

引用格式: 贾绍凤, 梁媛. 新形势下黄河流域水资源配置战略调整研究[J]. 资源科学, 2020, 42(1): 29-36. [Jia S F, Liang Y. Suggestions for strategic allocation of the Yellow River water resources under the new situation[J]. Resources Science, 2020, 42(1): 29-36.] DOI: 10.18402/resci.2020.01.03

新形势下黄河流域水资源配置战略调整研究

贾绍凤¹, 梁媛^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:黄河流域在中国经济社会发展和生态安全方面具有十分重要的地位。黄河流域生态保护和高质量发展上升为重大国家战略,对流域水资源配置提出了更高要求,既要为保护生态系统提供助力,也要保障社会经济高质量发展。随着气候变化和人类活动的影响,黄河水沙形势发生剧烈变化,径流量显著减少,但近期有所回升,来沙量急剧减少。为保障黄河流域高质量发展对水资源的需求,面对黄河水沙变化、区域水资源供需变化等新形势,本文估算预留生态(含输沙)水量(80亿~120亿 m^3)、下游南水北调及海水利用可替代黄河供水量(25亿~45亿 m^3)及上中游部分产业发展需水,研究向黄河上中游分配更多水量指标的水资源战略配置方案,并提出完善水权转让与补偿制度、探索用水指标与土地指标调控的联动机制,以推动新的水资源配置方案的实施。

关键词:水资源;战略配置;新形势;水资源保障;黄河流域

DOI: 10.18402/resci.2020.01.03

1 引言

黄河是中国第二长河,也是中华民族的母亲河。以约占全国2%的径流量,承载了全国9%的人口^[1],以及本流域和下游流域外引黄灌区占全国15%的耕地面积,在中国经济社会发展和生态安全方面具有十分重要的地位。黄淮海平原、汾渭平原、河套灌区是农产品主产区,黄河流域对确保国家粮食安全有至关重要的作用。流域内能源及矿产资源丰富,已布局建设山西、鄂尔多斯盆地能源基地及部分大型风电、太阳能基地。关于黄河的研究由来已久,在水沙调控、水量分配、生态保护等方面取得众多成果^[2-6]。

习近平总书记多次实地考察黄河流域,多次就三江源、祁连山、秦岭等重点区域生态保护建设提出要求。在2019年9月18日黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上,习近平强调黄河流域生态保护和高质量发展,同京津冀协同发展、长江经济带发展、粤港澳大湾区建设、长三角一体化发展一样,

是重大国家战略^[7]。黄河流域生态保护和高质量发展对黄河水资源综合利用提出了更高的要求,既要满足流域生态系统保护的要求预留足够的生态需水,也要保障产业发展的合理需水。

1987年颁布的黄河“87”分水方案^[8]是确定各省耗水量指标的依据^[9],为黄河流域的有序用水发挥了非常重要的历史作用。但随着气候变化及人类活动的影响,近年来黄河水沙条件发生改变,使得水资源禀赋条件发生改变;而流域供用水背景也有所不同,上下游社会经济形势发生很大改变、南水北调东中线一期工程已经生效、沿海地区海水利用规模扩大等,都令黄河水资源配置面临新形势。考虑黄河流域生态保护和高质量发展上升为重大国家战略的新要求、黄河水资源配置面临战略调整的问题,本文尝试对此进行初步情景分析,以期在今后黄河流域国家战略的推进实施提供参考。

2 黄河水资源配置面临的新形势

推动黄河流域高质量发展,要坚持生态优先、

收稿日期: 2019-12-11; 修订日期: 2020-01-06

基金项目: 青海三江源生态保护和建设二期工程科研与推广项目(2018-S-3)。

作者简介: 贾绍凤,男,湖南龙山人,博士,研究员,研究方向为水资源和区域可持续发展。E-mail: jiasf@igsrr.ac.cn

绿色发展,以水而定、量水而行,因地制宜、分类施策^[7]。水资源是生态保护的基础,水资源的合理开发利用是绿色发展的保证。

黄河生态系统是一个有机整体,河流水体作为其中的组成部分,与植被、大气、生物等其他部分相互影响,河流生态用水对整个黄河流域生态系统的健康至关重要。因此黄河流域的水资源配置首先要满足生态需水,要给流域内的天然河流、湖泊、沼泽以及河口三角洲和近海生态系统保留足够的生态用水。

