

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2024.146

引用格式: 赵睿,王海华,房大任,等. 美国地质调查局科罗拉多河流域工作综述及启示[J]. 中国地质调查, 2025, 12(2): 78–86. (Zhao R, Wang H H, Fang D R, et al. Review and inspiration of the work of the United States Geological Survey in Colorado River Basin[J]. Geological Survey of China, 2025, 12(2): 78–86.)

美国地质调查局科罗拉多河流域工作综述及启示

赵睿^{1,2}, 王海华^{1,2}, 房大任^{1,2*}, 胡欣琪^{1,2}

(1. 中国地质调查局地学文献中心, 北京 100083; 2 中国地质图书馆, 北京 100083)

摘要: 水是最重要的自然资源, 流域作为自然界中水资源的载体, 孕育了人类文明, 承载着各项经济社会活动。目前, 中国面临着水资源供给与生产生活需求之间严重失衡的巨大挑战, 流域水资源保护与合理利用事关人民群众切身利益。美国地质调查局(United States Geological Survey, USGS)作为负责美国水科学活动的政府机构, 在过去两个多世纪对科罗拉多河流域工作过程中取得了丰富的经验和成果, 对中国流域水资源管理工作具有借鉴意义。通过研究美国地质调查局在科罗拉多河流域水资源管理与治理过程, 对各阶段工作目标变化和内容调整特征进行梳理, 总结了对中国流域水资源管理与治理工作的3点启示: ①加强利益相关群体参与水资源决策; ②综合管理是水资源管理的发展趋势, 包括涉水部门之间、水系统内以及自然资源的综合管理; ③完善水文监测立体化网络, 建立水文数据共享平台, 提高跨学科水资源预测能力。研究可为中国广泛开展流域水资源调查规划、监测治理、保护修复提供参考。

关键词: 科罗拉多河流域; 美国地质调查局; 水资源综合管理; 水文立体化监测; 数据共享平台; 水资源预测

中图分类号: P641; X171; X83 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095–8706(2025)02–0078–09

0 引言

水资源是自然资源中的核心资源之一, 是国家经济社会发展不可或缺的首要资源。我国水资源形势十分严峻, 人多水少、水资源时空分布不均是我国的基本水情, 人均水资源量仅为世界平均水平的35%, 全国有近三分之二的城市面临不同程度缺水^[1–2]。美国也同样面临着类似的水资源管理问题, 美国全境水资源相对丰富但分布不均衡, 特别是美国西部过去二十多年经历了千年未遇的干旱^[3], 除干旱外还面临着工业和农业排放造成的饮用水污染等挑战, 面对这些挑战, 有效管理和治理水资源能够发挥关键作用。

科罗拉多河流域是美国西部最重要的水源地, 同样面临着水资源供给与生产生活需求严重失衡

的巨大挑战, 作为美国负责水科学活动的政府机构, 美国地质调查局(United States Geological Survey, USGS)在科罗拉多河流域两个多世纪的水资源管理工作中取得了丰富的成果和经验, 对我国流域水资源管理工作具有借鉴和指导意义, 但未有系统地梳理和总结。本文对USGS在科罗拉多河流域的工作进行综述, 介绍其水资源管理不同阶段的工作内容以及未来发展方向, 以期为我国大流域水资源调查规划提供信息支撑, 为自然资源管理、生态文明建设、国民经济和社会发展提供水资源管理与治理方面的参考。

1 科罗拉多河流域概况

科罗拉多河流域是北美7大流域之一(图1), 长2 330 km, 覆盖面积640 000 km², 面积97%部分

收稿日期: 2024–02–26; 修订日期: 2024–05–20。

基金项目: 中国地质调查局“地球科学文献知识服务与决策支撑(编号: DD20230139)”“自然资源情报跟踪与研究(编号: DD20221794)”项目联合资助。

第一作者简介: 赵睿(1991—), 男, 高级工程师, 主要从事生态地质与水资源保护修复调查研究工作。Email: zhaorui01@mail.cgs.gov.cn。

通信作者简介: 房大任(1989—), 男, 高级工程师, 主要从事水资源保护修复与地质灾害调查研究工作。Email: fdaren@mail.cgs.gov.cn。



