

干旱气候条件下黄河流域自产水资源调配方案研究

吴东杰, 王金生, 丁爱中

(北京师范大学水科学研究院, 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100875)

摘要: 以干旱气候 (75 %降水保证率) 条件下的黄河流域自产水资源优化配置为研究目标, 选用线性规划法, 对 2010 年、2020 年黄河流域地下水与地表水资源进行了联合调配研究。结果表明: 2010 年以前, 在仅考虑黄河流域自产水资源量的情况下, 需采取适当超采地下水、强化工农业节水 10 % 以上的措施, 以满足黄河流域社会经济发展的用水需求; 2020 年, 在适当超采地下水、强化工农业再节水 5 % 的措施下, 自产水资源量不能满足全流域用水需求, 需要实施南水北调西线工程。

关键词: 干旱气候; 黄河; 地表水; 地下水; 水资源配置

中图分类号: TV211.1⁺1; TV213.4

文献标识码: A

Abstract: Taking the optimal allocation of water resources in the Yellow River Basin as the study goal under the condition of drought climate, the study on the unite allocation of the water resources of groundwater and surface water for the year of 2010 and 2020 is respectively carried out by using the linear programming method. It is concluded that before the year of 2010, some emergency actions such as the overdraft of groundwater, 10 percent intensification water-save in agriculture and industry have to be adopted under drought climate, and that before the year of 2020, with adopting the general measures such as the overdraft of groundwater, 5 percent intensification water-save in agriculture and industry the self-produced water resources will not meet the water need to keep the harmonious developments of society, economy and environment. It will be necessary to construct the western route project of the south-to-north water transfer.

Key words: drought climate; Yellow River; surface water; groundwater; allocation of water resources

0 前言

黄河流域水资源供需关系紧张, 尤其在干旱气候 (指 75 %降水保证率, 下同) 条件下, 供需矛盾更加突出, 造成了巨大经济损失及生态环境退化, 已成为制约黄河流域可持续发展的瓶颈。形成这一问题的关键原因之一是水资源缺乏合理调配。另外, 地下水资源具有自身的特点, 如多年水量丰枯调节能力强, 经地层过滤后水质较好等, 这就使得地下水在供水水质和水量方面具有更好的稳定性和优越性, 因此, 发挥地下水在水资源调配中的重要作用, 与地表水进行联合调配, 必然能够提高流域水资源整体可调配的能力和空间。同时, 黄河流域各省区的地下水可开采量差异较大, 而各省区未来对水资源的需求量也有很大差别, 在干旱气候、地表水资源缺乏的情况下, 如何让地下水资源较丰富的省区充分利用地下水, 而将有限的地表水资源更多地配置给其它省区, 实现全流域社会、经济、环境效益的最大化, 也是值得探讨和研究的紧迫课题。

多年来, 针对黄河流域水资源评价及调配等方

面进行的研究较多^[1-9]。其中, 1987 年国务院批转的“关于黄河可供水量分配方案”规定了黄河流域地表水对各省区的配置方案, 至今仍在执行。该方案的实施, 对合理利用黄河水资源, 加强水资源利用的宏观控制, 促进流域经济发展起到了很好的作用。但该方案也存在一定的局限性, 首先该方案中的可供水量是平均降水保证率下的水量, 未考虑干旱气候下的分配方案; 其次, 未考虑到流域内各省区地下水可开采量的差异及各省区未来发展对水资源的需求等情况。

本文在国家重点基础研究发展规划项目 (973) 《黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理》的基础上, 以 2010 年和 2020 年干旱气候下黄河流域自产水资源在各省区的调配为研究对象, 选用线性规划方法, 对超采地下水、工农业强化节水等因

