

引用格式:左其亭,吴滨滨,张伟,等. 跨界河流分水理论方法及黄河分水新方案计算[J]. 资源科学, 2020, 42(1): 37-45. [Zuo Q T, Wu B B, Zhang W, et al. A method of water distribution in transboundary rivers and the new calculation scheme of the Yellow River water distribution[J]. Resources Science, 2020, 42(1): 37-45.] DOI: 10.18402/resci.2020.01.04

跨界河流分水理论方法及黄河分水新方案计算

左其亭^{1,2,3}, 吴滨滨¹, 张伟^{2,3}, 马军霞¹

(1. 郑州大学水利科学与工程学院, 郑州 450001; 2. 郑州大学黄河生态保护与区域协调发展研究院, 郑州 450001; 3. 郑州市水资源与水环境重点实验室, 郑州 450001)

摘要:跨界河流分水问题关系着河流健康、人水关系,影响着区域协调发展甚至安全稳定。黄河水量分配是关系到国计民生的大事,是黄河重大国家战略实施需要攻克的主要难点问题之一。目前国内关于跨界河流分水的研究较多,但一直没有准确、合理的定论,黄河“八七”分水已经经历了30多年,急需调整却难以进行。本文基于资料搜集及大量文献分析,总结跨界河流分水思想、原理及规则,提出一套系统的跨界河流分水计算方法,即“基于分水思想—分水原理—分水规则的多方法综合—动态—和谐分水方法”(简称SDH方法);在此基础上,应用该理论方法并充分考虑黄河流域实际和广大科技工作者的智慧,计算得出黄河分水新方案,并进行结果分析。得到如下结论:①跨界河流分水是一道难题,涉及到人与自然、人与人的复杂关系,需要树立先进的分水思想,包括可承载分水思想、和谐分水思想、公平分水思想、共享用水思想和系统分析思想;②提出的分水方法综合考虑现状分水方案、现状用水和未来用水需求、人口、GDP、流域面积以及总体最优等因素,随可分配水量变化而同比变化,并符合最小需水和用水效率约束,是非常合适的;③黄河“八七”分水方案需要调整,考虑总可分配水量的变化,分别计算确定了假设分配水量370亿和300亿 m^3 两种情况下的黄河分水新方案(称为“19ZQT”分水方案),并分析论证了该方案的合理性。

关键词:黄河分水;“八七”分水方案;分水规则;和谐论;跨界河流

DOI :10.18402/resci.2020.01.04

1 引言

随着用水需求的不断增大,水资源供需矛盾日益突出,水资源分配的难度也越来越大,其中跨界河流分水问题已成为影响地区乃至整个国家发展的重大水问题。黄河是中国的母亲河,流经9个省区,如何分好黄河水这一硕大“蛋糕”一直是备受争议的难题。为了缓解黄河流域水资源供需矛盾以及黄河断流情况,1987年中国首次批准了以1980年实际用水量为基础、综合考虑各地区用水需求及发展规模的黄河可供水量分配方案,称为“八七”方案;该方案是中国针对大江大河的第一个跨界河流分水方案,有效平衡了河道外各地区的用水,是保护、开发、利用黄河水资源以及促进流域水资源管理的基本依据^[1,2]。但是,自“八七”方案实施以来已

有30多年,各地区也发生了翻天覆地的变化,况且该方案明确指出是以1980年实际的用水量为基础,适用于南水北调工程生效前,与目前黄河流经的青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东以及河北、天津的用水格局不相匹配。因此,在跨界河流分水理论方法的基础上,根据目前用水现状、综合考虑各种影响因素,制定出切实可行的新的黄河分水方案至关重要。

跨界河流分水问题不仅是中国面临的重大水问题,也广泛存在于国际河流。由于水资源有限,而各个地区都希望拥有更多的水资源,这便是跨界河流水资源分配的症结。面对国际跨界河流分水问题,相关国际法律法规并不完善,各国水资源开发利用水平差异大,且分水会受到国家经济发展水

收稿日期:2019-12-09,修订日期:2019-12-20

基金项目:国家自然科学基金项目(51779230;U1803241)。

作者简介:左其亭,男,河南固始人,博士,教授,博导,主要从事水文学及水资源研究。E-mail: zuoqt@zzu.edu.cn

平、国际地位、军事实力等多种因素影响,很难用统一的标准来衡量和处理^[3];另外,河流分水侧重于对供水量的分配,但又不能忽视水质问题,及与之相关的生态系统,也使分水复杂化。国际上曾出现绝对领土主权论和绝对领土完整论这两种关于跨界河流水量分配的学说,由于两种学说都只顾及本国利益^[4],形成了诸多矛盾,因此并不能作为真正的分水思路;国内个别学者分析了河流分水情况、分水适应性问题,但也没有研究新的分水方案^[5,6]。国内外针对跨界河流分水问题的研究早已开始,但是至今并未形成一套统一的可供推广的跨界河流分水理论,缺少系统的更为深入的分析研究。

