

## 南水北调背景下华北水资源的优化调配

高晓清<sup>1</sup> 黄刚<sup>2</sup> 曲迎乐<sup>1</sup>

1 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000

2 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

**摘要** 水资源的优化配置是现代水资源规划和管理的重要内容, 它主要解决水资源分布与生产力不相适应的问题。作者应用水资源优化配置模型, 计算了在南水北调背景下, 华北水资源的优化调配方案。在此方案实施的条件下, 华北地区中长期的缺水问题将基本上得到解决, 且经济仍能保证安全高速发展。

**关键词** 南水北调 华北 水资源

**文章编号** 1006-9585 (2006) 03-0354-07 **中图分类号** S274 **文献标识码** A

## Rational Distribution of Water Resources within North China under the Background of China's South to North Water Transfer Project

GAO Xiao-Qing<sup>1</sup>, HUANG Gang<sup>2</sup>, and QU Ying-Le<sup>1</sup>

1 *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000*

2 *Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

**Abstract** The optimized distribution of water resources is an important part in modern water resources plan and management. It mainly aims at solving the mismatch between water resources distribution and productivity. In this paper, the water resources optimizing model has been applied to calculate the rational distribution scheme for the water resources in north China under the background of South to North Water Transfer Project. If this scheme will be applied, the water shortage issue in north China will be solved in some way and the economics can be developed at high speed safely.

**Key words** China's South to North Water Transport Project, North China, water resources

## 1 引言

我国多年平均水资源总量为  $28\ 124 \times 10^8\ \text{m}^3$ , 占世界总量的 5.8% 左右, 居世界第 6 位。但我国人均水资源占有量仅  $2\ 163\ \text{m}^3$ , 为世界平均水平的 1/4, 在 153 个国家中居第 88 位。因此, 我国是一个人均水资源量的贫国。

黄、淮、海流域是中国当前最缺水地区<sup>[1]</sup>。根据 1993 年国际人口会议提出并经 1996 年国际自然资源会议认可的标准, 当一个地区水资源利用率达 25%~50%, 而人均水资源量仅为  $500 \sim 1\ 000\ \text{m}^3$ , 则该地区属于缺水地区; 当一个地区水资源利用率大于 50%, 而人均水资源量小于  $500\ \text{m}^3$  时, 属于严重缺水地区。按此定义, 2000 年黄河流域人均  $633\ \text{m}^3$ , 但开发率已达 67%;

**收稿日期** 2006-04-01 收到, 2006-04-22 收到修定稿

**资助项目** 中国科学院知识创新工程重要方向项目 KZCX3-SW-218 和国家重点基础研究发展规划项目 2006CB400500

**作者简介** 高晓清, 男, 1966 年出生, 博士, 研究员, 主要从事气候变化方面的研究。E-mail: xqgao@lzb.ac.cn

淮河流域人均 478 m<sup>3</sup>, 开发率达 59 %; 海河流域人均 292 m<sup>3</sup>, 开发率达 94 %; 均属于严重缺水地区。

供需分析结果表明: 黄淮海流域 2000 年缺水 145×10<sup>8</sup>~210×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>; 到 2010 年, 缺水 210×10<sup>8</sup>~280×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>; 到 2030 年缺水 320×10<sup>8</sup>~395×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>。其中, 海河流域缺水程度最严重, 在考虑继续加大节水力度和挖掘当地水资源潜力的情况下, 2010 年仍缺水 100×10<sup>8</sup>~120×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 难以支撑其经济社会的可持续发展。为了保障国民经济持续健康发展, 对我国的水资源进行优化配置, 国家决定借助于先进的工程技术手段实施南水北调工程<sup>[2]</sup>。

南水北调研究自 20 世纪 50 年代开始, 总体布局被设计为 3 条调水线路, 即西线工程、中线工程和东线工程, 分别从长江上、中、下游调水, 以适应西北、华北各地发展需要 (图 1)。

