

DOI:10.3969/j.issn.1674-8131.2020.05.006

# 黄河治理新思路:构建智能化储水、储能综合体

方行明<sup>1</sup>,王璐<sup>1</sup>,杨万东<sup>2</sup>,鲁玉秀<sup>1</sup>

(1.西南财经大学经济学院,四川成都610074;2.中国人民大学应用经济学院,北京100872)

**摘要:**本文根据黄河治理现状提出黄河治理优化、转型的策略和路径,旨在充分发挥黄河自身的潜力,努力实现流域水资源利用的最大化、最优化,并对水资源的使用进行精细化管控,以求保持黄河水资源和水能资源的可持续供给,实现黄河自身水资源利用的最大化,以满足区域用水需求。借鉴岷江都江堰水利工程分流、引流的原理,根据黄河水势在不同年份、不同季节的变化,在黄河中上游汛期引流并筑坝储水、储能。创新储水、储能模式,借助先进的抽水蓄能电站原理,将西北丰富的风能、太阳能资源转换成水能储存,构建储水、储能的综合体,形成水资源和能源生产循环系统,实现对黄河水资源和能源利用的良性循环,并根据水资源和能源的需求来调节供水或供能,既可缓解汛期的洪水压力,又可在干旱年份或枯水季节供水、供能,缓解旱情。通过使用5G、智能技术、大数据等先进信息技术对整个流域各河段的水情进行监测和调控,以实现流量的稳定管控,避免负面效应的发生。

**关键词:**黄河;储水;储能;综合体;循环

**中图分类号:**F127;F062.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-8131(2020)05-0057-13

## 一、引言

黄河作为中华民族的母亲河,为流域的人民的生产和生活提供源源不断的水资源,但黄河治理也是千古话题和难题。历史上黄河流经黄土高原携带大量泥沙造成河道淤塞,形成下游的“地上悬河”,并引发频

\* 收稿日期:2020-05-10;修回日期:2020-06-15

**基金项目:**教育部人文社会科学研究规划基金项目(18YJA790031)

**作者简介:**方行明(1956),男,安徽南陵人;研究员,博士生导师,西南财经大学经济学院国民经济研究所所长,国家社会科学基金重点项目主持人,四川省突出贡献优秀专家,主要从事国民经济研究;E-mail:xingmingf@163.com。王璐(1994),女,安徽合肥人;博士研究生,主要从事国民经济研究;E-mail:1474344301@qq.com。鲁玉秀(1982),女,河南延津人;博士研究生,郑州大学西亚斯国际学院副教授,主要从事国民经济研究;E-mail:494917447@qq.com。

**通信作者:**杨万东(1962),男,四川南充人;编审,经济学博士,中国人民大学应用经济学院、公共管理学院教授,首都经济贸易大学中国产业经济研究院学术委员会副主任,中国人民大学《经济理论与经济管理》副主编,主要从事产业经济、宏观经济、政治经济学研究;E-mail:838990516@qq.com。

繁的决溢,甚至改道,所造成的洪灾也经常给沿岸的民众带来深重灾难。黄河所产生的各种问题一直困扰着中国人民。从20世纪70年代开始,由于环境恶化、人口增加、工农业快速发展、粗放式用水等因素的影响,黄河入海年径流量逐渐变小,黄河下游频繁发生季节性断流现象,特别是20世纪90年代每年均发生断流,1997年断流天数达到226天的历史最高值。<sup>①</sup>由此,黄河水患旧患未除,却又出现新的麻烦——水荒,即造成下游断流、无水。这种黄河见底、断流的现象在历史上是空前的,然而,无水产生的危害也不亚于水多、水患,其负面影响首当其冲就是缺水,影响人们的生产、生活,同时也对沿岸生态环境造成危害。虽然从2000年开始断流的现象由于气候变化基本停止,但断流停止后又恢复了水患,2003年9月因黄河中上游连连降雨引发河水上涨,导致河南兰考段出现决堤,造成重大财产损失。因此,对黄河的管理和利用总是面临着新的挑战。

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上发表重要讲话,他强调,“黄河宁,天下平”,“保护黄河是事关中华民族伟大复兴和永续发展的千秋大计”,并在如何对黄河进行治理上进行了思想指导与布置。<sup>②</sup>习近平总书记的重要讲话,标志着黄河治理将开启一个新的阶段。本文将结合新的形势提出系统性的黄河治理思路。

## 二、相关文献综述

超大型河流治理是一个全球性的问题,存在着一些共性,如水涝旱灾、河流污染,等等。世界各国均有一些成功经验值得借鉴,主要集中在加强监测、综合治疗和跨区域之间的协同方面。例如,莱茵河的治理体现了协同治理的精神,包括成立保护莱茵河国际委员会(1976年),实施莱茵河行动计划(1978年)、莱茵河生态修复行动计划(1987年)、1992年鲑鱼行动计划、2000年欧盟水框架指令、莱茵河2020行动计划,成为世界流域生态环境协同治理和可持续发展的典范(Cioc,2002)<sup>[1]</sup>;又如湄委会和大湄公河次区域合作组织和机制的建立,该组织建立了较为完善的组织机构和工作机制,通过成员国之间的交流与沟通,促进信息交换与共享,并在出现分歧或争端时开展对话,为湄公河水资源开发和保护作出了贡献(Marty,2001)<sup>[2]</sup>。Kremer等(2006)的研究发现,多瑙河的成功开发依赖于高科技手段、数据共享及不同国家、区域的共同监测<sup>[3]</sup>。Araral等(2013)认为在田纳西河谷的洪泛区管理中,把握好管理机构与政府的权力平衡,协调和组织社区各方面力量,多方配合才能达到防洪减灾的目的<sup>[4]</sup>。为应对1997年至2010年间出现的“千年大干旱”和流域水资源的逐渐枯竭,澳大利亚国会通过《2007年水法》,明确要求制定一个综合的墨累—达令河流域计划,2012年11月正式颁布流域计划,该计划中的整体性水治理目标和举措需要流域内四个州的水资源计划予以配合(Ross和Connell,2016)<sup>[5]</sup>。国内学者也对中国的主要大型河流的综合治理进行了研究,如对长江(张国有,2020)<sup>[6]</sup>、珠江(刘民坤等,2015)<sup>[7]</sup>、松花江(包正义等,2018)<sup>[8]</sup>等流域的治理研究。

上述研究均可对黄河治理提供参考。然而,与世界上其他超大型河流的治理相比,黄河具有其独特性,也可以说黄河是世界上治理难度最大、挑战性最大的一条河流。其他河流治理办法当然也可作为借鉴,但却不能从根本上解决黄河的问题。黄河的独特性及其难题的化解则需要针对性的思想和智慧。

关于黄河水资源的开发、管理与调控,学者们已经提出一些有益的思路。针对20世纪90年代以来黄河断流时间不断延长,沿黄地区居民用水供不应求,Dahan等(2008)<sup>[9]</sup>,Shentsis等(2010)<sup>[10]</sup>以及靳少波等(2017)<sup>[11]</sup>认为增加供水量是解决居民用水问题的首要目的,开发空中水资源、增加黄河径流量迫在眉睫。针对中国流域治理往往以行政区为界及引发“公地悲剧”的问题,罗志高等(2019)提出,黄河流域的开发治

① 参见:环境.中国水资源告急[J].污染防治技术,2008(3):33.