综上所述,亟需确定一套跨界河流分水理论方法,以全面协调平衡各地区之间的用水需求。本文试图总结出一套基于分水思想、原理、规则及方法的普适性理论,并将其应用于黄河流域的跨界河流分水问题上,以期得到更为科学的黄河可供水量分配方案,促进黄河流域高质量发展。

2 跨界河流分水思想及原理

2.1 分水思想

(1)可承载分水思想

跨界河流分水首先要保证水资源系统可承载,因此,“可承载”是分水工作的主要指导思想^[7,8]。跨界河流水量分配,对于生态环境的良性发展,既可能是助推剂,也可能是绊脚石,其主动权在于人。在可承载范围内开发利用水资源是跨界河流水量分配最基本的要求。对有限的水资源进行水量分配是人文系统与水资源相互联系的关键一步,需协调用水与生态系统良性循环之间的平衡;对于河流水资源不能无限制开采,同时也需要人们的爱护,以达到合理用水、创造美好环境的目的。

(2)和谐分水思想

人水关系复杂、矛盾突出的难题,需要贯彻和谐思想来破解;和谐社会在水资源利用方面也需要和谐思想^[9-11],具体表现在分水上也要贯彻和谐思想,进行合理的河流水量分配,走和谐发展道路。分水要合理、有度,地区经济社会发展不能以牺牲周边生态环境为代价,以水定产、适水发展是核心。跨界河流水量分配不是依据某一要素进行分配,更不是随意分配,而是以实际发展规模、用水需求为基础,综合考虑各种影响因素,达到发展与需

求相匹配,实现经济社会与生态环境的共同促进与协调发展^[12]。

(3)公平分水思想

跨界河流分水是一件非常严肃的事情,必须坚持公平公正的分配原则。当然,这里的公平分水并不是平均分水,而是基于多种影响因素下的分水,是自身用水不能影响其他地区用水的水资源分配。坚持公平分水思想就是要做到沿岸各地区以公平合理的方式开发利用跨界河流水资源,不仅要避免过度开采水资源,还要重视对水资源的高效利用,不能浪费水资源,要从实际用水需求出发,最终实现公平合理用水和水资源高效利用。

(4)共享用水思想

“公共性”是水资源的基本特性之一,跨界河流的沿岸各地区都享有对该河流水资源开发利用的权利,人人都有共享水资源的基本需求。跨界河流并不属于某一国家或地区所有,因此,对于跨界河流的水资源利用要坚持共享用水思想,以实现有限水资源下各方利益的最大化。综合考虑参与分水的各个国家或地区,全面调查、深入研究、科学预测,最终制定出一套公平、合理的河流水资源分配方案,形成互惠互利、共同发展的良好关系。

(5)系统分析思想

跨界河流水量分配是水资源管理工作的一部分,是一个复杂的系统工程。分水工作要坚持系统分析思想,统筹考虑上下游、左右岸、干支流以及各地区发展,从经济、实用等角度系统考虑全流域可供水量和干支流径流量、取水工程和取水用途、发展规模和长期规划,做到合理取水和用水,既要开发又要保护,在保护中谋发展,在发展中求保护。

2.2 分水原理

跨界河流分水的基本原理(图1),分析如下:①河流水资源系统是分水的对象,其水资源量是有限的,但又要支撑不同区域、不同行业或部门用水,必然涉及到分配问题;②跨界河流分水问题复杂,需要坚持科学的分水思想,并按照一定的分水规则,特别是要借鉴国内外成功的分水经验并考虑具体情况综合分水;③水资源系统受到气候变化和人类活动的影响,需要考虑这些环境的变化,进行适应性变化分水;④通过分水方案的实施,合理支撑生活、生产及生态用水,实现经济社会可持续发展、生态系统健康循环,最终实现人水和谐目标。