这个总体布局也能很好地适应中国大陆 3 个地势上的阶梯。西线位于最高一级——青藏高原, 地形上能控制整个西北和华北, 但由于长江上游的水量有限, 仅能为黄河上中游的西北地区补水。中线工程从第 3 个阶梯西部通过, 从长江中游及其支流汉江引水, 可自流供水给黄淮海平原的大部分地区。东线工程位于第 3 个阶梯东部, 由于地势低需抽水北送。

本文研究在南水北调的背景下, 华北地区水资源的优化调配问题。

东线工程主要是向华北调水, 特别是解决京津地区的缺水。它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。东线工程从长江下游扬州抽引长江水, 利用京杭大运河及与其平行的河道逐级提水北送, 并连接起调蓄作用的洪泽湖、骆马湖、南四湖、东平湖。出东平湖后分两路输水: 一路向北, 在位山附近经隧道穿过黄河; 另一路向东, 通过胶东地区输水干线经济南输水到烟台、威海。规划总调水规模 148×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>。

## 2 华北水资源现状

黄淮海平原是我国最大的平原, 面积占全国的 15%, 人口和国内生产总值均占全国的 1/3, 农业产量占全国的 40%。该地区的工农业生产对全国经济持续发展和粮食安全至关重要。

20 世纪 80 年代是华北从 20 世纪 50 年代以来 50 年中降水量最少的 10 年, 水资源同样是最贫乏的 10 年。自 80 年代以来, 华北地区气候持续偏旱, 缺水形势日益严重。1980~1989 年京津冀地区和山东半岛, 10 年平均降水量比多年平均偏少 10%~15%, 气温偏高 0.1~0.6℃。由于降水偏

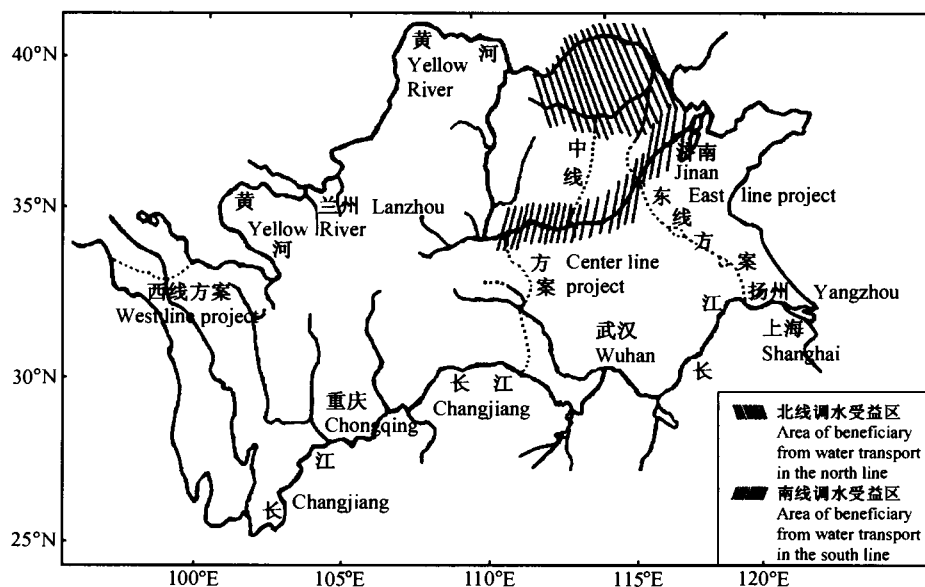


图 1 南水北调工程示意图

Fig. 1 The sketch map of China's South to North Water Transfer Project

少,气温偏高,地面蒸发损失加大;同时又受到人类活动的影响,水资源补给量明显减少<sup>[3]</sup>。根据海河管理委员会初步分析,1980~1989年海滦河全流域产生的地表径流量仅 $154 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,比1956~1979年多年平均径流量 $288 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,减少了46.5%,约 $134 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

