

疏勒河中游绿洲生态环境需水研究

——Ⅱ.生态环境需水量与水资源管理对策

孙栋元¹, 杨俊², 胡想全¹, 金彦兆¹, 张云亮¹

(1. 甘肃省水利科学研究院, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省水利厅水土保持局, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 基于疏勒河中游绿洲不同生态环境需水量类型的计算, 估算了流域绿洲生态环境需水规模。计算结果表明, 疏勒河中游绿洲最大、最小和最适生态环境需水量分别为 $7.22 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $5.58 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $7.09 \times 10^8 \text{ m}^3$, 分别占疏勒河中游绿洲水资源总量 ($15.65 \times 10^8 \text{ m}^3$) 的 46.4%、35.7% 与 45.3%。在不考虑河流输沙和考虑输沙需水量的情况下, 疏勒河河流生态环境需水量分别为 $2.49 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $2.62 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。提出了基于水资源合理配置的生态需水调控与管理、节水型社会建设、信息化管理技术、法律法规和政策体系的水资源管理对策。

关键词: 生态环境需水量; 水资源; 管理对策; 疏勒河中游

中图分类号: TV213.4; X143; X171 **文献标志码:** A

Research on the oasis eco-environmental water requirements in middle reaches of Shulehe River

——Eco-environmental water requirements and management countermeasures of water resources

SUN Dong-yuan¹, YANG Jun², HU Xiang-quan¹, JIN Yan-zhao¹, ZHANG Yun-liang¹

(1. Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou 730000, China;

2. The Soil and Water Conservation Bureau of Water Resources Department of Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on the calculation for different types of oasis eco-environmental water requirements in middle reaches of Shulehe River, estimated the water requirements scale of oasis eco-environment. The calculated results indicated that the maximal, minimal and the most suitable eco-environmental water requirements were $7.22 \times 10^8 \text{ m}^3$, $5.58 \times 10^8 \text{ m}^3$ and $7.09 \times 10^8 \text{ m}^3$ respectively, which was occupied 46.4%, 35.7% and 45.3% of the gross amount of water resources ($15.65 \times 10^8 \text{ m}^3$) in middle reaches of Shulehe River respectively. Under the conditions without consider and consider the water requirements for sand transportation, the eco-environmental water requirement in Shulehe River was $2.49 \times 10^8 \text{ m}^3$ and $2.62 \times 10^8 \text{ m}^3$ respectively. However, put forward the management countermeasures for water resources as regulation and management of ecological water requirements base on rational allocation of water resources, construction of water - saving society, information management technology, laws and regulations and policy system.

Keywords: eco-environmental water requirements; water resources; management countermeasures; the middle reaches of Shulehe River

生态需水研究是流域水资源配置中重要研究方面之一, 而生态环境需水量是水资源管理中的实际应用问题, 通过对区域生态需水量的计算, 分析生态需水所占水资源总量比例, 从而为区域生态水量配置、水资源合理分配以及水资源合理规划提供参考依据和技术支撑^[1-7]。由于生态环境需水量理论和计算方法层次不齐, 缺乏完善的定量计算方法和系

统评价指标体系^[5-8], 尤其在干旱内陆河流域绿洲, 由于独特的地理位置与生态环境状况, 以及上、中、下游不同的水资源状况、水文地质条件和河流生态功能等方面的差异, 再加之人类活动过度干扰, 水资源的严重短缺, 使得绿洲生态环境需水计算存在一定问题, 影响了流域生态水量的有效配置, 同时也给生态环境需水在水资源管理中的配置带来了一定难

收稿日期: 2015-12-19

基金项目: 国家自然科学基金项目“疏勒河流域中游绿洲生态需水过程与阈值研究”(51369004)和“气候与土地利用变化对石羊河流域水资源影响研究”(51369003); 水利部公益性行业科研专项“疏勒河中游绿洲水—经济—生态系统耦合调控技术”(201301081)