② 参见:中华人民共和国中央人民政府网站,习近平在河南主持召开黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上,http://www.gov.cn/xinwen/2019-09/19/content\_5431299.htm。

理过程中同样需要强调各区域协同治理<sup>[12]</sup>。针对黄河流域缺水问题,乔秋文等(2019)则认为,应在国家层面加快推进西线调水工程建设,缓解不断增长的沿黄社会综合用水需求<sup>[13]</sup>。针对黄河水资源开发利用过程中涉及的人文问题,李果(2018)提出坚持以人为本的科学发展观,积极探索投资型移民模式,建立健全相关法律制度,促进移民安置与区域经济社会发展相结合及帮助移民增强自谋职业能力等举措<sup>[14]</sup>。也有学者提出实现水资源和环境一体化的规划和管理,保证水资源配置的适应性、稳健性和综合性是未来缓和水资源开发利用的前提条件(朱元生,2015)<sup>[15]</sup>;建立和完善相关政策体系,加强执法监管,通过制定符合实际的管理制度,对黄河流域的水资源进行合理的管理,提高水资源的利用率(魏俊彪等,2012)<sup>[16]</sup>。也有学者提出了黄河水资源利用存在的问题,如孙学平等(2017)认为宁夏作为引黄供水的重点区域,长期以来引黄灌区农业水价总体偏低,水利工程运行维护经费不足等问题制约着灌区的良性发展<sup>[17]</sup>;刘思好等(2016)认为引黄灌区存在着灌溉区供水成本过高但是水价标准偏低的问题<sup>[18]</sup>。刘家旗,茹少峰(2020)基于生态足迹理论,对黄河流域可持续发展进行了研究,结果表明:黄河流域处于强不可持续发展状态,其原因是黄河流域人均生态赤字逐年加大,生态资源利用效率提高不显著,生态足迹需求不均衡,并提出,未来黄河流域要坚持生态优先,推行绿色发展模式,这样才能实现生态环境保护与经济的双赢<sup>[19]</sup>。

新中国成立后开始了一系列的黄河治理宏大工程。1957年开始修建的三门峡水利枢纽工程,被誉为“万里黄河第一库”,其功能集防洪、防凌、灌溉、供水、减淤和发电于一体。由此,黄河又有了新的功能,除了为人们提供水源之外,又为人们提供能源。随着中国水电建设能力的增强,黄河的水能资源又得到进一步的充分开发与利用。黄河干流上游龙羊峡至青铜峡河段、中游河口镇至禹门口河段,梯级电站开发的自然条件和建设条件好,被列为国家重点开发建设的大型水电基地。黄河上游梯级水电站的建设对西北地区经济发展发挥了巨大作用,满足了西北地区的用电及工农业用水需求,同时兼顾了黄河中、下游部分地区的调水(安盛勋,2004)<sup>[20]</sup>。魏洪涛等(2016)研究表明,截至2015年,黄河流域累计产生水力发电经济效益7486.5亿元,对促进区域经济发展、改善偏远山区群众生产生活条件产生了积极影响<sup>[21]</sup>。白夏等(2016)对水文序列统计特征、趋势性及周期性进行分析认为,黄河上游龙羊峡、刘家峡水库具有调节功能,合理控制和调度汛期水资源,有利于实现黄河上游水资源高效开发利用<sup>[22]</sup>。师旭颖等(2009)的研究表明,水电梯级开发对周边地区资源与环境并未产生明显的负面影响,实际上区域林地、草地、建筑用地和耕地面积增加,沙地面积下降明显<sup>[23]</sup>。但是,水电站的建设也产生了一些负面影响和争议,如三门峡水电站为了发电,就要蓄水,抬高水位,却导致河水流速减缓,上游泥沙淤积,曾经造成渭河流域水患增多。因此,在黄河治理过程中往往存在预见性不够,出现一方受益、一方受损的情况。这一经验教训可为今后的治理提供借鉴。此外,靳少波等(2018)通过对黄河上游主要水文站和大型水库资料的分析,得出1987年至2016年30年黄河上游年径流量明显减少<sup>[24]</sup>。

关于黄河治理,学者们虽然提出了一些宝贵的思想,但并未提出具体有针对性的方案。有学者提到了西线调水工程,这也是南水北调中对黄河流量进行直接干预的最大工程,我们将在后文加以讨论。关于水电建设的利弊问题总是存在的,关键是如何实现利益的最大化和损害最小化。在智能化、网络化、信息化、大数据时代,以及综合考虑中国治水历史上的宝贵经验和世界上其他国家的节水、储水、储能的先进经验,我们应该重新思考对黄河的水资源和水能资源的系统化、精细化的管理和利用。参照现有的研究,本文提出了黄河储水、储能及水资源精细化利用的新的思路。通过充分发挥黄河自身水资源和水能资源的潜力,实现水资源利用的最大化、最优化,并对水资源的使用进行精细化管控,以实现黄河水资源和水能资源的可持续供给,尽量用黄河自身的水资源来满足区域用水需求。

本文的理论意义在于对可持续发展理论的深化,深入到黄河水资源和能源的可持续利用。在资源与环境经济学中,水资源和能源处于人类生存与发展的最为重要的资源之列,可持续发展理论亦具体体现在这两大资源的循环与可持续利用。本文将这两大资源统筹协调起来建立资源可持续利用的循环体,相较于现

有的黄河治理的理论和办法,把水资源和能源单独研究,也是系统理论及其应用的创新。本文的现实意义在于为黄河治理提供一个可操作的新思路和办法,提出了关于黄河治理的优化、转型的策略和路径。具体的思路是,借鉴都江堰分流、引流的原理、现代先进的抽水蓄能电站原理和风能、太阳能转化水能储存原理,将这些原理综合起来应用到黄河水域智能化储水、储能综合体的构建,即根据黄河水势在不同年份、不同季节的变化,在黄河中上游汛期引流,筑坝储水、储能;创新储水、储能模式,借助先进的抽水蓄能电站原理,构建储水、储能的综合体,形成水资源和能源循环系统,实现黄河水资源和能源的良性循环,并根据水资源和能源的需求来调节供水或供能,既可缓解汛期的洪水压力,也可在干旱年份或枯水季节供水、供能,缓解旱情。通过使用5G、智能技术、大数据等先进信息技术对整个流域各河段的水情进行监测和调控,以实现流量的稳定管控,避免负面效应的发生。从经济意义上来说,对黄河流域水资源和水能资源的最大化利用,将促进整个流域工农业生产的发展,为西北地区经济社会的高效运行提供可持续的水资源和能源的支撑,为实现黄河流域的可持续发展、区域经济均衡发展及缩小区域差距作出贡献。

