



水资源保护
Water Resources Protection
ISSN 1004-6933,CN 32-1356/TV

《水资源保护》网络首发论文

题目： 关于构建黄河流域水网的思考
作者： 张金良
网络首发日期： 2021-12-03
引用格式： 张金良. 关于构建黄河流域水网的思考[J/OL]. 水资源保护.
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1356.TV.20211201.2228.006.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

关于构建黄河流域水网的思考

张金良^{1,2}

(1.黄河勘测规划设计研究院有限公司, 河南郑州 450003; 2.水利部黄河流域水治理与水安全重点实验室(筹), 河南郑州 450003)

摘要: 加快构建黄河流域水网是实现黄河流域生态保护和高质量发展的有效手段。黄河流域水资源总量不足、流域水资源分布与人口土地分布不相匹配, 山区水资源利用条件差, 生态建设和国民经济发展仍面临资源型缺水、工程型缺水问题。南水北调西线工程是“四横三纵”国家水网的核心工程, 是构建黄河流域水网的重要组成部分。在国家水网构建框架下, 以南水北调西线工程为纲、以区域配置工程为目, 以节点控制工程为结, 构建黄河流域水网, 推动“南方之水”依势向黄河流域梯度配置, 对于实现流域水资源空间均衡配置, 构建流域社会经济空间均衡发展新格局具有十分重要的战略意义。

关键词: 国家水网; 黄河流域水网; 空间均衡; 水资源配置

Thoughts on Building Water Network of the Yellow River Basin

ZHANG Jinliang^{1,2}

(1. Yellow River Engineering Consulting Co. Ltd., Zhengzhou 450003, China; 2. Key Laboratory of Water Management and Water Security for Yellow River Basin, Ministry of Water Resources (Under Construction), Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Accelerating the building of water network of the Yellow River Basin is an effective means to realize ecological conservation and high-quality development of the Basin. The total amount of water resources in the Yellow River Basin is insufficient, the distribution of water resources in the basin does not match the population and land distribution, the utilization conditions of water resources in mountainous areas are poor, and the ecological construction and national economic development still face the problems of resource-based water shortage and engineering-based water shortage. The South-to-North Water Diversion West Route Project is the core project of the national water network featuring "three vertical projects connecting four horizontal rivers" and an important part of the water network of the Yellow River Basin. The water network of the Yellow River Basin shall be built under the framework of national water network by taking the West Route Project as the first tier, the regional water allocation projects as the second tier and the node control projects as the third tier thus to promote gradient allocation of water in the South to the Yellow River Basin according to the natural conditions. Such efforts are of great strategic significance for realizing the spatial balanced allocation of water resources and building a new pattern of spatial balanced socio-economic development in the Basin.

Key words: National water network; Water network of the Yellow River Basin; Spatial balance; Water resources allocation

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1508706); 中国工程院咨询研究项目(2019-XZ-65)。

作者简介: 张金良(1963-), 男, 教授级高级工程师, 博士, 博士生导师, 主要从事水利水电工程设计研究。

E-mail: jlzhangyrec@126.com

黄河流域水土资源极不匹配，流域面积占全国国土面积的 8.3%，水资源量仅占全国的 2%，承载了占全国 15%的耕地面积、全国 12%的人口和 14%的经济总量^[1]。水、土资源配置失衡，严重制约黄河流域经济社会高质量发展^[2]。