绿色发展要与资源环境承载能力相适应。黄河作为中国北方地区的重要水源,流域内分布有重要农业主产区、能源基地及规模不断扩张的城市群,用水矛盾尖锐,使得黄河在20世纪70—90年代,出现日益严重的断流现象。自1999年实施水量统一管理调度至今,黄河实现连续20年不断流。为实现黄河流域绿色发展,应当注重维护水资源承载能力,大力推进农业节水,鼓励部分工业及东部沿海地区非常规水源的开发利用,支持下游地区外调水源的充分利用。水资源的合理开发利用要“开源节流”,节水优先是关键。开发利用非常规水源具有增加供水、减少污水排放、促进节约用水等重要作用,因此需要大力提倡。

2.1 黄河水沙变化的新形势

2.1.1 河川径流量减少趋势明显

根据水资源评价及相关研究成果,“87分水方案”^[8]采用的1919—1975年水文系列,黄河多年平均

天然年径流量为580亿 m^3 ;第二次水资源调查评价采用的1956—2000年水文系列,黄河多年平均天然径流量为535亿 m^3 ;《黄河流域水文设计成果修订报告》^①(下文简称《水文修订》)采用的1956—2010年水文系列,黄河多年平均天然径流量为482亿 m^3 。从不同序列评价来看,近30年来黄河天然来水量呈显著减少趋势^[3]。

图1所示为部分水文站部分时段的天然河川径流量。由于下游三角洲利津站缺少部分数据且与花园口以上的河川径流量相差不大(均值约12亿 m^3 ,最大不超过25亿 m^3),因此可用花园口径流量代表黄河径流量的变化。从各系列来看,黄河河川径流量有所减少,但花园口以上年均径流量在约2010年后有小幅回升,尤其是2018年偏丰很多。

黄河水量主要来自于兰州以上,约占黄河天然径流量的60%。黄河源区径流受冰雪和降水影响较大,汛期以降水为主^[10]。有研究表明,1956—2000年系列时段黄河上游源区径流减少的主要原因是蒸散发增加、降水减少^[11],温度上升引起的蒸散发消耗增加也大于冰雪消融补给^[12]。2018年黄河水量偏丰的原因也是由于上游降水量异常偏多。

2.1.2 输沙量急剧减少

黄河输沙量年际变化大,中游是主要的产沙区域。图2为部分水文站年输沙量,从各系列来看,中下游水文站年均输沙量呈明显下降趋势,2014年以来潼关站年均输沙量已减少到1.5亿t左右,较1956—2000年系列下降近90%。近期来看,小浪底

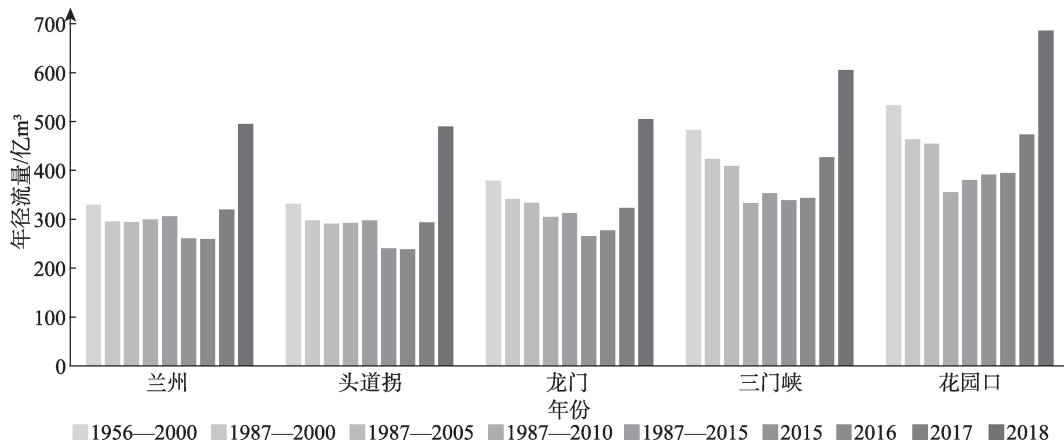


图1 1956—2018年黄河部分水文站天然河川径流量

Figure 1 Annual natural runoff of selected hydrological stations on the Yellow River, 1956-2018