### 三、黄河流域的水资源分布状况及调配

总体上看,中国是一个缺水国家。与世界平均水平相比,中国低于世界平均水平的一半。而黄河流域的大多数省份缺水现象更加严重。而要加强黄河水资源的宏观管理和调控,我们首先需要对黄河流域各省份的水资源分布有一个大致的了解和认识。

#### 1. 黄河流域各省份水资源状况

黄河分为上游、中游、下游三段,流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东共9个省区,最后流入渤海。黄河流经地区大多处于中国的北方地区。这些地区的一个共同特征就是缺水。除了四川和青海之外,其他省区的人均水资源量均远远低于全国平均水平,其中宁夏的人均水资源量仅相当于全国平均水平的7.67%,较高的内蒙古也低于全国平均水平的60%,<sup>①</sup>山西、山东和河南缺水均非常严重。四川是水资源调出省,而青海则因地广人稀,人均水资源量特别高(见表1)。

有鉴于中国水资源南丰北乏的分布特征,水资源的调配,即南水北调工程得以兴起。

表1 2017年黄河流域各省份水资源状况

指标	青海	甘肃	宁夏	内蒙古	陕西	山西	河南	山东	四川	全国
1	785.70	238.90	10.80	309.90	449.10	130.20	423.10	225.60	2 467.10	28 761.20
2	13 188.86	912.54	159.19	1 227.54	1 174.48	352.65	443.25	226.14	2 978.87	2 074.50
3	635.76	43.99	7.67	59.17	56.62	17.00	21.37	10.90	143.59	

注:指标1指水资源总量(亿立方米);指标2指人均水资源量(立方米/人);指标3指各省区人均水资源量与全国水平之比。

数据来源:<http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>

#### 2. 南水北调——中国水资源的调配及对黄河的影响

中国的资源在地理分布上经常处于“错配”的局面。西、北地区多能源而缺水资源,而东、南地区多水资源而缺能源。这一状况在经济进入高度发展的情况下就必然需要跨地区的资源调配和运输。东南地区经济发达却能源匮乏,于是出现了宏大的能源调配工程,如“西油东输”“西气东输”“西电东输”“西煤东运”

<sup>①</sup> 以上数据根据国家统计局网站整理得出;<http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>。

“北煤南运”等;而北方缺水,于是就有了“南水北调”的工程。调水的路线与能源的运输路线大体上方向相反。“南水北调”分为东线、中线和西线三个工程。这三项调水工程若全部完成,应能完全解决北方及黄河流域的缺水问题。东线工程<sup>①</sup>包括了黄河流域的山东省,中线工程<sup>②</sup>包括了黄河流域的河南省。东线工程和中线工程已经基本完工,并已发挥效益,而西线工程正处于勘探和筹备阶段。

西线工程拟从长江上游引水入黄河(水源来自通天河、雅砻江和大渡河),这是解决中国西北地区和华北部分地区干旱缺水的战略性工程,具体解决青海、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西等6个省区黄河上中游地区和渭河关中平原的缺水问题。

东线和中线工程只能解决黄河下游的用水问题,而西线工程一旦成功便预计可彻底解决整个黄河流域的用水问题,但西线工程投资最大,施工最难,争议也最多。

### 3. 南水北调西线工程的争议

西线工程是耗资最大、施工难度最大的工程。在《南水北调工程总体规划》中已经说明:“西线工程地处青藏高原,海拔3000~5000m,在此高寒地区建造200m左右的高库和开凿埋深数百米,长达100公里以上的长隧洞,同时这里又是我国地质构造最复杂的地区之一,地震烈度大都在 $6^{\circ}\sim 7^{\circ}$ ,局部 $8^{\circ}\sim 9^{\circ}$ ,工程技术复杂,施工环境困难。还须加深前期工作,积极开展科学研究和技术攻关解决这些难点。”

也正因为如此,西线工程方案提出以来争议不断。反对意见来自许多地质和水利专家及经济学家,包括一些著名学者、院士。反对修建西线工程的理由主要包括以下方面:

一是认为工程所在地地壳活跃,地震多发。如:陈智梁(2005)研究认为,西线工程位于高寒、高海拔的青藏高原,这里是地球上最年轻的还在不断隆升且每年发生着几十毫米至几毫米旋转位移的高原<sup>[25]</sup>;黄圣睦等(2014)分析认为,工程区70%的地段都有遭受七八级地震破坏的危险,是历史大地震的可能复发危险区,加之工程呈带状分布,比点状分布更加不可避免<sup>[26]</sup>。

二是认为当地是水循环的核心,需要严加保护以及可调水量被高估。如:江新胜等(2014)论述了青藏高原是全球变化的发动机、东亚水循环的心脏、东亚地区的水塔、主要河流发源地,应该加以保护,慎重对待<sup>[27]</sup>;鲁家果(2014)则认为调水区属于高寒地区,漫长的冬季无水可调,可调水量被高估了20亿立方米(高估了25%)<sup>[28]</sup>。

三是认为当地的民族和宗教问题敏感,移民安置困难。如:张序等(2014)认为,西线工程位于藏民集中聚居区,民族和宗教问题极为敏感,移民搬迁困难,将影响寺庙16座,涉及僧尼2000余人,或许引发宗教冲突<sup>[29]</sup>。

四是认为黄河上游缺水是认识上的误区,抑或是个伪命题。如:刘世庆(2014)认为,黄河上游是制度性缺水而非资源性缺水,原因是1987年实行黄河全流域水资源分配时,黄河源头和上游的青海、甘肃等省区经济不发达,水资源分配很少,但27年来,这些省区经济社会发生了很大变化,而水资源分配方案却一直没有调整过<sup>[30]</sup>。因此,西线调水目标是解决黄河上游缺水问题,是认识上的误区。赵业安(2014)亦指出,黄河缺水不在上游。黄河62%的水产在兰州,而产在兰州、青海的水可以留在兰州、青海使用,可以充分就地利用,高水高用<sup>[31]</sup>。钱正英院士也认同上述学者提出的问题,并归纳性地指出西线工程的一些关键性问题,并且认为调水工程影响大渡河、雅砻江、金沙江这些国家水电开发重点地区,调水带来的巨大影响的补偿十分

① 东线工程利用江苏省已有的江水北调工程,逐步扩大调水规模并延长输水线路,经济南延长到烟台、威海,目的是解决黄淮海平原东部地区的缺水问题(包括江苏、安徽、山东、河北、天津五省市)。