跨区域调水工程已成为国内外解决区域水资源时空分布不均、发展经济社会及改善生态环境的重要手段^[3-6]。目前全球调水工程年调水规模已达到 6000 亿 m³，在促进水资源空间均衡配置方面发挥了积极作用，取得了良好的经济社会和生态效益^[7-9]。国际上，美国利用中央河谷调水、加利福尼亚州水道、全美灌溉系统等长距离调水工程，给缺水地区的经济发展注入了新的生机，使素有“荒漠”之称的南加利福尼亚州成为美国最大的农业州，其肉类罐头、蔬菜和水果产量占美国的三分之一^[10, 11]。以色列国土 60%为沙漠、旱地，是真正意义上的“不毛之地”，通过北水南调工程把大片不毛之地的荒漠变为绿洲，把原本贫瘠的土地荒野变成了沃野良田，使之成为中东农业最发达的国家^[12]。我国自古就有修建调水工程以解决水资源分配不均问题的方法^[13, 14]。春秋末期，吴国开凿的邗沟，自山阳至江都，贯通淮河与长江，于公元前 486 年开通；战国初期，魏国修筑鸿沟，沟通黄河与淮河，于公元前 360 年开通；西汉时期，修建漕渠，于公元前 129 年开通；而在春秋时代（公元前 456 年）挖掘，经南北朝，南朝至元朝（公元 1239 年）全线贯通的京杭大运河（全长 1873km）更是世界调水工程中的瑰宝^[15]。新中国成立以后，为解决缺水城市和水地区的水资源紧张的问题，我国各种规模的跨区域调水工程得到了快速的发展，修建了多座大型跨区域调水工程，如天津引滦入津、甘肃引大入秦、山西引黄入晋、辽宁引碧入连、青海引大入湟、陕西引汉济渭等，为供受水区提供了稳定可靠的水源，有力支撑了我国经济社会发展和生态环境保护^[16]。为有效解决北部地区干旱缺水问题，改善缺水地区的工农业生产及生活供水条件，于 2002 年和 2003 年开始兴建南水北调中线工程和东线工程，一期主体工程建成通水以来，截止 2021 年已累计调水 400 多亿 m³，直接受益人口达 1.2 亿人，在构建我国国土空间发展新格局方面发挥着重要作用^[17, 18]。

水是黄河流域社会经济命脉^[19]，要实现黄河流域的生态保护和高质量发展，关键在于水资源合理调配。破解水资源短缺、生态环境脆弱、高质量发展不足三大瓶颈制约，需要坚持全国一盘棋，从黄河流域高质量发展的大局出发，在国家水网的框架下，规划大型调水工程，将水调入黄河流域，一举解决水-土失衡问题，实现黄河流域的空间均衡发展。

1 黄河水网构建的背景与内涵

2019 年 9 月 18 日，习近平总书记在郑州主持召开黄河流域生态保护和高质量发展座谈会

会上强调黄河流域最大的矛盾是水资源短缺。2021年5月14日，习近平总书记主持召开了推进南水北调后续工程高质量发展座谈会，强调“要加快构建国家水网，加快构建国家水网主骨架和大动脉，为全面建设社会主义现代化国家提供有力的水安全保障”。国家重大战略实施对国家水网体系建设提出了新的要求，当下国家水网建设既面临难得的机会，也面临严峻挑战。

国家水网是在节水优先的前提下，以资源环境承载能力为约束，以保障经济社会合理用水需求和生态环境健康稳定为目标，以水流功能的有序发挥为表征，以自然河湖水系为基础、蓄引提调连通工程为框架，形成的在空间上具有显著网络形态、在功能上具有“四水统筹”（水资源、水环境、水生态、水灾害）作用的国家水资源配置网络体系^[20, 21]。按照国家水网建设的目标要求，国家骨干网主要解决国家水资源宏观调配问题，围绕国家发展重大战略，构建国家及重要区域水网主骨架、大动脉。省、市、县水网依托国家骨干网及上一级水网的调控作用，形成城乡一体、互联互通的水网体系，提供高质量的水利公共服务。

南水北调西线工程既是“四横三纵”国家水网的主骨架，更是黄河水网的核心工程。因此，在国家水网构建框架下，以南水北调西线工程为纲、以引黄济宁、白龙江引水调水等区域配置工程为目，以龙羊峡、古贤等节点控制工程为结，打造黄河水网，实现流域水资源空间均衡配置。

2 黄河水网构建面临的问题

由于黄河流域水资源总量不足，流域水资源分布与人口土地分布不匹配，山区水资源利用条件差，生态建设和国民经济发展仍面临资源型缺水、工程型缺水和水质型缺水问题，一些城市备用水源不足，部分地区“守着黄河喝不到黄河水”。

2.1 本地水资源不足以支撑流域生态保护和高质量发展

黄河流域是极度缺水地区，资源型缺水问题突出。黄河流域年均降水量低于400mm的面积占流域面积的40%，是典型的干旱半干旱区域。流域多年平均水资源总量仅647亿 m^3 ，人均水资源量473 m^3 ，为全国平均的23%，亩均水资源量220 m^3 ，不足全国平均的15%，有限的水资源还要承担输沙和向流域外供水的任务。黄河水资源开发利用率高达80%，远超一般流域40%的生态警戒线。由于过度开发，与上世纪80年代相比，黄河干流宁蒙、小北干流、下游等河段河流湿地面积减少了约30%~40%，河口天然湿地面积萎缩约50%，鱼类种类减少约30%。石川河、漆水河、汾河、大黑河等支流断流情况严重，河流生态功能受

