与生态价值	(70)
§ 4.2.2	生态价值的体现形式	(71)
§ 4.2.3	区域生态系统服务功能的价值理论	(71)
§ 4.3	生态系统服务功能的价值测算方法	(73)
§ 4.3.1	市场价值法	(74)
§ 4.3.2	替代市场法	(75)
§ 4.3.3	假想市场法	(76)
§ 4.4	区域生态系统服务价值评估	(78)
§ 4.4.1	森林生态系统的服务价值	(82)
§ 4.4.2	草地生态系统的服务价值	(83)
§ 4.4.3	淡水生态系统的服务价值	(83)
§ 4.4.4	湿地生态系统服务价值	(84)
§ 4.4.5	农田生态系统服务价值	(84)
§ 4.5	石羊河流域下游区民勤县生态价值	(84)
§ 4.6	小结	(87)
第5章	区域生态系统水资源合理配置	(89)
§ 5.1	水资源优化配置的基本理论与缺陷	(89)
§ 5.1.1	水资源优化配置的基本概念与内涵	(89)
§ 5.1.2	水资源优化配置的理论模式	(90)
§ 5.2	生态系统水资源合理配置理论	(91)
§ 5.2.1	水资源合理配置基本概念	(91)
§ 5.2.2	水资源合理配置的原则	(92)
§ 5.2.3	水资源合理配置的效应反馈	(93)
§ 5.3	生态系统水资源合理配置数学模型	(94)
§ 5.3.1	水资源合理配置的目标量度	(94)
§ 5.3.2	生态系统水资源的合理配置模型	(97)
§ 5.3.3	效益系数的确定	(97)
§ 5.4	遗传算法	(101)
§ 5.4.1	遗传算法的特点	(101)
§ 5.4.2	设计遗传算法的基本原则与步骤	(102)
§ 5.4.3	编码表示	(104)
§ 5.4.4	适应性的度量	(104)
§ 5.4.5	选择策略	(105)
§ 5.4.6	演化算子	(106)

§ 5.4.7 控制参数的选取	(108)
§ 5.5 基于 Matlab6.0 的带约束的 LPP 和 NPP 问题的 GA 算法	(108)
§ 5.5.1 问题表述	(109)
§ 5.5.2 模型转换	(109)
§ 5.5.3 LPP 和 NPP 模型的 GA 求解	(110)
§ 5.6 石羊河流域下游区供需水量与用水效益系数	(113)
§ 5.6.1 民勤县各用水部门的用水上下限	(113)
§ 5.6.2 民勤县的可供水量	(114)
§ 5.6.3 民勤县生态用水效益系数	(115)
§ 5.6.4 民勤县农业用水效益系数	(115)
§ 5.6.5 民勤县工业用水效益系数	(116)
§ 5.6.6 民勤县生活用水效益系数	(116)
§ 5.6.7 用水净效益系数分析	(116)
§ 5.7 石羊河流域下游区民勤县生态系统水资源合理配置	(117)
§ 5.7.1 水资源合理配置	(117)
§ 5.7.2 结果分析	(119)
§ 5.8 小结	(119)
参考文献	(121)

第1章

概 述

§ 1.1 研究背景

20 世纪是人类物质文明较发达的时代,但也是地球生态环境和自然资源遭到较严重破坏的时期^[1]。由于自然资源的过度开发与消耗,污染物质的大量排放,导致全球性资源短缺、环境污染和生态破坏,各种自然灾害频繁,削弱了自然生态环境的承载能力。中国西部干旱区以其深居内陆的地理位置、干旱的大陆性气候、山盆相间的地貌格局、荒漠性的土壤植被及广阔的内陆流域与我国其他地区形成鲜明的对比,在中国乃至世界干旱区研究中具有一定的典型性与代表性。西部干旱区处于生态环境较为脆弱的地区,是我国生态环境建设的重要地带,如何处理好水资源开发与生态环境建设的关系,关系到我国经济和社会的可持续发展。