进入90年代以后,干旱从华北平原向黄河中上游地区(陕甘宁)、汉江流域、淮河上游、四川盆地扩展,1990~1998年上述地区9年平均降水量偏少5%~10%,气温偏高0.3~0.8℃。黄河花园口以上同期年平均产水量仅 $460 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,比多年平均年径流量 $560 \times 10^8 \text{ m}^3$ 减少了17.9%,约 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。1997年大旱,花园口以上地区径流量减少到 $315 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,扣除中上游用水消耗,花园口实测径流量为 $143 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。90年代海滦河旱情有所缓和,降雨量有所增加,接近多年平均降水量,但由于前期土壤比较干旱,气温持续偏高,土壤蒸发消耗量大,地表径流量增加不多,仍比1956~1979年的多年平均值减少33.3%,约 $76 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

1980年黄淮海流域人均水资源占有量 $637 \text{ m}^3$ ,到1997年人均水资源占有量已下降到 $500 \text{ m}^3$ ,其中海滦河流域仅 $343 \text{ m}^3$ 。从1980到1999年,海滦河流域由于人口增长,干旱缺水,在加强节水管理、控制水需求增长的条件下,年总用水量由 $396 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加到 $460 \times 10^8 \text{ m}^3$ ;人均综合年用水量由 $468 \text{ m}^3$ 下降到 $340 \text{ m}^3$ ,成为我国人均综合用水量最少的流域,比全国人均 $440 \text{ m}^3$ 少23%。在地表水持续衰减的情况下,地下水开采量不断增加。根据水资源公报,1994~1999年地

下水的年平均开采量为 $250.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,其中,浅层地下水为 $188.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,占75%;深层地下水 $62 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,占25%;地下水开采量占供水量的60%。

据分析,现在地下水年平均超采 $65.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,其中,浅层 $24.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,深层 $41.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由于大规模过量开采地下水,在东部平原沿津浦铁路,形成了以天津、沧州为中心的大面积深层地下水漏斗区,约 $2.14 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。在太行山前沿京广线,形成了以北京、保定、石家庄、邯郸、濮阳为中心的浅层地下水下降漏斗区,约 $1.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。地下水位的持续下降,出现了河湖干涸、地面下沉、海水入侵等严重环境地质问题<sup>[4]</sup>。

根据水资源公报,90年代海河流域地表水年供水量约 $110 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,地下水可采量约 $190 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,二者合计约 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,再加上引黄 $54 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,共 $350 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右。目前年用水量约 $430 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,估计现状缺水 $80 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右。目前的缺水主要靠超采地下水(约 $60 \times 10^8 \text{ m}^3$ )和利用不合标准的废污水(约 $20 \times 10^8 \text{ m}^3$ )达到供需平衡;如考虑经济发展、生态环境的改善,现状年总缺水量将达到 $80 \sim 100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右。要解决如此巨大的缺水,除了进一步节水挖潜外,南水北调工程的实施,为本地区补充新水源和缓解海河平原水资源的供需矛盾提供了可能。

全国主要流域各类用水现状详见表1。

### 3 水资源优化配置决策模型简介

宏观经济水资源规划多目标决策分析方法是

表1 全国主要流域各类用水现状

Table 1 The status quo of the water usages in the basins in China

流域片 Basin	城镇生活 Urban life	工业 Industry	农村生活 Rural life	农田灌溉 Field irrigation	林牧渔 Forestry livestock fisheries	总需水 Total required water
全国 China	241.0	761.0	243.0	3864.0	357.0	5466.0
松辽河 Songliao River	27.7	79.0	17.1	339.1	28.6	491.5
海河 Haihe River	36.8	67.0	17.6	299.3	16.5	437.2
淮河 Huaihe River	22.8	72.2	39.1	527.3	32.6	694.0
黄河 Yellow River	18.3	52.3	15.6	312.5	9.9	408.6
长江 Changjiang River	74.2	297.3	89.2	1239.2	64.4	1764.3
珠江 Zhujiang River	38.7	129.9	38.8	476.7	24.6	708.7
东南诸河 Southeast's Rivers	14.1	46.1	17.4	218.3	8.3	304.2
西南诸河 Southwest's Rivers	0.8	3.4	3.7	57.7	8.1	73.7
内陆河 Inland Rivers	7.5	14.0	4.5	393.6	163.7	583.3