收稿日期: 2006-08-28; 修订日期: 2006-11-20

基金项目: 国家自然科学基金委员会、水利部黄河水利委员会黄河联合资助项目 (50239010) 资助

作者简介: 吴东杰 (1968 -), 男 (汉族), 安徽贵池人, 高级工程师, 博士研究生。

素影响下的流域水资源联合调配方案进行了宏观研究，提出了干旱气候下黄河流域自产水资源对各省区的配置方案。

1 数学模型

1.1 研究方案划分

针对干旱气候下黄河流域 9 省区（青海省、四川省、甘肃省、宁夏回族自治区、内蒙古自治区、陕西省、山西省、河南省和山东省）2010 年和 2020 年的预测水资源需求量、向流域外的调水量，考虑黄河流域自产水资源总量、工农业强化节水后的水资源需求量、地下水超采量等因素影响下的不同水资源供需关系，考虑到地下水资源的分质供水、地表水与地下水资源的重复量以及黄河流域生态环境需水量等因素，划分本次研究方案如下。其中，由于四川省引黄水量较小（ $0.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ ），本次研究未将四川省纳入配置方案。

方案 1：在干旱气候下，考虑黄河流域自产水资源量（包括地表水和地下水），针对 2010 年与 2020 年黄河流域水资源需求量进行联合调配。本方案保证生态环境配水量，考虑地表水与地下水的重复资源量以及地下水资源的分质供水，不考虑地下水超采和工农业强化节水等因素影响。

方案 2：在考虑到适当超采地下水以及工农业强化节水 10%（2020 年 5%）两种因素作用下，对 2010 年、2020 年干旱气候下黄河流域地表水和地下水资源进行优化配置。适当超采地下水是指在干旱气候下对地下水进行超采，但总开采量不超过多年平均地下水资源可开采量。

1.2 目标函数

本研究以“全流域社会、经济、环境的用水效益最大化”为目标，以地表水与地下水资源的时空分布及需水量等为约束条件，将地表水、地下水对各省区工业、农业（含林牧副渔）、生活（包括城乡生活、商品菜田）等需水项目的配水量作为待求变量（表 1），建立目标函数。

待求变量含意 表 1

水量来源	配水项目	待求变量（配水量）							
		青海	甘肃	宁夏	内蒙古	陕西	山西	河南	山东
地表水	工业	Si_1	Si_2	Si_3	Si_4	Si_5	Si_6	Si_7	Si_8
	农业	Sa_1	Sa_2	Sa_3	Sa_4	Sa_5	Sa_6	Sa_7	Sa_8
	生活	Sd_1	Sd_2	Sd_3	Sd_4	Sd_5	Sd_6	Sd_7	Sd_8
地下水	工业	Gi_1	Gi_2	Gi_3	Gi_4	Gi_5	Gi_6	Gi_7	Gi_8
	农业	Ga_1	Ga_2	Ga_3	Ga_4	Ga_5	Ga_6	Ga_7	Ga_8
	生活	Gd_1	Gd_2	Gd_3	Gd_4	Gd_5	Gd_6	Gd_7	Gd_8

目标函数为：

$$\begin{cases} \text{MAX} & \text{Total} \cdot I + \text{Total} \cdot A - \text{Cost} \cdot S - \text{Cost} \cdot G \\ \text{MIN} & Dd_a - Dd_n \\ \text{MAX} & T_s - S_i - T_e \end{cases} \quad (1)$$

式中： $\text{Total} \cdot I = \sum_{k=1}^8 (Si_k + Gi_k) / Di_k$ ，为工业用水产值； Di_k 为工业单位产值需水量（ $10^8 \text{ m}^3/\text{亿元}$ ），根据工业万元产值需水量换算； $\text{Total} \cdot A = \sum_{k=1}^8 (P_k / I_k) [2(Sa_k + Ga_k) - A_k]$ ，为农业用水产值，该关系式根据作物水分生产函数等计算而来，其中 A_k 为各省区农业需水量（ $10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ）； I_k 为各省区灌溉定额（ $10^8 \text{ m}^3/\text{亿亩}$ ）； P_k 为定额水量时每亩产值（亿元/亿亩）； $\text{Cost} \cdot S = \sum_{k=1}^8 Cs_k (Si_k + Sa_k + Sd_k)$ ，为地表水用水成本； Cs_k 为各省区地表水用水单位成本（亿元/ 10^8 m^3 ）； $\text{Cost} \cdot G = \sum_{k=1}^8 Cg_k (Si_k + Sa_k + Sd_k)$ ，为地下水用水成本； Cg_k 为各省区地下水用水单位成本（亿元/ 10^8 m^3 ）； Dd_a 为生活及畜牧总配水量； Dd_n 为生活及畜牧总需水量； T_s 为流域地表水可利用量； S_i 为各省区地表水配水总量； T_e 为流域生态环境需水量。后两个目标以约束条件的形式实现。