在干旱和半干旱地区,降水量远低于蒸发量,植被稀疏,生态脆弱,是水资源和生态环境最为敏感的区域,轻度人类活动就有可能引发土地退化和沙漠化,以及生物多样性的不断减少。目前全世界的生态系统正在受到严重地改变和损害。淡水资源退化、土地退化和荒漠化、草原退化、生物多样性减少与海洋赤潮等都是真实的佐证。20 世纪 60 年代以来,减缓和防止自然生态系统的退化萎缩,恢复重建受到损害的生态系统,越来越受到国际社会的广泛关注和重视。联合国教科文组织“人与生物圈计划(MAB)”的中心议题与宗旨,就是运用生态学方法,研究人与环境的相互关系,特别是人类活动对生态系统的影响,以及在人类影响下资源的管理、利用与恢复^[2]。因此,区域(或流域)生态需水和生态系统水资源合理配置的研究,已成为一个新的研究热点。

水资源开发利用作为社会生产力的重要组成部分,其追求的目标受到社会生产力总体发展阶段和水平的制约。当生产力水平较低时,人们对水资源开发利用的需要是满足最低层次的生存需要,如饮水、灌溉农田等。随着人口的增加,生产力水平进一步提高,复杂的水资源开发利用工程便应运而生。进入 21

世纪,强大的生产力与庞大的生产规模,在某些方面已经达到或接近自然界所能承受的极限,这使得我们不得不面临调控与自然界关系的迫切任务,恢复、建设和保护生态环境成为社会基本消费的组成部分和人们生活质量的重要指标。

然而,我们不得不承认,由于长期以来我国饱受洪涝、干旱之苦,人们赋予水资源开发利用建设的任务,主要是防洪、供水和灌溉,其中的供水也只是满足城镇生活和工业生产的基本需要,几乎没有考虑生态用水问题。这种不合理的水资源配置模式,导致了許多生态环境问题^[3]。

(1) 河道断流带来的生态问题

为了满足控制洪水和灌溉的需要,河流的上中游地区是水利工程布置和修建的首选地区。随着这一地区水利工程的不断修建,河流的天然水文生态环境发生了极大变化,同时,上中游地区的引水条件十分有利,再加之水资源管理体制上的无约束,上中游地区的引水量急剧增加。因此,造成进入下游地区的水量越来越少,致使不少河流发生了断流甚至较长时期的断流现象,并由此而产生了一系列严重的生态问题。例如,黄河、塔里木河等。

(2) 地下水超采带来的生态问题

由于地表水无法满足需要,开采地下水工程相对于其他水源工程建设简单和便宜,一些地区对地下水进行了大规模的开采。随着开采量的逐年增加,形成了大面积的地下水下降漏斗区。据不完全统计,全国目前已形成地下水区域性降落漏斗多达 149 个,漏斗面积 $1.58 \times 10^7 \text{ hm}^2$,其中严重超采面积 $6.7 \times 10^6 \text{ hm}^2$,多年平均超采地下水高达 $8.0 \times 10^8 \text{ m}^3$,漏斗最深处达 100 m。全国有 50 多座城市不同程度出现地面沉降、塌陷、裂缝等现象。

(3) 湿地破坏带来的生态问题

湿地不仅是生物多样性的摇篮,而且由于其物理、生物和化学组分,如土壤、水、植物和动物之间的相互作用,使它能够发挥很多极其重要的功能,例如储水、防风暴、减轻洪水、控制侵蚀、补充地下水、释放地下水、通过滞留营养物质和污染物而净化水质以及稳定地方气候,尤其是降水和温度。

然而,长期以来,人们缺乏对湿地作用和功能的认识,在流入湿地的河流上建起了不少水库工程,并在水库的下游开辟了灌区,一方面切断了湿地的水源供应,另一方面还将部分湿地开垦成良田,大范围缩小了湿地面积。由于缺水,湿地中的喜水植物如芦苇等失去了生长条件,大面积的芦苇塘变成了湿草甸,湿草甸又变成了干草地,局部地区出现了荒漠化。更为甚者,不少地方为排水或为引水灌溉,在湿地腹地肆意挖沟修渠,加速了湿地的破碎化和岛屿化,渠堤切断了湿地植被的天然联系,也切断了栖身湿地鱼类和其他水生动物的回游通道,妨碍了其繁殖或瓦解了其季节性的迁徙模式,因而构成了对湿地生物多样性的严重

影响与威胁。以黑龙江省三江平原湿地为例,解放初期的湿地面积为 $5.4 \times 10^6 \text{ hm}^2$,现在只剩下 $1.47 \times 10^6 \text{ hm}^2$,湿地覆盖率从 49% 降至 13%。土地沙化从无到有,水土流失日趋严重,气候恶化,物种减少。