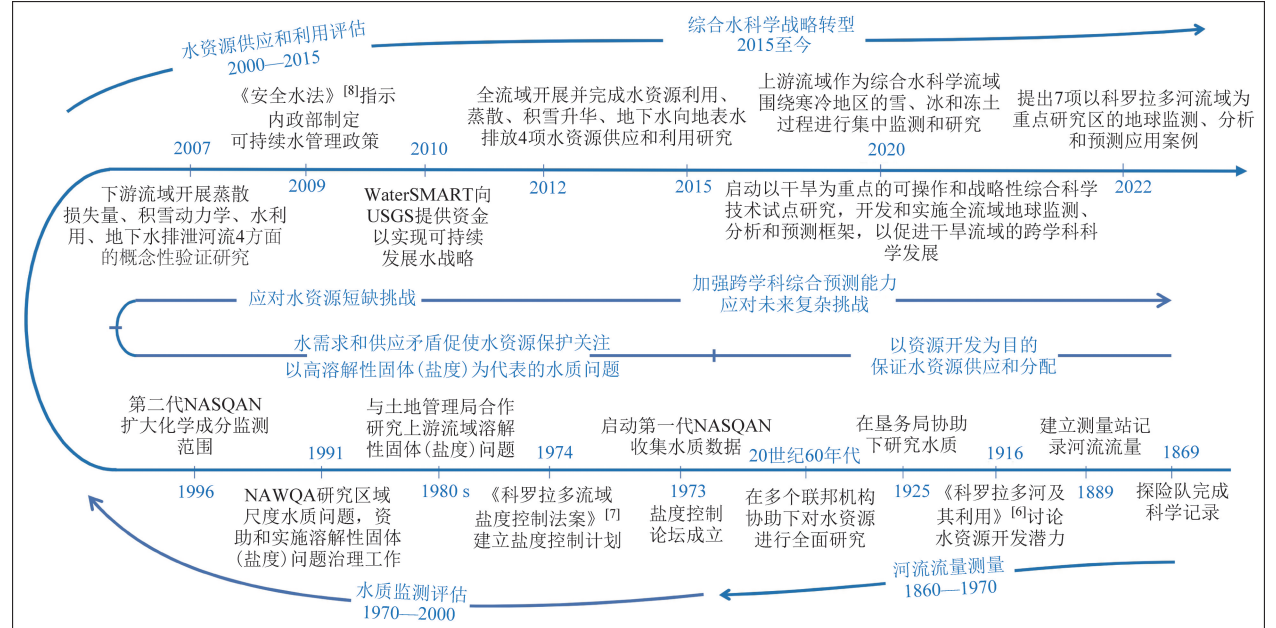
图1 科罗拉多河流域(据文献[4]修改)

Fig.1 The Colorado River Basin (modified after reference[4])

位于美国境内。作为美国西部最重要的水源地,科罗拉多河流域以壮阔的峡谷、汹涌澎湃的激流而闻名。由于河水流量巨大,河道坡度陡峭,科罗拉多河流域非常适合发展水力发电。自20世纪初,美国政府推动兴建了一系列水利工程,多座大坝、水库、引水渠道等水利设施来汲取流域内水源,分配给附近用于供水与农业灌溉等。目前,科罗拉多河流域是2 500多万人的主要饮用水源和4 000万人的主要供水来源,并提供了1 600万个就业岗位^[5]。经过两个多世纪的开发,科罗拉多河流域内地表水和地下水均出现了严重的水资源短缺和水质问题。

2 美国地质调查局科罗拉多河流域水资源管理过程

USGS在科罗拉多河流域的水资源管理工作,可以划分为河流流量测量、水质监测评估、水资源供应和利用评估以及综合水科学战略转型4个阶段(图2)。总体来说,USGS在科罗拉多河流域工作目标由短期变长效,工作内容由从单一水资源开发转变为可持续水资源管理的跨学科综合水科学研究。



注:图中缩写分别为国家河流质量核算网络(National Stream Quality Accounting Network, NASQAN)、国家水质评估(National Water Quality Assessment, NAWQA)及为明天持续和管理美国的资源(Sustain and Manage America's Resources Tomorrow, Water SMART)。

图2 美国地质调查局科罗拉多河流域工作概要
Fig.2 Summary of USGS work in the Colorado River Basin

2.1 河流流量测量阶段(1860—1970)

1869年,USGS人员率领的探险队首次探索了

科罗拉多河流域并进行了完整的科学记录^[6]。

1889年,USGS在科罗拉多河支流建立测量站记录

河流流量,开始研究流域的水资源^[9]。1916 年,USGS 出版的报告中系统地介绍了科罗拉多河流域及邻区的自然资源,对水资源开发潜力进行了重点讨论^[9]。由于认识到科罗拉多河流域水资源的广泛使用和对水资源日益增长的需求可能会超过流域本身可用的水资源量,20 世纪 60 年代,USGS 在多个联邦机构协助下先后对科罗拉多河流域的水资源进行了全面研究,对流量、蒸发量以及溶解性固体浓度(盐度)进行了定性分析^[10]。

2.2 水质监测评估阶段(1970—2000)

1973 年,USGS 启动第一代 NASQAN,收集科罗拉多河流域的水质数据并进行趋势分析^[11]。同年,认识到科罗拉多河下游流域溶解性固体浓度(盐度)迅速增加及其对水用户的影响,科罗拉多河流经的 7 个流域州联合组织建立盐度控制论坛。1974 年,由盐度控制论坛主导的《科罗拉多河流域盐度控制法案》通过并建立盐度控制计划^[7],USGS 负责提供科学支持。20 世纪 80 年代,USGS 与美国土地管理局合作研究科罗拉多河上游流域部分区域地下水资源中溶解性固体浓度(盐度)贡献^[12]。