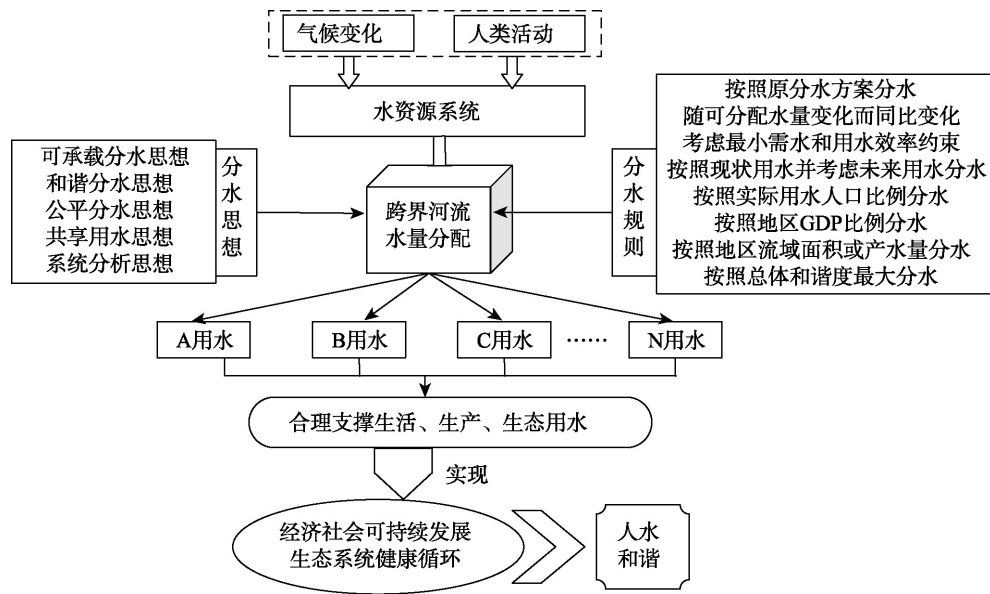


图1 跨界河流分水原理示意图

Figure 1 A schematic diagram of transboundary river water distribution

3 跨界河流分水规则及计算方法

3.1 分水规则

分水规则是在分水思想指导下制定的一系列分水依据,指导着分水方法的实施。要想做好跨界河流分水,必须做到以下两点:一是参考和借鉴目前已有的跨界河流分水经验;二是各分水国家或地区经过反复协商,达成一致意见。综合考虑各种因素和以往的经验,总结主要有以下分水规则:

(1) 按照原分水方案分水

现状分水方案是从实施到目前正在执行的方案,该方案是基于前期深入细致的基础性工作,经过专家论证、全面协调得出的,长期以来经受住历史的考验,发挥巨大的作用。因此,按照现状分水方案不变在一定程度上也能够满足需求。

(2) 随可分配水量变化而同比变化

一般来讲,河流径流量存在或多或少的年际变化,有些河流可能受气候变化和人类活动影响导致径流量减少,因此,为了保障水资源合理利用、防止河流断流、满足生态基流需求,在分水时应考虑可分配水量的变化。跨界河流分水,可以平水年为基准,计算得出分水方案,再根据来水径流量变化,确定相对于平水年的调节系数,按同比例进行计算。

(3) 考虑最小需水和用水效率约束

为了保护河流生态系统健康循环,必须考虑河流最小需水约束,满足生态环境用水的需求。此外,

还要考虑人的最基本生存需求,分配的水量要高于合理的最小需水量。同时,也要考虑用水效率,不能过于浪费,严格控制在一定的用水红线范围内。

(4) 按照现状用水并考虑未来用水分水

目前的跨界河流分水多以实际用水需求为基础,以最近的某一年为基准年,另外根据长期规划结合未来发展情况确定具体分水量。这样才能避免因为各种因素影响导致的用水偏差,更能贴合实际,有效缓解用水不足和浪费水资源的现象。

(5) 按照实际用水人口比例分水

人口是经济社会规模的主要指标之一,也是影响甚至决定用水规模的主要指标之一。随着地区人口的增加,用水需求也在不断增大,因此按照实际用水人口比例分水也是重要的一方面。该规则是沿岸各地区在保证河流生态环境保护目标的条件下,按照各地区的人口数量分配水量。

(6) 按照地区GDP比例分水

GDP是一个地区经济发展规模的主要指标之一,也是影响地区总生产用水量大小的重要指标。因此,考虑地区生产发展的需求,可采用在保证河流生态环境保护目标的条件下,按照各地区的GDP比例分配水量。

(7) 按照地区流域面积或产水量分水

为了体现不同区域对流域产水的贡献大小,采用流域面积或产水比例分水也较为合理、公平。该

规则是沿岸各地区在保证河流生态环境保护目标的条件下,按照各地区境内的流域面积或产水比例分配水量。

(8)按照总体和谐度最大分水

跨界河流水量分配应坚持和谐分水思想,针对河流水资源的开发利用,综合协调上下游、左右岸、干支流的需水问题^[13],避免因争水而激化矛盾。可根据取水用途、地理位置、人均用水量等因素合理分配水量,促进河流水资源的有序开发,实现总体和谐度最大。

3.2 分水计算方法

目前国内外跨界河流分水方法主要有:按流域内国家或区域数量平均分配水量、按流域面积或产流量比例分配水量、按流域内人口比例分配水量、协商分水方法以及其他分水方法^[9]。其中,研究贵州省南盘江水量分配方案时,分别对比分析了按面积占比分水、按水量占比分水、按人口占比分水和按地区生产总值分水的方法,最终确定按水量占比分水的方案^[14];针对伊犁河在中国与哈萨克斯坦之间的分水,有研究同样对比了这几种方法,最后得出按人口和需水比例进行分配更为合理的结论^[15]。国际上,20世纪由于以色列与约旦之间采用固定水量分水,导致干旱期水资源严重短缺;随后,国际水法中也明确了要综合考虑社会需求、人口等分水原则;针对1960年印度和巴基斯坦关于对印度河的分水,经过论证后主要按照历史和规划的用水进行分配^[16]。大量文献资料显示^[17,18],跨国界河流分水以根据用水需求和流域多年平均水资源量进行分水为主。

基于本文提出的分水思想、分水原理和分水规则,在参考以往跨界河流分水方法^[19,20]的基础上,采用简便易行的分水思路,总结提出跨界河流分水计算方法和详细过程,叙述如下:

3.2.1 按照规则计算得到各要素下分水方案

(1)按照原分水方案分水。即不需要再重新计算。

(2)按照现状用水并考虑未来用水分水。

$$Q_{kp} = \omega Q_{\text{现状}k} + (1 - \omega) Q_{\text{未来}k} \quad (1)$$

式中: Q_{kp} 为第 k 个地区第 p 种分水方案下的分水量; k 为地区编号, $k=1,2,\dots,n$; $p=2$ (代表规则2); ω 为现状用水的调节系数; $Q_{\text{现状}k}$ 为现状用水量; $Q_{\text{未来}k}$ 为考

虑未来发展规模得到的未来用水量。本文在计算黄河分水方案时采用 $\omega=0.5$,即现状用水量和未来用水量各占一半的比重。当然,也可以调整 ω 值大小以区别其重要程度。

(3)按照实际用水人口比例分水。

$$Q_{kp} = \frac{P_k}{P_{\text{总}}} \cdot Q_{\text{总可分}}^1 \quad (2)$$

式中: P_k 为第 k 个地区的实际用水人口数; $P_{\text{总}}$ 为该流域内总的实际用水人口数; $Q_{\text{总可分}}^1$ 为可分配水量; $p=3$ (代表规则3)。其他符号同前。

(4)按照地区GDP比例分水。

$$Q_{kp} = \frac{G_k}{G_{\text{总}}} \cdot Q_{\text{总可分}}^1 \quad (3)$$

式中: G_k 为第 k 个地区的GDP; $G_{\text{总}}$ 为该流域内总GDP; $p=4$ (代表规则4)。其他符号同前。

(5)按照地区流域面积比例分水。

$$Q_{kp} = \frac{S_k}{S_{\text{总}}} \cdot Q_{\text{总可分}}^1 \quad (4)$$

式中: S_k 为第 k 个地区的流域面积; $S_{\text{总}}$ 为该流域内总的流域面积; $p=5$ (代表规则5)。其他符号同前。

(6)按照总体和谐度最大分水^[9]。

$$HD = ai - bj \quad (5)$$

式中: $a = \sum_{k=1}^n G_k / \sum_{k=1}^n A_k$, $b = 1 - a$; HD 为某一因素所对应的和谐度,这里的因素可以是实际用水量、人均用水量等; a, b 分别为统一度、分歧度; A_k 为第 k 个地区的和谐行为,即实际用水量; G_k 为第 k 个地区符合和谐规则的和谐行为,即不超过分配水量下的用水量;公式(5)中 i, j 分别是和谐系数、不和谐系数,采用文献[9]中给定的函数曲线计算。

3.2.2 考虑动态变化进行动态校正——随可分配水量变化而同比变化

$$Q_k^1 = Q_k^0 \cdot \frac{Q_{\text{总可分}}^1}{Q_{\text{总可分}}^0} \quad (6)$$

式中: Q_k^1 为随可分配水量而变的新的分水方案; Q_k^0 为原分水方案; $Q_{\text{总可分}}^0$ 为原可分配水量。

3.2.3 考虑各区域用水约束进行校正——考虑最小需水和用水效率约束

$$Q_{\text{最小需}} \leq Q_k \leq Q_{\text{最大需}} \quad (7)$$

式中: $Q_{\text{最小需}}$ 为满足地区生态、生活和生产的最小需水量; $Q_{\text{最大需}}$ 为在用水效率定额控制下的最大需水量; Q_k 为第 k 个地区的分配水量。

2020年1月

3.2.4 计算确定分水方案

(1)采用专家咨询法确定各分水方案的综合权重 u_j 。为了广泛综合不同学者的意见,本文作者利用水科学QQ群、水科学微信群、黄河论坛专家微信群,共收到180份调查问卷,进行统计分析,并考虑笔者的研究结论,最终得到6个分水规则的权重,分别为:0.170、0.255、0.130、0.090、0.080、0.275。当然,针对不同的河流,可以采用类似的方法得到具体的权重。

(2)计算得到第 k 个地区的分配水量 Q_k 。

$$Q_k = \sum_{p=1}^6 u_p \cdot Q_{kp} \quad (8)$$

式中: p 为规则编号, $p=1,2,3,4,5,6$ 。

(3)再判断可分配水量是否变化,如果变化,按同比变化计算得到新的 Q_k 。

(4)再判断 Q_k 是否满足最小需水和用水效率约束。

如此计算得到分水方案,示意如图2,该方法可概括为一种基于分水思想、分水原理及分水规则,综合考虑自然要素及人文要素,协调人水关系的动态的、和谐的跨界河流水量分配方法,把这种分水方法称为“基于分水思想—分水原理—分水规则的多方法综合—动态—和谐分水方法”,简称为“SDH”方法(Synthetic- dynamic- harmonious Water

Allocation Method)。

4 黄河分水新方案计算及结果分析

4.1 黄河分水新方案

4.1.1 数据来源

黄河流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南、山东等9个省区,另外还要兼顾河北和天津用水。各省区水资源、经济社会以及用水情况差异明显,依据跨界河流水量分配方法,对各省区进行合理分水。根据计算需要,从黄河水资源公报及各地市统计年鉴等途径搜集到的黄河流域各地区原始数据如表1所示,其中黄河流域各地区2030年预测用水量主要依据《实行最严格水资源管理制度考核办法》中用水总量控制目标,并结合各地区水资源综合规划及水资源公报数据得到。