① 黄河勘测规划设计有限公司2017年《黄河流域水文设计成果修订报告》。

2020年1月

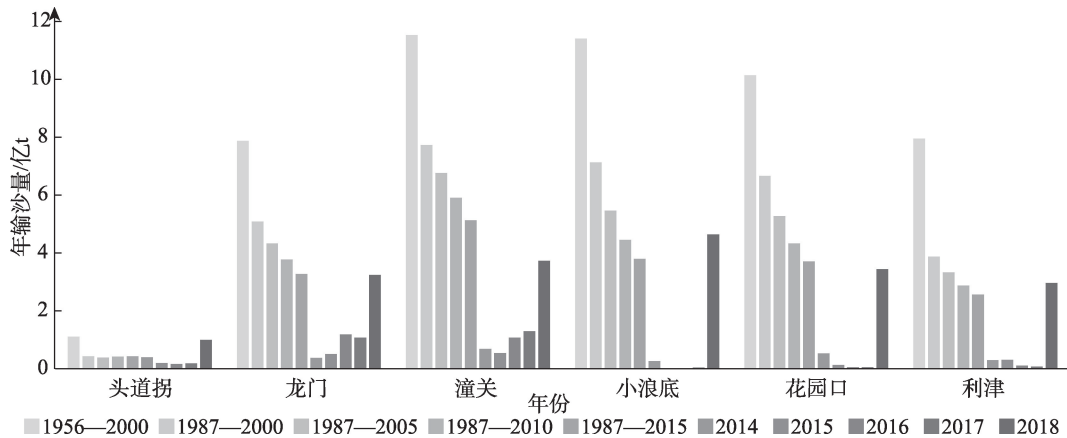


图2 1956—2018年黄河部分水文站年输沙量

Figure 2 Annual sediment discharge of selected hydrological stations on the Yellow River, 1956-2018

水利枢纽以下河段2016、2017年输沙量很小,主要是由于调水调沙在这期间中断,2018年来水偏丰,来沙也偏丰。2016年调水调沙中断,黄河口岸线后退,2018年恢复后入海水沙量明显增加,发生淤积^[13]。陈沈良等^[14]发现调水调沙初期对下游河道冲刷效果显著,但2006年以后冲刷趋缓。

黄河泥沙主要来自头道拐至潼关区间,来沙量约占全河的91%,其中头道拐至龙门区间是黄河粗沙主要来源区,该区入黄泥沙占潼关以上总量的70%以上。导致黄河中游水沙变化的主要因素包括水利工程建设、水土保持措施及工农业生产生活用水等人类活动及气候变化(如ENSO事件的强弱及降水量的变化),对比而言,干流的输沙量受水库影响较大,而支流的输沙减少则由1970年代后的大规模水保措施引起^[15]。植被恢复是泥沙减少的决定性因素^[16]。

2.2 黄河流域社会经济形势已经发生很大改变

当年在1980年代制定黄河“87分水方案”^[8]时,主要依据的是当时各省市的1980年的用水量。由于当时上中游地区社会经济发展水平普遍较下游地区低,所以客观上水量分配偏好下游地区,上游一些省份明显分水偏少。例如兰州以上来水占全流域的60%,青海唐乃亥以上占45%,但青海省的分水指标只有14.1亿m³,甘肃省也只有30.4亿m³,占比分别为3.8%和8.2%。现在上中游地区社会经济发展水平大为提高,用水量大大增加,而且为了实现均衡发展,上中游地区产业还将进一步发展,需水还有增加的趋势。尤其是中国的耕地重心已有

往西北方向迁移的趋势,耕地占补平衡,主要依靠西北地区,也使用水量增大。为了与新的社会经济形势相适应,为国家耕地占补平衡、粮食安全做贡献,有必要给黄河上中游增加配置水资源。

2.3 南水北调东中线已经建成运行

在制定黄河“87分水方案”^[8]时,明确指出适用条件是南水北调工程生效前的黄河可供水量分配方案。目前南水北调东中线一期工程已全面通水5周年,累计调水量近300亿m³,其中黄河流域河南及以下区域供水量占近8成,华北部分地区水资源短缺的情况有所改善。由于工程的生效而使得流域内河南及以下区域的水源条件已发生改变,应当在进一步分析流域供水条件空间变化的前提下,研究如何适时修订黄河分水方案。

3 黄河水资源战略配置的调整情景

为满足黄河流域生态保护和高质量发展对水资源保障的新要求,基于黄河径流、输沙量的明显减少及区域间社会经济、水源条件等新形势,本文将具体从黄河地表径流量、预留生态及输沙用水、下游可置换水量及上中游地区发展需水等方面进行分析估算,提出黄河上中游及下游水资源战略配置高、低调整水平的情景方案。

3.1 黄河流域供需水估算

3.1.1 黄河地表径流量

根据黄河天然河川径流量减少的历史趋势及花园口以上近期小幅回升的变化情况,查阅相关研究对径流趋势增减的预测结果不尽相同^[17-19]。《黄河流域综合规划》^[20](下文简称《规划》)考虑人类活动

对下垫面的改变和对天然径流量的影响,预测2020和2030水平年天然径流量分别为519.8和514.8亿 m^3 。由于当前第三次水资源调查评价结果尚未公布,参照第二次水资源调查评价534.8亿 m^3 及《水文修订》482.0亿 m^3 的相关成果,本文初步确定调整情景的黄河多年平均河川径流量范围,即为482.0亿~534.8亿 m^3 。