作者简介: 孙栋元(1978—), 男, 甘肃民乐人, 博士, 高级工程师, 主要从事水文、水资源方面的研究。E-mail: gsausundly@126.com。

度^[6,9]。因此,在计算干旱内陆河流域绿洲生态环境需水时应根据流域绿洲生态环境存在问题和生态环境需水类型进行计算,从而更加准确反映内陆河流域生态环境需水状况。因此,本文选取疏勒河流域中游绿洲为研究区,计算不同类型的生态环境需水量,估算了流域绿洲生态环境需水规模,确定流域绿洲适宜的生态环境需水量,从而为流域中游绿洲生态水量有效配置和水资源合理分配提供参考依据。

表1 疏勒河流域中游绿洲区2013年不同植被类型生态最小需水量

Table 1 Minimal ecologic water requirements in 2013 for different vegetation types in the middle reaches of Shulehe River Basin

土地利用类型 Land use types	单位面积最小需水量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$ Minimal water requirements per unit area	面积/ hm^2 Area	需水量/ 10^8m^3 Water requirements
有林地 Forest land	5045.44	560.97	0.03
灌木林地 Shrub forest land	1067.77	7570.44	0.08
疏林地 Open forest land	320.72	6000.58	0.02
其它林地 Others forest land	35.70	712.97	0.00
高覆盖度草地 High degree of coverage grassland	2822.37	31079.89	0.88
中覆盖度草地 Middle degree of coverage grassland	1067.77	76668.27	0.82
低覆盖度草地 Low degree of coverage grassland	35.70	194675.62	0.07
总计 Total		317268.74	1.90

从表1可以看出,单位面积最低生态需水量排序为有林地>高覆盖度草地>灌木林地和中覆盖度草地>疏林地>其它林地和低覆盖度草地,而有林地最高为 $5\,045.44 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,其它林地和低覆盖度草地最低仅为 $35.7 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。同时植被类型面积排序为低覆盖度草地>中覆盖度草地>高覆盖度草地>灌木林地>疏林地>其它林地>有林地,表明2013年疏勒河中游绿洲区天然生态系统植被类型以草地与灌木林地为主。

1.2 河流生态环境需水量估算

1.2.1 河流基本生态环境需水量 通过疏勒河中游生态基流计算,得出疏勒河基本生态环境需水量为 $1.00 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。采用Tennant法(表2),取疏勒河干流多年平均(1953—2010年)年径流量 $9.48 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的百分比作为河道基本生态环境需水量,本文取10%,计算出河流生态基流为 $0.95 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。因此,取二者平均值 $0.98 \times 10^8 \text{ m}^3$ 作为疏勒河河流基本生态环境需水量。

1.2.2 河流输沙需水量 利用疏勒河流域中游潘家庄水文站含沙量统计数据,计算得出潘家庄水文站处输沙需水量作为疏勒河流域中游河流输沙需水量。潘家庄水文站处多年平均输沙量为 $203.01 \times 10^4 \text{ m}^3$,最大月平均含沙量 $53.86 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。根据河流

1 不同类型的生态环境需水量估算

1.1 天然植被生态环境需水量估算

根据确定的天然植被生态环境需水计算方法,结合2013年疏勒河中游绿洲土地利用类型,从而计算出2013年疏勒河流域中游绿洲区维护植被生态环境需水量为 $1.90 \times 10^8 \text{ m}^3$ (表1)。按不同植被计算的生态需水量,2013年林地需水量为 $0.13 \times 10^8 \text{ m}^3$,占6.84%,草地为 $1.77 \times 10^8 \text{ m}^3$,占93.16%。

输沙生态环境需水量计算方法,计算得出潘家庄水文站处输沙需水量为 $1.11 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。因此,疏勒河流域中游河流输沙需水量为 $1.11 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