② 中线工程近期从长江支流汉江上的丹江口水库引水,沿唐白河平原北部及黄淮海平原西部边缘布设自流输水总干渠,终点北京、天津。为鄂、豫、冀、津、京五省市提供城市生活、工业、农业及其他用水。

复杂(钱正英等,2014)<sup>[32]</sup>。

五是认为未来中国南北方气候将发生转折性的变化:“北涝南旱”的格局,而西线工程与此趋势相反。如:卞娟娟等(2013)<sup>[33]</sup>、贺山峰等(2013)<sup>[34]</sup>的研究一致认为,未来中国气候变化将呈现北湿南干、北涝南旱、降水北多南少的格局,而西线调水是一个与此趋势相反的工程。

也有学者指出南水北调的水价太高,加重了需水城市的负担。如南焱(2014)指出了南水北调东线遭遇高水价难题。由于调水价格太高,山东许多城市减少了调水需求,仍倾向于使用黄河水<sup>[35]</sup>。①

刘世庆(2014)综合其他学者和自己的研究认为,南水北调西线工程涉及青藏高原三江源头和宗族聚居区,地质生态脆弱,民族宗教敏感,调水水源不可靠,西线工程不可行、不易行、不应行<sup>[30]</sup>。

总之,中国大型工程的立项和建设大多存在着争议,以及不同地区间的利益博弈。辩证地看,任何工程建设都不存在“有百利而无一害”的理想模式。这就需要利弊进行权衡,而要权衡利弊,就要把反方的意见充分表达出来,说完说透,以利于政府进行最终的权衡与决策。即便决定正式启动项目,也可根据反方的意见,对项目进行必要的优化调整和处理,以实现趋利避害。目前西线工程尚处于项目建议书的若干专题论证阶段。本文无力研究西线工程是否可行,但提出一个与西线工程并不矛盾的治理思路,即充分使用智能化、大数据时代的科技成果对黄河水资源进行精细化的调控与管理,充分利用黄河自身的水资源潜力,创新储水、储能模式,实现水资源和能源的可持续供给。如果西线工程最终放弃,本方案也可视为西线工程的替代方案;如果西线工程成功,也并不意味着水资源就可以粗放使用,仍然需要精打细算,实行系统、科学的储水和储能,为西北地区经济的发展提供可持续的水资源和能源的供给,则本方案可作为西线工程的配套工程。

#### 四、黄河治理现状与优化、转型的策略和路径

目前黄河治理的主要措施:一是在黄河流域特别是中上游植林种草,改善环境,扩大植被覆盖率,涵养水源,保持水土,增加地下径流,减少洪水危害。二是采取多种措施节约用水,如提高公民自觉用水意识,合理用水,节约用水;适当提高水价,用价格杠杆促使人们集约化用水;调整流域内的农业结构,推广耐旱作物,减少灌溉用水量;采取节水灌溉新技术,如管灌、喷灌、滴灌、渗灌;在工业方面加强污水的净化处理,提高水资源的重复利用率,节约工业用水,同时减少对河流的污染排放。三是采取人工干预方式,增加黄河径流量,如前述南水北调。四是对黄河水情、灾害的防控,如利用大型水利工程枢纽作用,拦蓄洪水,调节径流;加固堤防,防止渗漏和水患,等等。以上治理办法已经取得成效,并将继续发挥作用。

但是,上述治理办法并未涉及黄河水资源和水能资源的协调利用和最大化利用问题,也没有涉及季节性水资源的调控和利用机制问题,对洪水的应对也只是被动性的防范。有鉴于此,本文提出黄河治理优化、转型的策略和路径:在黄河中上游开渠、筑坝,在洪水季节引流储水、储能,利用西北地区丰富的风能、太阳能资源进行抽水蓄能;而在枯水季节放水、供水并发电,形成一个储水、储能的综合体。这是一个巨大的系统工程,展示了人类系统思想和智慧。这一系统工程可在夏季洪水泛滥的季节化解或缓解水患,而在枯水

① 水价问题难免牵涉到供需双方的博弈,数轮博弈之后将会达到均衡。但据我们调查,中线调水价格并未上涨。河南郑州的刘湾水厂2014年10月(最早)开始使用南调的水,但并没有因为原水的改变而调整价格。郑州2016年初调整过一次水价,从原来的2.4元调到现在的4.1元,后来又增加了0.3元的污水处理费,这基本上是每10年调整一次水价的制度,与调水无关。百姓使用的水,主要是支付原水费、电费和药剂费,南水北调原水费用是0.74元,而原来的黄河水价还略微高点,当然每个水厂情况不太一样。这也说明,中线的调水还是使百姓得到实惠的。北京自2014年南水北调工程通水前后的自来水厂的水价对比:2013年2.96元/吨,2014年涨到3.43元/吨(涨幅并不大,并且历史上水价也是逐渐上涨的),一直保持到2016年6月,2016年7月-2018年7月却降到2.07元,并未给民众带来水价负担。北京通州运河公园处运河水储量丰富,南水北调的水约占入京水量的七成。

季节供水。而对于黄河凌汛即河水倒灌形成的水患,仍然可利用这一系统引流储水,缓解水患。这一系统还把夏季的风能、太阳能资源转换成冬季的水能资源,实现储能发电,从而实现对黄河水资源和水能资源的最大化、最优化的利用。这一巨大的系统工程要充分利用5G、智能技术、大数据等先进信息技术对整个流域各河段的水情进行监测和调控,实现水资源调配的最优化管理。

同时,这一系统工程是建立在上述综合治理基础上,也是整个黄河治理工程中的一部分,与其他治理措施协调一致,融为一体。本工程要发挥作用还需采取以下措施相配合:环境改善、水土保持,减少排沙量和整个流域生态系统的优化;实行用水方式的转型,由粗放式转为集约式,采用先进节水技术,提高用水、节水效率;建立生态和节水补偿机制,用经济杠杆和利益补偿来激励地方和相关实体节水行为,等等。也就是说,整个黄河治理是一个整体系统工程,而本工程是其重要组成部分。

黄河治理应体现的是跨区域协同,必然要求由国家来主导。黄河治理中的各个工程要牵涉整个流域,影响到其他地区的利益,而且利益关系错综复杂,这就体现了国家在治理中的决定性地位。从现有的管理模式来看,也体现了这一精神,如,黄河水的使用指标由中央来分配,沿河地方政府并无直接支配权。这一管理模式今后也不会改变。而本文提出的治理路径和工程也只有通过国家主导,集中国家的力量才能完成。习近平总书记在2019年9月18日的重要讲话中已经有明确的指示:“发挥我国社会主义制度集中力量干大事的优越性,牢固树立‘一盘棋’思想,尊重规律,更加注重保护和治理的系统性、整体性、协同性,抓紧开展顶层设计,加强重大问题研究,着力创新体制机制,推动黄河流域生态保护和高质量发展迈出新的更大步伐。”<sup>①</sup>习近平总书记心系黄河,去年在内蒙古、甘肃、河南考察,今年在陕西、山西、宁夏考察。一年内,总书记的足迹已经走遍黄河流域9个省区中的6个,这样的节奏,足见这条大河在他心中的分量。<sup>②</sup>