3.1.2 留足生态及输沙用水

历史分水方案中预留了基本生态及输沙水量。当前黄河流域高质量发展以生态优先也要求留足生态用水,而沙量显著减少则可以适当调整输沙水量。

参照《规划》中部分断面关键期生态需水、河口湿地236 km^2 规模和3.5亿 m^3 补水[20]、刘晓燕等[21]对河口动物生境的生态需水分析、谷源泽等[22]分析黄河春季(3—5月)海洋生态入海需淡水量红线为30亿 m^3 等相关成果[23],估算三角洲及河口生态需水量范围为50亿~90亿 m^3 。考虑黄河下游河道输水损失约10亿 m^3 ,则黄河下游总生态需水量为60亿~100亿 m^3 。

许多实验和研究都表明,黄土高原无人畜随意干扰而使植被得到隔离保护的区域,植被均长势良好,因此只要人类不破坏,植被恢复,泥沙就可以减少90%[16]。由实测数据可知21世纪以来,潼关站年输沙量大幅下降,考虑黄河水利枢纽及水土保持工程措施效用及植被恢复的累积效应,结合胡春宏等[24]及相关成果[25],预估今后黄河多年平均沙量可

能少于3亿t。参考石伟等[26]对4.6亿~6.0亿t需要输沙用水80亿~120亿 m^3 、白夏等[27]估算下游河道基本输沙水量26.3亿 m^3 等相关研究成果,估算输沙用水量范围为20亿~60亿 m^3 。

因为下游生态用水与输沙用水大部分可以共用,考虑一部分单独的输沙造峰用水20亿 m^3 ,则预留生态及输沙水量合计约为80亿~120亿 m^3 。

3.1.3 黄河下游省份充分利用外调水和海水资源

表1所示为各时期黄河水资源配置方案,其中《规划》[20]方案是对“87分水方案”各省分水指标进行同比例折减及调整,2030水平年即南水北调西线等调水工程生效后各省的黄河地表水耗水量指标与2020水平年相同,故未重复列出。黄河下游用水省份涉及河南、山东、河北和天津,其中部分区域处于南水北调工程供水范围,也有部分沿海区域可以借助区位优势利用海水资源。2014年南水北调东、中线一期工程已全面通水,且随着时间的推进使用率越来越高,2030年工程设计水量分配如表2所示。根据《2017年全国海水利用报告》,天津、河北和山东的海水淡化产水规模分别为31.72万t/d、17.35万t/d和28.26万t/d,年海水冷却利用量分别为12.09亿、38.72亿和83.08亿t。部分经济发展水平较高的城市可以借助区位优势充分利用海水资源,虽然当前规模有限,但随着成本降低,未来海水资源利用有很大的发展空间。因此,对于黄河下游用水省份,通过南水北调和海水利用可以替换出部分黄河耗水量指标,结合南水北调工程设计水量分

表1 黄河水资源配置方案对比

Table 1 Comparison of water allocation schemes in the Yellow River

($10^8 m^3$)

方案	适用年限	消耗量分配												合计
		青海	四川	甘肃	宁夏	内蒙古	陕西	山西	河南	山东	河北天津	河南以上	河南及以下	
87分水方案	南水北调东中线工程生效前	14.10	0.40	30.40	40.00	58.60	38.00	43.10	55.40	70.00	20.00	224.60	145.40	370.00
黄河流域综合规划	南水北调东中线工程生效前	13.00	0.37	28.03	36.88	54.03	35.04	39.74	51.08	64.55	18.44	207.09	134.07	341.16
	南水北调东中线生效至西线一期工程生效前(2020水平年)	13.16	0.37	28.37	37.32	54.68	35.46	40.22	51.69	65.32	6.20	209.58	123.21	332.79

表2 南水北调东中线工程2030年净供水量分配表

Table 2 Net water supply in 2030 for the eastern and middle routes of the South-to-North Water Diversion Project

($10^8 m^3$)

	河南省	山东省	河北省	天津市	北京市	江苏省	安徽省	合计
东线	—	37.2	10.0	10.0	—	28.2	5.3	90.7
中线	37.7	—	34.7	10.2	12.4	—	—	95.0

