

DOI:10.13476/j.cnki.nsbtdqk.2022.0007

赵勇,何凡,何国华,等.对南水北调工程效益拓展至滦河流域的若干思考[J].南水北调与水利科技(中英文),2022,20(1):62-69. ZHAO Y, HE F, HE G H, et al. Thoughts on extending strategic benefit of South-to-North Water Diversion Project to Luanhe River basin[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2022, 20(1): 62-69. (in Chinese)

# 对南水北调工程效益拓展至滦河流域的若干思考

赵勇,何凡,何国华,路培艺,曲军霖,汪勇,王庆明

(中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室,北京 100038)

**摘要:**基于滦河流域水系统健康状态演变态势,提出将南水北调工程与引滦工程统筹考虑,优化滦河水量分配方案,协同保障南水北调受水区和滦河流域水资源安全的基本构想,并具体提出以天津市水资源安全作为前提条件,以水量、水资源调蓄能力、水价 3 个方面作为关键支撑,分 3 步调整引滦水量分配方案的实施步骤设想。将滦河流域纳入南水北调后续工程规划,不需要新增工程措施,就可以将南水北调工程效益向北延伸到滦河流域,最大程度缓解滦河流域严重水问题,实现南水北调东、中线后续工程效益最大化。

**关键词:**滦河流域;水系统健康状态;南水北调工程;引滦工程;效益拓展

中图分类号:TV68 文献标志码:A 开放科学(资源服务)标志码(OSID):



南水北调工程是国家水网的主骨架、大动脉,事关战略全局,事关长远发展,事关人民福祉<sup>[1]</sup>。自 2014 年 12 月南水北调东中线一期工程全面建成通水至 2021 年 12 月累计向北方调水近 500 亿 m<sup>3</sup>,直接受益人口达 1.4 亿人,显著提升了北京、天津等受水城市水资源承载能力<sup>[2-3]</sup>,在经济社会发展和生态环境保护方面发挥了重要作用<sup>[4]</sup>。2021 年 5 月 14 日中共中央总书记、国家主席、中央军委主席习近平主持召开推进南水北调后续工程高质量发展座谈会并发表重要讲话。他强调“一要坚持系统观念,用系统论的思想方法分析问题,处理好开源和节流、存量和增量、时间和空间的关系,做到工程综合效益最大化”<sup>[5]</sup>。在京津冀协同发展等不断推进以及我国北方主要江河来水来沙锐减<sup>[6-8]</sup>、地下水超采等水生态环境问题突出<sup>[9-11]</sup>的背景下,如何保障北方地区经济社会和生态环境良性发展的用水需求,进一步提高南水北调工程综合效益<sup>[12]</sup>,已经成为我国水利工程规划和水科学研究的重大课题。

滦河流域作为冀西北生态涵养区(张家口市、承

德市)和河北省沿海率先发展核心区(唐山市、秦皇岛市),肩负着拱卫京津冀区域生态安全和保障经济发展的双重任务。引滦工程是滦河流域经济社会发展的生命线,随着南水北调中线一期工程建成通水以及中中线后续工程规划建设,引滦工程与南水北调工程以天津为节点产生了水力联系,南水北调受水区和滦河流域具备了水资源协同安全保障的条件<sup>[13]</sup>。基于此,本研究根据滦河水系统演变态势,提出将滦河流域纳入南水北调后续工程规划,优化滦河水量分配方案,协同保障南水北调受水区和滦河流域水资源安全的构想。

## 1 引滦工程受水区水系统健康状态演变

### 1.1 引滦工程概况

20 世纪 70 年代末,由于经济迅速发展,人口剧增,北京市和天津市用水量迅速加大<sup>[14-15]</sup>,与此同时海河流域来水持续减少<sup>[16]</sup>。1981 年,为保障北京市用水,国务院决定停止密云水库向天津市和河北省供水,天津市成为我国当时缺水最严重的特大城市。

收稿日期:2021-12-31 修回日期:2022-01-06 网络出版时间:2022-01-10

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.TV.20220107.1649.004.html

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFC0408105);国家自然科学基金项目(52025093;71573274);水利部技术示范项目(SF-201802);中国水科院专项项目(WR0145B032021)

作者简介:赵勇(1977—),男,安徽宿州人,正高级工程师,博士,主要从事水资源规划与管理研究。E-mail:zhaoyong@iwahr.com

为解决天津市供水危机,1981年5月国务院召开了解决天津城市用水问题的会议,安排部署建设引滦工程。引滦工程分南北二线,北线即引滦入津工程,南线即引滦入唐工程,分别向天津市和唐山市供水,取水水源为位于唐山市迁西县的潘家口水库。1983年6月国务院明确了在不同供水保证率条件

下天津市和河北省的水量分配比例,并沿用至今,见表1。1983年10月1日和1984年12月26日引滦入津工程和引滦入唐工程分别建成通水,至2018年引滦工程分别向天津市和唐山市累积供水187.0亿m<sup>3</sup>和222.5亿m<sup>3</sup>,有力保障了天津市和唐山市的经济发展和社会稳定。