4.1.2 按照规则分水

经过深入论证,黄河“八七”分水方案确定的黄河可供水量为370亿 m^3 ^[21]。本文先对黄河可供水量370亿 m^3 进行各省区之间的合理分配;可供水量如有调整,也可按照动态校正公式得出各省区对应的分水量。本文计算时以2017年为现状用水年;计算和谐度时以近10年用水量为原始数据,根据和谐度大小调整“八七”分水方案中各地区用水量,以达到总体和谐度最大。

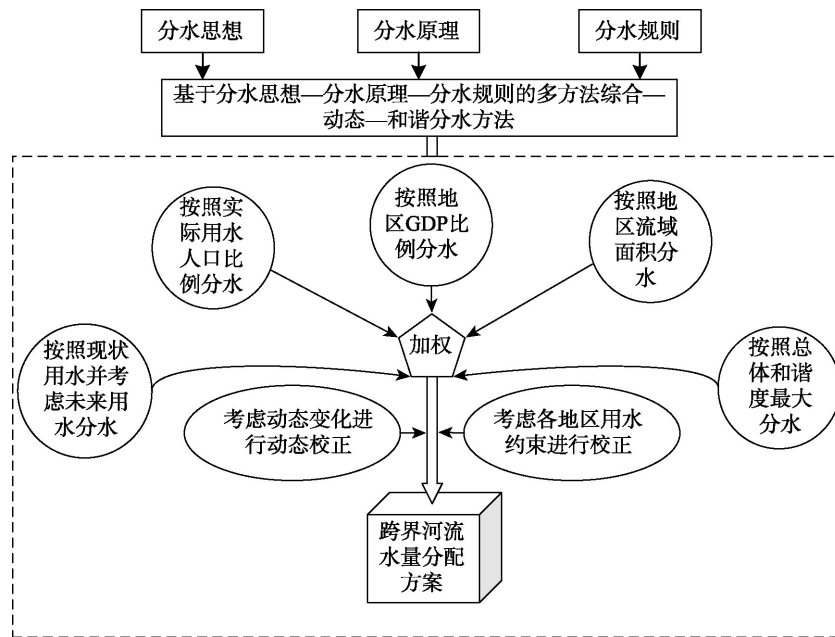


图2 跨界河流分水计算流程及方法

Figure 2 Calculation flow chart and method of transboundary river water distribution

表1 黄河分水新方案计算原始数据

Table 1 Original data for the calculation of a new scheme of Yellow River water distribution

关键指标	青海	四川	甘肃	宁夏	内蒙古	山西	陕西	河南	山东	河北 天津
2008年用水量/亿m ³	13.82	0.24	34.46	41.76	75.24	33.18	46.95	54.22	76.37	7.30
2009年用水量/亿m ³	12.54	0.25	33.91	40.76	81.03	32.19	45.21	57.77	80.25	8.66
2010年用水量/亿m ³	12.07	0.25	34.30	38.49	80.96	35.25	43.93	58.18	81.28	10.15
2011年用水量/亿m ³	12.15	0.24	37.21	40.27	83.14	39.03	45.37	65.30	84.96	13.60
2012年用水量/亿m ³	10.09	0.26	36.55	41.31	76.51	39.42	49.53	70.75	87.90	6.80
2013年用水量/亿m ³	10.56	0.36	34.70	42.67	85.45	40.60	51.30	70.45	87.19	3.47
2014年用水量/亿m ³	10.50	0.33	33.97	42.55	83.67	40.89	51.14	63.26	98.37	6.38
2015年用水量/亿m ³	10.78	0.34	33.26	42.50	79.34	43.47	51.63	60.93	104.61	5.19
2016年用水量/亿m ³	11.24	0.24	33.43	39.85	76.23	44.65	51.10	60.46	91.99	3.71
2017年用水量/亿m ³	11.17	0.21	33.78	40.95	74.97	44.79	52.68	65.32	90.92	2.30
预测2030年用水量/亿m ³	19.96	0.52	41.80	87.59	120.23	67.63	83.01	81.74	130.19	6.10
人口总数/万人	598.58	94.01	2318.52	681.78	1265.76	3702.39	3203.77	4397.27	5408.92	—
生产总值GDP/亿元	2656.53	295.16	5987.29	3490.61	11204.35	14911.15	19383.97	26668.66	36479.96	—
流域面积/万km ²	15.22	1.70	14.32	5.14	15.10	9.71	13.33	3.62	1.36	—

首先,按照第①、②方案分别计算得到河北和天津的分水量,如表2所示,根据权重得到河北与天津的最终分水量为9.76亿m³;其次,将剩余的可供水量360.24亿m³按照6个方案分配给流域内9个省区,结果如表3所示;最后,根据得到的各方案权重,计算出各省区最终的分水量及分水比例,结果如表4所示。

4.1.3 动态调整分水量

该分水方案是动态的,随可分配水量变化而同比变化,因此可根据公式(6)进行动态校正。这里仅以黄河可分配水量300亿m³作为一个例子,进行简单说明,其计算结果如表5所示。如果可分配水量不是300亿m³,同样可以采取类似思路进行计算和判断。