2020年1月

配、实际使用率,及部分海水利用前景,估算可替换出的黄河耗水量范围约为25亿~45亿 m^3 。

3.1.4 为黄河上中游配置更多水资源以配合西北地区新增耕地和产业发展

黄河流域土地资源丰富,上游地区有全国30%的宜农荒地,且有约1000万亩耕地得不到有效灌溉,只要水资源条件具备,开发潜力很大^[28]。根据2016年全国耕地后备资源调查结果显示,甘肃省近期可开发的集中连片耕地后备资源约200万亩。《规划》^[20]预计上中游地区未来有效灌溉面积可增加至约7000万亩,林牧灌溉面积增幅约200万亩。当前中国耕地重心持续向西北方向移动,黄河上中游地区是当前耕地增加的重要区域,也将是未来新增耕地和灌溉面积的潜力地区。且流域内也已明确划定粮食主产区和农产品生产保护区,汾渭平原、河套灌区要充分发挥产业优势,加强粮食安全的保障地位。黄河流域在充分挖掘农业节水潜力的基础上,如有需要可开发新增农用地。2017年黄河上中游地区有效灌溉面积约为6400万亩,结合上述成果及蒋桂芹等^[29]对黄河流域灌溉需水量的相关分析,估算黄河流域上中游地区可新增灌溉面积的范围为200万~800万亩,新增灌溉需水约5亿~40亿 m^3 。

黄河流域矿产及能源资源丰富,中国13个大型煤炭基地中有神东、宁东、陕北、晋中、晋北和黄陇6个位于黄河上中游地区,煤炭储量占全国的80%以上。《国家主体功能区规划》明确了本流域内风能、太阳能清洁能源基地、油气及矿产资源基地的加强建设,其中油气及矿产资源开采规模的扩大对水资源需求的增加较为明显。根据已有研究成果^[30,31],估计黄河上中游能源基地发展需水量约为5亿~25

亿 m^3 。

黄河上中游地域广阔,覆盖多个中西部城市群,区域中心城市等经济发展前景较好的地区应当集约发展,提高经济和人口承载能力。黄河上中游作为生态保护和中西部发展的重要区域,在充分提高节水水平的同时,发展仍可能导致需水增长。基于下游地区未来有水源可置换部分黄河用水指标的情况下,将黄河水资源更多的配置在流域上中游,对提高流域整体发展水平及推动区域均衡发展意义重大。

3.2 黄河水量分配调整方案

依据上述河川径流量、预留生态和输沙水量及下游可置换水量的分析估算及不同情景对应的适宜取值,得出黄河水量分配调整方案(表3)。径流量及生态需水的变化影响了黄河可分配水量,而下游可置换水量则进一步影响流域上中游和下游的分水指标即耗水量。

对于高、低调整情景,可分配水量分别对应较为有利和较为不利的情况,下游可置换水量则分别对应高、低值,由此得到的上中游分水指标分别对应高、低调整水平。具体而言,高调整情景的河川径流量取高值534.8亿 m^3 、预留生态需水量取低值80亿 m^3 ,可分配水量为高值454.8亿 m^3 ,下游替换黄河水量取高值45亿 m^3 ,得到下游和上中游分水指标分别为100.4亿和354.4亿 m^3 。低调整情景的河川径流量取低值482亿 m^3 、预留生态水量取高值120亿 m^3 ,可分配水量为低值362.0亿 m^3 ,下游替换黄河水量取低值25亿 m^3 ,得到下游和上中游分水指标分别为120.4亿和241.6亿 m^3 。

低调整情景的上中游分水指标相比《规划》

表3 黄河水量分配方案调整

Table 3 Adjustments of water allocation schemes in the Yellow River

($10^8 m^3$)

方案	河川径流量 ①	生态水量 ②	可分配水量 ③=①-②	下游置换水量 ④	分水指标(耗水量)	
					下游⑤	上中游⑥
“87”分水方案	580.0	210.0	370.0	—	145.4	224.6
《黄河流域综合规划》南水北调东中线生效至西线一期工程生效前(2020水平年)	519.8	187.0	332.8	—	123.2	209.6
调整方案						
低调整情景	取低值	取高值		取低值	“87分水”-置换水量	=③-⑤
	482.0	120.0	362.0	25.0	120.4	241.6
高调整情景	取高值	取低值		取高值		
	534.8	80.0	454.8	45.0	100.4	354.4

2020水平年增加32.0亿 m^3 、相比“87分水方案”增加17.0亿 m^3 ,可满足前文分析估算的能源基地及新增灌溉面积的部分用水需求。

高调整情景给上中游调整增加的水量相比《规划》2020水平年达到144.8亿 m^3 、相比“87分水方案”达到129.8亿 m^3 。在较为有利的情景下,未来径流量减少相对较少、生态需水取低值(但仍多于过去40年平均入海量加下游河道损失量)、下游南水北调和海水利用置换黄河供水较多的情况下,黄河上游可以增加的分水指标达到130亿 m^3 左右,不仅可以满足前文分析估算的上游发展需水,还可以有富余的水量用于增加本流域灌溉规模、适当调水到邻近的外流域地区,例如内蒙西部的吉兰泰盐池、甘肃河西走廊、青海的柴达木盆地,以支持边疆地区的生态保护和经济建设、服务于国家的粮食安全、国防安全需求。