表1 引滦水量分配方案  
Tab.1 Water diversion scheme of Luanhe River

供水保证率/%	可分配水量/亿 m <sup>3</sup>	天津市		河北省	
		分配水量/亿 m <sup>3</sup>	分配比例/%	分配水量/亿 m <sup>3</sup>	分配比例/%
75	19.50	10.00	51.3	9.50	48.7
85	15.00	8.00	53.3	7.01	46.7
95	11.00	6.60	60.0	4.40	40.0

### 1.2 受水区水系统健康状态演变

根据刘丹等<sup>[17]</sup>的研究成果,水系统是一个包含自然水循环要素和经济社会发展要素在内的复杂系统,表征水系统健康状态的指标应涵盖地表水、地下水、资源供给以及生态环境保护等多个方面。为了揭示引滦工程建成通水以来受水区(包括天津市和唐山市)的水系统健康状态演化过程,本研究根据受

水区水资源禀赋特征和存在的主要问题,采用单位面积深层地下水开采量、人均可利用地表水资源量、河流入海水量指数(某年入海水量与多年平均入海水量比值)、地下水浅层水位4项指标,计算引滦工程受水区水系统健康指数,并将评估结果划分为非常健康、健康、亚健康、失衡和严重失衡5种状态(不同指标分类标准见表2)。

表2 水系统健康指数评价指标  
Tab.2 Evaluation indexes of water system health index

指标	非常健康(10,8]	健康(8,6]	亚健康(6,4]	失衡(4,2]	严重失衡(2,0]
单位面积深层地下水开采量/亿 m <sup>3</sup>	(0,1]	(1,3]	(3,5]	(5,10]	(10,20]
人均可利用地表水资源量/m <sup>3</sup>	(2 500,500]	(500,400]	(400,200]	(200,100]	(100,0]
河流入海水量指数	(∞,0.8]	(0.8,0.6]	(0.6,0.4]	(0.4,0.2]	(0.2,0]
地下水浅层水位/m	(2,3]	(3,5]	(5,8]	(8,10]	(10,30]

受水区水系统健康指数是由单项指标健康分值、指标权重共同决定。

$$H_i = \sum P_i W_i \quad (1)$$

式中: $H_i$ 为区域水系统第*i*项指标的健康分值,处于[0,10],根据水系统健康评价标准即可确定水系统健康等级状态; $P_i$ 为指标*i*的计算分值; $W_i$ 为指标*i*的权重值,考虑到本研究设置的4个评价指标在计算过程中均十分重要,因此认为各个指标权重相等,都为0.25。

$P_i$ 的评估分为两种类型:水系统健康指数随着指标特征值增大而增大的称为I类指标,比如人均可用地表水资源量,其健康得分计算见式(2);水系统健康指数随着指标特征值增大而减小的称为II类指标,比如地下水浅层水位,其健康得分计算见式(3)。

$$P_i = K_{up} - \frac{X_i - S_{klow}}{S_{klow} - S_{kup}}, S_{klow} \leq X_i \leq S_{kup} \quad (2)$$

$$P_i = K_{up} - \frac{X_i - S_{klow}}{S_{kup} - S_{klow}}, S_{kup} \leq X_i \leq S_{klow} \quad (3)$$

式中: $X_i$ 为指标*i*的统计值; $K_{up}$ 为评价指标的上限分值; $S_{kup}$ 为健康等级阈值上限; $S_{klow}$ 为健康等级的阈值下限。

本研究中天津市和唐山市深层地下水开采数据来自于《天津市水资源公报》<sup>[18]</sup>和《河北省水资源公报》<sup>[19]</sup>,可用地表水资源量数据来自《海河流域水资源综合规划》<sup>[20]</sup>和全国第三次水资源调查评价相关成果;入海水量数据来自于《天津市水资源公报》和《唐山市水资源公报》<sup>[21]</sup>,地下水浅层水位数据来自《全国地下水位年鉴》<sup>[22]</sup>和《中国地质环境监测地下水位年鉴》<sup>[23]</sup>。

利用式(1)至(3),根据天津市、唐山市实际数据,计算得出1983年引滦工程建成以来天津市、唐山市水系统健康状态见图1。可以看出,1983—2020年天津市水系统健康指数总体上呈现先下降

后上升的过程:2000 年以前由于水资源供需矛盾突出,天津市水系统状态不断恶化,部分年份甚至接近严重失衡;2000 年后随着水资源量波动增加,区域水系统健康状态有所提升;2010 年后随着引黄济津规模扩大,尤其是南水北调中线一期工程通水,天津市水系统健康状态明显好转,部分年份达到亚健康状态。与此同时,过去 30 年唐山市水系统健康状态呈现不断恶化的趋势,总体从亚健康状态下滑至失衡状态。由于华北地区地下水超采治理行动的不断推进,唐山市单位面积深层地下水开采量不断减少,从 1983 年的 8.3 亿  $m^3$  下