4.2 结果分析

4.2.1 各省区水量变化分析

从表4中可以看出,分水量最大的3个地区依次是山东、内蒙古、河南,3个地区分水量超过了总

分配水量的一半;而四川、河北与天津、青海分水量较少,还不到总分配水量的10%;其他地区差别不大。通过与“八七”分水方案对比,可知新方案下分水量变化较大的是河北与天津、陕西、宁夏,其他地区变化不大。黄河的源头位于青海,四川和甘肃处于黄河流域的上游,区域面积较大,有进一步发展空间,分水量在原方案基础上有所增加。宁夏位于黄河上游,面积较小,考虑到其实际用水人口及地区生产总值相对较少,适当压缩了宁夏分配水量。内蒙古位于黄河上游,以农业灌溉用水为主兼顾工业发展,用水量大,分配水量在原基础上稍微增加。由于山西地处山区,地势较高,利用水困难,且该地区河流众多,水资源丰富,根据历年实际用水情况,水量指标并没有用完,分水量在原基础上有所减少。根据陕西近几年实际用水情况,用水量较大,实际用水人口多、地区生产总值也较大,增加了分水量。河南和山东都是用水大户,两者实际用水量长期超过其分水指标,对整个黄河流域的生态系

表2 2个分水方案下的分水量及权重计算结果

Table 2 Water distribution and weight calculation under two water distribution schemes

(10⁸ m³)

分水方案	青海	四川	甘肃	宁夏	内蒙古	山西	陕西	河南	山东	河北 天津	权重
① 按照“八七”分水方案分水	14.10	0.40	30.40	40.00	58.60	43.10	38.00	55.40	70.00	20	0.40
② 按照现状用水并考虑未来用水分水	10.92	0.26	26.49	45.04	68.40	39.39	47.55	51.53	77.48	2.94	0.60

表3 6个分水方案下的分水量及权重计算结果

Table 3 Water distribution and weight calculation under six water distribution schemes

(10⁸ m³)

分水方案	青海	四川	甘肃	宁夏	内蒙古	山西	陕西	河南	山东	合计	权重
① 按照“八七”分水方案分水	14.51	0.41	31.29	41.17	60.32	44.36	39.11	57.02	72.05	360.24	0.170
② 按照现状用水并考虑未来用水分水	10.71	0.25	25.99	44.21	67.13	38.66	46.67	50.58	76.04	360.24	0.255
③ 按照实际用水人口比例分水	9.95	1.56	38.54	11.33	21.04	61.55	53.26	73.10	89.91	360.24	0.130
④ 按照地区GDP比例分水	7.90	0.88	17.81	10.39	33.34	44.36	57.67	79.35	108.54	360.24	0.090
⑤ 按照地区流域面积比例分水	68.97	7.70	64.89	23.29	68.42	44.00	60.40	16.40	6.17	360.24	0.080
⑥ 按照总体和谐度最大分水	9.99	0.21	32.94	38.12	74.25	31.88	43.51	53.70	75.64	360.24	0.275

表4 370亿m³水量下的黄河分水新方案最终计算结果Table 4 Final calculation results of the new scheme for the distribution of Yellow River water with 37 billion m³ volume

省区	青海	四川	甘肃	宁夏	内蒙古	山西	陕西	河南	山东	河北 天津	合计
分配水量/亿m ³	15.47	1.09	32.81	33.03	59.00	41.68	47.46	55.31	74.39	9.76	370
与“八七”方案 对比/亿m ³	+1.37	+0.69	+2.41	-6.97	+0.40	-1.42	+9.46	-0.09	+4.39	-10.24	0

表5 300亿m³水量下的黄河分水新方案最终计算结果Table 5 Final calculation results of the new scheme for the distribution of Yellow River water with 30 billion m³ volume

省区	青海	四川	甘肃	宁夏	内蒙古	山西	陕西	河南	山东	河北 天津	合计
分配水量/亿m ³	12.54	0.88	26.60	26.78	47.84	33.80	38.48	44.85	60.32	7.91	300

统及社会发展都会产生一定的影响,山东作为经济大省正处于发展的关键时期,山东分配水量有所增加,而综合考虑河南整体情况,其分水量基本保持不变。河北和天津整体用黄河水少,其实际用水长期以来远小于分水指标,分水量大幅降低。

4.2.2 可分配水量的动态调整说明

根据分水方案中各省区的分水量,可以清晰看出各省区分水的相对大小,而确定分水方案并不是由某一要素决定,而是综合多种要素,协调各省区用水,最终得到相对合理的分水方案。分水方案并不是一成不变的,如遇丰水年、枯水年或修建调水工程等特殊情况下,为了避免发生洪涝灾害及干旱甚至断流现象,分配水量需根据实际情况进行动态调整,比如,黄河可分配水量由370亿变为300亿m³,也可按照相应准则进行计算,得到新的分水方案。