1991 年,USGS 启动更为全面的 NAWQA,其“研究单元”位于 NASQAN 子流域内,对 NASQAN 所收集数据的解释提供支持^[13]。1996 年,USGS 全面实施第二代 NASQAN,聚焦包括科罗拉多河在内的全美 4 条最大河流,并扩大化学成分的监测范围^[13]。NASQAN 和 NAWQA 作为 USGS 专门负责解决水质问题的计划,资助和实施了一系列科罗拉多河流域溶解性固体(盐度)问题治理相关的工作。例如,2009 年,USGS 牵头开发的科罗拉多河上游流域(盐度)模型,评估了整个流域河流中溶解性固体溶解性固体(盐度)浓度来源和传输机制^[14]。

2.3 水资源供应和利用评估阶段(2000—2015)

2007 年,USGS 将“国家水资源普查”确定为 USGS 在未来十年的 6 个关键科学方向之一^[15]。同年,科罗拉多河下游流域作为 USGS 首批国家水资源普查试点,在蒸散损失量、积雪动力学、水利利用、地下水排泄河流 4 个方面进行概念性验证研究^[16]。

2012 年,USGS 在内政部“Water SMART”倡议的拨款支持下,在科罗拉多河流域率先开展国家水资源普查重点区域研究。2012—2015 年,科罗拉多河流域完成了为期 3 a 的水资源供应和利用研究。在水资源利用、蒸散、积雪升华、地下水向地表水排

放 4 个方面取得了研究成果^[8]。

2.4 综合水科学战略转型阶段(2015 至今)

2.4.1 水资源任务区及综合水科学项目

2010 年,USGS 将科学战略调整为专注于水资源等 7 个跨学科综合任务区^[15]。2020 年,科罗拉多河上游流域作为综合水科学流域,围绕寒冷地区的雪、冰和冻土过程进行集中监测和研究^[17]。在流域内开发和测试下一代水观测系统、综合水资源可用性评估和综合水资源预测等水资源可用性评估和预测的方法和工具^[18],以更好地理解 and 预测水资源挑战,并最终推广到全国尺度应用。

2.4.2 跨学科预测能力及流域干旱科学

2023 年,科罗拉多河流域正在经历自 20 世纪初有记录以来最严重的干旱,此次干旱对生物安全、自然资源条件和社会经济造成持续威胁。干旱对科罗拉多河流域内人类和自然影响的复杂性要求 USGS 使用跨学科科学来应对。2020 年,USGS 启动了科罗拉多河流域战略性综合科学技术试点项目,在全流域开发和实施以干旱为研究重点的地球监测、分析和预测(Earth Monitoring, Analysis, and Prediction, EarthMAP)框架,以促进流域干旱科学的跨学科科学发展^[4]。

2022 年,为了进一步完善 EarthMAP 和综合预测科学战略的设计和实施,USGS 以科罗拉多河流域为重点研究区开发一套应用案例,包括地表水和地下水交互预测、矿泉集水区水质、干旱数据可操作性管理、基于高海拔融雪估算的流域径流预测等^[19]。

3 对中国流域水资源管理与治理的启示

结合中国流域水资源治理与管理工作实际,USGS 在科罗拉多河流域的工作有以下 3 点启示。

3.1 加强利益相关群体参与水资源决策

利益相关群体是指对某一资源或某一地点拥有部分利益的人(图 3)。利益相关群体作为了解和关心水资源状况的角色,决策者、管理者和科研工作者通过与其互动可以建立彼此之间的联系纽带,进而了解水资源管理与治理的需求和难点。我国水资源规划经由政府部门决策,近年来在地方上水资源实施的具体过程中,当地政府、水利局、环保局、综合执法等机构和当地居民通过听证会、走访

调研等方式参与其中^[20]。然而,目前利益相关群体尚未完全融入当前的决策支撑系统,其在水资源决策过程中影响程度十分有限。加强利益相关群体参与水资源决策。首先,需要广泛吸纳各方相关群体意见,了解需求并进行评估,确定优先事项;然后,有针对性地制定政策和构建技术方法,并通过多渠道保持沟通获取反馈,根据需求变化不断进行调整和优化。

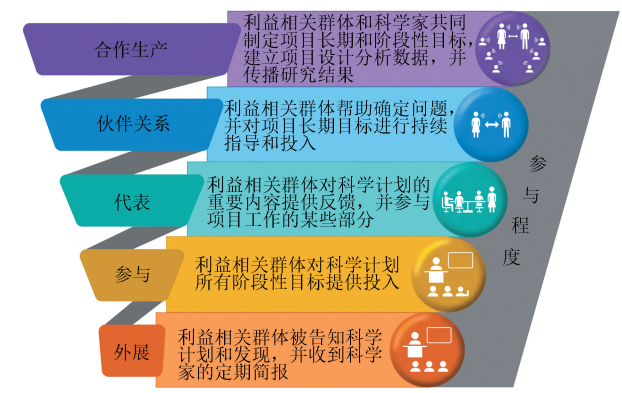


图3 利益相关群体参与水平的关系(据文献[21]修改)
Fig.3 Relationship plot of stakeholder engagement levels
(modified after reference [21])