随着可持续发展战略的逐步实施,人们已意识到经济和生态环境是密不可分的。资源与环境服务于经济功能是可持续发展战略的一个中心论题。但是,由于生态环境效用较少带有价格标签,生态环境为社会提供的服务具有“无偿”的性质。因此,目前通用的区域水资源承载力的计算模型,并不能真正反映出水资源所能承载的人口和社会经济发展规模与水平。因此,将生态学的基本规律与市场价值法则相结合,把各种类型的生态破坏,通过定量和半定量的折算,最终以生态经济损失的形式从国民生产总值中扣除。如今我们研究水资源承载力与生态环境问题,其目的是寻找一条合理分配水资源自然承载力和社会承载力的途径,也就是寻找经济最优生态适宜的理想模式,然而实际上两者所导致的结果是不能兼容的,经济上最优途径并不一定是生态上最适宜^[4]。基于此,人们才不断地寻求通过限制经济发展来保证生态过程和环境健康的途径。于是对区域生态环境需水量和生态系统水资源合理配置方面的研究,就显得非常重要,尤其是西北干旱区内陆河流域,这不仅有助于提高人们的生态环境意识,而且还可以为管理决策者提供宏观的科学依据。

§ 1.2 国内外研究进展

§ 1.2.1 生态需水量

§ 1.2.1.1 概念和定义

在美国,环境用水系指服务于鱼类和野生动物、娱乐及其他美学价值类的水资源需求。主要包括:①自然和景观河流的基本流量;②河道内用水:指用于航运、娱乐、鱼类和野生动物保护以及景观等美学价值等的用水;③湿地需水:主要指湿地保护区的需水;④海湾和三角洲的流量:为保持和控制海湾和三角洲的环境所需水量。

在我国,1990年的《中国水利百科全书》将环境用水量定义为:“改善水质、协调生态和美化环境等的用水”。并进一步解释为:“改善水质即对于河流,应保证枯水期的最小流量,使其得到一定的污径比,以改善水质”;协调生态用水即“水生物受外界非生物环境的影响,一般可根据不同鱼类区系,鱼类组成及生理习性来考虑维持鱼类生态环境用水。为了防止入海河口泥沙淤积,维护河口地区生态环境,需要保持一定的河道径流量”;美化环境用水即“对于旅游区

的水库、湖泊和河流,应考虑旅游景观和通航要求,保持一定的湖面和水深。在城市,主要应根据各地气候条件和水源条件,考虑城市的净化、绿化即公园湖泊等用水要求”;此外,还有为控制地面沉降的回灌用水,为减轻咸水倒灌而加大枯水季河道水量用水等^[5]。

上述定义和概念基本上都是基于水体及与水体有直接联系的“水生态”和“水环境”的用水量。目前,我国水利界及社会各界所讨论的“生态环境用水量”,已经大大超过了上述内容和范围。例如,由中国工程院组织、43位院士和近300位院外专家参加完成的《21世纪中国可持续发展水资源战略研究》认为:广义的生态环境用水,是指“维持全球生物地理生态系统水分平衡所需用的水,包括水热平衡、水沙平衡、水盐平衡等,都是生态环境用水”。狭义的生态环境用水是指“为维护生态环境不再恶化并逐渐改善所需要消耗的水资源总量”。狭义的“生态环境用水计算的区域应当是水资源供需矛盾突出以及生态环境相对脆弱和问题严重的干旱、半干旱和季节性干旱的半湿润区”。狭义的生态环境用水主要包括“保护和恢复内陆河流下游的天然植被及生态环境;水土保持及水保范围之外的林草植被建设;维持河流水沙平衡及湿地、水域等生态环境的基流;回补黄淮海平原及其他地方的超采地下水”等方面^[6]。