4 保障对策

4.1 完善水权转让与补偿制度

对于黄河下游已经拥有的分水指标如何转交给上中游地区,为了体现公平原则,并减少水量分配指标调整的阻力,可以采用水权交易和国家补偿的办法:或者由黄河上中游省份向下游省份直接支付水权转让费从而获得水权;或者由国家向下游省份进行水权出让补偿、再由国家把让出的水权分配给上中游省份,充分发挥协调促进作用。管理部门要做足前期工作,全面了解交易双方对水权转让交易方式和补偿形式的意向,发现其中是否有需要协调的方面,结合实践以设计完善黄河下游与上中游地区间水权转让与补偿制度。

4.2 探索用水指标与土地指标联动机制

2018年3月10日,为规范有序实施跨省域补充耕地国家统筹、开展深度贫困地区城乡建设用地增减挂钩节余指标跨省域调剂,国务院印发了《跨省域补充耕地国家统筹管理办法》和《城乡建设用地增减挂钩节余指标跨省域调剂管理办法》,表明土地指标可以跨省调剂。土地指标调控伴随的产业转移会引起区域用水的改变,因此用水指标的转移也应与土地指标的调剂挂钩。从部门协同合作出发,探索用水指标与土地指标调控的联动机制,配合水权交易与补偿制度,实现用水指标随用地、产业转移。

黄河流域上中游及周边地区土地资源丰富,也是中国重要的后备耕地分布区域之一,且按照当前新增耕地重心已持续向西北方向移动的趋势,判断今后黄河流域上中游地区将是中国耕地补充的重要区域,而该区域恰恰也面临农业用水被工商业挤占的问题。对于黄河流域上中游,新增耕地必须增加用水指标,而用水指标的转移也要有据可依,因此有必要探索水资源与土地指标调控的有效结合模式,补充完善用水指标转移的管理制度。

5 结论

黄河流域生态保护和高质量发展上升为重大国家战略,对黄河水资源保障提出了新要求。随着气候变化及人类活动的影响,黄河流域水资源面临新形势:黄河河川径流量呈现减少趋势、花园口近几年略有回升,但未来变动不明朗;输沙量急剧减少,但径流量及调水调沙措施对输沙量影响较大;南水北调工程东中线一期工程已全面生效,“87分水方案”适用条件已经改变;流域上下游产业和发展程度对水资源需求也有所变化。本文通过分析评估黄河径流量(482亿~534.8亿 m^3)、预留生态(含输沙)水量(80亿~120亿 m^3)、下游南水北调及海水利用可置换黄河水量(25亿~45亿 m^3)及上中游部分产业发展需水,参照相关研究对黄河河川径流量的评价结果,提出高低调整情景的水资源战略配置方案,均可实现向黄河上中游增加分水指标。并提出完善水权转让与补偿制度、探索用水指标与土地指标调控的联动机制,以配合新的水资源配置方案的落实。

参考文献(References):

- [1] 汤秋鸿,刘星才,周园园,等.“亚洲水塔”变化对下游水资源的连锁效应[J].中国科学院院刊,2019,34(11):1306-1312. [Tang Q H, Liu X C, Zhou Y Y, et al. Cascading impacts of Asian Water Tower change on downstream water systems[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2019, 34(11): 1306-1312.]
- [2] 申冠卿,张原锋,张敏.黄河下游高效输沙洪水调控指标研究[J].人民黄河,2019,41(9):50-54. [Shen G Q, Zhang Y F, Zhang M. Research on regulation indices of floods for high efficient sediment transport in the lower Yellow River[J]. Yellow River, 2019, 41(9): 50-54.]
- [3] 王煜,彭少明,郑小康.黄河流域水量分配方案优化及综合调度的关键科学问题[J].水科学进展,2018,29(5):614-624. [Wang Y, Peng S M, Zheng X K. Key scientific issues of water allocation

