

文章编号:0559-9350(2020)09-1009-06

水循环视角下的黄河流域生态保护关键问题

王浩, 胡鹏

(中国水利水电科学研究院 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038)

摘要: 流域作为陆地水循环的基本单元, 其在生态保护修复中的地位和作用越来越得到重视。随着人类活动影响的加剧, 流域水循环逐步演变为“自然-社会”二元模式, 流域生态系统也在结构和功能上逐步转化为自然-社会复合结构和功能。本文基于对自然-社会二元水循环与流域生态保护关系的分析, 针对黄河流域生态本底和特征, 分别从空间格局和时间过程上提出了维护黄河流域生态系统完整性的主要原则和重点, 并针对三江源区、祁连山-秦岭、黄土高原、黄河三角洲几个流域生态保护重点区域, 分析了各区域目前存在的主要问题, 提出了下一阶段保护治理的措施建议, 以消耗一定的水资源为代价, 实现坦化水循环极值性、大幅度减少冲沙用水、恢复自然生态三大功效, 促进黄河流域生态保护和高质量发展。

关键词: 流域生态保护; 二元水循环; 生态系统; 生态完整性; 黄河流域

中图分类号: X37

文献标识码: A

doi: 10.13243/j.cnki.slxb.20200675

1 自然-社会二元水循环与流域生态保护的关系

流域作为由分水岭形成的空间单元, 既是陆地水循环的基本单元, 也是生态保护治理的最佳单元。随着人类活动对流域水循环和流域生态系统影响的加剧, 自然-社会二元水循环与流域生态保护呈现愈发紧密的关系, 突出表现在以下4个方面。

(1) 水是山水林田湖草生命共同体的纽带和脉络。从空间属性上, 一个流域主要包含自然斑块、农田斑块、城镇斑块3大类空间斑块。其中, 自然斑块包含了森林、草地、河流、湖泊湿地、荒漠、冰川裸地等地表覆盖类型, 主要发挥气候调节、固碳释氧、物质循环等生态功能; 农田斑块是经过人工改造后的作物种植区, 兼具生态空间和生产空间的功能; 城镇斑块主要是人类的集中居住地, 在各类空间中面积占比最小, 但却是人类主要的生活和生产空间。3类斑块共同分布于山地和平原基底之上, 形成“山水林田湖草”生命共同体。在这个共同体中, 山是水的发源地, 是集成的产水区和汇流区; 林和草是水的涵养地, 虽然其自身的生长需要消耗一部分水资源, 但能起到对径流削峰补枯的作用, 保障生命共同体不同季节对于水的需求; 湖泊和湿地承接水流, 是水的积蓄地, 起到蓄滞洪水、降解污染的作用; 田和城, 是水的使用地和耗散地。各个斑块被流域干支流水系通道联系起来, 成为一个有机的整体。所以在流域生态保护中, 要以水为脉, 通过水将森林、草地、河湖、农田、城市等要素串联起来, 进行系统治理, 这是黄河流域生态保护的出发点和归宿点。

(2) 不同区域的水分条件决定了陆域生态系统格局。光照、温度和水分是决定陆域生态系统类型和特征的三大要素; 其中, 光照和温度属于能量环境因子, 水是最重要的物质环境因子。黄河由西向东, 流经我国的三大阶地, 贯穿青藏高原、黄土高原、华北平原、环渤海地区, 跨越干旱、半干

收稿日期: 2020-08-25; 网络首发时间: 2020-09-09

网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1882.TV.20200908.1017.001.html>

基金项目: 国家重点研发计划课题(2017YFC0404503, 2016YFC0401302); 国家自然科学基金项目(51625904); 中国水科院基本科研业务费项目(WR0145B522017)