4.2.3 “19ZQT”分水方案确立

本文采用全新的思路对黄河分水方案进行重新研究,得到新的分水方案和动态的分水计算思路。为了便于与黄河“八七”分水方案对比,以及与其他单位或学者可能制定的分水方案对比,把本文笔者得出的黄河分水方案称为“19ZQT”分水方案。

5 结语

本文基于大量文献及参考资料,从国际河流水量分配及黄河“八七”分水方案的背景入手,结合目前水资源现状以及未来发展需求,全面总结跨界河流分水思想及原理,确定详细的分水规则,提出了一套系统的跨界河流分水计算方法,即“基于分水思想—分水原理—分水规则的多方法综合—动态—和谐分水方法”(简称为“SDH”方法)。在此基础上,以中国黄河流域9省区(再加河北与天津)分水为例,应用“SDH”方法计算得到黄河分水新方案,并对结果进行深入分析。通过将计算得到的分水方案与“八七”分水方案进行对比,发现个别省区在黄河流域的分水比例有所调整,说明了其经济发展和用水需求发生了一定的变化;从整体上来看,分水方案与地区用水及发展情况紧密结合,能够在一定程度上促进区域协调发展,保证各地区的公平用水,有效支撑黄河流域高质量发展。

水资源是人类赖以生存的宝贵资源,跨界河流相关区域都希望多分得一些水量,是完全可以理解的,也是人之常情。但因水资源的有限性,不可能按需取水,必须要进行统一分配。为了各地区的和

谐相处、不致因水资源而发生矛盾甚至战争,有必要统一跨界河流水量分配方法,用一套系统的分水理论解决分水问题。本文提出的分水方法具有一定的普适性和可操作性,可供跨界河流分水参考。

当然,需要特别说明的是,本文仅仅是基于理论方法研究和黄河流域实际,通过计算得到黄河新的分水方案,尽管进行了一定的分析,但离具体执行应用还有一段路要走,主要是需要多方协商,最终确定出广泛认可和执行的方案。尽管如此,本文提出的分水方案具有一定的参考作用,供有关部分组织协商时参考。

参考文献(References):

- [1] 王煜,彭少明,武见,等.黄河“八七”分水方案实施30年回顾与展望[J].人民黄河,2019,41(9):6-13.[Wang Y, Peng S M, Wu J, et al. Review of the implementation of the Yellow River water allocation scheme for thirty years[J]. Yellow River, 2019, 41(9): 6-13.]
- [2] 杨朝晖.落实淮河流域主要跨省河流水量分配方案的几点思考[J].治淮,2016,(11):6-7.[Yang C H. Some thoughts on how to implement the plan of water distribution in the Huaihe River Basin [J]. Harnessing the Huaihe River, 2016, (11): 6-7.]
- [3] 左其亭.国际河流分水的和谐论理念及计算模型[A].戴长雷,吴敏,李治军,等.第八届中国水论坛论文集:农业、生态水安全及寒区水科学[C].北京:中国水利水电出版社,2010.[Zuo Q T. The Harmonic Theory of Water Distribution in International Rivers and Its Model[A]. Dai C L, Wu M, Li Z J, et al. Collection of the 8th China Water Forum: Agriculture, Ecological Water Security and Water Science in Cold Regions[C]. Beijing: China Water & Power Press, 2010.]
- [4] 张瑞金,张欣,刘博,等.跨界河流水量分配模式研究[J].边界与海洋研究,2018,3(6):82-91.[Zhang R J, Zhang X, Liu B, et al. Study on the water allocation pattern of transboundary rivers[J]. Journal of Boundary and Ocean Studies, 2018, 3(6): 82-91.]
- [5] 王煜,彭少明,郑小康,等.黄河“八七”分水方案的适应性评价与提升策略[J].水科学进展,2019,30(5):632-642.[Wang Y, Peng S M, Zheng X K, et al. Adaptability assessment and promotion strategy of the Yellow River water allocation scheme[J]. Advances in Water Science, 2019, 30(5): 632-642.]
- [6] 蒋晓辉,夏军,黄强,等.黑河“97”分水方案适应性分析[J].地理学报,2019,74(1):103-116.[Jiang X H, Xia J, Huang Q, et al. Adaptability analysis of the Heihe River “97” Rater Diversion Scheme[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(1): 103-116.]
- [7] 左其亭.人水和谐论及其应用研究总结与展望[J].水利学报,2019,50(1):135-144.[Zuo Q T. Summary and prospect of human-water harmony theory and its application research[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2019, 50(1): 135-144.]
- [8] Zuo Q T, Zhao H, Mao C C, et al. Quantitative analysis of human-water relationships and harmony-based regulation in the Tarim River Basin[J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2015, 20(8): 1-11.
- [9] 左其亭.和谐论:理论·方法·应用[M].北京:科学出版社,2016.[Zuo Q T. Harmony Theory: Theory, Method and Application[M]. Beijing: Science Press, 2016.]
- [10] Zuo Q T, Han C H, Liu J, et al. A new method for water quality assessment: By harmony degree equation[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2018, 190(3): 1-12.
- [11] 左其亭,马军霞,陶洁.现代水资源管理新思想及和谐论理念[J].资源科学,2011,33(12):2214-2220.[Zuo Q T, Ma J X, Tao J. New thoughts of modern water management and harmony ideas [J]. Resources Science, 2011, 33(12): 2214-2220.]
- [12] Zuo Q T, Luo Z L, Ding X Y. Harmonious development between socio-economy and river-lake water systems in Xiangyang City, China[J]. Water, 2016, DOI: 10.3390/w8110509.
- [13] 李彤,路强.黄河治理中的生态文明思想:以解决黄河断流问题为例[J].黄河文明与可持续发展,2014,(2):63-75.[Li T, Lu Q. Thoughts on ecological civilization in Yellow River management: A case study of solving the problem of disconnection of Yellow River[J]. Yellow River Civilization and Sustainable Development, 2014, (2): 63-75.]
- [14] 刘廷海.贵州省南盘江水量分配方案[J].黑龙江水利科技,2018,46(11):75-77.[Liu T H. Water allocation scheme of Nanpan River in Guizhou Province[J]. Heilongjiang Hydraulic Science and Technology, 2018, 46(11): 75-77.]
- [15] 郑晨骏.“一带一路”倡议下中哈跨界水资源合作问题[J].太平洋学报,2018,26(5):63-71.[Zheng C J. The Sino-Kazakh transboundary water resources cooperation under the Belt and Road Initiative[J]. Pacific Journal, 2018, 26(5): 63-71.]
- [16] 刘戈力,曹建廷.介绍几种国际河流水量分配方法[J].水利规划与设计,2007,(1):29-32.[Liu G L, Cao J T. Methods of water allocation of international rivers[J]. Water Resources Planning and Design, 2007, (1): 29-32.]
- [17] Zhang Y L, Lu Y Y, Zhou Q, et al. Optimal water allocation scheme based on trade-offs between economic and ecological water demands in the Heihe River Basin of northwest China[J]. Science of the Total Environment, 2019, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134958.
- [18] Berhe F T, Melesse A M, Hailu D, et al. MODSIM: Based water allocation modeling of Awash River Basin, Ethiopia[J]. Catena, 2013, 109: 118-128.
- [19] 祝云宪,梁士奎,杨峰,等.引黄灌区和谐分水实时调度研究[J].人民黄河,2014,36(8):57-59.[Zhu Y X, Liang S K, Yang F, et al. Research on harmonious water diversion concept and real-time scheduling in Yellow River irrigation area[J]. Yellow River, 2014, 36(8): 57-59.]
- [20] 左其亭,王丽.资源节约型社会的评价方法及应用[J].资源科学,2008,30(3):409-414.[Zuo Q T, Wang L. The method for evaluating resource-efficient society and its application[J]. Resources Science, 2008, 30(3): 409-414.]
- [21] 王忠静,郑航.黄河“八七”分水方案过程点滴及现实意义[J].人民黄河,2019,41(10):109-112.[Wang Z J, Zheng H. Things and current significance of the Yellow River water allocation scheme in 1987[J]. Yellow River, 2019, 41(10): 109-112.]