1.2.3 河流渗漏补给需水量 疏勒河干流中游长124 km,根据收集资料得到疏勒河中游渗透系数、水力坡度和含水层厚度平均值分别为15.28 m、0.003 m和20 m,确定时间为365 d,并根据河流渗漏补给需水量计算方法,计算得到入渗量为 $0.83 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

表2 Tennant法计算疏勒河生态环境基流

Table 2 The eco-environmental base flow in Shulehe River calculated by the Tennant method

年径流量的百分比/% Ratio of annual runoff	基本生态环境需水量/ 10^8m^3 Basic eco-environmental water requirement
10	0.948
20	1.896
30	2.844
40	3.792
50	4.740
60	5.688
70	6.636
80	7.584
90	8.532
100	9.480

1.2.4 河流水面蒸发生态需水量 疏勒河流域中游多年平均降水量为 63.78 mm, 多年蒸发量 2 704.87 mm。根据清华大学玉门试验站观测资料, 通过累计潜水蒸发量和累积蒸发皿蒸发量计算得出

水面蒸发折算系数为 0.59。因此根据河流水面蒸发生态需水量计算方法, 计算得 2013 年河流水面蒸发生态需水量为 $0.68 \times 10^8 \text{ m}^3$ (表 3)。

表 3 疏勒河中游绿洲区水域蒸发需水量计算结果表

Table 3 Calculated results of water requirements for evaporation in middle reaches of Shulehe River

水域类型 Water area type	面积 Area /hm ²	平均降水 Average precipitation/mm	蒸发量 Evaporation /mm	水面蒸发折算系数 Conversion factor of water surface evaporation	蒸发需水量 Evaporation water requirement/ 10^8 m^3
河渠 River and canal	4414.94				0.68
湖泊 Lake	425.76				0.07
水库 Reservoir	2522.33	63.78	2704.87	0.59	0.39
沼泽 Marsh	14629.13				2.24
合计 Total	21992.16				3.38

1.2.5 河流生态环境需水总量 通过计算, 在不考虑河流输沙需水量时, 河流生态环境需水量由河流基本生态、河道渗漏补给和河流水面蒸发需水量组成, 其值为 $2.49 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中河流基本生态环境需水量占河流生态环境需水量的 39.4%, 渗漏补给需水量与水面蒸发环境需水量分别占 33.3%、27.3% (表 4)。在考虑输沙需水量时, 河流生态环境需水量由河流输沙、河道渗漏补给和河流水面蒸发需水量组成, 其值为 $2.62 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中河流输沙生态环境需水量占河流生态环境需水总量的 42.4%, 河道渗漏补给需水量占 31.6%, 河流水面蒸发生态需水

量占 26.0% (表 4)。

1.3 湿地生态环境需水量估算

依据湿地生态环境需水量计算方法, 计算得到 2013 年湿地生态环境需水量为 $2.70 \times 10^8 \text{ m}^3$ (表 3), 其中沼泽生态环境需水量为 $2.24 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占湿地生态环境需水量的 83.0%, 水库生态环境需水量为 $0.39 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占湿地生态环境需水量的 14.4%, 湖泊生态环境需水量为 $0.07 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占湿地生态环境需水量的 2.6%, 说明在疏勒河中游绿洲区沼泽地所占比例相对较大, 应进一步加强湿地保护。

表 4 疏勒河中游绿洲区生态环境需水总量表

Table 4 Total eco-environmental water requirements in middle reaches of Shulehe River

生态环境需水量组成 Eco-environmental water requirement factor	水量 Water quantity/ 10^8 m^3
天然植被生态环境需水量 Eco-environmental water requirements of natural vegetation	1.90
基本生态环境需水量 Basic eco-environmental water requirements	0.98
输沙环境需水量 Environment water requirements for sand transportation	1.11
河道渗漏补给需水量 Water requirements for recharge river bed seepage	0.83
水面蒸发生态环境需水量 Eco-environmental water requirements for water surface evaporation	0.68
湿地生态环境需水量 Marsh eco-environmental water requirements	2.70