作者简介: 王浩(1953-), 中国工程院院士, 主要从事水文水资源研究。E-mail: wanghao@iwhr.com

旱、半湿润等多个气候带和温带、暖温带等多个温度带，水分条件直接决定了流域的生态格局。在降水量 200 mm 以下的干旱区，主要植被类型是草地和荒漠；降水量 200~400 mm 的半干旱区，主要植被是疏林草原和灌丛；降水量 400~800 mm 的半湿润区，主要植被类型是落叶林和草甸草原。因此，在流域生态保护和治理中，对于不同降水条件的区域，要秉承宜草则草、宜林则林的原则，以自然封育为主，避免盲目、不科学的植树造林。

(3)水的多维属性奠定水域生态系统基础和保护修复框架。水具有强极性，介电常数高达 81，弱极性的碳氢化合物才能在水的环境下形成和进化，不至于溶解其中，最终形成碳水化合物和生命。水在结冰时，每个水分子与另外三个水分子结合形成正四面体结构，造成体积膨胀而变轻，“冰轻水重”使得漂浮的冰层覆盖于水体表面，保证了底部水体具有较好的越冬环境。水无色透明，对可见光的吸收比较小，使深水植物也能发生光合作用，从而维护着湖泊和海洋深处的水生态系统。也正是由于水的高热容性、高热传导性、强极性、弱黏滞性等特性，使得水成为工业生产中冷却、洗涤、溶解、热循环和化学反应等的重要介质和农业生产中的必备条件。人类出于自身安全保障、经济社会发展、人居环境改善等方面的需求，对水进行了多种形式的开发利用，对水体及其赋存的河湖生态系统造成了重要影响，概括起来，主要包括水量的消耗、水质的污染、水域空间的挤占和水流连通性的阻隔 4 个方面。因此，对于流域水生态系统的保护修复，也要从这 4 方面着手，将人类活动的影响控制在水生态系统可承载的范围之内。

(4)自然-社会二元水循环结构决定了流域生态保护的二元性。在没有人类之前，地球上水循环的主要形式为自然水循环模式；有了人类以后，温室气体排放、下垫面改变和人工取用排水使得水循环过程逐渐演变为“自然-社会”二元水循环模式。自然水循环的四大过程(大气过程、地表过程、土壤过程和地下过程)和社会水循环的六大过程(取水、输水、用水、排水、污水处理和再生回用)共同组成了完整的流域水循环过程^[1]。其中，自然水循环的主要通道是河流水系，社会水循环的主要通道是城市管网和农田灌排系统。由于水循环的二元结构，以水为脉的流域生态保护也具有显著的二元性。其中对于自然水循环的管控一方面是要保持水资源的可再生性，即尽可能的保持产水量稳定而不衰减；另一方面是要坦化丰枯过程的极值性，通过加强陆域生态涵养保护，可实现这两方面目的。对社会水循环的管控则一方面是节水和高效利用，尽可能减少从自然水循环的取用水量，把更多的水留给生态；另一方面是社会水循环用水后要尽可能少地向自然水循环排污。

2 黄河流域空间格局与时间过程的生态完整性

所谓生态系统的完整性，是指构成生态系统的组成成分，包括非生物的物质和能量、生产者、消费者、分解者，各个成分是紧密联系的，形成了具有一定功能的有机整体^[2]。随着人类社会对生态系统的影响逐步加剧，融合逐步深入，流域生态系统已逐渐变为社会经济-自然复合系统，其功能也从单一的自然生态功能向社会经济-自然复合功能转变。维持黄河流域生态系统的完整性，重点是维护好空间格局和时间过程两方面的完整性。

2.1 空间格局的完整性 维护流域空间格局完整性的指导思想是“以水定地”和“人与自然共生”，做好生态保护和高质量发展的平衡，重点是科学划定和管控生活、生产和生态空间。“以水定地”要求按照水的形成过程、运动规律、水分条件及承载力，确定国土空间类型、规模、效率指标。“人与自然共生”则鼓励生态空间在不影响生态功能下的适度社会经济活动，以及社会经济空间的生态系统完整性。在生态空间要大力加强生态保护，建设生态流域，兼顾生态产业扶持和脱贫致富；在农村、城镇空间要实现高质量发展，大力推进高附加值的生态农业产业和生态海绵型城市建设。