降到 2020 年的 2.6 亿  $m^3$ ,除此之外,人均可利用地表水资源量、河流入海水量指数、地下水浅层水位 3 项指标均不断恶化,特别是人均可利用水资源量由 1983—2000 年的 314  $m^3$  下降到 2000—2020 年的 142  $m^3$ ,降幅达到 54.9%。对比来看,由于天津市、唐山市相似的水文气象条件,在引黄济津、南水北调等外流域调水工程未通水之前,天津市和唐山市的水系统健康指数表现出相似的波动规律,但随着天津市外部水源的持续输入,近年来天津市水系统健康状态逐步变好,自 2014 年开始超过唐山市。

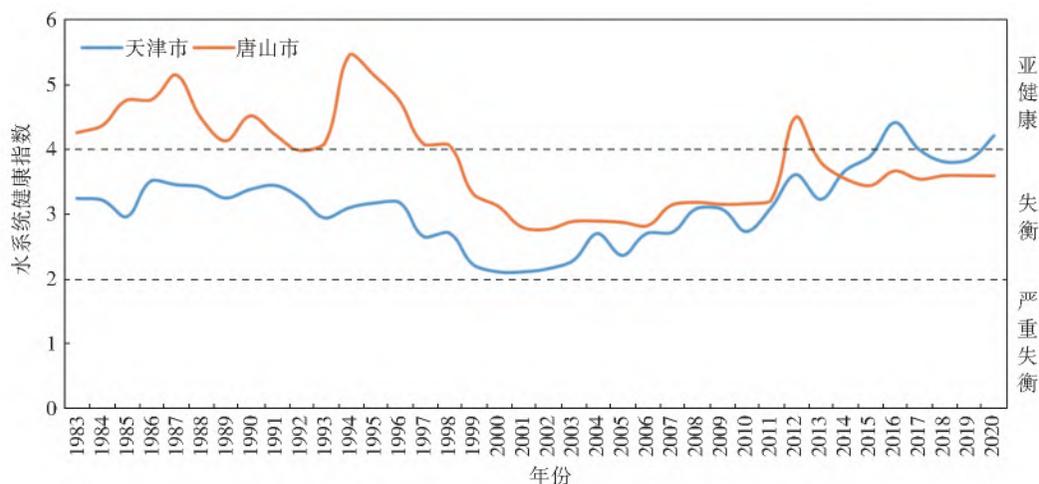


图 1 天津市、唐山市水系统健康状态评价

Fig. 1 Health status evaluation of water system in Tianjin and Tangshan

## 2 滦河流域水系统失衡主要表征

从图 1 可以看出,近年来地处滦河流域的唐山市水系统健康状态不断恶化。从流域视角看,其水系统失衡表征主要体现在以下 4 个方面。

**流域水资源衰减。**与黄河、海河等北方流域相似,近年来滦河流域来水也出现明显衰减,水资源总量由第一次水资源调查评价的 67.8 亿  $m^3$  (1956—1979 年)减少至第二次评价的 63.2 亿  $m^3$  (1956—2000 年),并进一步减少至第三次评价的 55.8 亿  $m^3$  (1956—2016 年),第三次评价结果较第一次减少了 12 亿  $m^3$ ,降幅达 17.7%,其中地表水和地下水资源降幅分别达到 30.72%和 10.10%。根据引滦工程水量分配方案,越是干旱年份,河北省(即滦河下游地区)可获得的水量分配比例就越低(表 1),对于只有滦河作为唯一地表水源的唐山以及同样地处滦河水系的秦皇岛等地区较为不利。作为引滦工程的水源地,潘家口水库可供水量也持续下降,在 1956—1979 年来水系列下,潘家口水库年均径流量为 26.9 亿  $m^3$ ,而在 1990—2010 年来水系列下则衰减为 14.1 亿  $m^3$ ,

降幅接近 50%。

河流生态环境受损。滦河曾是海河流域水生态环境条件最好、水土资源匹配条件最优,也是流域内极少数从未断流的河道<sup>[24]</sup>。然而,由于水资源显著衰减和大规模向外调水,近年来滦河水生态环境问题较为突出,入海水量持续减少见图 2。根据水利部海河水利委员会计算成果,滦河干流规划入海水量为 4.21 亿  $m^3$ 。而滦河干流水文监测数据表明,2000—2017 年中有 13 年入海水量达不到规划水量目标,占全部年份的 72%,这 13 年平均入海水量仅为 1.27 亿  $m^3$ 。从径流的月变化过程上看,2000 年以来共有 21 个月份发生断流,占全部月份的 10%。除了汛期弃水外,枯水季节潘家口水库至滦河入海口 200 余 km 生态用水较为匮乏<sup>[25]</sup>。目前,除滦河干流外,流域内主要河流全部成为季节性河流。由于河道生态水量不足,下游曹妃甸、乐亭、芦台、汉沽等地区海水入侵严重,部分地区地下水已经无法使用。随着唐山、秦皇岛城市建设的深入推进,滦河下游市政绿化、河湖补水等生态需水同样面临较大缺口。