3.2 综合管理是水资源管理的发展趋势

水资源综合管理(integrated water resources management, IWRM)的概念提出已有30余年^[22],其定义是在制定和实施水资源政策以及利益相关群体参与水资源管理过程中,系统地考虑水资源供需关系、自然和人类以及上下游的联系,提倡协调开发和管理水、土地及相关资源,以便在不损害生态系统可持续性的前提下,以公平的方式最大限度地提高经济水平和社会福利^[23]。

3.2.1 部门之间综合管理

要开展水资源综合管理,首先要协调多个水管理部门之间的职责和工作,将各种资源实现其自身效用的最大化。复杂的机构设置会造成对流域水资源的竞争和浪费,并给涉水数据的收集、管理和共享带来阻碍。我国水资源管理机构按条块结合的原则设立,以水利系统为例,从中央到地方由水利部、流域机构、地方各级(省级、地级、县级)水资源管理机构组成,地方水利(水务)部门既是地方政府的组成部门又是相应行政区域的水资源管理部门^[24]。在2018年机构改革后,国务院水资源管理职责主要涉及水利部、自然资源部、生态环境部,另外饮用水水质管理职责还涉及国家卫健委和国家

食品药品监督管理局等部门。水利部负责保障水资源的合理开发利用,负责生活、生产经营和生态环境用水的统筹和保障,指导水资源保护工作,负责节约用水工作,指导监督水利工程建设与运行管理等;自然资源部履行水资源资产所有者职责,负责水资源调查监测评价,负责水资源统一确权登记工作等;生态环境部负责建立健全生态环境基本制度,包括编制并监督实施重点区域、流域、海域、饮用水水源地生态环境规划和水功能区划,负责环境污染防治的监督管理,制定水污染防治管理制度并监督实施,指导协调和监督生态保护修复工作等。相较于美国,我国对水资源自上而下的调控和管理方法一致且更为有效,制定并实施了一系列全国性的水资源管理工作,例如:实行严格的水资源管理制度,确立“三条红线”,严格实行用水总量控制,全面推进节水型社会建设,严格控制入河湖排污总量^[1];完成3次全国水资源调查评价工作,逐步摸清我国水资源数量、质量、开发利用情况、水生态环境状况,并对重点流域、区域水资源现状进行综合评价^[25]等。在未来水资源管理过程中应延续并加强这种统筹调配的工作模式,在执行水资源决策过程中最大程度整合资源,进一步加强水利、自然资源、生态环境、卫生检疫等部门间的通力协作,避免不同部门、地方之间权责不清导致的重复监测或者管理不力造成的资源浪费^[26]。

3.2.2 水系统内综合管理

开展水资源综合管理的第二步是水系统内的综合管理,特别是地表水和地下水的综合管理。流域内的地下水和地表水相互联系,需要将二者作为一个水资源整体进行联合管理,以有效管理流域内当前和未来的水资源。近年来,我国逐步关注地表水和地下水统筹保护开发^[27],水利和自然资源等部门陆续完成了地表水与地下水一体化水资源调查^[28]、转化评价^[29-31]、均衡预测^[32]等相关工作。随着《地下水污染防治实施方案》^[33]、《地下水管理条例》^[34]、《地下水保护利用管理办法》^[35]等法规的实施,全国地下水调查与规划、节约与保护、超采治理、污染防治、监督管理等活动逐步规范。各级政府部门在落实政策过程中,制定地下水管控方案,确定地下水管控指标,包括地下水取用水量、地下水水位2项控制指标和地下水取用水量、地下水监测井密度、灌溉用机井密度3项管理指标^[36]。然而,我国目前地下水超采总体形势依然

严峻^[37],需要进一步加强地下水与地表水整体资源调查评价,才能更准确的掌握水资源动态,以及进行协同治理工作,更有效遏制水环境污染恶化。

水系统内的综合管理还包括上中下游流域综合管理。我国水利部下设 7 个流域管理机构^[24],协调水资源与环境和经济项目的综合管理。然而,现阶段我国流域委员会往往受限于行政区域边界,在资源配置、污染管理和环境法规执行方面缺乏权力。这首先需要进一步赋予流域委员会行政权力进行统筹,监管水利、农业、林业、电力、环保等涉水职能,以提高水资源管理和利用效率;其次需加强流域委员会与利益相关群体等各类群体联系,从水资源利用最大化角度做出尽可能兼顾多方利益的决策,保证流域管理的健康运行^[22]。

3.2.3 自然资源综合管理

水资源同其他自然资源彼此制约又相互依存,水资源综合管理需要根据其所处的环境单元,结合土地、森林、草原、湿地等自然资源进行综合管理,综合管理能够更加科学合理开发利用流域内的多种自然资源,同时也有助于生态环境的保护修复。例如,通过土地管理控制农业灌溉回流能够实现流域盐度治理。此外,流域范围内的城市化、森林采伐以及野火等会造成水量改变或洪水事件等^[22]。流域水环境治理需要将水质变化趋势同流域的其他属性(如地质、土壤、地形、气候、土地利用和传输特征等)联系起来,例如流域途径的裸露地表等脆弱地区更容易侵蚀而形成溶解性固体(盐度)来源,水库和水生环境对溶解性固体(盐度)的吸附作用会造成浓度衰减等^[38]。在风险评估或趋势预测时,需要借助大比例尺地质图、农业地图、土地覆盖/利用图,或高精度星载/机载成像技术等,以便定性或定量分析流域单元动态变化对水质和水量影响。