在此过程中需注意 4 个方面的平衡。一是水土平衡。水作为最核心的国土空间要素，不能消极地一片天对一片地，而是要积极实施空间均衡与调配，拓展流域发展和保护空间。二是水量平衡。坚持以水定城、以水定地、以水定人、以水定产，不要突破水资源和自然资源的承载能力，不要过度开发。三是水化学平衡。处处守土有责，任何一个区域不能让污染物的排放超过处理能力，发展排

出的污染物要就地消灭，就地解决。四是空间平衡。生活空间、生产空间和生态空间要界定合理的阈值和边界。

伴随高程梯度、温度梯度、水分梯度、泥沙梯度、人类活动强弱等的变化，黄河从河源到河口形成了复杂交织的“一廊五区”生态空间格局。其中，“一廊”指黄河干流廊道，“五区”分别指黄河源区、河套灌区、黄土高原水土流失区、下游滩区和黄河河口区。“一廊五区”具有特殊的生态服务功能与重要的生态产品供给能力，对流域水资源安全、水生态安全保护支撑作用突出，是流域生态保护与高质量发展的重要依托。“一廊五区”通过上下游水沙和水质变化等物理和化学过程驱动，形成了生态环境差异显著但环环相扣的交织态势，也是黄河流域生态保护和治理的关键区域。

2.2 时间过程的完整性 时间过程上，主要是维护好完整的河流生态需水过程，以此作为流域水资源合理配置和高效利用的前提。根据黄河流域特点，其河流生态需水过程可分为3个大的阶段，一是枯水期重点保障河流生态基流，二是植被生长、鱼类产卵的关键时期保障敏感生态需水，三是汛期保障高含沙河流的输沙造床洪水过程。

在生态基流方面，黄河流域虽然水资源总体短缺，但由于流域接近40%的径流量来自黄河源区^[3]，丰枯变化相对不剧烈，生态基流占多年平均径流量比重较大。根据对黄河流域干支流48个主要水文站点天然径流过程的分析，黄河流域枯水期(12月一次年3月)90%保证率的天然基流平均值占比为17%，非枯水期(4—11月)占比为28%，均为全国十大水资源一级区的最高水平。高基流占比在维护了黄河流域水生态系统较高质量的同时，也对流域生态流量调控保障提出了较高要求。

在敏感期生态需水方面，黄河流域内分布有6个国际重要湿地，167个各级自然保护区和13个国家级水产种质资源保护区。流域特有鱼类包括兰州鲇、黄河鲇、黄河鲤、乌鳢等，主要产卵繁殖期是4—7月份，在此期间需要较高的流量和流速刺激鱼类洄游、产卵以及维持漂流性卵的漂流孵化。根据对黄河流域鱼类产卵繁殖需求和不同地形条件径流特性的分析，黄河流域山区大型站点(集水面积 $\geq 10\ 000\ \text{km}^2$)在此期间的断面平均流速应达到1 m/s以上，平原区大型站点在此期间的平均流速应达到0.5 m/s以上；山区和平原区中小站点(集水面积 $< 10\ 000\ \text{km}^2$)在此期间的平均流速应分别达到0.6、0.3 m/s，方能满足流域鱼类产卵繁殖的需求，且满足要求的脉冲流量持续时间不短于7 d。而在重要湿地的生态需水保障方面，黄河流域的重要湖泊湿地，如乌梁素海、遗鸥保护区、黄河三角洲湿地等均面临与黄河干流水系阻隔或连通性不强的问题，需要在敏感期开展针对性的生态补水或水系连通工程。