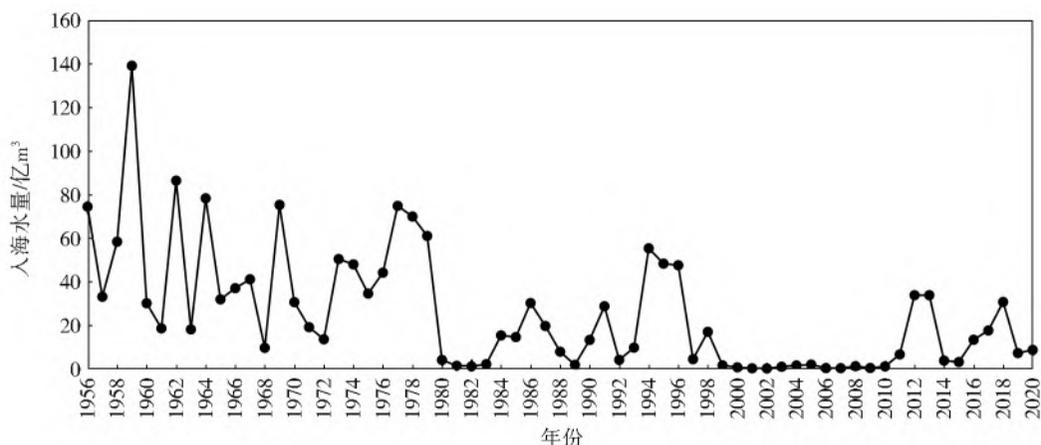


图2 1956—2020年滦河干流入海水量变化

Fig. 2 Changes of water inflow into the sea of the main stream of Luanhe River from 1956 to 2020

地下水采补平衡难以实现。由于地表水保障不足,滦河下游地区大量开采利用地下水,1980—2014年年均超采5.1亿 $m^3$ ,累积超采量150亿 $m^3$ ,超采区范围达3800 $km^2$ 。截至2019年,滦河流域海水入侵面积超过2000 $km^2$ ,部分地区地下水位埋深达到20m以上,见图3。地下水位下降还导致严重的地面沉降,根据中国地质环境监测院研究成果,1992—2015年与唐山市接壤的天津市宁河漏斗区、唐山市曹妃甸漏斗区、乐亭曹庄子漏斗区中心累计沉降量

分别为2498.85、1905.43、839.35mm,并且漏斗区范围不断扩大,已经由沿海地区扩展到中北部人口聚集区<sup>[26]</sup>。相比南水北调中线工程受水区的其他县市,滦河水是下游地区唯一地表水源且引水指标已经分配完毕,无法通过新增水源置换地下水,压采只能依靠减少本地用水需求实现,2016年以来滦河下游通过压减灌溉面积、调整种植结构等措施已减少地下水超采量2.02亿 $m^3$ ,但距采补平衡仍有较大差距。

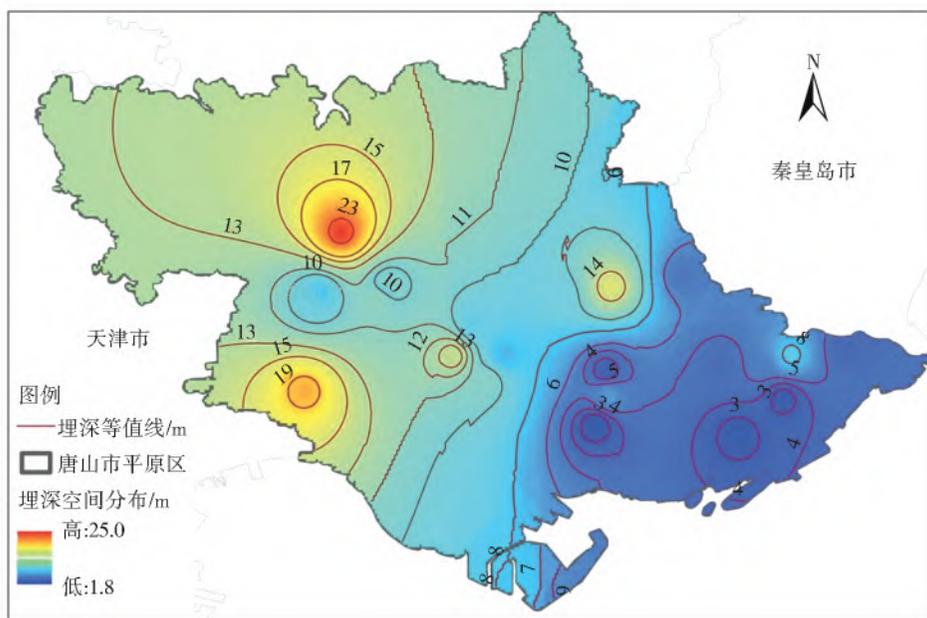


图3 2019年滦河下游平原区地下水位埋深分布

Fig. 3 Groundwater depth distribution in plain area of lower reaches of Luanhe River in 2019

经济社会发展用水难以保障。可供水量不足已经成为滦河中下游地区供水安全的主要制约。滦河下游的唐山市2000年和2010年曾遭遇枯水年,导致数10万人饮水困难和稻田大量减产。2000年大旱期间,秦皇岛214座水库、500多座塘坝全部干涸,全市水库蓄水量较常年同期减少了75%,除滦河干流及其主要支流青龙河外,其余河流全部断流。