“生态需水量”一词,目前还没有见到有人给它下过确切的定义(指基本能够得到公认的定义),中国现有的环境百科等辞书,也没有关于它的解释。崔树斌^[7]认为,生态需水量应该是指一个特定区域内的生态系统的需水量,而并不是指单单的生物体的需水量或者耗水量。它不但与生态区的生物群体结构等有关关系,更重要的是它还与生态区的气候、土壤、地质以及地表、地下水文条件及水质等都有关系。因而,“生态需水量”与“生态环境需水量”的含义及其计算方法应当是一致的。计算生态需水量,实质上就是要计算维持生态保护区生物群落稳定和可再生维持的栖息地的环境需水量,也即“生态环境需水量”,而不是指生物群落机体的“耗水量”。董增川等^[8]在研究西部地区水资源配置时认为:生态环境需水量是指水域生态系统维持正常的生态和环境功能所必需消耗的水量。根据西部地区水域生态系统的特点,认为生态环境需水量包括以下几个方面:①维护天然植被需水量;②维护合理的生态地下水位需水量;③维持水体一定量稀释自净能力的基流(水)量;④防止河流系统泥沙淤积的河道最小径流量;⑤维护河湖水生生物生存的最小需水量。王芳^[9]通过分析生态需水概念的外延与内涵,将其归纳为:生态需水是指为维护生态系统稳定,天然生态保护与人工生态建设所消耗的水量。并认为对于没有植物作为第一性生产力的系统需水,如河流冲沙、稀释污染物、控制地面沉降等所需的水,称为环境需水。沈国舫^[10]指出,在生态用水中,首先要保证干旱、半干旱地区保护和恢复自然植被及

生态环境所需要的水;其次,在干旱、半干旱及干旱的亚湿润地区,如能全面开展水土保持工作,必将减少该地区进入河川的径流量,这一部分预计要减少的径流量也算作生态用水;第三,在干旱、半干旱及干旱的亚湿润地区,在水土保持范围之外的其他林草植被建设,包括水源涵养林、新封育的林草植被、防风固沙林、绿洲农田防护林、人工草场建设等也需要一定量的生态用水;第四,维持河流水沙平衡及生态基流所需用的水也是生态用水项目,包括维持黄淮海平原的土壤水盐平衡用水及为黄淮海平原等超采的地下水。刘昌明^[11]认为,自然生态与人类环境用水需遵循4大平衡原则:①水热(能)平衡;②水盐平衡;③水沙平衡;④区域水量平衡与供需平衡两个方面。在4大平衡原则的基础上,深入研究水资源承载力和科学地计算必要的生态需水量,特别是西北地区,是亟待进行的研究任务。沈清林等^[12]认为,在干旱内陆河流域下游地区生态用水量应满足维持某一区域生态系统稳定和生态环境保持良性动态平衡所需的耗水量,具体而言,应包括:①维持人工绿洲内部“乔灌草,带片网”相结合的经济效益与生态效益并重的、结构优化的、低耗水高产出的农田防护林体系所需水量。②维持人工绿洲边缘人工防护林体系结构合理、效益综合、健康稳定所需的水量。③维持人工绿洲边缘天然灌丛和其外围半荒漠草场的稳定及其再生增殖所需水量。④大片退化土地,特别是灌区内部重点地带,弃耕地上进行种草、种树予以保护并兼顾利用所需的水量。⑤维持对生态环境甚至气候等有影响的湖泊水量、水质所需水量。⑥维持大河两岸荒漠林所需水量。⑦保证河流、湖泊地下含水层水质不受污染所需水量。⑧尚未认识领域所需水量。樊自立^[13]认为维护天然植被用水的特点是:需水弹性大,一般不需要适时适量,用水高峰期不与农业争水;对水质要求不严,矿化度较高的农田排水也可作生态用水,在以农业为主的人工绿洲及其外围,生态用水和农业用水的比例以1:3为宜;在以保护自然植被为主的地区,如新疆塔里木河流域生态用水比例以3:1为宜。贾宝全等^[14]认为,在干旱区山地、荒漠、绿洲这三大系统中,绿洲应是干旱区的主体景观。基于此点,贾宝全将干旱区生态用水定义为:在干旱区内,对绿洲景观的生存和发展及环境质量的维持与改善起支撑作用的系统所消耗的水分称之为生态用水。李丽娟等认为^[15],从狭义来讲,生态需水量是指为维持地表水体特定的生态环境功能,天然水体必须储存和消耗的最小水量在实际计算中,生态环境需水量分为3部分:①河流基本生态环境需水量,是指维持河流系统最基本的生态环境功能所需要的最少水量;②河流输沙排盐需水量,指为维持河流形态和盐分的动态平衡,在一定输沙、排盐要求下所需要的水量;③湖泊洼地生态环境需水量,指为维持湖泊洼地的水体功能而消耗于蒸发的水量。