在汛期输沙用水需求方面，在黄土高原水土保持和小浪底水库拦沙共同作用下，2000—2018年进入黄河下游年均沙量只有0.98亿t，较1960—1999年的年均沙量减少90%以上^[4]；且年均含沙量不足 $5.0\ \text{kg}/\text{m}^3$ ，下游河床从累积淤积抬升转为冲刷下切，主槽过流能力不断增加，平滩流量由2002年的不足 $2000\ \text{m}^3/\text{s}$ 已逐渐恢复到 $4300\ \text{m}^3/\text{s}$ 以上，中水河槽基本形成。但如何继续维持和扩大中水河槽，仍是下游河道治理的重中之重，需要结合全流域生态调度，保障汛期输沙造床流量需求，同时进一步加强河口至潼关区间的源头减沙工作。

3 黄河流域生态保护的挑战与任务

黄河流域生态保护是一项系统性工程，需要分区施策，抓住重点。从自然生态系统的角度，三江源区、祁连山-秦岭水源涵养带、黄土高原区和黄河三角洲是目前黄河流域生态保护和治理的重点区域。

3.1 三江源区草地退化与保护治理 通过对三江源区14个气象台站1956—2018年气温、降水资料分析发现，区域年均气温呈显著上升趋势，年降水量变化虽不如气温剧烈，总体仍处于波动上升态势。自2000年以来，三江源区年降水量和年均气温的增长幅度分别约为 $4.77\ \text{mm}/\text{a}$ 和 $0.11\ \text{℃}/\text{a}$ 。气候变化影响下，三江源区冻土深度呈下降趋势，1961—2017年间平均下降深度为 $0.45\ \text{mm}/\text{a}$ ；同时，季节性冻土的冻结期明显缩短，冻结时间推迟，完全融化日期提前。随着三江源区气温升高，冻土带

下移, 不饱和土壤包气带加厚, 导致同等降雨量下不产流, 而是在包气带里上下垂直运动时转化为蒸发, 出现雨量增加但径流量减少的情况, 如尕日得、天堂站 1995 年之后汛前降水显著增加, 但径流反而减少; 另一方面, 气温升高也会导致汛期冰川融雪径流增加, 弥补了局部地区降雨不足引起的产流减少。然而, 这种产流增加以消耗源区水资源调蓄能力为代价, 是不可持续的。

20 世纪三江源区植被主要呈退化趋势, 进入新世纪后, 随着保护区设立、气温上升、降水增加等因素, 植被生长状况呈上升趋势。而草场进化是一把双刃剑, 一方面增加了水分的涵养能力, 把丰枯的极值性调解得更为均匀; 另一方面草场进化, 生物量增加, 导致蒸散发量也增加, 产流均匀化的代价是损失一部分蓝水产水量。在草场进化的大背景下仍有大量草地发生退化, 青海省境内三江源区目前分别有 19.4% 的中度退化草地和 28.1% 的重度退化草地, 与未退化草地相比, 其水源涵养能力分别下降了 11.6% 和 28.0%^[5]。草场退化的根本原因是过度放牧, 牲畜优先把优质草、高草、口感好的草吃掉, 这部分草就丧失了遗传机会, 得到遗传机会的都是矮小草和毒草。年复一年, 植被群落结构趋向恶化, 草场就逐渐退化。

为此, 需要坚持以水定草, 以草定畜, 在科学评估区域水资源承载能力的基础上严格控制草地载畜量, 实现草畜平衡。具体保护治理措施方面, 一是因地制宜地开展天然草场的灌溉。三江源区降水年内分配严重不均, 冬春季节降水稀少, 难以满足植被生长需求。应考虑水源条件, 因地制宜推进基础设施建设, 改善天然草场灌溉条件, 遏制土壤沙化。二是全面实行天然草场的轮牧、禁牧。实施退牧还草工程, 保护天然草场, 实行划区轮牧、禁牧, 控制草场鼠虫害, 恢复草场生态。三是加强越冬牲畜的饲草料基地建设。立足“禁牧不禁养、减畜不减收”的目标, 种草与养畜相结合, 在条件适宜地区大力推进饲草料生产基地建设, 保障畜牧业生产安全。