损。同时，由于水资源短缺，现有 1000 多万亩有效灌溉面积得不到灌溉，甘肃、宁夏、内蒙古、陕西等省区大量国家重点能源工业项目难以落地，严重制约了流域生态保护和高质量发展。

2.2 区域水资源配置工程和城乡供水工程不完善

黄河流域水资源方面存在时空分布不均，连续枯水段时间长等特点，由于流域不同区域供需情况与水资源丰枯不相匹配，工程型缺水问题突出，主要表现在区域水资源配置工程不足和城乡水源工程存在突出短板等方面。中游地区发展主要依靠黄河水，但黄河北干流水低地高，引黄供水工程大多数扬程在 200~300 米，有的高达 400~500 米，单方水耗能高，导致供水成本高、开发利用难度大。此外，榆林、延安、庆阳等革命老区以及黄河下游两岸等地区也存在因为水资源配置工程不足，喝不上黄河水的情况。受区域经济社会发展水平的差异影响，部分地区供水基础设施建设滞后，与保障区域高质量发展的供水安全要求不适应。流域内约 60%的建制市没有应急备用水源，饮用水水源地单一，难以应对干旱、污染等突发事件。部分农村地区水源点分散，集中供水率低，供水保障程度有待进一步提高。随着兰州—西宁城市群、关中—天水经济区、呼包鄂榆经济区和太原城市群、中原城市群等重点地区发展，人口和产业将进一步向城市群和大城市集聚，生活和工业用水需求刚性增长，对供水时段、供水水质和供水保证率要求更高，现有的区域供水工程将难以保障未来经济社会快速发展的需求，需要进一步完善区域供水工程，提高区域水资源配置能力。

2.3 黄河干流骨干水库调蓄能力不足

黄河天然径流量年际变化大，干流断面最大年径流量一般为最小值的 3.1~3.9 倍，支流一般达 5~12 倍。最大月径流量发生在 8 月份（占 16.1%），最小月径流量发生在 1 月份（占 2.4%），连续最大 4 个月发生在 7—10 月份（汛期，占 57.9%）。黄河流域径流时空分布不均，汛期径流量虽大，但农业灌溉用水主要集中在非汛期；兰州以下径流量占全河的 33.5%，但人口和 GDP 分别占 92%和 95%，用水量占全河的 93%，水资源时空分布与经济社会布局不相匹配，来水与用水在地区和时间上不相适应。

现状黄河干流仅有龙羊峡一座多年调节水库，距龙羊峡水库以下 2877.5 千米的上中游河段有刘家峡、小浪底两座不完全年调节水库，调节库容为 86 亿立方米，年内和年际蓄丰补枯能力有限。规划的古贤、黑山峡、碛口等大型水库仍未开工建设，大大限制了黄河水资

源的时空调配能力。如表 1 所示黄河干流大多数省份水库调节能力不足 0.8，在丰水年会大大降低干流水资调蓄能力，如 2018 年、2019 年黄河来水较丰，但由于水库调蓄能力不足，造成大量水资源无法有效利用。

表 1 黄河干流各省份水库调节能力分析表单位：亿 m³

省份(区)	青海	四川	甘肃	宁夏	内蒙古	陕西	山西	河南	山东
天然径流量	213.95	-	317.90	320.20	307.40	435.40	435.40	484.20	490.00
累积调节库容	200.28	-	243.25	246.55	253.76	254.16	314.56	365.51	365.51
调节能力	0.94	-	0.77	0.77	0.83	0.58	0.72	0.75	0.75

3 黄河水网总体思路和格局

3.1 总体思路

在分析资源环境状况、调水工程与水网布局现状基础上，按照节水优先要求，以水资源水生态水环境承载能力为约束，重点围绕需求的动态变化，分析需求的次序和等级，保证合理刚性需求，遏制不合理需求。结合水资源供需分析的结果，提出跨区域流域水资源配置格局。以自然河湖水系为基础，按照“确有需要、可以持续、生态安全”的原则，谋划必要的蓄引提调工程网络，有序发挥水流的自然演变、社会服务、生态服务功能，强化水网布局与其他空间规划相关布局方案的协调与衔接，构建黄河水网格局，实现水资源空间均衡配置。