总之,目前生态需水量还没有一个统一、规范的定义,这给生态需水量的量

化计算研究工作带来了诸多不便和困难。

§ 1.2.1.2 河流生态环境需水量的计算

早在 20 世纪 40 年代,美国渔业与野生生物保护组织首先提出了河道内需水量(instream flow requirement)的概念,即最早的河流生态需水量的概念。国外生态环境需水研究主要集中在河流生态环境需水研究方面。早期的研究是关于河道枯水流量(low-flow)的研究^[16-17]。这个时期主要是为满足河流的航运功能对枯水流量进行研究。随后,由于河流污染问题的出现,开始对最小可接受流量(minimum acceptable flows,MAFs)进行研究^[18]。其最小可接受流量除了满足航运功能外,还要满足排水纳污功能。随着河流受人为因素影响和控制的加强,河流生态系统结构和功能遭到破坏,生态可接受流量范围(ecology acceptable flow regime,EAFR)的研究逐渐展开^[19],其主要是为恢复河流生态系统功能,为满足不同的环境要求而进行生态可接受流量范围的研究。

国外河流生态环境需水的研究内容可概括为^[20-27]:河道流量与鱼类生息环境关系的研究;河道流量、水生生物与溶解氧(DO)三者之间的关系研究;水生生物指示物与流量之间的关系研究;水库调度考虑生态环境、生态环境水量的优化分配的研究;环境生态用水与经济用水关系研究等。

国外较为通用的计算和评价方法,可分为三类^[28]:一是传统的流量计算方法(标准流量法);二是基于水力学基础的水力学法;三是基于生物学基础的栖息地法。

(1)标准流量法 ①7Q10 法 采用90%保证率最枯连续7 d的平均水量作为设计值^[29]。②Montana 法 是美国目前使用确定河道生态环境用水量的一种方法,河道流量推荐值以预先确定的年平均流量的百分数为基础^[30]。该法通常作为在优先度不高的河段研究河道流量推荐值使用,或作为其他方法的一种检验。该法在美国16个州使用^[31]。

(2)水力学法 ①R2CROSS 法 在计算河道流量推荐值时,由河流几何形态决定的水深、河宽、流速等因素必须加以考虑^[32]。具有两个标准:一是湿周率,二是保持一定比例栖息地类型所需的河流宽度、平均水深以及平均流速等。R2CROSS 法以曼宁公式为基础,由于必须对河流的断面进行实地调查,才能确定有关的参数,所以这种方法比标准设定法难以应用。该法在美国6个州使用。②湿周法 该法的依据是基于以下假设:即保护好临界区域的水生生物栖息地的湿周,也将对非临界区域的栖息地提供足够的保护^[33]。利用湿周(指水面以下河床横断面的线性长度)作为栖息地的质量指标来估算河道内流量值,通过在临界的栖息地(通常大部分是浅滩)现场搜集河道的几何尺寸和流量数据,并以临界的栖息地类型作为河流的其余部分的栖息地指标。河道的形状影

响分析结果。该法需要确定湿周与流量之间的关系。这种关系可从多个河道断面的几何尺寸——流量关系实测数据经验推求,或从单一河道断面一组几何尺寸——流量数据中计算得出。推荐值依据湿周——流量关系曲线中的变化点的位置来确定。该法在美国6个州使用。

(3) 栖息地法 ①IFIM IFIM(Instream flow incremental methodology, IFIM)法是应用比较广泛计算环境需水量的方法^[34-35]。IFIM根据现场数据如水深、河流基质类型、流速等,采用PHABSIM(Physical habitat simulation)模型模拟流速变化和栖息地类型的关系,通过水力学数据和生物学信息的结合,决定适合于一定流量的主要的水生生物及栖息地。该法在美国24个州使用。Orth D J^[36]认为由于IFIM法所需要的定量化的生物资料的缺乏,使这种方法的应用受到一定的限制。King J M^[37]指出,传统的IFIM法将其重点放在一些河流生物物种的保护,而没有考虑诸如河流规划以及包括河流两岸在内的整个河流生态系统,由此计算出的推荐的流量范围值,并不符合整个河流的管理要求。②CASIMIR法