2020年1月

- plan optimization and comprehensive operation for Yellow River Basin[J]. *Advances in Water Science*, 2018, 29(5): 614-624.]
- [4] 张金良, 刘生云, 李超群. 论黄河下游河道的生态安全屏障作用[J]. *人民黄河*, 2018, 40(2): 21-24. [Zhang J L, Liu S Y, Li C Q. Discussion on effect of ecological security barrier of the lower Yellow River[J]. *Yellow River*, 2018, 40(2): 21-24.]
- [5] 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. [Wang J H, Hu P, Gong J G. Taking the great protection of the Yellow River Estuary as the grasp to promote the construction of ecological civilization in the Yellow River Basin[J]. *Yellow River*, 2019, 41(10): 7-10.]
- [6] 左其亭. 黄河流域生态保护和高质量发展研究框架[J]. *人民黄河*, 2019, 41(11): 1-6. [Zuo Q T. Research framework for ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin[J]. *Yellow River*, 2019, 41(11): 1-6.]
- [7] 习近平. 在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上的讲话[J]. *中国水利*, 2019, (20): 1-3. [Xi J P. Speech at the symposium on ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin[J]. *China Water Resources*, 2019, (20): 1-3.]
- [8] 国家计委, 水利电力部. 关于黄河可供水量分配方案的报告[EB/OL]. (1987-09-11) [2019-12-20]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2011-03/30/content_3138.htm. [State Planning Commission of China, Ministry of Water Resources and Electric Power. Report on Distribution Scheme of Water Supply Capacity of the Yellow River[EB/OL]. (1987-09-11) [2019-12-20]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2011-03/30/content_3138.htm.]
- [9] 乔西现. 黄河水量统一调度回顾与展望[J]. *人民黄河*, 2019, 41(9): 1-5. [Qiao X X. Review and prospect of integrated water regulation of the Yellow River[J]. *Yellow River*, 2019, 41(9): 1-5.]
- [10] 董晓辉, 姚治君, 陈传友. 黄河源区径流变化及其对降水的响应[J]. *资源科学*, 2007, 29(3): 67-73. [Dong X H, Yao Z J, Chen C Y. Runoff variation and responses to precipitation in the source regions of the Yellow River[J]. *Resources Science*, 2007, 29(3): 67-73.]
- [11] Lan C, Zhang Y X, Gao Y H, et al. The impacts of climate change and land cover/use transition on the hydrology in the upper Yellow River Basin, China[J]. *Journal of Hydrology*, 2013, 502: 37-52.
- [12] 常国刚, 李林, 朱西德, 等. 黄河源区地表水资源变化及其影响因素[J]. *地理学报*, 2007, 62(3): 312-320. [Chang G G, Li L, Zhu X D, et al. Changes and influencing factors of surface water resources in the source region of the Yellow River[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(3): 312-320.]
- [13] 陈俊卿, 范勇勇, 吴文娟, 等. 2016-2017年调水调沙中断后黄河口演变特征[J]. *人民黄河*, 2019, 41(8): 6-9. [Chen J Q, Fan Y Y, Wu W J, et al. Evolution characteristics of the Yellow River Estuary after interruption of the Yellow River water and sediment regulation in 2016-2017[J]. *Yellow River*, 2019, 41(8): 6-9.]
- [14] 陈沈良, 谷硕, 姬泓宇, 等. 新入海水沙情势下黄河口的地貌演变[J]. *泥沙研究*, 2019, 44(5): 61-67. [Chen S L, Gu S, Ji H Y, et al. Processes of the Yellow River Mouth on new water and sediment condition[J]. *Journal of Sediment Research*, 2019, 44(5): 61-67.]
- [15] 高鹏, 穆兴民, 田鹏, 等. 近60年黄河中游水沙变化趋势及其影响因素分析[J]. *资源科学*, 2012, 34(6): 1070-1078. [Gao P, Mu X M, Tian P, et al. The variation trend of streamflow and sediment flux in the middle reaches of Yellow River over the past 60 years and the influencing factors[J]. *Resources Science*, 2012, 34(6): 1070-1078.]
- [16] 贾绍凤. 根据植被估算黄土高原的自然侵蚀和加速侵蚀: 以安塞县为例[J]. *水土保持通报*, 1995, 15(4): 25-32. [Jia S F. Estimation of natural erosion and accelerated erosion of human action on Loess Plateau: Taking Ansai County as an example[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1995, 15(4): 25-32.]
- [17] 李晓宇, 李焯, 袁华, 等. 气候变化情景下黄河天然径流预测研究[J]. *人民黄河*, 2012, 34(3): 27-29. [Li X Y, Li Z, Yuan H, et al. Study on natural runoff forecasting of the Yellow River under future climate change scenarios[J]. *Yellow River*, 2012, 34(3): 27-29.]
- [18] 汤秋鸿, 兰措, 苏凤阁, 等. 青藏高原河川径流变化及其影响研究进展[J]. *科学通报*, 2019, 64(27): 2807-2821. [Tang Q H, Lan C, Su F G, et al. Streamflow change on the Qinghai-Tibet Plateau and its impacts[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2019, 64(27): 2807-2821.]
- [19] Zhao Q D, Ding Y J, Wang J, et al. Projecting climate change impacts on hydrological processes on the Tibetan Plateau with model calibration against the glacier inventory data and observed streamflow[J]. *Journal of Hydrology*, 2019, 573: 60-81.
- [20] 水利部黄河水利委员会. 黄河流域综合规划: 2012-2030年[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2013. [Yellow River Committee. *Yellow River Basin Comprehensive Planning: 2012-2030*[M]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 2013.]
- [21] 刘晓燕, 连煜, 可素娟. 黄河河口生态需水分析[J]. *水利学报*, 2009, 40(8): 956-961. [Liu X Y, Lian Y, Ke S J. Analysis on water demand for ecosystem protection in Yellow River Delta[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2009, 40(8): 956-961.]
- [22] 谷源泽, 徐丛亮, 张朝晖, 等. 黄河入海淡水对海洋生态调控响应研究[J]. *人民黄河*, 2019, 41(8): 68-75. [Gu Y Z, Xu C L, Zhang Z H, et al. Response of fresh water from Yellow River to marine ecological regulation[J]. *Yellow River*, 2019, 41(8): 68-75.]
- [23] 司源, 王远见, 任智慧. 黄河下游生态需水与生态调度研究综述[J]. *人民黄河*, 2017, 39(3): 61-64. [Si Y, Wang Y J, Ren Z H. A review of ecological water requirement and ecological reservoir operation in the lower Yellow River[J]. *Yellow River*, 2017, 39(3): 61-64.]
- [24] 胡春宏, 张晓明. 论黄河水沙变化趋势预测研究的若干问题[J]. *水利学报*, 2018, 49(9): 1028-1039. [Hu C H, Zhang X M. Several key questions in the researches of runoff and sediment changes and trend predictions in the Yellow River[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2018, 49(9): 1028-1039.]
- [25] 刘晓燕. 黄河环境流研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2009.