1.4 生态环境需水总量估算

基于不同的生态保护目标, 设定不同生态需水情景计算生态环境需水总量, 分别设定情景 1 为最大生态需水量, 情景 2 为最小生态需水量和情景 3 为最适生态需水量。根据设定情景, 分别计算疏勒河中游绿洲生态环境需水的最大值、最小值及最适值。

最大生态环境需水量: 若生态环境保护目标包括保证疏勒河河道水沙平衡, 即考虑输沙环境需水量, 由表 4 可知: 在保证输沙需水的前提下, 河流基

本生态环境需水量可以得到满足^[9]。因此, 疏勒河流域中游绿洲生态环境需水总量由天然植被、河流输沙、河道渗漏补给、河流水面蒸发、湿地生态环境需水量组成。计算得到 2013 年疏勒河流域中游绿洲区生态环境需水量最大值为 $7.22 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

最小生态环境需水量: 若生态环境保护目标是仅保证天然植被与湿地生态环境需水量, 则疏勒河流域中游绿洲生态环境需水总量由天然植被、河流基本生态和湿地生态环境需水量组成。计算得到 2013 年疏勒河流域中游绿洲区生态环境需水量最

小值为 $5.58 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

最适生态环境需水量:若生态环境保护目标为天然生态系统需水量,则疏勒河流域平原区生态环境需水总量由天然植被、河流基本生态、河道渗漏补给、河流水面蒸发、湿地和生态环境需水量组成。计算得到2013年疏勒河流域中游绿洲区生态环境需水量最适值为 $7.09 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2 水资源管理对策

2.1 基于水资源合理配置的生态需水调控与管理

生态环境需水作为内陆河流域绿洲水资源管理的重要部分,在水资源配置中不容忽视。根据疏勒河流域生态环境保护目标与要求,结合《敦煌水资源合理利用与生态保护综合规划》中双塔水库、双墩子断面和玉门关断面确定的不同水平年下泄生态水量目标以及桥子生态供水工程、党河下游河道恢复与归束工程和月牙泉持续恢复工程等生态恢复工程,进一步确定和细化流域绿洲生态环境综合治理的水资源开发、分配和管理方案,建立各县(区)和区域合理的水工程调度运行与管理模式,满足流域生态环境用水量。根据疏勒河流域绿洲生态保护和生态恢复目标以及敦煌规划确定的生态功能分区和甘肃瓜州极旱荒漠国家级自然保护区保护目标,进一步对区域生态需水进行细化分区,确定生态环境治理重点区和不同保护目标下流域绿洲适宜生态需水量及生态需水阈值^[10]。由疏勒河流域管理局负责对流域水资源进行统一管理和调度,结合甘肃省水权试点方案,通过各市县积极配合,提出流域绿洲水权、水量分配方案,进一步明确流域绿洲生态水权、水量分配方案,制定年度生态用水计划,建立并完善流域绿洲年度用水计划制度,建立健全计划用水的监督机制。根据流域来水情况,依据批准的水权分配方案,结合节水工程进度和用水实际,编制疏勒河流域年度水量调度预案,依据实际来水和降水情况,在丰水年及平水年,保持经济社会各行业用水稳定,增加或维持生态用水;枯水年份,经济社会各行业按保证重点、压缩一般的原则进行水量调度。水量调度根据工程实施进度,按照分步实施、逐步到位原则,保证阶段下泄水量指标,实现区域生态水量的合理调控与管理,从而促进区域生态环境健康可持续发展。

2.2 基于节水型社会建设的区域水资源管理

建设节水型社会,是区域水资源高效管理的有效方式,同时也是缓解区域水资源短缺有效方式之一。通过大力推进疏勒河流域以渠道衬砌、管灌、滴灌等常规节水以及高效节水的农业节水灌溉,工业、