3.3 完善水资源监测,建立数据共享平台

水资源监测是标准化水数据收集、监测、储存、处理以及水资源信息化网络建设的基础。水资源监测必须包括水文气象(降水、蒸发、蒸腾)、土壤水、地表水与地下水及其转化关系、取用水量、退水量、耗水量^[39-42]、水质、水环境、水生态^[43-44],其中土壤水、地表水与地下水转化关系、取用水量、退水量、耗水量是薄弱环节,尤其是取用水量能够反映区域乃至国家的用水总量和用水效率^[45]。近年来,一系列水文观测和监测的先进技术在我国发展

和应用,例如通过无人机搭载一种或多种传感器设备,在航测、山洪灾害调查评价、水土保持监测评价、河道监测与监管、防洪抗旱减灾、滩涂资源动态监测、水利工程建设等水利行业的日常和应急工作方面实现广泛应用^[46]。此外,国内学者以长江为对象发展了自主产权的精细光谱探测与计量光谱分析综合监测技术,其中原位光谱水质在线监测技术达国际领先水平^[47]。

虽然一些技术和方法目前在部分关键和优先水域和地区进行了应用并得到了良好的反馈,但针对我国实际情况,进一步加强以下几个方面,才能更好地支撑和服务水文现代化建设和水利高质量发展:①需要进一步充实完善水文站网,填补中小河流水文监测站网空白^[48];②推进水文信息监测立体化,基于机载和星载传感器、地面监测站等多源监测平台,充分利用并发展遥感、遥测、视频分析等先进观测技术,构建流域全过程动态实时监测体系;③建立水资源数据共享平台,整合来自水利部、气象局、农业部、住建部、中国科学院等多部门与地方的水资源数据进行标准化并提供公开访问,实现对水文气象、地表水、地下水、水质、取用水量、耗水量等多维数据进行统一监测与利用,为建立水文监测和预测等科研平台提供数据支撑;④提高跨学科水资源预测能力,利用高性能计算技术,继续推进水资源循环分析和建模工具及能力,并开发复杂社会-自然耦合的预测模型,以更好地量化当前的水资源状况和对未来变化的响应。

4 结论

(1)两个多世纪以来,美国地质调查局不断调整在科罗拉多河流域水资源管理工作的方向 and 重点,以应对不同时期的需求和挑战。早期河流流量测量阶段,优先保证科罗拉多河流域水资源的供给和分配;随着高溶解性固体(盐度)等水质问题加剧,转向水资源保护进行水质监测评估;近 20 多年的严重干旱加剧了水资源短缺和用水冲突,因而启动全国水资源普查,进入水资源供应和利用评估阶段;当前以及未来 10 a,为了应对干旱等多元变化对科罗拉多河流域人类和自然系统影响的复杂挑战,以及满足多方利益相关群体需求,着力提升跨学科的地球监测、分析和预测能力。

(2)对中国流域水资源管理和治理有以下 3 点

启示: ①加强利益相关群体参与水资源决策,以便及时了解水资源管理和治理的需求和难点; ②进行水资源综合管理,包括涉水部门之间、水系统内(地表水和地下水、上中下游流域)以及自然资源(水与土地、森林、草原、湿地等)的综合管理; ③完善水文监测立体化网络,建立水文数据共享平台,实现水文数据多源互补,继续推进水资源循环分析和建模工具及能力,量化当前的水资源状况和对未来变化的响应,提高跨学科水资源预测能力。

参考文献(References):