为了保障经济社会健康发展,滦河流域积极推进全社会节水,以唐山为例,目前唐山市用水效率已经处于全国先进水平,万元工业增加值用水量仅为全国平均的32%;亩均灌溉用水量约为全国平均的50%;同时充分利用沿海优势,将高耗水行业向沿海地区布局,海水直接利用量达4.8亿 $m^3$ ,即使如此,水资源短缺(特别是枯水年来水不足)日益成为经济

社会发展的制约瓶颈。

### 3 将滦河流域纳入南水北调后续工程规划的构想

#### 3.1 基本构想

在推进南水北调后续工程高质量发展现有规划方案主要考虑了受水区的用水需求,对与之有水力联系的潜在影响区考虑不足,制约了南水北调工程综合效益的充分发挥。面对滦河流域存在的严重水问题,将滦河流域纳入南水北调后续工程规划,在原有供水规模的基础上调整增加天津市引江水量,部分置换引滦水,将更多的水留在滦河流域,可最大程度解决滦河流域缺水问题。优化调整引滦水量分配方案,不需要新增工程措施,就可以将南水北调工程战略效益向北延伸到滦河流域,惠及承德、唐山和秦皇岛等地市,受益人口超过 1 000 万人,真正实现天津市和滦河流域水资源协同安全保障。

#### 3.2 前提条件

将滦河流域纳入南水北调后续工程规划无疑涉及到引滦水量分配方案的再调整,需要统筹考虑天津、唐山两市的供用水特征,以及南水北调工程和引滦工程的复杂关联关系(图 4),其中天津市水资源安全保障应作为引滦水量分配方案调整的首要前提。随着南水北调中线工程通水,引江水已经成为天津市最主要的供水水源,全市水安全保障能力已大幅提升。即便如此,天津市依然是我国缺水城市之一,水资源供需矛盾依旧突出,引滦水仍是当前天津市供水安全的重要支撑。即便未来南水北调东、中线二期工程通水,在天津市缺水的情形下,引滦工程还需要继续发挥供水能力,随时做好应急供水的准备。

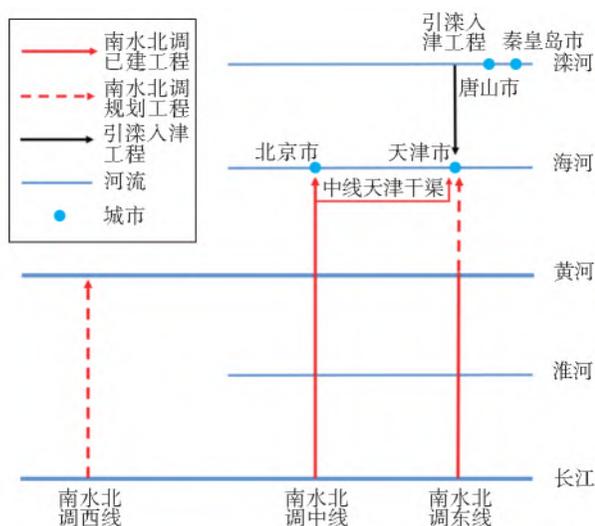


图 4 南水北调工程与引滦入津工程线路关系

Fig. 4 Relationship between Water Diversion Project of South-to-North and Luanhe River to Tianjin

#### 3.3 关键支撑

将滦河流域纳入南水北调后续工程规划需要水量、调蓄能力和水价 3 个关键支撑:

一是南水北调东、中线后续工程水量支撑。在南水北调东、中线后续规划中统筹考虑引滦水量分配需求,通过调整增加天津市引江水量,为滦河水回头提供水量保障。

二是水资源调蓄能力支撑。天津市目前拥有本地地表水、地下水、引滦水、中线水等多种水源,未来还可能增加南水北调东线工程供水,如何将水源合理调蓄是影响天津市水安全的重要因素。目前天津市水库调蓄能力几乎已达到上限,为进一步提升天津市外调水调蓄能力,降低水库扩建、改建投入,可考虑利用岗南、黄壁庄、王快、西大洋等河北省南水北调沿线水库进行调蓄,真正实现京津冀水资源一体化运行及保障。

三是水价补偿支撑。水价是高效用水的主要经济机制,是提高水资源节约集约利用水平的基本经济杠杆<sup>[27]</sup>。目前南水北调中线原水供天津市价格为 2.16 元/m<sup>3</sup>,而引滦水供生活和工业价格仅为 0.35 元/m<sup>3</sup>,两者差异较大,未来可在充分考虑包括水资源保护、水环境治理、工程后期维护等因素的基础上,核算引滦工程真实供水成本,同时还要考虑天津调增引江水带来工程建设运行成本,开展不同情景方案下的水价制定。

#### 3.4 实施步骤设想

综合考虑滦河水系统健康状态及水量调整面临的问题,提出引滦水量分配方案三步走的优化调整策略:

第一步,遇枯水年份,调整调水原则。在保证天津市供水安全的前提下,滦河水量分配优先保证流域内生活生产用水,避免出现枯水年份严重供水危机。

第二步,将枯水年份分配比例常态化。根据枯水年份滦河水资源供需平衡分析,优化天津市和唐山市枯水年分水比例,并将枯水年份滦河水量分配方案常态化。

第三步,优化水量分配方案。在南水北调中线或东线后续工程通水后,更多考虑滦河流域生态环境保护和社会经济发展需求,进一步优化水量分配方案,还水于滦河。

### 4 结论

近年来,地处滦河流域的唐山市水系统健康状态不断恶化,整个滦河流域水系统失衡突出表现在流域水资源衰减、河流生态环境受损、地下水采补平

衡难以实现和经济社会发展用水难以保障 4 个方面。与此同时,随着南水北调中线一期工程建成通水以及东、中线后续工程规划建设,引滦工程与南水北调工程以天津市为节点产生了水力联系,南水北调受水区和滦河流域具备了水资源协同安全保障的条件。因此,本文提出将滦河流域纳入南水北调后续工程规划的设想,并提出“一个前提”“三项支撑”和“三步实施”的实施策略。“一个前提”即引滦水量分配方案调整,要以天津市水资源安全保障作为首要前提;“三项支撑”即东线和中线后续工程水量支撑、水资源调蓄能力支撑、水价补偿支撑;“三步实施”即以南水北调东线二期工程为重要节点,分三步调整引滦水分配方案。将滦河流域纳入南水北调后续工程规划,并适当调整引滦水量分配方案,不需要新增工程措施,就可以将南水北调工程效益向北延伸到滦河流域,进一步发挥南水北调工程的最大效益。

#### 参考文献(References):

- [1] 深入分析南水北调工程面临的新形势新任务 科学推进工程规划建设提高水资源集约节约利用水平[N]. 人民日报,2021-05-15(1). (Scientifically promote project planning and construction and improve the level of intensive and economical utilization of water resources [N]. The People's Daily, 2021-05-15(1). (in Chinese)) DOI:10.28655/n.cnki.nmrb.2021.005046. 2021(6):4.
- [2] 余灏哲,李丽娟,李九一. 京津冀水资源承载力风险评估模型构建研究[J]. 地理研究, 2021, 40(9): 2623-2637. (YU H Z, LI L J, LI J Y. Construction of risk assessment model of water resources carrying capacity in Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. Geographical Research, 2021, 40(9): 2623-2637. (in Chinese)) DOI: 10.11821/dljy020201055.
- [3] 李雨欣,薛东前,宋永永. 中国水资源承载力时空变化与趋势预警[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(7): 1574-1584. (LI Y X, XUE D Q, SONG Y Y. Spatio-temporal characteristics and trend warnings of water resources carrying capacity in China[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021, 30(7): 1574-1584. (in Chinese)) DOI:10.11870/cjlyzyyhj202107005.
- [4] 杨子桐,黄显峰,方国华,等. 基于改进云模型的南水北调东线工程效益评价[J]. 水利水电科技进展, 2021, 41(4): 60-66, 80. (YANG Z T, HUANG X F, FANG G H, et al. Benefit evaluation of Eastern Route of South-to-North Water Diversion Project based on improved cloud mode[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2021, 41(4): 60-66, 80. (in Chinese)) DOI:10.3880/j.issn.1006-7647.2021.04.010.
- [5] 习近平主持召开推进南水北调后续工程高质量发展座谈会并发表重要讲话[J]. 水资源开发与管理, 2021(6): 1-3. (Xi Jinping presided over a symposium to promote the high-quality development of the follow-up project of the South-to-north Water Diversion Project and delivered an important speech [J]. Water Resources Development and Management, 2021(6): 1-3. (in Chinese)) DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2021.06.01.
- [6] 韩雁,张士锋,吕爱锋. 外调水对京津冀水资源承载力影响研究[J]. 资源科学, 2018, 40(11): 2236-2246. (HAN Y, ZHANG S F, LYU A F. Research of effect on water resources carrying capacity in Beijing-Tianjin-Hebei region by water diversion [J]. Resources Science, 2018, 40(11): 2236-2246. (in Chinese)) DOI: 10.18402/resci.2018.11.10.
- [7] 杜朝阳,于静洁. 京津冀地区适水发展问题与战略对策[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(4): 17-25. (DU C Y, YU J J. Issues on the sustainable development of Beijing-Tianjin-Hebei region based on the limited water resources [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(4): 17-25. (in Chinese)) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2018.0092.
- [8] 曹晓峰,胡承志,齐维晓,等. 京津冀区域水资源及水环境调控与安全保障策略[J]. 中国工程科学, 2019, 21(5): 130-136. (CAO X F, HU C Z, QI W X, et al. Strategies for water resources regulation and water environment protection in Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. Strategic Study of CAE, 2019, 21(5): 130-136. (in Chinese)) DOI: 10.15302/J-SSCAE-2019.05.008.
- [9] 陈飞,丁跃元,李原园,等. 华北地区地下水超采治理实践与思考[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2020, 18(2): 191-198. (CHEN F, DING Y Y, LI Y Y, et al. Practice and consideration of groundwater overexploitation in North China Plain [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2020, 18(2): 191-198. (in Chinese)) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2020.0042.
- [10] 席北斗,李娟,汪洋,等. 京津冀地区地下水污染防治现状、问题及科技发展对策[J]. 环境科学研究, 2019, 32(1): 1-9. (XI B D, LI J, WANG Y, et al. Present situation, problems and scientific and technological development countermeasures of groundwater pollution control in Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. Research of Environmental Sciences, 2019, 32(1): 1-9. (in Chinese)) DOI: 10.13198/j.issn.1001-6929.2018.09.27.
- [11] 严淑华,郭林锋. 京津冀水资源一体化及其保障体系[J]. 河北工程大学学报(社会科学版), 2018, 35(3): 1-3. (YAN S H, GUO L F. The integration and security system of water resource in Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. Journal of Hebei University of Engi-