居民生活、城市绿化等方面节水模式与措施,配合甘肃省河西走廊国家级高效节水灌溉示范项目,进一步促进流域绿洲节水型社会建设,提高水资源利用效率,实现区域节水目标,为区域水资源综合管理提供技术支撑。根据流域水资源状况,结合《敦煌水资源合理利用与生态保护综合规划》中关于实施昌马灌区、双塔灌区和党河灌区节水改造工程等节水型社会建设举措,结合流域绿洲经济发展优势产业与特色产业,细化各市县节水型社会建设水资源控制指标,进一步确定与论证经济发展规模布局与流域水资源关系,促进以经济建设与生态建设协调发展的节水型社会建设,完善流域绿洲水权交易机制与交易平台,建立流域绿洲节水奖励机制,使得用水户获得节水回报,促使水资源的二次分配与配置。进一步在流域加快渠系配套改造、安装水量精量计量设施及推广农业灌溉技术,完成对各区域水资源精量控制;加强农业用水管理,制定合理的农业用水水价政策,满足流域绿洲水价改革需求。在节约用水中进一步加强水资源综合管理,实现水资源量与质的优化配置,从而促进流域绿洲生态与经济的协调可持续发展。

2.3 基于信息化管理技术的水资源管理

针对疏勒河流域水资源分布特点,通过远程河水水情(水位、流量)测报系统、渠道自动取水计量管理系统、节水管理信息系统、地下水(水位、水量)监测管理系统、流域降水观测系统、水质监测分析系统等可以有效实施水库风险管理,充分利用洪水资源,合理配置水资源,提高灌区管理水平,为加强水资源管理提供技术支撑。通过对区域地下水井位建档管理,规范地下水取水程序。根据流域地下水计量设施系统,实现水量计量、自动控制、分级分层管理,实现对地下水开采的有效控制管理。为了保障区域水资源合理配置,明确区域水权水量,水管部门必须及时掌握来水、用水情况,准确配水,加强配水工程体系建设,硬件上要做到“量能计得准,水能按时到”,应在重点加强灌区水利工程建设的同时,对工业、生态等配水工程进行积极扶持、建设,切实加强水污染治理工程的实施,确保区域水资源可持续利用。进一步加强管理手段、管理规程建设,积极通过水资源公报、年报、取水许可年审等手段,对区域水资源进行动态管理与综合评价。

2.4 基于法律法规和政策体系的水资源管理

根据疏勒河流域各行各业水资源利用状况,加快并出台《甘肃省疏勒河流域水资源管理条例》,开展疏勒河流域水权、水价和水市场等方面的法律法

规和政策体系研究,探索和建立流域绿洲水资源在各行各业和各用水户之间自由交易的市场运作模式、机制及相应的政策支撑体系,完善流域绿洲水权制度建设,为疏勒河流域水市场的建立、水权分配及规范水市场等方面提供重要的法律和政策依据^[10-11]。由于内陆河流域水资源管理的特殊性,应研究和制定水资源管理的专门法规,明确提出适合内陆河流域水资源管理的法规体系,明晰水资源管理权限、完善职能分工与任务,切实实现流域水资源的高效管理,同时结合疏勒河流域实际情况,制定相关的流域水资源管理法规与政策。进一步加强流域绿洲水安全政策、水资源监控能力和执法监督体系研究与建设,提出疏勒河流域绿洲水安全运行模式、水资源监控模式以及执法监督管理模式,提出适合区域水资源安全的保障体系与政策法规,切实保障流域绿洲水资源的高效配置与合理分配利用,不断提高流域水安全水平和法制化水平^[10-11]。

3 结论与讨论

根据所建模型,计算得出疏勒河中游绿洲最大、最小和最适生态环境需水量分别为 $7.22 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $5.58 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $7.09 \times 10^8 \text{ m}^3$,分别占疏勒河中游绿洲区水资源总量($15.65 \times 10^8 \text{ m}^3$)的 46.4%、35.7% 与 45.3%。结果表明:疏勒河中游绿洲区生态环境需水量相对较低,不足流域水资源总量的一半,因此在流域绿洲水资源配置中应提高生态用水的比例,满足流域绿洲生态需水需求,改善绿洲生态环境,促进绿洲生态系统健康持续发展。