将区域水资源规划纳入到宏观经济/环境系统中,应用多目标技术进行整体研究,可使决策者通过宏观经济水资源规划多目标决策分析模型的操作和运行,看到在不同策略下规划问题的全貌<sup>[5~7]</sup>。进行水资源优化配置多目标决策时必须坚持几条基本原则:1)可持续发展原则;2)优先保证生态与生活用水的原则;3)用水效益最大化原则。关于宏观经济水资源规划多目标决策分析方法的数学原理在此做一简单介绍。具体应运方法可参见文献 [5, 7, 8]。

设某一目标决策问题有  $n$  个目标  $G_1, G_2, \dots, G_n$ , 有  $m$  个决策方案  $A_1, A_2, \dots, A_m$ , 方案  $A_i$  在目标  $G_j$  下的取值为  $a_{ij}$ ,  $a_{ij}$  为决策的主要依据,由此构成的矩阵  $A$  成为  $A_i$  关于目标  $G_j$  的目标矩阵,其公式为

$$A = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{matrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \\ G_1 & G_2 & \cdots & G_n \end{matrix} = (a_{ij})_{m \times n},$$

通常,目标有正向(数值越大越好)和逆向之分,为了便于计算,可将逆向指标化为正向指标,即

$$b_{ij} = \begin{cases} a_{ij}, & \text{当 } a_{ij} \text{ 为正向指标时} \\ -a_{ij}, & \text{当 } a_{ij} \text{ 为逆向指标时} \end{cases}$$

$$\text{令 } r_{ij} = \frac{b_{ij}}{\left(\sum_{k=1}^m b_{ik}^2\right)^{\frac{1}{2}}},$$

得规范化矩阵

$$R = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{matrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \\ G_1 & G_2 & \cdots & G_n \end{matrix} = (r_{ji})_{m \times n},$$

其中,  $A_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ), 可以看作欧氏空间里的一个决策点。令

$$\begin{aligned} \max_{1 \leq i \leq m} \{r_{ij}\} &= r_j^+, \\ \min_{1 \leq i \leq m} \{r_{ij}\} &= r_j^-, \\ (j &= 1, 2, \dots, n) \end{aligned}$$

则  $A_Y = A^+ = (r_1^+, r_2^+, \dots, r_n^+)$  称为关于方案  $A_1 - A_m$  的“最优点”,  $A_L = A^- = (r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-)$  称为关于方案  $A_1 - A_m$  的“最劣点”。选取最

优方案就是在决策点集中找出尽可能接近  $A_Y$  而远离  $A_L$  的决策点。

$A_i$  与  $A_Y$  和  $A_L$  间的距离为

$$D_{YA} = d_i^+ = d[A_i, A^+] = \sqrt{\sum_{j=1}^n (a_j r_{ij} - a_j r_j^+)^2},$$

$$D_{LA} = d_i^- = d[A_i, A^-] = \sqrt{\sum_{j=1}^n (a_j r_{ij} - a_j r_j^-)^2},$$

其中,  $a_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ) 为目标  $S_j$  的权重,  $0 \leq a_j \leq 1$ , 且  $\sum_{j=1}^n a_j = 1$ 。设

$$\min_{1 \leq i \leq m} \{d_i^+\} = d^+, \quad \max_{1 \leq i \leq m} \{d_i^-\} = d^-,$$

$$C_{A_i} = \frac{d_i^+}{d^+} - \frac{d_i^-}{d^-} \geq 0,$$

$C_{A_i}$  为  $A_i$  的密切值。

当  $d_i^+ = d^+$ ,  $d_i^- = d^-$  时,  $C_{A_i} = 0$  这时最接近最优点。 $C_{A_i}$  越大,  $A_i$  越偏离最优点, 根据  $C_{A_i}$  的大小, 对方案进行排序, 且最小的  $C_{A_i}$  值对应的决策方案  $A_i$ , 即为“最优方案”<sup>[2]</sup>。