3.2 总体格局

统筹黄河流域水资源特点和经济社会发展要求，结合流域水利工程布局体系，在国家“四横三纵、南北调配、东西互济”的水资源配置战略格局下，逐步构成黄河流域“一千七支、一线七库、节点控制、连通互济”的水网格局。“一千多支”包括黄河干流上、中、下游及湟水、洮河、无定河、汾河、渭河、伊洛河、沁河等主要支流，形成了黄河水网的核心基础。“一线七库”包括南水北调西线工程、黄河干流上拟建设的古贤、黑山峡、碛口等三座骨干调蓄工程加上已经建成的龙羊峡、刘家峡、三门峡、小浪底等四座骨干调蓄工程，形成黄河水网的一级骨干脉络与核心节点；引汉济渭二期工程、白龙江调水工程等区域配置工程、支流上已建的李家峡、万家寨、九甸峡、陆浑、故县、河口村等水库和拟建的水库，形成黄河水网的二级脉络和节点。



图 1 黄河流域水网格局

4 黄河水网构建的具体举措

4.1 构建黄河水网的“纲”

随着流域生态保护和高质量发展战略的推进，未来对水资源刚性需求强烈^[221]，水资源保障形势更加严峻，对国家粮食安全、能源工业安全、生态安全和社会稳定埋下重大隐患。根据水利部审查通过的《新形势下黄河流域水资源供需形势深化研究》规划成果表明，2035年水平，黄河流域各行业用水水平达到国内领先的情况下，流域节水潜力约为 33 亿 m³，其中农业能转让给工业和生活的用水节水潜力为 16 亿 m³，届时流域国民经济缺水仍高达 133 亿 m³，其中生活和工业刚性缺水 84 亿 m³，仅依靠节水解决不了黄河流域的缺水问题。

目前已建和规划向黄河调水的工程主要有引汉济渭工程和白龙江调水工程，其中，引汉济渭工程一期调水 10 亿 m³ 已经通水，二期调水 5 亿 m³ 尚未通水；尚在规划阶段的白龙江调水规模 7.9 亿 m³。因此，目前调水规模远达不到黄河缺水水平。南水北调西线工程是国务院批复的《南水北调工程总体规划》的重要组成部分，是国家“四横三纵”水资源配置格局的战略性水利工程，研究历时已近 70 年，取得了大量成果，已基本具备了开展可行性研究工作的条件。通过统筹存量和增量，加强互联互通，推进南水北调西线工程建设，加快构建国家水网主骨架和大动脉，可以从根本上扭转黄河流域水资源严重短缺的局面，最终在完善国家水资源配置总体格局基础上，形成黄河水网的纲。

4.2 完善黄河水网的“目”

区域水资源配置工程是黄河水网的“目”。在黄河流域“一轴两区五极”的发展动力格局下，科学合理布置区域水资源配置工程。“一轴”，是指依托新亚欧大陆桥国际大通道，串联上中下游和新型城市群，以先进制造业为主导，以创新为主要动能的现代化经济廊道，是黄河流域参与全国及国际经济分工的主体。“两区”，是指以黄淮海平原、汾渭平原、河套平原为主要载体的粮食主产区和以山西、鄂尔多斯盆地为主的能源富集区，加快农业、能源现代化发展。“五极”，是指山东半岛城市群、中原城市群、关中平原城市群、黄河“几”字弯都市圈和兰州-西宁城市群等，是区域经济发展增长极和黄河流域人口、生产力布局的主要载体。

围绕“一轴两区五极”高质量发展对水资源的需求，建设一批重点水源工程，加强国家重大水资源配置工程与区域重要水资源配置工程的互联互通，提升重点区域水资源调配保障能力。围绕兰—西城市群及辐射地区，加快实施引黄济宁、白龙江引水调水工程，完善提升引大入秦、引洮二期等工程供水能力。围绕黄河几字弯城市带，加快实施陕甘宁革命老区供水、乌梁素海生态补水等工程。尽快建成榆林抽黄供水、延安抽黄供水、古贤陕西山西供水等工程。支撑河套灌区粮食主产区和几字弯能源富集区发展。围绕西安—咸阳一体化，加快引汉济渭二期等工程建设，形成渭汾平原水系，支撑关中城市群发展。围绕郑汴同城化，结合南水北调中线后续工程，实施陆浑、故县水库向郑州、洛阳城镇供水工程，支撑中原城市群发展。围绕济南核心城市和山东半岛城市群，实施南水北调东线后续工程，完善重点区域水资源调配保障能力。