最近,财政部、生态环境部、水利部和国家林草局四部门联合发布《支持引导黄河全流域建立横向生态补偿机制试点实施方案》。2020—2022年开展试点,探索建立黄河全流域横向生态补偿标准核算体系,完善目标考核体系,改进补偿资金分配办法,规范补偿资金使用。试点期间,中央财政专门安排黄河全流域横向生态补偿激励政策,围绕促进黄河流域生态环境质量持续改善和推进水资源节约集约利用两个核心,支持引导各地区加快建立横向生态补偿机制,奖励资金将对水质改善突出、良好生态产品贡献大、节水效率高、资金使用绩效好、补偿机制建设全面系统和进展快的省(区)给予激励,体现生态产品价值导向。<sup>③</sup>

## 五、构建智能化储水、储能综合体

下面对这一系统工程加以论证:

### 1. 黄河流域水资源自给的可行性

如果不借助外部水源,而对黄河水资源进行深度的综合治理,能否解决西北缺水问题?我们可以从以色列对水资源的管理获得启发。2014年以色列人均水资源量仅为91立方米/人,<sup>④</sup>而中国同期的人均水资源量是1998.64立方米,约为以色列的22倍;人均实际用水量是446.75立方米,是以色列人均资源量的4.9倍。即便是黄河流域较为缺水的省区(或者更缺水的西北地区),如甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河

① 参见:中华人民共和国中央人民政府网站,习近平在河南主持召开黄河流域生态保护和高质量发展座谈会, [http://www.gov.cn/xinwen/2019-09/19/content\\_5431299.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2019-09/19/content_5431299.htm)。

② 参见:新华网:这条大河,习近平总书记一年内考察四次, [http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2020-06/09/c\\_1126089589.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2020-06/09/c_1126089589.htm)。

③ 参见:黄河全流域试点横向生态补偿机制,《人民日报》,2020年05月11日15版。

④ 数据来源:世界人均水资源量来自世界银行 <https://data.worldbank.org.cn/indicator/ER.H2O.INTR.PC>。

南、山东,其人均水资源量也相当于以色列的7倍,远比以色列缺水状况要好。<sup>①</sup>并且,以色列国土面积小,水资源调控回旋余地窄。但是,就在这样一个极度缺水的国家,通过人们的智慧发挥,对水资源的调配和使用精打细算,用喷灌、滴灌等节水技术,实行集约化水资源使用模式,不仅使得该国成为现代工业强国,而且还是现代农业强国,这确实是一个奇迹。而在中国,农业是耗水量最大的产业,2018年,农业、工业、生活用水分别为3807亿立方米(占用水总量的62.31%)、1285亿立方米(占用水总量的21.03%)、850亿立方米(占用水总量的13.91%)。<sup>②</sup>与以色列的水资源状况相比较,中国西北地区、黄河流域通过对水资源的科学、高效管理和使用,创新水资源管理和使用模式,从理论上讲是可以实现水资源自给的。而目前的治理方式,如,植树种草,改善环境;水价杠杆及管灌、喷灌、滴灌、渗灌等农业灌溉方式;工业水循环利用,等等,如果有效地推行下去,都有利于黄河水资源的集约化和可持续的利用。如果再建立储水、储能的综合体,实现对黄河季节性水资源的综合调配利用,就能实现对黄河自身的水资源的最大化、最优化的利用。

## 2. 储水的原理

### (1) 黄河储水的条件

黄河储水的前提条件是有水可储。自20世纪90年代黄河断流之后,黄河中上游经过多年的环境治理,如退耕还林、退牧还草以及飞播造林、水土保持等措施,黄河流域出现了一些可喜的变化,如环境得到极大的改善,黄河流量增多,含沙量大幅减少。另一方面,北方、西北地区降雨量的增多也与前述专家提出的大气候变化有关(过去降雨少的地区如新疆、内蒙古、黄河河套地区,近年来降雨明显增多,植被恢复较快)。总结黄河的特性,用“水无常形”来描绘则是很贴切的。当人们着力整治黄河水患时,她突然进入了断流、缺水状态;当人们对断流感到无可奈何,担心断流常态化时,又出现水量猛增,导致决堤涝灾。虽然有学者认为上游水电站的建设可能导致黄河流量减少,但突发性的洪水亦不期而至,龙羊峡至青铜峡河段的梯级电站也不能阻挡下行的洪水流量。回顾2001年以来的黄河水情,其总体特征是旱涝相间。除了2003年黄河中下游发生持续50余天的降雨并引发十多次洪水之外,2012年又发生特大洪灾,<sup>③</sup>此后年份降雨偏多,并间隙伴随洪水。根据我们实地考察,2019年7月份中下旬,甘肃兰州段处于汛期,河水淹没了码头、售票处,水车公园亦因河水上涨而停止对外开放,同时因上游河段来水凶猛,洪水泛滥,黄河下游河南段出现多处险情。另据中央电视台朝闻天下栏目报道,2019年8月4日黄河龙门水文站爆发当年以来最大洪水。

因此,黄河治理的前提就是要充分了解其“水无常形”的特性,并根据这一特性进行弹性、柔性的调控与治理。由于黄河水量在不同年份,不同季节相差很大,每年的丰水期与枯水期的水量亦存在很大差异,这就存在着汛期、丰水期进行储水的可能性。特别是到了汛期,往往水量过于充足,造成堤防偎水,而长时间偎水浸泡容易发生堤身渗水,甚至决堤,造成洪灾,但这也是中上游储水的最佳时节。汛期上游流走的水是宝贵的资源、能源,若不加以节制,反而还会增加下游防洪、泄洪的压力,甚至成为灾害。因此,从最近20年黄河流量的变化来看,黄河已经有足够的水和“多余”的水可用于储备。

从气候变化趋势来看,北涝南旱、降水北多南少的格局正在形成。近年来随着西北地区降水量的扩大,

<sup>①</sup> 数据来源:国家统计局网站, <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>。

<sup>②</sup> 中国是农产品进口大国。2017年谷物及谷物粉进口2559.00万吨,同年谷物产量61520.53万吨(二者之比是4.16%);大豆进口量9553.00万吨,同年产量为1528.25万吨(进口量是国内产量的6.25倍)。由于农业是高耗水产业,对于水资源短缺的中国来说,进口农产品相当于进口了水资源;同时中国人均耕地面积也远低于世界平均水平,进口农产品也相当于进口了土地资源。对于中国这个水资源和土地资源十分短缺的国家来说,进口农产品有利于对本国资源和环境的保护。以上数据来源:国家统计局网站 <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>。