- [Liu X Y. Study on the Environmental Flow of the Yellow River [M]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 2009.]
- [26] 石伟, 王光谦. 黄河下游生态需水量及其估算[J]. 地理学报, 2002, 57(5): 595–602. [Shi W, Wang G Q. Estimation of ecological water requirement for the lower Yellow River[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(5): 595–602.]
- [27] 白夏, 吴成国, 黄强, 等. 黄河上游不同用水情景下可调输沙水量概念探析与估算分析[J]. 水力发电学报, 2015, 34(3): 96–102. [Bai X, Wu C G, Huang Q, et al. Discussion and analysis on concept and estimation of regulatable water volumes for sediment transport in the upper Yellow River in different water demand scenarios [J]. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 2015, 34(3): 96–102.]
- [28] 王建华, 赵建世, 李海红, 等. 南水北调水资源综合配置研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2013. [Wang J H, Zhao J S, Li H H, et al. Research on the Comprehensive Allocation of Water Resources in South-to-North Water Diversion Project[M]. Beijing: Science Press, 2013.]
- [29] 蒋桂芹, 王煜, 靖娟. 黄河流域最小保有灌溉需水量预测[J]. 人民黄河, 2017, 39(11): 30–33. [Jiang G Q, Wang Y, Jing J. Minimum irrigation water requirement for food security in the Yellow River Basin[J]. *Yellow River*, 2017, 39(11): 30–33.]
- [30] 贾绍凤. 能源基地真会喝干黄河水吗?[J]. 中国经济报告, 2014, (11): 116–117. [Jia S F. Will the energy base really drink up the Yellow River?[J]. *China Policy Review*, 2014, (11): 116–117.]
- [31] Xiang X Z, Svensson J, Jia S F. Will the energy industry drain the water used for agricultural irrigation in the Yellow River Basin?[J]. *International Journal of Water Resources Development*, 2017, 33 (1): 69–80.

Suggestions for strategic allocation of the Yellow River water resources under the new situation

JIA Shaofeng¹, LIANG Yuan^{1, 2}

(1. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The Yellow River Basin plays an important role in China's social development and ecological security. Ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin have become a significant national strategy, which makes higher requirements on water resources allocation of the basin. The water allocation should not only help ecological system protection but also ensure high-quality development. With the impact of climate change and human activities, the overall runoff of the Yellow River has decreased in recent decades, but it has recovered slightly in the past several years, and the sediment inflow has decreased significantly compared with the historical situation. To meet the water demand of high-quality development in the Yellow River Basin, based on the new situation of runoff and sedimentation and regional water supply and demand, this article estimated the reserved ecological and sediment transport water on the lower reaches (8~12 billion m³), alternative water supply of the Yellow River by the South-to-North Water Diversion Project and seawater utilization (2.5~4.5 billion m³), and water demand for the development of some of the industries on the upper and middle reaches. Then scenarios of the Yellow River water resources allocation scheme were designed. To strengthen water resource security for the strategic development in the Yellow River Basin, it is necessary to improve the institutional arrangements and regulations of water right transfer and compensation, and explore the coupling mechanism of water and land spatial adjustments.

Key words: water resources; strategic allocation; new situation; water resource security; Yellow River Basin