A method of water distribution in transboundary rivers and the new calculation scheme of the Yellow River water distribution

ZUO Qiting^{1,2,3}, WU Binbin¹, ZHANG Wei^{2,3}, MA Junxia¹

(1. School of Water Conservancy Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Yellow River Institute for Ecological Protection & Regional Coordinated Development, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 3. Zhengzhou Key Laboratory of Water Resource and Environment, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The problem of transboundary river water distribution is related to river health, human-water relationship, regional coordinated development, and security and stability of societies. Water distribution of the Yellow River is one of the major difficulties faced in the implementation of the Yellow River national strategy, which is related to the national economy and people's livelihood. At present, there are many studies on transboundary river water distribution in China and internationally, but accurate and reasonable conclusions have yet to be reached. The 1987 water distribution scheme for the Yellow River has been implemented for more than 30 years and changes are urgently needed. In this study, through data collection and analysis of a large amount of literature, the thoughts, principles, and rules of water distribution in transboundary rivers were summarized, and a set of systematic calculation methods of water distribution in transboundary rivers was put forward. This new approach is characterized by multi-method synthesis-dynamic analysis-harmonious water distribution based on the thoughts, principles, and rules of water distribution (SDH method for short). On this basis, the theoretical method was applied and the actual situation of the Yellow River Basin and the results of existing scientific research were fully considered. The results are as follows: (1) Water distribution in transboundary rivers is a difficult problem, which involves the complicated relationships between human and nature and between people; (2) The proposed water distribution method takes into account factors such as current water distribution scheme, current water use, future water demand, population, GDP, river basin area, and the overall optimal distribution, changes year on year with the change of the quantity of distributable water, and meets the minimum water demand and water use efficiency constraints; (3) The 1987 water distribution scheme for the Yellow River needs to be adjusted. Considering the change of the total distributable water amount, a new scheme for the Yellow River water distribution under the two scenarios of 37 billion and 30 billion m³ of assumed distributable water is determined respectively (the "19ZQT" water distribution scheme), and the suitability of the scheme was analyzed and demonstrated.

Key words: Yellow River water distribution; water distribution scheme of 1987; water distribution rules; harmony theory; transboundary rivers