<sup>③</sup> 2012年汛期黄河干流先后出现4次编号洪峰,干流堤防最大偎水长度414 km,最大渗水长度100 km,受损险工46处、长度32 km,损坏坝垛225座、淹没泵站18座,沿黄6盟(市)的20个旗县(市、区)不同程度受灾,直接经济损失13亿元。

不仅有了更多的水源,也使植被状况明显获得改善,各种植物增加,<sup>①</sup>这样,黄河水质也会改善,甚至可能变清。这是一个可喜的趋势。

## (2) 储水的方式

在治水方面,中国古人有着高超的智慧和经验。著名的都江堰水利工程堪称典范,其在汛期利用枢纽工程将洪水分流到外江,而确保土地肥沃的成都平原旱涝保收。我们可以借鉴古人的经验,在黄河上再造“都江堰”,但并不是在河道上建立工程,因而不影响河道本身的结构和流向,只是开口引流,建立水闸对引流量进行控制;同时要有所创新,对黄河汛期进行分流,但并不仅仅是把水引走了事,而是引流储水;对于汛期超过合理水位的水,可以通过建造引水渠引流、筑坝建库储水,将超出合理水位的河水引入水库中储存起来,形成巨型人工湖;对引流工程进行系统的设计,即当黄河水位达到一定的高度后就自动开闸分流,并在引流、储水的同时保持黄河流量的稳定,从而缓解下游的汛情和库区的泄洪压力;根据黄河旱涝周期性变化,在汛期、丰水年份储水,在干旱年份和枯水季节供水,缓解旱情。水利部可考虑在各河段合适的地方规划修建储水大坝。

## (3) 储水对环境的影响可控

修建引水渠和储水大坝,不存在西线工程所面临的地质、环境风险;西北地区地广人稀,库区选址的地域广、自由度较高,可以避免大量移民及宗教敏感问题;黄河上游许多地区(如甘肃)土地贫瘠、荒芜,而非良田,在这些地区筑坝不会或较少占用优质良田;施工技术上也没有难度,属于成熟技术;所需要的投资额亦远远低于西线工程。而先进的5G技术、智能技术、信息技术和大数据等现代技术为合理确定水位、适度引水、调水、合理储水提供了技术上的支撑,如对各河段的水位、流量进行实时监控、调配,以避免不可预知的风险。

## 3. 储能的原理

水库建成的同时,既可储水也可储能。黄河不仅能为人类提供水源,也能提供丰富的能源。虽然中国的水力资源重点布局在西南,黄河提供的水力资源相对较小,但黄河的水力资源非常宝贵。中国的北方地区,包括华北和西北,煤炭资源密集,能源结构中煤炭占比太高,因而水力资源在优化当地的能源结构方面发挥着积极的作用。然而,黄河现有的水力资源的潜力开发殆尽,规划中的水电站全部建成投产之后不宜在河道上再建新的水电站,但这并不意味着不能采取创新措施继续发掘黄河水能的潜力。对水资源要精打细算,对水能资源也要精打细算。而抽水蓄能电站则是一个较优的选项。

### (1) 储能的方式之一——采用抽水蓄能电站模式

抽水蓄能电站被誉为电力系统中“最可靠、最经济、寿命周期长、容量大、技术最成熟”的储能系统(张娜等,2010)<sup>[36]</sup>,而中国已经修建大量抽水蓄能电站,有着丰富的成功经验,在技术上处在世界领先地位。黄河储水大坝的建设可按照抽水蓄能电站模式设计。中国的抽水蓄能电站种类很多,可以综合现有各种电站的优势而进行创新型设计。可以设计一个类似季节性调节抽水蓄能电站,即每年汛期,利用黄河必须溢弃的多余水量,通过引流渠分流到水库蓄存起来,在汛期过后,可根据用电需求放水发电,亦可根据枯水季用水需求放水发电,以满足流域内的用水需求或回流黄河以增补黄河流量。这一系统可将汛期的多余水能转化成水电储能形式。在具有较大落差的地区,则可修建上库和下库,上库蓄水发电后流入下库再蓄水,再将下库的水抽到上库。这原本是一个封闭的循环系统,而黄河的补水和水库的供水功能又使其成为一个开放的循环系统。系统运行所蒸发的水可以由黄河补水,而在缺水和干旱时期,系统可能要弃电供水。因此,水库是储水和储能的综合系统。

<sup>①</sup> 参见:央视网2013年08月05日, <http://tv.cctv.com/2013/08/05/VIDE1375661881798657.shtml>。

引流过程可能涉及抽水,需要消费电能,并且抽水电站下库往上库抽水也需要电能。抽水电站的抽水电能一般来自电力系统多余电量,而在西北地区有丰富的风能和太阳能资源,不仅可以用来抽水,而且也可用来储能,这需要储能模式的创新。

## (2) 储能方式之二——利用风能、光能转换成水能

西南水力资源丰富,而西北风能资源丰富,二者可以在季节上互补,即西南枯水季节正是西北丰风季节。但是,风能较水能更加不稳定,是一种随机性、间歇式的可再生能源,不仅有季节上的差异,而且每天不同时段也有差异,难以预测。因此,风电场发电稳定性和连续性较差,不能提供持续稳定的功率,风电并网不利于电网的安全稳定运行。太阳能光伏发电也存在同样的不稳定问题,如季节性阳光的差异,天晴、天阴、下雨的差异,每天早中晚的阳光差异,特别是到了晚上,光伏系统就要停止发电(当然,人们也在考虑白天将一部分光伏电能转换成热能加以储存,到了晚上释放热能进行发电以维持昼夜发电的稳定性)。因此,风能、太阳能要受到电力系统负荷需求的诸多限制。也正是由于可再生能源发电的不稳定性,电网消纳能力有限,以及水能、风能、太阳能密集区本地经济不够发达,能源需求较小,对电能的消纳能力不足,经常出现弃水、弃风、弃光现象。而化石能源,如煤炭和石油,当人类不使用它时,它天然地储存在地下,但水能、风能和光能这些可再生能源,如果不使用它,也就白白流走,因此,可再生能源的储能问题是一个重要课题。相比之下,水能比风能和光能稳定性更好,且也具有储能的功能。水能虽有丰水期和枯水期之间的差异,但在丰水期和枯水期之内,其发电是稳定的,发电量也可以预测。于是,可以考虑把风能和光能转换成水能加以储备,即对电网和当地经济无法消纳的风能和光能,可利用抽水电站的原理,进行抽水,把水抽到水库中储存,等到电网需要电时再放水发电,这就把风能和光能转换成了水能。抽水蓄能电站具有启动灵活和低谷储能等优点,可以缓解风电、光电不稳定对电网带来的不利影响。