- neering(Social Science Edition), 2018, 35(3): 1-3. (in Chinese)) DOI:10.3969/j.issn.1673-9477.2018.03.001.
- [12] 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,2011,42(5):563-571. (YANG A M, ZHANG L, GAN H, et al. Evaluation on eco-environmental benefits in water reception areas of the East Route Phase 1 of the South-to-North Water Diversion Project[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2011, 42(5): 563-571. (in Chinese)) DOI:10.13243/j.cnki.slxb.2011.05.008.
- [13] 徐士忠,王芳,仇新征.南水北调与引滦供水联合调度初探[J].中国水利,2015(2):21-23,20. (XU S Z, WANG F, QIU X Z. Joint regulation of diverted water of South-to-North Water Diversion and Luanhe River Diversion Project[J]. China Water Resources, 2015(2): 21-23, 20. (in Chinese)) DOI:10.3969/j.issn.1000-1123.2015.02.007.
- [14] 姜珊,秦长海,朱永楠,等.北京市虚拟水消费与贸易分析[J].南水北调与水利科技(中英文),2021,19(5):853-861. (JIANG S, QIN C H, ZHU Y N, et al. Analysis on the characteristics of virtual water consumption and trade[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2021, 19(5): 853-861. (in Chinese)) DOI:10.13476/j.cnki.nsbdqk.2021.0089.
- [15] 栗清亚,裴亮,孙莉英,等.京津冀区域产业用水时空变化规律及影响因素研究[J].生态经济,2020,36(10):141-145,159. (LI Q Y, PEI L, SUN L Y, et al. Study on temporal and spatial variation and influencing factors of industrial water consumption in Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. Ecological Economy, 2020, 36(10): 141-145, 159. (in Chinese))
- [16] 高建东,冯棣.1998—2017年海河流域水资源变化趋势分析[J].灌溉排水学报,2019,38(S2):101-105. (GAO J D, FENG D. Analysis on the trend of water resources in Haihe River basin during 1998-2017[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(S2): 101-105. (in Chinese)) DOI:10.13522/j.cnki.gggs.2019065.
- [17] 刘丹,王丽萍,李荣波,等.基于水资源系统健康的区域水资源承载力评价[J].南水北调与水利科技,2015,13(2):214-219. (LIU D, WANG L P, LI R B, et al. Assessment of regional water resources carrying capacity based on the water resources system health [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2015, 13(2): 214-219. (in Chinese)) DOI:10.13476/j.cnki.nsbdqk.2015.02.006.
- [18] 天津水务局.天津市水资源公报[EB/OL]. (Tianjin Water Affairs Bureau. Tianjin water resources bulletin[EB/OL]. (in Chinese)) [http://swj.tj.gov.cn/zwgk\\_17147/xzfxgk/fdzdgnr1/tjxx/](http://swj.tj.gov.cn/zwgk_17147/xzfxgk/fdzdgnr1/tjxx/).
- [19] 河北省水利厅.河北省水资源公报[EB/OL]. (Hebei Provincial Department of Water Resources. Hebei water resources bulletin [EB/OL]. (in Chinese)) <http://slt.hebei.gov.cn/a/zwzx/>.
- [20] 水利部海河水利委员会.海河流域综合规划[EB/OL], 2010. (Haihe River Water Conservancy Commission, MWR. Comprehensive planning of the Haihe River basin[EB/OL], 2010. (in Chinese))
- [21] 唐山市水利局.唐山市水资源公报[EB/OL]. (Tangshan Water Resources Bureau. Tangshan water resources bulletin[EB/OL]. (in Chinese))
- [22] 地质矿产部地下水动态监测研究中心.全国地下水位年鉴[M]. (Groundwater Dynamic Monitoring Research Center, Ministry of Geology and Mineral Resources. National groundwater level yearbook[M]. (in Chinese))
- [23] 中国地质环境监测院.中国地质环境监测地下水位年鉴[M].中国大地出版社. (China Geological Environmental Monitoring Institute. China geological environment monitoring groundwater level yearbook [M]. China Land Press. (in Chinese))
- [24] 任晓庆,杨中文,张远,等.滦河流域水生态承载力评估研究[J].水资源与水工程学报,2019,30(5):72-79. (REN X Q, YANG Z W, ZHANG Y, et al. Evaluation of hydro-ecological carrying capacity (HECC) in Luanhe River basin[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2019, 30(5): 72-79. (in Chinese)) DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2019.05.12.
- [25] 吴竞.滦河流域水生态修复配置模式分析[J].广西水利水电,2020(5):31-33. (WU J. Analysis of water ecological restoration allocation mode for Luanhe River basin[J]. Guangxi Water Resources & Hydropower Engineering, 2020(5): 31-33. (in Chinese)) DOI:10.16014/j.cnki.1003-1510.2020.05.010.
- [26] 远立国.唐山市平原区地下水动态特征及成因类型研究[J].地下水,2020,42(4):66-7,146. (YUAN L G. Study on dynamic characteristics and genetic types of groundwater in plain area of Tangshan City [J]. Ground Water, 2020, 42(4): 66-7, 146. (in Chinese)) DOI:10.19807/j.cnki.DXS.2020-04-02.
- [27] 秦长海,甘泓,贾玲,等.水价政策模拟模型构建及其应用研究[J].水利学报,2014,45(1):109-16. (QIN C H, GAN H, JIA L, et al. A model building for water price policy simulation and its application[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2014, 45(1): 109-16. (in Chinese)) DOI:10.13243/j.cnki.slxb.2014.01.015.