3.2 祁连山-秦岭植被保护恢复 遥感数据解译表明, 1980—2018 年祁连山区林草地面积总体变化率为 -0.25%。其中, 林地从 16 593 km² 减至 16 568 km², 减少 25 km²; 草地从 86203 km² 减至 85 966 km², 减少 237 km²。虽然近 30 年来林草地总面积变化不大, 但天然林草地被侵占情况比较严重。1980—2018 年祁连山天然林草地保留率为 94.93%, 说明超过 5% 的天然林草地被侵占或退化。此外, 2018 年祁连山地区中高覆盖度林草地比例为 57.54%, 远低于 72% 的全国平均值。与祁连山区相似, 秦岭地区 1980—2018 年秦岭北坡区林草地面积变化不大 (-0.23%), 但天然林草地同样被严重侵占。1980—2018 年秦岭北坡区天然林草地保留率为 95.28%, 有 4.72% 的天然林草地被侵占或退化。

此外, 受人工林、道路、居民点、耕地、小水电站、旅游、矿产开发等活动的影响, 祁连山-秦岭生态空间破碎化严重, 野生物种尤其珍稀物种栖息地连通性不足, 物种分布面积萎缩, 种群发展扩散受到制约。从大熊猫栖息地来看, 现状整体质量并不高, 栖息地受损、退化、破碎化严重。隔离种群间的基因交流受到阻碍, 导致遗传多样性降低、种群质量下降, 个别区域小种群在应对突发的自然灾害面前甚至有消失的危险。

研究表明, 山区植被可以通过冠层截留、枯落物吸持、土壤层蓄水缓释等对降水进行有效截留和调蓄, 起到拦蓄洪水、调节径流和净化水质的作用。植被覆盖度每增加 1%, 区域洪峰流量可被削减 5%~10%, 枯水期流量可增加 1% 以上^[6]。为做好祁连山-秦岭植被保护恢复, 需要着力开展 3 个方面工作。首先, 确保生态空间完整性。依托祁连山国家公园试点建设, 科学划定并严守以水源涵养和生物多样性维护为主导生态功能的生态保护红线, 禁止在红线范围内乱采乱挖违建, 关停保护区内一切矿山探采活动, 建立保护区矿业权退出机制, 对矿业权项目进行全面、科学系统地修复整治。其次, 恢复生态空间连通性。严格控制生态空间内的人类生产建设行为, 通过“造、封、补、改、修、管”等综合措施建立和完善生态廊道, 恢复和提高生态空间连通性。最后, 保持生态空间原真性。采取以封禁为主的自然恢复措施, 辅以森林抚育、飞播造林等人工修复, 开展水土流失治理, 减少生产生活空间, 增加生态空间, 加强植被水源涵养功能, 有效促进生物多样性恢复。

3.3 黄土高原区泥沙源头控制 黄河中游的黄土高原是黄河泥沙的源头区。新中国成立后, 在黄土高原区大规模实施了林草植被建设工程、梯田工程、淤地坝工程和水库拦沙工程, 从坡面、沟道、水库等多个阶段对黄土高原所产泥沙进行拦截。经过 70 多年的综合治理, 黄土高原蓄水保土能力显

著增强，水土流失治理取得显著成效。入黄沙量由1919—1959年16亿t/a减少至2000—2018年约2.5亿t/a，主要产沙区林草植被覆盖率从1970年代23%增加到目前的55%^[7]。虽然通过泥沙源头控制，在把泥沙留在岸上的同时会损失一部分径流量，但相比河流输沙用水需求，源头减沙的节水效应显著。据测算，黄土高原通过水土保持措施每减少1t泥沙耗水10~20m³，而在黄河下游输送1t泥沙则需要耗水50~100m³。

然而，新时期黄土高原区泥沙源头控制面临着后劲不足的问题。首先，植被建设的减沙效益基本接近上限，很难再通过林草种植措施大幅提高减沙效果；其次，部分淤地坝泥沙淤积已接近平衡点，汛期坝体的漫溢风险增大，大量积累在沟道中的泥沙存在“零存整取”的风险；再者，流域内已建水库淤沙库容消耗殆尽，例如黄土高原第一坝——巴家咀水库，其5亿m³的淤沙库容已基本淤满。为此，在积极推进古贤水库、东庄水库、碛口水库等控制性淤沙骨干工程建设的同时，还需要创新淤地坝坝系稳定平衡理论与技术，提高淤地坝安全稳定运行能力。