宏观经济多目标水资源优化调配模型一般由多个目标模块构成。在具体应用时首先要确定总目标下的主要的具体目标。一般选择国民生产总值、生物化学需氧量、粮食总产量、城镇就业率、固定资产和水利工程投资等为主要目标(参见文献 [7])。本文也选择上述目标构建宏观经济多目标水资源优化调配模型, 来探讨南水北调背景下华北水资源的优化配置问题。

每个分目标的实现都受到其他目标的影响, 也就是受到其他目标的约束。这样就构成模型目标之间的相互约束关系(详见文献 [7])。在这种约束体系中, 水资源总量是最关键的。这种约束体系就构成了各目标之间的相互关系, 能保证这种相互关系, 亦即达到各目标最大实现程度的水资源分配方案, 也就是我们希望得到的水资源优化调配的“最优方案”。目前对优化模型计算较好的方法是利用群决策的切比雪夫算法, 通过迭代计算即可实现。

## 4 南水北调华北水资源优化配置试验

本文中设计的用水方案是在不断提高节水水平和现有污水回用率的基础上, 考虑引黄入卫

表 2 优化方案的计算结果  
Table 2 Calculated results from the optimized scheme

地区 Regions	年份 Year	国内生产总值 GDP			粮食 Grain		农业灌溉面积 Irrigation area/ 10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup>	固定资产投资 Fixed assets investment/ 10 <sup>8</sup> yuan (RMB)	水投资 Investment of water/ 10 <sup>8</sup> yuan (RMB)	水工程投资 Investment of hydrau- licengineering/ 10 <sup>8</sup> yuan (RMB)
		GDP/ 10 <sup>8</sup> yuan (RMB)	人均值 Per capita value/10 <sup>4</sup> yuan (RMB)	增长率 Growth rate/%	产量 Output/ 10 <sup>4</sup> t	人均值 Per capita value/kg				
北京 Beijing	2000	2478	2.246	9.49	144.2	102.9	32.27	1192	12.47	8.60
	2010	3486	2.641	9.01	345.5	261.7	39.87	1076	6.91	0.00
	2020	7538	5.301		355.5	250.0	39.07	2583.7		
天津 Tianjin	2000	1639	1.800	10.21	124.1	136.0	35.32	463.8	9.65	7.24
	2010	1928	1.863	8.02	349.2	337.4	38.68	532.5	12.33	8.6
	2020	4571	4.217		385.2	355.4	40.93	1417.0		
唐山 Tanshan	2000	296	1.313	10.44	275.5	391.3	48.9	68.7	1.55	0.00
	2010	819	1.060	9.03	348.1	450.4	37.39	136.1	1.72	0.00
	2020	1945	2.386		363.7	446.2	37.43	325.8		
秦皇岛 Qinhuangdao	2000	159	1.076	9.75	70.5	256.0	37.8	36.1	0.55	0.00
	2010	299	1.043	7.70	155.3	541.0	16.97	74.4	0.60	0.00
	2020	629	2.153		160.6	550.0	16.86	161.3		
廊坊 Langfang	2000	73	0.980	9.06	151.8	396.1	27.4	32.0	1.84	1.35
	2010	335	0.892	7.02	149.3	398.0	24.23	62.1	0.49	0.00
	2020	659	1.717		161.0	419.3	25.75	111.0		
邯郸 Handan	2000	169	0.654	8.87	391.9	467.2	53.1	92.9	2.99	1.82
	2010	558	0.643	6.91	266.2	306.4	33.91	121.6	1.67	0.00
	2020	1089	1.189		360.5	393.6	48.54	186.0		
邢台 Xingtai	2000	52	0.565	10.74	361.8	544.5	51	26.2	3.21	2.24
	2010	417	0.600	7.94	276.4	397.7	38.66	85.9	1.12	0.41
	2020	859	1.239		315.6	437.2	44.57	163.5		
石家庄 Shijiazhuang	2000	418	1.137	9.37	485.0	524.8	52.35	140.9	4.23	2.83
	2010	890	0.899	6.91	443.7	448.2	38.94	172.9	2.55	0.00
	2020	1735	1.634		5775	543.8	49.93	307.7		
保定 Baoding	2000	136	0.667	9.60	535.9	511.6	67.80	39.7	4.29	3.05
	2010	569	0.519	9.90	502.1	457.7	64.03	107.8	1.20	0.00
	2020	1463	1.268		536.3	464.7	65.69	310.5		
衡水 Hengshui	2000	51	0.723	9.81	308.7	502.1	45.50	21.3	2.05	1.55
	2010	247	0.588	8.23	208.4	470.4	29.81	46.3	1.79	0.98
	2020	545	1.173		242.2	520.8	35.53	122.7		
沧州 Cangzhou	2000	60	0.714	8.95	302.1	455.0	53.00	26.3	3.63	3.06
	2010	380	0.531	7.33	249.8	348.8	42.03	99.5	5.49	61
	2020	772	1.013		345.1	452.8	63.05	222.2		
合计 Total	2000	5531	1.076	9.85	3151	402.5	504.4	2140	59.45	42.38
	2010	13023	1.054	8.33	5009	405.4	627.3	3023	46.89	17.90
	2020	28978	2.226		5781	444.0	719.3	7043		