- [1] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见[EB/OL]. (2012-01-12)[2024-05-09]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2012/content_2076102.htm.
Central People's Government of the People's Republic of China. Opinions of the State Council on implementing the strictest water resources management system [EB/OL]. (2012-01-12)[2024-05-09]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2012/content_2076102.htm.
- [2] 瞿谦. 精打细算 从严从细 节约集约利用水资源[N]. 光明日报, 2024-03-29(004).
Zi Q. Budget carefully, strict and careful, saving and intensive use of water resources[N]. Guang Ming Daily, 2024-03-29(004).
- [3] Butler A, Fulp T, Prairie J, et al. Water resources management in the Colorado River Basin[M]//Ferrier R, Jenkins A. Handbook of Catchment Management. 2nd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Ltd., 2021: 441-463.
- [4] Tillery A C, Anderson P J, Andrews W J, et al. Rocky mountain region science exchange 2020 - EarthMAP and the Colorado River Basin[R]. Reston, VA: U. S. Geological Survey, 2022.
- [5] Dahm K G, Hawbaker T, Frus R J, et al. Colorado River Basin Actionable and Strategic Integrated Science and Technology Project - science Strategy[R]. Reston, VA: U. S. Geological Survey, 2023.
- [6] Scott A, Snow E. The 150th anniversary of the 1869 Powell Expedition - USGS Participation in the Sesquicentennial Colorado River Exploring Expedition and Reflections from the ~1,000-mile Journey Down the Green and Colorado Rivers[R]. Reston, VA: U. S. Geological Survey, 2020.
- [7] Colorado River Basin Salinity Forum. Welcome to the Colorado River Basin salinity control forum website[EB/OL]. [2024-01-17]. <https://www.coloradoriversalinity.org/>.
- [8] Bruce B W. WaterSMART - The Colorado River Basin Focus - area Study[R]. Reston, VA: U. S. Geological Survey, 2012.
- [9] La Rue E C, Grover N C. Colorado River and Its Utilization[R]. Washington, DC: U. S. Government Printing Office, 1916.
- [10] McDonald C C, Loeltz O J. Water resources of lower Colorado River - Salton Sea Area as of 1971; Summary Report[R]. Washington, DC: U. S. Government Printing Office, 1976.
- [11] Ficke J F, Hawkinson R O. The National Stream Quality Accounting Network (NASQAN) - Some Questions and Answers[R]. Reston, VA: U. S. Geological Survey, 1975.
- [12] Warner J W, Heimes F J, Middelburg R F. Ground - water Contribution to the Salinity of the Upper Colorado River Basin[R]. Lakewood, CO: U. S. Bureau of Land Management, 1985.
- [13] Hooper R P, Goolsby D A, Rickert D A, et al. NASQAN, A Program to Monitor the Water Quality of the Nation's Large Rivers[R]. Reston, VA: U. S. Geological Survey, 1997.
- [14] Miller M P, Buto S G, Lambert P M, et al. Enhanced and Updated Spatially Referenced Statistical assessment of Dissolved - solids Load Sources and Transport in Streams of the Upper Colorado River Basin[R]. Reston, VA: U. S. Geological Survey, 2017.
- [15] Evenson E J, Orndorff R C, Blome C D, et al. U. S. Geological Survey Water Science Strategy - Observing, Understanding, Predicting, and Delivering Water Science to the Nation[R]. Reston, VA: U. S. Geological Survey, 2013.
- [16] U. S. Geological Survey. A water census of the United States[R]. Reston, VA: U. S. Geological Survey, 2007.
- [17] Miller M P, Eberts S M, Sprague L A. Water priorities for the Nation - USGS Integrated Water Science basins[R]. Reston, VA: U. S. Geological Survey, 2021.
- [18] Van Metre P C, Qi S, Deacon J, et al. Prioritizing river basins for intensive monitoring and assessment by the US Geological Survey[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2020, 192(7): 458.
- [19] Wilson T S, Wiltermuth M T, Jenni K E, et al. Use Case Development for Earth Monitoring, Analysis, and Prediction (EarthMAP) - A Road Map for Future Integrated Predictive Science at the U. S. Geological Survey[R]. Reston, VA: U. S. Geological Survey, 2022.
- [20] 贺缠生, James L A. 流域科学: 连接水文学与流域可持续管理的枢纽[J]. 中国科学: 地球科学, 2021, 51(5): 666-679.
He C S, James L A. Watershed science: linking hydrological science with sustainable management of river basins[J]. Science China Earth Sciences, 2021, 64(5): 677-690.
- [21] Tillery A C, House S, Frus R J, et al. Addressing Stakeholder Science Needs for Integrated Drought Science in the Colorado River Basin[R]. Reston, VA: U. S. Geological Survey, 2022.
- [22] 张一鸣. 中国水资源利用法律制度研究[D]. 重庆: 西南政法大学, 2015.
Zhang Y M. Research on the Legal System of Water Resources Utilization of China[D]. Chongqing: Southwest University of Political Science and Law, 2015.
- [23] The Global Water Partnership (GWP) Technical Committee. Catalyzing Change: A Handbook for Developing Integrated Water Resources Management (IWRM) and Water Efficiency Strategies[R]. New York: Commission on Sustainable Development, 2004.
- [24] 曹建廷. 我国水资源综合管理评估与建议[J]. 中国水利, 2019(3): 1-3.
Cao J T. Assessment and recommendations on integrated water resources management in China[J]. China Water Resources,