## Thoughts on extending strategic benefit of South-to-North Water Diversion Project to Luanhe River basin

ZHAO Yong, HE Fan, HE Guohua, LU Peiyi, QU Junlin, WANG Yong, WANG Qingming

(State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin,

China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

**Abstract:** In the late 1970 s, Tianjin's water demand increased rapidly. To alleviate the crisis of water shortage, the State Council of the People's Republic of China arranged the water transfer project from Luanhe River to Tianjin and identified the proportion of the water distribution in Tianjin and Hebei Provinces in 1983. The completion of the water transfer project of Luanhe River to Tianjin has effectively ensured the safety of Tianjin's water supply, with an average annual water supply accounting for more than 20%. The water supply safety of Tianjin was further strengthened after the inauguration of the Middle Route of South-to-North Water Diversion Project in 2014. However, with the decline of water resources in the Luanhe River basin, the contradiction between the water supply and demand in major cities in the lower reaches of the Luanhe River has become increasingly prominent, causing problems such as damage to the river's ecological environment, overexploitation of groundwater, and difficulty in securing water for economic and social development. Based on the follow-up high-quality development of South-to-North Water Diversion Project, optimizing the water distribution scheme of the Luanhe River is very important to ensure the water resources safety of the water receiving areas of the South-to-North Water Transfer Project and the Luanhe River basin.

Based on the results of the health state evolution of the water system in the Luanhe River basin, an indicator system was constructed for the health status of the water system. The indicator system was applied to analyze the health status of the water system of Tianjin and Tangshan since 1983. The decline of water resources was analyzed sing data (the water flux into the sea, the amount of groundwater over exploitation, areas of seawater intrusion, ground settlement amount, the demand changes of social economy water), statistical analysis, and other methods.

The main results are: ① In recent years, there is a significant decline in the water resources. Compared with the first water resource evaluation results, water resources were reduced by 1.7 billion  $m^3$  (17.7%), of which the surface water and groundwater resource drop reached by 30.72% and 10.10%, respectively. ② Recently, the Luanhe River water ecological environment problem has been more prominent, and the water flux has continued to decrease. In the past 13 years, the average water flux is only 12.7 billion  $m^3$ , far less than the planning of 4.21 billion  $m^3$ . ③ The annually overexploitation of groundwater is more than 510 million  $m^3$ , which led to cumulative overexploitation of 15 billion  $m^3$  in Tangshan, and groundwater depth reached more than 20 m in some areas. The areas of seawater intrusion has been more than 2 000  $km^2$ . The largest ground settlement area has reached 2 498.85 mm in the Ninghe area of Tangshan City. ④ Last 20 years, two dry years of the Luanhe River basin have caused serious drinking crisis and agricultural reduction. Even with the continuous promotion of water-saving, it is still unable to get rid of the shortage of water resources in Luanhe River. ⑤ A conception and preliminary implementation was proposed to incorporate the Luanhe River basin into the follow-up planning of South-to-North Water Diversion Project.

The main conclusions are: With the completion of the first phase of the Middle Route of the South-to-North Water Diversion Project and the subsequent planning and construction of the Middle East Route, the Luanhe River Diversion Project and the South-to-North Water Diversion Project have established a hydraulic connection with Tianjin. The water receiving areas of South-to-North Water Diversion Projects and Luanhe River basin have water resources synergistic safety guarantee conditions. Therefore, the idea of incorporating the Luanhe River basin into the follow-up of South-to-North Water Diversion Projects was Proposed. This embodiment includes a premise, three supports, and three-step implementation strategies. The implementation strategy of the Luanhe River transfer water distribution was adjusted scheme with the water resources security in Tianjin as the primary premise. The water volume, water resources regulation and storage capacity, and water price are important support.

The phase II Project of the East Route of the South-to-North Water Diversion Project is the important node for adjusting the water distribution plan of Luanhe River with three steps as to alleviate the serious water problems to a great extent and maximize the benefits of the South-to-North Water Diversion Project, incorporated the Luanhe River basin into the follow-up high-quality development of the South-to-North Water Diversion Project.

**Key words:** Luanhe River basin; health status of water system; South-to-North Water Diversion Project; Luanhe River Diversion Project; expanding benefits