表 2(续)  
Table 2(Continued)

地区 Region	年份 Year	水处理投资 Water treatment/ 10 <sup>8</sup> yuan (RMB)	城市污水 排放量 Municipal sewage/ 10 <sup>8</sup> yuan (RMB)	城市污水 排放比例 Proportion of sewage discharge of the city/ %	需水量 Water requirement			供水量 Supplying water amount		供水保证率 Guaranteeing rate of water supply		供水破坏程度 The intensity of destroye in supply water	
					城市 City/ 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	农村 Country- side/10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	小计 Subtotal/ 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	总量 Total amount/ 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	其中 污水 Sewage/ 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	城市 City/%	农村 Country- side/%	城市 City/%	农村 Country- side/%
北京 Beijing	2000	3.17	9.40	51.0	20.98	15.45	36.43	36.43	4.17				
	2010	5.52	24.68	59.5	34.15	17.79	51.95	51.95	8.81				
	2020	2.05	34.36	81.8	42.76	18.20	60.95	60.95	16.87	100	84	0	9.5
天津 Tianjin	2000	2.74	6.0	9.54	51.0	13.39	13.43	26.82	26.82				
	2010	1.37	16.56	59.5	19.82	17.18	37.01	37.01	5.91				
	2020	1.52	24.29	68.0	25.68	19.93	45.61	53.21	9.91	100	95	0	1.0
唐山 Tanshan	2000	0.51	3.24	46.7	5.14	22.04	27.18	27.18	0.91				
	2010	0.56	6.70	72.2	7.27	21.90	29.17	29.17	2.90				
	2020	0.46	10.04	85.0	9.72	21.67	31.39	31.39	5.12	100	90	0	3.6
秦皇岛 Qinhuangdao	2000	0.43	0.62	46.7	2.13	8.35	10.48	11.82	0.32				
	2010	1.03	2.46	72.2	3.22	9.34	12.57	12.57	1.07				
	2020	1.46	3.70	85.0	4.32	9.07	13.39	13.39	1.89	100	98	0	0.1
廊坊 Langfang	2000	0.46	0.97	46.7	1.76	7.78	9.54	9.45	0.27				
	2010	0.43	2.18	72.2	2.44	9.26	11.70	11.70	0.94				
	2020	1.03	3.09	85.0	3.30	9.04	12.33	12.33	1.58	100	90	0	4.6
邯郸 Handan	2000	0.85	4.19	46.7	5.82	16.94	22.76	22.76	1.18				
	2010	0.57	8.77	51.0	9.63	16.36	25.99	25.99	2.68				