4.3 补充黄河水网的“结”

黄河径流年内年际变化大，水资源与人口、资源分布不相匹配，工程调控能力不足。现有龙羊峡、刘家峡水利枢纽位于兰州以上，可联合对兰州以上水量进行多年调节，但中下游三门峡、小浪底水利枢纽调节库容有限，对上游和区间来水调节能力不足。因此，在黄河兰州以下干流要尽快建设必要的枢纽工程，增强水量蓄丰补枯调控能力。尽早开工建设古贤水利枢纽工程，同时改建三门峡水库，实施黄河下游引黄涵闸改建，与支流骨干水库联合运用，构建中下游水资源配置工程子体系。积极筹建黑山峡、碛口等水利枢纽，与南水北调西线工程联合调度，增强上中下游水量联合调控能力，构成全河完善的水资源配置工程体系，优化水资源配置和保障供水安全。

5 结 语

黄河流域水资源匮乏与水土资源不匹配使得该区域的生态地理处于极度劣势,也成为了区域长期无法显著发展的瓶颈阻碍。要突破黄河流域“水资源短缺、生态环境脆弱、高质量发展不足”三大制约,推动黄河流域高质量发展,需要与国家水网构建结合,加快实施南水北调西线工程,构建“一干七支、一线七库、节点控制、连通互济”的黄河流域水网格局,在保障水安全的前提下,实现黄河流域水资源空间均衡优化配置。

参考文献

- [1] 王煜, 杨立彬. 南水北调西线工程建设的必要性与紧迫性研究[J]. 工程研究-跨学科视野中的工程, 2012(2):150-156.(WANG Yu, YANG Libin. Research on the Necessity and Urgency of the West-Route of South-to-North Water Diversion[J]. Journal of Engineering Studies, 2012,(2):150-156.(in Chinese))
- [2] 左其亭, 张志卓, 吴滨滨. 基于组合权重TOPSIS模型的黄河流域九省区水资源承载力评价[J]. 水资源保护, 2020,36(2):1-7.(ZUO Qiting, ZHANG Zhizhuo, WU Binbin. Evaluation of water resources carrying capacity of nine provinces in Yellow River Basin based on combined weight TOPSIS model[J]. Water Resources Protection, 2020, 36(2): 1-7.(in Chinese))
- [3] 王浩, 常炳炎, 秦大庸. 黑河流域水资源调配研究[J]. 中国水利, 2004(9):16-19.(WANG Hao, CHANG Bingyan, QIN Dayong. Research on the Water Resources Allocatiing in the Hehe River Basin[J]. China Water Resource, 2004,(9):16-19.(in Chinese))
- [4] 王光谦, 杨益. 中央犹他工程[J]. 南水北调与水利科技, 2006,4(6):35-38, 58.(WANG Guangqian, YANG Yi. The Central Utah Project[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2006,4(6):35-38, 58.(in Chinese))
- [5] 王光谦, 欧阳琪, 张远东, 等. 世界调水工程[M]. Beijing: 科学出版社, 2009.(WANG Guangqian, OUYANG Qi, ZHANG Yuandong, et al. Water Transfer Projects in World: [M]. Beijing: The Science Publishing Company, 2009.(in Chinese))
- [6] Akron A, Ghermandi A, Dayan T, et al. Interbasin water transfer for the rehabilitation of a transboundary Mediterranean stream: An economic analysis[J]. J Environ Manage, 2017,202(1):276-286.
- [7] 梁书民, Greene Richard, 朱立志, 等. 全球大型跨流域调水工程及水资源农业开发潜力[J]. 水资源与水工程学报, 2019(5):236-246.(LIANG Shumin, Greene Richard, ZHU Lizhi, et al. Global large-scale inter-basin water transfer projects and potential of water resources' agricultural development[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2019,(5):236-246.(in Chinese))
- [8] 贲克平. 国际上大规模跨流域调水工程实例[J]. 科技信息, 2003(9):28-29.(BEN Keping. Water transfer Project in History[J]. Science & Technology Information, 2003,(9):28-29.(in Chinese))
- [9] 方国华, 宋子奇, 廖涛, 等. 跨流域引调水工程供水效益量化分析[J]. 水利经济, 2021,39(1):15-19.(FANG Guohua, SONG Ziqi, LIAO Tao, et al. Quantitative analysis of