CASIMIR(Computer aided simulation model for instream flow requirements in diverted stream)法^[38],基于现场数据——流量在空间和时间上的变化,采用FST^[39]建立水力学模型、流量变化、被选定的生物类型之间的关系,估算主要水生生物的数量、规模,并可模拟水电站的经济损失。

上述三种估算流量的方法在数据要求、选择流量所采用的方法、生态方面的假设以及对河流水力学方面的影响,都有一定的区别。标准设定法是通过按比例缩小河流的宽度、深度和流速,从而得到的一个平均流量,标准设定法比较容易应用并得到一个流量的估计值。水力学方法集中在保留河道具有足够的水量,保持河流的基本形态。栖息地法的特点是说明栖息地如何随着河流水量的变化而变化,虽然提供了一种非常灵活的估计河流流量的方法,但不容易被应用。

河流生态需水量并不仅仅限于河内生态需水量,而是以整个河流为研究对象。包括上、中、下游,甚至于河口。Gary L^[40]认为河流生态需水量既要考虑上游给下游的下泄水量,又要考虑注入河口的水量。因为只有稳定的河水注入河口海湾,才能保证许多特殊物种的淡水需求。一些主要河流的河口海域,往往具有特有的栖息环境和饵料来源,因而其种群数量及生物多样性特征也具有一定的特殊性。然而,计算河口海域的生态环境需水量相当复杂,有人建议用含盐量指标变化作为计算依据,有人建议用温度指标变化作为计算依据,还有的建议用饵料质量指标变化作为计算依据,但至今尚未见到比较公认的方法或标准。

在我国,关于这方面的研究不够深入和完善,基本停留在定性分析和宏观定量分析阶段。其研究大致可分为三个阶段:

(1)20 世纪 70 年代末开始研究探讨河流最小流量问题。主要集中在河流最小流量确定方法的研究方面。

(2)20 世纪 80 年代,针对水污染日益严重的问题,国务院环境保护委员会《关于防治水污染技术政策的规定》指出:在水资源规划时,要保证为改善水质所需的环境用水。主要集中在宏观战略方面的研究,对如何实施,如何管理处于探索阶段。

(3)20 世纪 90 年代以来,针对黄河断流、水污染严重等问题,水利部提出在水资源配置中应考虑生态环境用水。

主要的研究成果可归结为:

①基于河流、湖泊、湿地、沼泽各项基本功能的生态环境需水量的研究^[41-48]。

②对西北干旱区、半干旱地区生态需水量及环境需水量的探讨与宏观定量研究^[49-51]。

③根据水资源开发利用与生态环境的关系,从水资源供需平衡的角度研究河道生态环境需水量^[6,52]。

④对非汛期最小流量、水土保持、冲沙水量等的河流系统生态环境需水量研究^[53-54]。

§ 1.2.1.3 陆地生态环境需水量计算

依据《21 世纪中国可持续发展水资源战略研究》界定的狭义的生态环境需水量所包含的内容,这里的陆地生态环境需水量主要是指“保护和恢复内陆河流下游的天然植被及生态环境;水土保持及水保范围之外的林草植被建设”需水量。

植被生态需水量主要包括天然植被和人工植被的生态需水量。早在 20 世纪 20 年代,人们就开始了作物需水量的试验研究,在试验研究的基础上提出了作物需水量的概念^[55],并建立了不同条件下作物需水量的计算和预报模型^[56]。另外,在森林和草地耗水量研究方面,也取得了一定的进展,并形成了相应的计算方法和模式^[57]。目前,我国学者的研究主要集中在干旱区生态用水的概念、分类和计算方法等方面^[58],但对生态需水量的概念和计算方法的研究较少。在林业生产中要估算林木需水量,魏天兴^[59]认为,林木需水量是指在水分适宜时,枝叶面蒸腾和其地面土壤蒸发到大气中去的水分总量,因此也称林木生理需水量或生态需水量。张远^[60-61]从树木生长强度与土壤水分含量、蒸散量的相关关系出发,提出了林地生态需水量的等级标准和计算方法,并以黄淮海地区为例,利用 GIS 技术对该地区林地生态需水量进行了估算。梁季阳等^[62]根据柴达木盆地的生态条件,认为生态用水主要由维持植被稳定和地下水均衡稳定的生态