储能产业是一个新兴产业,或电力行业中的新兴产业,也是新能源发展的重要组成部分。随着国内核电及大型火电机组规模的剧增,则需要储能产业与之配套、协调、调峰,以维持电网供电的稳定。中国抽水蓄能电站占比长期偏低,但近年来发展明显加速。如果在黄河中上游修建若干大型抽水蓄能电站,在中国能源发展结构和布局上将具有战略意义。

## 4. 储水、储能综合体

储水与储能密切联系,相辅相成。首先需要储水,在储水的同时也就完成了储能,由此形成储水与储能的综合体——水资源和能源循环系统;借用5G、智能技术、大数据等现代信息技术,对各河段水位进行合理定位,监测各河段的水文数据,进行及时调控,对调水量进行优化处理,不会产生一方收益、一方受损的问题;视河水调配情况合理确定水库储水规模,修建梯级水库;根据水和电的需求确定供水量和供电量;平时在水资源不太短缺的时段,利用综合体抽水发电,当水资源短缺时,弃电供水,可直接用于灌溉或输入自来水厂,亦可将水回流到黄河,弥补黄河流量不足,从而实现黄河水资源和能源利用的良性循环;在库区周边植树造林,改善生态,实现雨水的良性循环,以增加雨水弥补水库中水的蒸发;同时美化环境,发展库区旅游业。

从最近十几年黄河流量的变化情况看,汛期较为频繁,这为储水、储能提供了条件。从长期来看,如果中国发生了北涝南旱的逆转,这就为储水和储能提供了更好的条件。一期工程可先筑一个坝进行试验,再总结经验决定是否扩大引流筑坝的规模。

如果西线工程最终放弃,本方案可作为其替代方案;如果西线工程成功实施,则本项目可作为其配套工程。即便西线工程成功运行,对水资源的使用仍应采取“节水优先”、精打细算,采取精细化、集约化的使用模式,并做好水资源的储备与调配。

## 5. 改善自然环境增强黄河流域自身的储水功能

改善自然环境是黄河治理的治本之策,也是学界和政府的共识,并正在实施之中。对此,我们进行以下补充:

一是保护好黄河源头的重要水源地——扎陵湖、鄂陵湖,增加黄河入水;治理恢复黄河源头两大湿地若尔盖湿地和甘南湿地,以增加黄河入水。源头供水能力增强潜力很大,甚至可以达到西线一期规划的调水量(刘世庆,2014)<sup>[30]</sup>。

二是通过植树造林、退耕还林、退耕还草,改善植被,从而改善黄河中上游地区的自然环境,增加雨水的循环(即增加空中水资源)。同时加强黄河支流的治理,增加支流向黄河注水能力,为储水、储能创造条件;加强水土保持,减少流入黄河的泥沙,提高黄河水质。在这方面已经取得了成效。过去滥砍滥伐及过度开发导致西北地区黄土裸露,植被破坏,沙尘肆虐,雨水稀少,后来通过飞播造林,改善了植被,雨水明显增加。森林是一个天然的蓄水库,黄河中上游地区应大力推进植树造林,增加造林、护林工人,为植树造林提供人力资源保障。

三是利用经济杠杆,推进和完善碳交易权和水权交易制度。通过完善碳交易权制度为造林、护林提供可持续发展的资金支持;通过完善水权交易制度,让人们明确水资源的价值,促使人们节约用水和集约化用水。即将试点的《支持引导黄河全流域建立横向生态补偿机制试点实施方案》则是由政府主导、财政部划拨资金以激励水质改善、提高节水效率的激励方式,期待其产生效益。

此外,农业部门的先进节水、用水方式和工业部门对水资源的净化、循环利用都是整个黄河治理工程的不可或缺的重要组成部分。

## 六、结语

黄河作为中华民族的母亲河,千百年来一直为流域的人民提供源源不断的水源和能源,滋润流域万物的生长,但母亲河也给中华儿女出了许多难题,磨炼中华儿女的意志,考验着人们的智慧,为人类提供了一个独特的认识自然、改造自然、利用自然的一个范本。历史上人类对黄河的各种人工干预,是基于现有的认知来对黄河进行改造,目的就是想更好地利用黄河,实现趋利避害。然而,人工干预不能违背自然规律,必须与自然规律相向而行,协调一致,否则就会遭到自然(黄河)的惩罚。由于人们在一定时期对黄河认识能力所限,往往面临一些意想不到的问题,出现一些负面效应,引发许多争议、争鸣,但经过不断总结经验教训,提高认识,在黄河治理中也取得了丰硕的成果。当代的人们可利用各种先进技术手段,如5G、智能技术、大数据、网络和信息技术等用于黄河治理,提高治理的效率,规避风险。

对黄河的人工干预有直接干预和间接干预之分。直接干预就是直接对黄河的河道、河流进行干预,属于改造自然的举措。南水北调工程、在黄河水道上修建梯级电站以及人工引流、分流等均属直接干预。而间接干预则是通过改善自然环境来对黄河施加影响。直接干预与间接干预应该有机结合起来。历史上有些著名的河流直接干预是成功的,如都江堰水利工程,两千多年来一直发挥着积极作用,产生着无尽的经济效益,造福于人类,同时也并未对环境造成不利影响。本文提出的在黄河汛期引水、储水、储能工程也是对黄河的直接干预,但治理法则是“疏”而非“堵”,不对河道结构和流向产生任何影响,而在先进的5G技术、智能技术、大数据、网络和信息技术的支撑下,可能出现的负面影响也是可控的。在工程的具体论证和实施过程中需要遵循科学精神,通过前期的筑坝试验,再进行规模的扩张,并通过分期、分阶段加以实施,以保工程的有序推进。

参考文献:

- [1] CIOC M. The Rhine: An eco-biography 1815—2000[M]. Seattle, WA: University of Washington Press, 2002.
- [2] MARTY F. Managing international rivers: Problems, politics and institutions[M]. Bern: Peter Lang, 2001.
- [3] KREMER D, PERNAR R, Ančić M. Distribution of North American ash species in the Drava River basin and Danube basin (Croatia)[J]. Division of Biology, Faculty of Science, University of Zagreb, 2006, 65(1): 57-66.
- [4] ARARAL E, WANG Y. Water governance 2.0: A review and second generation research agenda[J]. Water Resour Manag, 2013(27): 3945-3957.
- [5] ROSS A, CONNELL D. The evolution and performance of river basin management in the Murray-Darling Basin[J]. 2016, 21(3).
- [6] 张国有. 长江治理及其带域的有序发展——国家治理体系与治理能力现代化视角的思考[J]. 国家治理, 2020(Z1): 2-7.
- [7] 刘民坤, 陈湘漪. 珠江—西江经济带生态补偿机制建设研究[J]. 广西大学学报(哲学社会科学版), 2015(2): 62-67.
- [8] 包正义, 香宝, 匡文慧, 等. 流域污水处理厂群模拟调度系统设计与实现——以松花江为例[J]. 测绘地理信息, 2018(3): 79-83.
- [9] DAHAN O, TATARSKY B, ENEZLY Y, et al. Dynamics of Flood Water Infiltration and Ground Water Recharge in Hyperarid Desert[J]. Ground Water, 2008, 46(3): 450-461.
- [10] SHENTSIS I, ROSENTHAL E. Recharge of aquifers by flood events in an arid region[J]. Hydrological Processes, 2010(4): 695-712.
- [11] 靳少波, 沈延青. 1997-2016年黄河上游河曲地区人工增雨综述[J]. 人民黄河, 2017(1): 54-56.
- [12] 罗志高, 杨继瑞. 流域生态环境协同治理国际经验及其镜鉴[J]. 重庆理工大学学报: 社会科学, 2019(10): 27-34.
- [13] 乔秋文, 蔡新玲, 廖春梅. 黄河上游梯级水电站兴利调度分析[J]. 水库调度, 2019(6): 5-8.
- [14] 李果. 黄河上游民族地区水电开发移民安置问题解析[J]. 边疆经济与文化, 2018(1): 32-33.
- [15] 朱元生. 水资源可持续发展的道路[J]. 水利水电科技进展, 2015(1): 54-56.
- [16] 魏俊彪, 王高旭, 吴永祥. 黄河水资源利用及其对生态环境的影响分析[J]. 水电能源科学, 2012(7): 9-12.
- [17] 孙学平, 唐莲. 宁夏引黄灌区供水价格改革框架探讨[J]. 中国水利, 2017(4): 27-29.
- [18] 刘思妤, 倪红珍, 张春玲, 等. 宁夏引黄灌区农业水价改革现状分析及思考[J]. 节水灌溉, 2016(9): 158-162.
- [19] 刘家旗, 茹少峰. 基于生态足迹理论的黄河流域可持续发展研究[J/OL]. 改革: 1-10[2020-06-28]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1012.F.20200610.1646.006.html>.
- [20] 安盛勋. 黄河上游水电规划综述[J]. 西北水电, 2004(3): 1-5.
- [21] 魏洪涛, 贾冬梅, 王洪梅. 人民治理黄河70年水力发电效益分析[J]. 人民黄河, 2016(12): 31-34.
- [22] 白夏, 王义民, 戚晓明, 等. 黄河上游径流统计特征及演变规律分析[J]. 人民黄河, 2016(9): 4-7.
- [23] 师旭颖, 郝芳华, 林隆, 等. 黄河水电开发区域土地利用与景观格局分析[J]. 水土保持研究, 2009(4): 174-179.
- [24] 靳少波, 白晓龙. 黄河上游近30年径流变化特点及影响因素[J]. 甘肃水利水电技术, 2018(1): 8-12.
- [25] 陈智梁. 西线一期工程区地壳的活动性[J]. 山地学报, 2005(6): 641-650.
- [26] 黄圣睦, 陈天长, 钱洪, 等. 西线工程位于大地震的高危发生区[J]. 西部研究通讯, 2014(8): 2-3.
- [27] 江新胜, 刘宝珺. 中国全球变化趋势与南水北调西线工程的全球变化风险[J]. 矿物岩石, 2014(4): 108-115.
- [28] 鲁家果. 南水北调西线一期工程调水量分析[J]. 西部研究通讯, 2014(5): 2-3.
- [29] 张序, 劳承玉. 南水北调西线一期工程对调水藏区传统社会的影响[J]. 西部研究通讯, 2014(7): 4-6.
- [30] 刘世庆. 南水北调西线工程新情况及调水思考[J]. 工程研究-跨学科视野中的工程, 2014(4): 332-343.
- [31] 赵业安. 黄河水情沙情新变化与黄河水资源开发利用[J]. 西部研究通讯, 2014(4): 1-5.
- [32] 赵业安, 钱正英. 谈治黄[J]. 西部研究通讯, 2014(3): 1-3.
- [33] 卞娟娟, 郝志新, 郑景云, 等. 1951—2010年中国主要气候区划界线的移动[J]. 地理研究, 2013(7): 1179-1187.
- [34] 贺山峰, 葛全胜, 吴绍洪, 等. SRES B2情景下西南地区干旱致灾危险性时空格局预估[J]. 中国人口、资源与环境, 2013(9): 165-171.
- [35] 南焱. 南水北调东线遭遇高水价难题[J]. 中国经济周刊, 2014(2): 30-33.
- [36] 张娜, 董化宏, 何学铭. 我国抽水蓄能电站建设情况[J]. 中国三峡, 2010(11): 12-15.

# New Ideas for the Management of the Yellow River: Building an Intelligent Water Storage and Energy Storage Complex

FANG Xing-ming<sup>1</sup>, WANG Lu<sup>1</sup>, YANG Wan-dong<sup>2</sup>, LU Yu-xiu<sup>1</sup>

(1. School of Economics, Southwestern University of Finance and Economics, Chengdu 610074, Sichuan, China; 2. School of Applied Economics, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

**Abstract:** According to current situation of the management of the Yellow River, this paper puts forward the strategy and path for the optimization and transformation of the management of the Yellow River. The Yellow River's self-potential should be brought into fully play to make efforts to realize the maximum and optimal use of water resources of the Yellow River basin, and conduct precision control of water use to maintain its water resources and the sustainable supply of its water resources to meet regional water demand. Based on the principle of diversion and drainage of Dujiangyan of the Minjiang River, according to the changes of the Yellow River water potential in different years and different seasons, it is suitable to drain at the flood season and to build dam for water storage and energy storage in the middle and upper reaches of the Yellow River. By the innovation in water storage and energy storage mode, with the principle of advanced pumped storage power station, we should build a complex of water storage and energy storage to form a water and energy production cycle system and achieve a virtuous cycle of water resource and energy resources of the Yellow River by transforming the rich wind energy and solar energy resources in Northwest China into water energy to be stored, and adjust water supply or energy supply according to the demand of water and energy resources, which can not only relieve the flood pressure during flood season, but also provide water supply and energy supply in drought years or dry seasons to alleviate the drought. By using advanced information technologies such as 5G, smart technology and big data, the water conditions of the river sections in the whole Yellow River basin are monitored and regulated to achieve stable flow control and avoid negative effects.

**Key words:** the Yellow River; water storage; energy storage; complex; circulation

**CLC number:** F127; F062.2

**Document code:** A

**Article ID:** 1674-8131(2020)05-0057-13

(编辑:莫远明)