	2020	1.25	9.44	85.0	10.34	19.60	29.94	29.94	4.82	100	91	0	3.9
邢台 Xingtai	2000	0.85	1.20	46.7	2.20	15.36	17.55	17.55	0.34				
	2010	2.16	3.65	72.2	3.52	17.40	20.92	20.92	1.58				
	2020	1.10	4.72	85.0	4.58	17.89	22.47	22.47	2.41	100	98	0	1.6
石家庄 Shijiazhuang	2000	0.92	4.55	46.7	7.19	20.94	28.12	28.12	1.28				
	2010	0.47	10.13	51.0	9.87	22.76	32.63	32.63	3.10				
	2020	0.75	12.25	85.0	11.20	26.39	37.59	37.59	6.25	100	87	0	15.5
保定 Baoding	2000	1.10	2.25	46.7	4.36	28.99	33.35	33.35	0.63				
	2010	0.92	5.18	72.2	6.50	31.57	38.07	38.07	2.24				
	2020	0.47	8.34	71.6	9.16	30.25	39.41	39.41	3.58	100	97	0	2.2
衡水 Hengshui	2000	0.47	0.70	46.7	1.33	10.79	12.12	12.12	0.20				
	2010	0.75	2.03	73.3	2.52	11.75	14.27	14.27	0.88				
	2020	0.49	3.89	85.0	3.87	13.18	17.06	17.06	1.98	100	99	0	0.7
沧州 Cangzhou	2000	0.74	1.52	46.7	2.61	14.98	17.58	17.58	0.43				
	2010	14.63	3.72	51.0	3.71	17.49	21.20	21.20	1.14				
	2020	24.60	5.78	63.7	5.30	22.87	28.17	28.17	2.21	100	98	0	1.2
合计 Total	2000	14.63	51.41	48.0	89.72	287.5	377.2	377.2	14.80				
	2010	24.60	105.2	57.3	139.9	303.7	443.6	443.6	36.1				
	2020		150.2	80.0	182.3	320.3	502.6	502.6	72.07				

(运河)和引黄入淀工程,同时考虑引江中线  $75 \times 10^8 \text{ m}^3$  水及引江东线的调水条件下,华北地区的水资源优化配置方案。

根据引江东线工程的设计报告,东线工程分3步走:第1步为起步阶段,原则上不过黄河,但可以“相机为鲁北地区供水”;第2步为一期工程,过黄河  $40 \times 10^8 \text{ m}^3$ ;第3步称二期工程,过黄河  $90 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。根据此方案的计算结果如表2。

如果2015年东线一期工程供水,那么鲁北地区2010年的缺水问题比较严重,其农业灌溉面积下降20多万  $\text{hm}^2$ ,因此建议2010年之前为鲁北供水  $10 \times 10^8 \text{ m}^3$  以缓解这一地区的缺水状况。另外,2020年东线、中线工程都上,势必造成天津、沧州等地区的供水重复。建议2015年东线供水之后,中线的分水方案作部分调整,通过建立水权市场的方式把给天津的水减少到  $5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、沧州的水减到  $1.15 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,将这一部分水量分配给北京、石家庄、邯郸等地。