淤地坝坝系是黄土高原最为有效的“拦沙”手段，在滞洪减沙、拦泥淤地、灌溉增产等方面效益显著。新建淤地坝拦沙能力强，即使在淤满后，由于抬高沟道侵蚀基准面仍能起到相应的稳定沟床(包括近沟床沟坡)和减少重力侵蚀的作用。2017年7月26日无定河发生了极端暴雨，导致关沟小流域发生了多个淤地坝连续溃损。通过现场调查测量和分析，溃坝后的淤积泥沙遵循“淤积一大片、冲刷一条线”的规律，出库比<12%，未发生“零存整取”现象。根据《黄河流域综合规划》，2030年黄河中上游六省(区)将建设淤地坝60213座，其中骨干坝14662座，中小型淤地坝45551座。随着新建淤地坝全部完工，未来30~50年黄土高原淤地坝总拦沙量预计将达到年均4亿t左右。未来50~100年，现状和规划新建的淤地坝坝系逐渐淤满，不再发挥拦沙作用，仅发挥减蚀作用，年均减蚀量将稳定在1.2亿t。百年之后，黄土高原的泥沙侵蚀量将会进一步减少，淤地坝的作用会降低，在已达到平衡状态的淤地坝坝系上修建新的坝系，构造新的平衡状态，可以在五百年甚至千年尺度上维持水沙平衡。

3.4 黄河三角洲生态保护修复 黄河三角洲总面积约5400km²，其中5200km²位于东营市境内。近年来，随着入海水沙持续减少以及人类活动的强烈干扰，黄河三角洲正面临着整体性生态退化的问题和风险。一是生态空间面积和质量均大幅退化。除现行流路继续淤积延伸外，整个三角洲地区沿海滩涂全面侵蚀，尤其在刁口河故道区域，累计蚀退超过10km，蚀退面积超过200km²。东营市以林草沼泽、水域、滩涂为主要类型的生态空间面积1240km²，相较1980年面积减少了52%，主要转化为农田、盐田鱼塘和居工地。二是农业空间大幅增加，减少了盐碱荒地，但同时带来面源污染、地下水超采等问题。三是城镇空间逐步增加，但高质量生态产品供给不能满足群众需求。四是水低土高，空间之间的连通性不强。随着黄河水沙情势的变化，河床下切严重，单一入海流路使三角洲绝大部分区域与黄河无法连通，打破了河流、沼泽、海滩的自然连通格局。

实施黄河三角洲生态保护修复，重点是要打造河口区健康稳定的生态空间、绿色高效的农业空间和宜居有活力的城镇空间，并着力发挥河渠水系在“生活-生产-生态”空间之间的廊道和纽带作用，建立和完善保障有力的体制机制。

在生态空间方面，要积极推进黄河三角洲国家公园建设，探索人与生态和谐共生的国家公园建设新模式。开展滩区生态治理，打造沿黄生态廊道。开展沿海滩涂湿地和近海生态环境保护，开展“牡蛎礁+桩堤”的生态防护堤岸工程建设；同时加强生态补水，恢复滩涂适宜咸-淡格局和过程；全面加强入海河流污染控制。

在农业生产空间方面，对于旱地要全面节水减排，开展整建制统防统治，建设绿色防控体系，实现农药化肥施用强度持续下降。科学布局稻田藕田，集中打造沿黄水稻产业带，利用盐碱洼地、废弃养殖池等开展莲藕种植，并着力发挥稻田、藕田的生态作用，使之成为鸟类食物的补给驿站。抓好农业节水和地表水源替代工程建设，深入推进地下水超采区综合治理。