- 2019(3):1-3.
- [25] 中华人民共和国水利部. 第三次全国水资源调查评价工作取得重要成果[EB/OL]. (2023-12-22)[2024-04-11]. http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202312/t20231222_1698951.html.
Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Important results were achieved in the third national water resources survey and evaluation[EB/OL]. (2023-12-22)[2024-04-11]. http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202312/t20231222_1698951.html.
- [26] 肖春蕾,郭艺璇,薛皓. 密西西比河流域监测、修复管理经验对我国流域生态保护修复的启示[J]. 中国地质调查,2021,8(6):87-95.
Xiao C L,Guo Y X,Xue H. Implications of the Mississippi River watershed monitoring and restoration for the watershed ecological protection and restoration in China[J]. Geological Survey of China,2021,8(6):87-95.
- [27] 中华人民共和国中央人民政府. 中共中央 国务院印发《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》[EB/OL]. (2021-10-08)[2024-01-17]. https://www.gov.cn/zhengce/2021-10/08/content_5641438.htm.
Central People's Government of the People's Republic of China. The Central Committee of the communist party of China and the State Council issued the outline plan for ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin[EB/OL]. (2021-10-08)[2024-01-17]. https://www.gov.cn/zhengce/2021-10/08/content_5641438.htm.
- [28] 中华人民共和国水利部. 水利部办公厅关于强化流域水资源统一管理工作的意见[EB/OL]. (2022-09-06)[2024-04-11]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-09/10/content_5709298.htm.
Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Opinions of the General Office of the ministry of water resources on strengthening the unified management of water resources in river basins[EB/OL]. (2022-09-06)[2024-04-11]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-09/10/content_5709298.htm.
- [29] 李磊,徐宗学. 考虑地表水-地下水交换的分布式水文模型 GISMOD 开发与应用[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2014,50(5):555-562.
Li L,Xu Z X. A grid-based integrated surface-groundwater distributed hydrological model (GISMOD):development and application[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science),2014,50(5):555-562.
- [30] 李文鹏. 黑河流域地表水与地下水转化机制与水平衡研究[J]. 水文地质工程地质,2022,49(3):I-II.
Li W P. Study on surface water and groundwater conversion mechanism and water balance in Heihe River Basin[J]. Hydrogeology & Engineering Geology,2022,49(3):I-II.
- [31] 朱金峰,刘悦忆,章树安,等. 地表水与地下水相互作用研究进展[J]. 中国环境科学,2017,37(8):3002-3010.
Zhu J F,Liu Y Y,Zhang S A,et al. Review on the research of surface water and groundwater interactions[J]. China Environmental Science,2017,37(8):3002-3010.
- [32] 郦建强,王平,何君,等. 水资源空间均衡理论方法与对策措施研究[J]. 中国水利,2019(23):23-25.
Li J Q,Wang P,He J,et al. Study on theory methodology and countermeasures about water resources spatial equilibrium[J]. China Water Resources,2019(23):23-25.
- [33] 中华人民共和国生态环境部. 关于印发地下水污染防治实施方案的通知[EB/OL]. (2019-03-28)[2024-04-11]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2019-10/10/content_5438142.htm.
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Notice on issuing and distributing the implementation plan for the prevention and control of groundwater pollution[EB/OL]. (2019-03-28)[2024-04-11]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2019-10/10/content_5438142.htm.
- [34] 中华人民共和国中央人民政府. 地下水管理条例[EB/OL]. (2021-10-21)[2024-04-11]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5654770.htm.
Central Government of the People's Republic of China. Groundwater management act[EB/OL]. (2021-10-21)[2024-04-11]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5654770.htm.
- [35] 中华人民共和国中央人民政府. 水利部 自然资源部关于印发《地下水保护利用管理办法》的通知[EB/OL]. (2023-06-28)[2024-04-11]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202307/content_6890730.htm.
Central Government of the People's Republic of China. Notice of the Ministry of Water Resources and the Ministry of Natural Resources on issuing and distributing the administrative measures for the protection and utilization of groundwater[EB/OL]. (2023-06-28)[2024-04-11]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202307/content_6890730.htm.
- [36] 中华人民共和国水利部. 水利部组织确定 13 省份地下水管控指标[EB/OL]. (2022-01-07)[2024-04-11]. https://www.gov.cn/xinwen/2022-01/07/content_5666806.htm.
Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. The Ministry of Water Resources organized the determination of groundwater control indicators in 13 provinces[EB/OL]. (2022-01-07)[2024-04-11]. https://www.gov.cn/xinwen/2022-01/07/content_5666806.htm.
- [37] 中华人民共和国中央人民政府. 新华社评:保护地下水 守好“生命线”[EB/OL]. (2022-03-22)[2024-01-17]. https://www.gov.cn/xinwen/2022-03/22/content_5680706.htm.
Central People's Government of the People's Republic of China. Xinhua Review: protect groundwater and guard the "lifeline"[EB/OL]. (2022-03-22)[2024-01-17]. https://www.gov.cn/xinwen/2022-03/22/content_5680706.htm.
- [38] Nauman T W,Ely C P,Miller M P,et al. Salinity yield modeling

of the Upper Colorado River Basin using 30 - m resolution soil maps and random forests [J]. *Water Resources Research*, 2019, 55 (6) : 4954 - 4973.

[39] 胡春杰,杨溯,陈智,等. 基于北斗卫星与 GPRS 的土壤墒情监测系统[J]. *人民黄河*, 2021, 43 (8) : 159 - 162.

Hu C J, Yang S, Chen Z, et al. Soil Moisture monitoring system based on Beidou Satellite and GPRS [J]. *Yellow River*, 2021, 43 (8) : 159 - 162.

[40] 中华人民共和国生态环境部. 关于印发《全国农业面源污染监测评估实施方案 (2022—2025 年) 》的通知 [EB/OL]. (2022 - 09 - 26) [2024 - 04 - 11]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk05/202209/t20220929_995346.html.

Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Notice on the issuance of the national agricultural non - point source pollution monitoring and evaluation implementation plan (2022 - 2025) [EB/OL]. (2022 - 09 - 26) [2024 - 04 - 11]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk05/202209/t20220929_995346.html.