关于疏勒河中游绿洲生态需水的研究相对较少,仅有很少学者对疏勒河流域湖泊湿地生态需水量进行了研究与计算。此研究从植被、河流和湿地等方面估算了疏勒河中游生态环境需水量,为区域生态环境保护和恢复以及水资源综合管理和优化配置提供一定参考依据。由于计算区域相对较大,涉及计算方法相对较多,选取参数也相对较多,在参数选取过程中,尽量考虑区域环境特点,选取有代表性气象站与水文站数据,同时植被需水相关参数选取结合研究区分布的主要植物以及有关疏勒河流域主要植物生长状况与地下水位关系的相关研究成果,力求使计算结果准确、可靠,接近疏勒河中游绿洲生态需水的实际情况。

河道内生态环境需水受河床岩性、河道输水流量、河道水文特性等因素的影响,但属于可控制生态环境用水,为了满足河流生态环境的功能,在流域绿洲水资源配置中,应优先满足,而河道外生态环境需水受降水、经济社会用水以及人类活动等因素影响,相对比较复杂,在流域绿洲水资源配置中,应综合考虑进行配置。在不考虑和考虑河流输沙需水量时,疏勒河生态环境需水量分别为 $2.47 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $2.60 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

为了保障流域生态安全和水资源可持续开发利用,应加强流域水资源综合管理,合理调配有限水资源,进一步探讨基于生态环境需水调控与管理、节水型社会建设、信息化管理技术和法律法规以及政策体系的流域水资源管理对策,同时流域生态环境需水研究应基于水—生态—经济耦合的水资源合理配置理论和方法,结合流域水文模型、生态系统模型和经济系统模型的综合集成,从而达到高效利用和合理配置有限的水资源,实现水资源与生态环境的协调可持续发展,从而为经济社会的快速发展提供基础支撑。

参考文献:

- [1] 丰华丽,夏军,占车生.生态环境需水研究现状和展望[J].地理科学进展,2003,22(6):591-598.
- [2] 李九一,李丽娟,姜德娟,等.沼泽湿地生态储水量及生态需水量计算方法探讨[J].地理学报,2006,61(3):289-296.
- [3] 冯夏清,章光新.湿地生态需水研究进展[J].生态学杂志,2008,27(12):2228-2234.
- [4] 王西琴,刘昌明,杨志峰.河道最小环境需水量确定方法及其应用研究(Ⅰ)—理论[J].环境科学学报,2001,21(5):544-547.
- [5] 王西琴,杨志峰,刘昌明.河道最小环境需水量确定方法及其应用研究(Ⅱ)—应用[J].环境科学学报,2001,21(5):548-552.
- [6] 张远,杨志峰,王西琴.河道生态环境分区需水量的计算方法与实例分析[J].环境科学学报,2005,25(4):429-435.
- [7] 吉利娜,刘苏峡,王新春.湿周法估算河道内最小生态需水量——以滦河水系为例[J].地理科学进展,2010,29(3):287-291.
- [8] 杨志峰,崔保山,刘静玲,等.生态环境需水量理论、方法与实践[M].北京:科学出版社,2003.
- [9] 孙栋元,赵成义,魏恒,等.干旱内陆河流域平原区生态环境需水分析——以新疆自治区台兰河流域为例[J].水土保持通报,2011,31(4):82-88.
- [10] 孙栋元,金彦兆,李元红,等.干旱内陆河流域水资源管理模式研究[J].中国农村水利水电,2015,(1):80-85.
- [11] 李锋瑞,刘七军,李光棣.干旱区流域水资源集成管理的基础理论与创新思路[J].冰川冻土,2009,31(2):318-327.