-
- water supply benefits of inter-basin water diversion projects[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2021,39(1):15-19.(in Chinese))
- [10] Wright Da. A history of agriculture in the Central Valley[J]. Business Journal Serving Fresno & the Central San Joaquin Valley, 2002.
- [11] Troy A. The Very Hungry City: The California State Water Project and Central Arizona Project[M]. Yale University Press, 2012.
- [12] Cohen N. ISRAEL'S NATIONAL WATER CARRIER[J]. Present Environment & Sustainable Development, 2008,2(2):1843-5971.
- [13] 夏军. 跨流域调水及其对陆地水循环及水资源安全影响[J]. 应用基础与工程科学学报, 2009(6):831-842.(XIA Jun. Impact of Water Diversion Project Across Basins on Land Water Cycle and Water Security[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2009,(6):831-842.(in Chinese))
- [14] 郑连第. 中国历史上的跨流域调水工程 [J]. 南水北调与水利科技, 2003,S1:11-14.(ZHENG Liandi. Water Transfer Projects in Chinese history[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2003,S1:11-14.(in Chinese))
- [15] 王锐. 京杭大运河修建历史变化 [J]. 炎黄地理, 2020,566(7):23-26.(WANG Rui. Historical Changes in the Construction of the Beijing-Hangzhou Grand Canal[J]. Yanhuang Geography, 2020,566(7):23-26.(in Chinese))
- [16] 孔波, 付少杰, 黄强. 大型复杂跨流域调水工程电站-水库-泵站群多目标优化调度[J]. 水资源保护, 2020,36(6):67-72.(KONG Bo, FU Shaojie, HUANG Qiang. Multi-objective optimal operation of hydropower plant-reservoir-pumping station group in large complex inter-basin water transfer projects[J]. 水资源保护, 2020,36(6):67-72.(in Chinese))
- [17] 王浩. 南水北调通水6年 1.2亿多人用上"南水"[J]. 科学大观园, 2021,609(1):16-21.(WANG Hao. More than 120 million people have benefit from The south-to-North Water Diversion project which has been running for 6 years[J]. Grand Garden of Science, 2021,609(1):16-21.(in Chinese))
- [18] 杨爱民, 张璐, 甘泓, 等. 南水北调东线一期工程受水区生态环境效益评估[J]. 水利学报, 2011,39(5):563-571.(YANG Aimin, ZHANG Lu, GAN Hong, et al. Evaluation on eco-environmental benefits in water reception areas of the East-route Phase 1 Project of the South-to-North Water Diversion[J]. J Hydraul Eng, 2011,39(5):563-571.(in Chinese))
- [19] 王煜, 王慧亮, 申言霞, 等. 基于能值理论的黄河流域水资源生态经济系统可持续性评价[J]. 水资源保护, 2020,36(6):12-17.(WANG Yu, WANG Huiliang, SHEN Yanxia, et al. Sustainability assessment of water resources ecological-economic system in the Yellow River Basin based on emergy theory[J]. Water Resources Protection, 2020,36(6):12-17.(in Chinese))
- [20] 全国政协常委、水利部副部长陆桂华: 推进国家水网重大工程建设提升水安全保障能力 [EB/OL]. [2021-8-30]. http://www.chinawater.com.cn/ztgz/xwzt/20211h/3/202103/t20210311_762422.html.
- [21] 郭旭宁, 何君, 张海滨, 等. 关于构建国家水网体系的若干考虑 [J]. 中国水利, 2019(15):1-4.(GUO Xuning, HE Jun, ZHANG Haibin, et al. Considerations on forming national water networks[J]. China Water Resources, 2019,(15):1-4.(in Chinese))
- [22] 武见, 明广辉, 周翔南, 等. 黄河流域需水分层预测 [J]. 水资源保护, 2020,36(5):31-37.(WU Jian, MING Guanghui, ZHOU Xiangnan, et al. Forecasting of water

demand hierachy in the Yellow River Basin[J]. Water Resources Protection,
2020,36(5):31-37.(in Chinese))