[41] 中华人民共和国水利部. 水利部办公厅关于印发黄河流域重要断面、重点取退水口、地下水监测站网评价与调整工作方案的通知 [EB/OL]. (2020 - 06 - 12) [2024 - 04 - 11]. http://mwr.gov.cn/zwgk/gknr/202006/t20200623_1441220.html.

Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Notice of the General Office of the Ministry of Water Resources on the issuance of the work program for the evaluation and adjustment of important sections, key water intake and withdrawal outlets, and groundwater monitoring station networks in the Yellow River Basin [EB/OL]. (2020 - 06 - 12) [2024 - 04 - 11]. http://mwr.gov.cn/zwgk/gknr/202006/t20200623_1441220.html.

[42] 中华人民共和国水利部. 水利部关于印发取用水管理专项整治行动方案的通知 [EB/OL]. (2020 - 05 - 09) [2024 - 04 - 11]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-05/15/content_5511840.htm.

Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Notice of the Ministry of Water Resources on issuing a special rectification action plan for water access management [EB/OL]. (2020 - 05 - 09) [2024 - 04 - 11]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-05/15/content_5511840.htm.

[43] 金小伟,赵先富,渠晓东,等. 我国流域水生生态监测与评价体系研究进展及发展对策[J]. *湖泊科学*, 2023, 35 (3) : 755 - 765.

Jin X W, Zhao X F, Qu X D, et al. Research progress of aquatic ecological monitoring and assessment in watersheds and development recommendations in China [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2023, 35 (3) : 755 - 765.

[44] 李德旺,王春芳,袁玉洁. 水生生态监测国内外发展及在长江流域的应用思考[J]. *水生态学杂志*, 2021, 42 (5) : 1 - 9.

Li D W, Wang C F, Yuan Y J. Development of water ecological monitoring at home and abroad and the thinking of its application in the Yangtze River Basin [J]. *Journal of Hydroecology*, 2021, 42 (5) : 1 - 9.

[45] 董小涛,付鹏,唐永美. 取用水量在线监测方案研究[J]. *水资源开发与管理*, 2020 (3) : 68 - 72.

Dong X T, Fu P, Tang Y M. Study on online water flow monitoring plan for water resources monitoring capacity building [J]. *Water Resources Development and Management*, 2020 (3) : 68 - 72.

[46] 马力鹤,朱彦博. 无人机遥感影像在水利监测领域的运用[J]. *黑龙江科学*, 2019, 10 (14) : 60 - 61.

Ma L H, Zhu Y B. Application of UAV remote sensing images in water conservancy monitoring [J]. *Heilongjiang Science*, 2019, 10 (14) : 60 - 61.

[47] 夏军,林忠辉,占车生,等. 长江流域水生态调度与长江模拟器研发[J]. *中国科学院院刊*, 2023, 38 (12) : 1767 - 1780.

Xia J, Lin Z H, Zhan C S, et al. Ecological operation in Yangtze River basin with Yangtze River Simulator [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2023, 38 (12) : 1767 - 1780.

[48] 刘志雨,刘玉环,孔祥意. 中小河流洪水预报预警问题与对策及关键技术应用[J]. *河海大学学报: 自然科学版*, 2021, 49 (1) : 1 - 6.

Liu Z Y, Liu Y H, Kong X Y. Problems, strategies and key technology research of flood forecasting and early warning for small and medium - sized rivers [J]. *Journal of Hohai University (Natural Sciences)*, 2021, 49 (1) : 1 - 6.

Review and inspiration of the work of the United States Geological Survey in Colorado River Basin

ZHAO Rui^{1,2}, WANG Haihua^{1,2}, FANG Daren^{1,2}, HU Xinqi^{1,2}

(1. Geoscience Documentation Center, China Geological Survey, Beijing 100083, China; 2. National Geological Library of China, Beijing 100083, China)

Abstract: Water is the most important natural resource. As a carrier of water resources in nature, river basins have nurtured human civilization and borne various economic and social activities. China is facing a huge challenge of serious imbalance between water resource supply and the demand for production and life, and the protection and rational utilization of water resource in river basins is of great concern to the people. As the federal gov-

ernment agency responsible for water science activities, United States Geological Survey (USGS) has gained rich experience and achievements in the past century in the Colorado River Basin, which has reference significance for water resource management and governance in China. This paper introduced water resource management and governance process of USGS in the Colorado River Basin, and overviewed the characteristics of the change of work objectives and content adjustment at each stage. Finally, three enlightenments for the management and governance of water resources in China's basin were summarized. ① The participation of stakeholders in water resources decision-making should be strengthened. ② Integrated water resource management (IWRM) is the development trend, including the integrated management between water-related departments, within water systems, between water resource and other natural resources; ③ The three-dimensional hydrological monitoring network should be completed to establish a hydrological data sharing platform and improve interdisciplinary water resource forecasting capabilities. The study aim is to provide a mature case as a reference for China to carry out extensive investigation and planning, monitoring and management, protection and restoration of river basin water resource.

Keywords: Colorado River Basin; USGS; integrated water resource management (IWRM); three-dimensional hydrological monitoring; data sharing platform; water resource forecast

(责任编辑: 王晗)