在此方案实施的条件下,华北地区中长期经济社会发展面临的缺水问题将基本得到解决,供水保证率城市达到100%,农村基本达到90%以上。使得2010和2020年GDP的增长速度保持在9.85%和8.33%的水平上,人均GDP值分别为  $1.05 \times 10^4$  元和  $2.23 \times 10^4$  元,人均粮食占有量增长为405 kg和444 kg,生化需氧量(BOD)人均负荷略有增加,为人均  $80 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$  和  $78 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ ,固定资产积累率为23%和24%,每一水平年的水投资需求平均为  $59 \times 10^8$  元和  $47 \times 10^8$  元。

## 5 结语

水资源优化调配决策分析方法为水资源管理和规划人员提供了一种把水资源管理纳入宏观经济管理的新方法和新思路。它将水资源规划和管理问题放在有关经济/环境系统中进行整体研究,将社会经济状况和资源环境约束有效平衡,达到最优配置,是进行区域水资源规划的有效适用的方法。

本文考虑南水北调背景下,华北地区水资源的优化配置。在设置一种调水方案后,计算了华北地区的水资源配置。结果表明:在这一调水方案下,经优化的配置方案可以基本解决华北地区中长期的缺水问题,城镇供水保证率达到100%,农村供水保证率基本达到90%以上,经济、环境

等仍能保持高效、良性发展。

## 参考文献 (References)

- [1] 蒋效业. 华北地区缺水分析. 河北水利水电技术, 2000, (增刊): 14~16  
Jiang Xiaoye. Analysis on the Water Supply in north China. *Hebei Water Conservancy and Electric Power Technology* (in Chinese), 2000, (Suppl.): 14~16
- [2] 潘家铮. 我国北方地区水资源合理配置与南水北调. 中国工程科学, 2000, 2 (10): 26~32  
Pan Jiazhen. Rational distribution of water resources of North China and South to North Water Diversion. *Engineering Science* (in Chinese), 2000, 2 (10): 26~32
- [3] 张庆云, 卫捷, 陶诗言. 近50年华北干旱的年代际和年际变化及大气环流特征. 气候与环境研究, 2003, 8 (3): 307~318  
Zhang Qinyun, Wei Jie, Tao Shiyan. The decadal and inter-annual variations of drought in the Northern China and associations with circulations. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, 8 (3): 307~318
- [4] 张宗祜, 施德鸿, 沈照理, 等. 人类活动影响下华北平原地下水环境的演化与发展. 地球学报, 1997, 18 (4): 337~344  
Zhang Zonghu, Shi Dehong, Shen Zhaoli, et al. Evolution and development of groundwater environment in North China Plain under human activities. *Acta Geoscientia Sinica* (in Chinese), 1997, 18 (4): 337~344
- [5] 徐中民, 程国栋. 运用多目标决策分析技术研究黑河流域中游水资源承载力. 兰州大学学报(自然科学版), 2000, 36 (2): 122~132  
Xu Zhongmin, Cheng Guodong. A study of water resources carrying capacity by using the method of multiobjective optimization model - Taking the Heihe River as an example. *Journal of Lanzhou University* (Natural Sciences) (in Chinese), 2002, 36 (2): 122~132
- [6] 邓建绵, 刘铁军. 关于我国水资源优化配置的研究. 中国工程咨询, 2004, 47: 34~36  
Deng Jianmian, Liu Tiejun. The study on the rational distribution of water resources in China. *Chinese Consulting Engineers* (in Chinese), 2004, 47: 34~36
- [7] 翁文斌, 蔡喜明, 史慧斌, 等. 宏观经济水资源规划多目标决策分析方法研究及应用. 水利学报, 1995, (2): 1~11  
Weng Wenbing, Cai Ximing, Shi Huibing, et al. Development of macro-economic based water resources multiple objective analysis approach and its applications. *Journal of Hydraulic Engineering* (in Chinese), 1995, (2): 1~11
- [8] 高振宇. 北京市宏观经济水资源多目标分析系统研究. 北京水利, 1997, 4: 4~8  
Gao Zhenyu. Study on the macro-economic multi-objective analysis system. *Beijing Hydraulics* (in Chinese), 1997, (4): 4~8