在城镇生活空间方面，要全面开展雨污分流改造，完善沿河截污系统，实施污水处理厂提标工程和配套末端湿地建设。打造“环城-主干-骨干-次干”多级水网，实现河-湖-湿地连通，提升城区水体流动性，促进水环境整体改善。开展城市湿地公园建设，加强雨洪滞蓄利用，扩大城市生态空

间, 培育水鸟栖息地, 引鸟入城, 营造百鸟翔鸣的城市新貌。

黄河流域的生态保护是一项系统性工程, “水少沙多、水沙关系不协调”是黄河流域生态保护的
最大特征与关键症结。从源头到河口, 各类生态保护措施都要以消耗一定的水资源为代价, 但利大
于弊, 能起到三大功效: 一是坦化水循环的极值性; 二是大幅度减少冲沙用水; 三是净化水质, 恢
复自然生态。在水循环的整体框架下, 坚持流域山水林田湖草综合治理、系统治理、源头治理, 方
能实现“黄河宁, 天下平”, 使黄河成为造福人民的幸福河。

参 考 文 献:

- [1] 王浩, 贾仰文. 变化中的流域“自然-社会”二元水循环理论与研究方法[J]. 水利学报, 2016, 47(10): 1219-1226.
- [2] 黄宝荣, 欧阳志云, 郑华, 等. 生态系统完整性内涵及评价方法研究综述[J]. 应用生态学报, 2006(11): 2196-2202.
- [3] 陈利群, 刘昌明, 郝芳华, 等. 黄河源区气候对径流的影响分析[J]. 地学前缘, 2006(5): 321-329.
- [4] 李勃, 穆兴民, 高鹏, 等. 黄河近 550 年天然径流量演变特征[J]. 水资源研究, 2019, 8(4): 313-323.
- [5] 徐翠, 张林波, 杜加强, 等. 三江源区高寒草甸退化对土壤水源涵养功能的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(8): 2388-2399.
- [6] 刘昌明, 钟骏襄. 黄土高原森林对年径流影响的初步分析[J]. 地理学报, 1978(2): 112-127.
- [7] 胡春宏, 张晓明. 黄土高原水土流失治理与黄河水沙变化[J]. 水利水电技术, 2020, 51(1): 1-11.
- [8] 严军, 胡春宏. 黄河下游河道输沙水量的计算方法及应用[J]. 泥沙研究, 2004(4): 25-32.
- [9] 王建华, 胡鹏, 龚家国. 实施黄河口大保护 推动黄河流域生态文明建设[J]. 人民黄河, 2019, 41(10): 7-10.

Key issues of ecological conservation in the Yellow River basin from a water cycle perspective

WANG Hao, HU Peng

(State Key Laboratory of Water Cycle Simulation and Regulation,
China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: As the basic unit of the water cycle, the basin has received increasing attention based on its role in ecological protection and restoration. With the increasing impact of human activities on the water cycle of the basin, the water cycle has gradually evolved into a "natural-artificial" dualistic model, which means that the structure and function of the ecosystem in the basin have also shown the characteristics of the natural-society complex. Based on the analysis of the relationship between the natural-artificial dualistic water cycle and the ecological protection of the basin, this paper puts forward the main principles and focuses on maintaining the integrity of the ecosystem of the Yellow River basin in terms of spatial pattern and time based on the understanding of the ecological background and characteristics of the Yellow River basin. In view of the key areas of ecological protection in the Three-River Headwater Region, the Qilian Mountains-Qinling Mountains Region, the Loess Plateau, and the Yellow River Delta, the main ecological protection problems existing in each area are analyzed. The protection and governance measures in the next stage are proposed. The measures suggest that at the cost of consuming a certain amount of water resources, three goals should be achieved, namely, lessening the extreme value of the water cycle, greatly reducing the water used for sand flushing, and restoring the natural ecology. It will promote ecological protection and high-quality development in the Yellow River basin.

Keywords: basin ecological conservation; dualistic water cycle; ecosystem; ecological integrity; the Yellow River basin

(责任编辑: 杨 虹)