1.3 约束条件

本次研究约束条件为地下水、地表水资源随时空分布（包括各测站河川径流量）的数量约束、未来水资源需求量（含生态环境需水量）约束等。主要约束条件如下：

(1) 各省区地下水开采量与可利用量约束：

$$\begin{aligned} Gi_k + Ga_k + Gd_k & \leq 0.5 Cd_k \\ Gi_k + Ga_k + Gd_k & \leq Ed_k \end{aligned} \quad (2)$$

式中： Cd_k 为各省区基准年（1998 年）地下水实际开采量； Ed_k 为各省区地下水可开采量， $k = 1, 2, 3, \dots, 8$ 。

(2) 各省区工业预测需水量约束：

$$Si_k + Gi_k \leq Id_k \quad (3)$$

式中： Id_k 为各省区工业预测需水量， $k = 1, 2, 3, \dots, 8$ 。

(3) 各省区生活畜牧预测需水量约束：

$$Sd_k + Gd_k = Dd_k \quad (4)$$

式中： Dd_k 为各省区生活畜牧预测需水量， $k = 1, 2, 3, \dots, 8$ 。

(4) 各省区农业基本配水量约束（为保证农业

不至于颗粒无收，约束为不低于各省农业总需水量的 50%)：

$$Sa_k + Ga_k \geq 0.5Ad_k \quad (5)$$

式中： Ad_k 为各省区农业预测需水量， $k=1, 2, 3, \dots, 8$ 。

(5) 各省区农业预测需水量约束：

$$Sa_k + Ga_k \leq Ad_k \quad (6)$$

式中变量含义同前， $k=1, 2, 3, \dots, 8$ 。

(6) 工农业需水总量约束：

$$\sum_{k=1}^8 (Si_k + Gi_k) \leq Ti \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^8 (Sa_k + Ga_k) \leq Ta$$

式中： Ti 全流域工业需水总量； Ta 全流域农业需水总量。

(7) 地表水可利用总量约束（实际引水量不超过地表水可利用总量）：

$$\sum_{k=1}^8 (Si_k + Sa_k + Sd_k) \leq Ts \quad (8)$$

式中： Ts 地表水可利用总量； α 为平均耗水系数。

(8) 地下水可开采资源总量约束：

$$\sum_{k=1}^8 (Gi_k + Ga_k + Gd_k) \leq Tg \quad (9)$$

式中： Tg 地下水可开采资源总量。

(9) 生态环境需水总量约束：

$$Ts - \sum_{k=1}^8 (Si_k + Sa_k + Sd_k) \leq Te \quad (10)$$

式中： Te 流域生态环境需水量。

(10) 测站以上相关省区地表水配水总量约束（头道拐、三门峡、花园口、利津测站等）：

$$\sum_{k=1}^4 (Si_k + Sa_k + Sd_k) \leq T_1$$

$$\sum_{k=1}^6 (Si_k + Sa_k + Sd_k) \leq T_2$$

$$\sum_{k=1}^7 (Si_k + Sa_k + Sd_k) \leq T_3$$

$$\sum_{k=1}^8 (Si_k + Sa_k + Sd_k) \leq T_4 \quad (11)$$

式中： T_1 为头道拐测站实测地表水可利用量， $k=1, 2, 3, 4$ ； T_2 为三门峡测站实测地表水可利用量， $k=1, 2, 3, \dots, 6$ ； T_3 为花园口测站实测地表水可利用量， $k=1, 2, 3, \dots, 7$ ； T_4 为利津测站实测地表水可利用量 $k=1, 2, 3, \dots, 8$ 。

(11) 各省区地下水水质约束：矿化度 $M < 1\text{g/l}$ 的地下水对生活、生产、生态进行配置； $1 < M < 3\text{g/l}$ 的地下水用于农业灌溉； $M > 3\text{g/l}$ 的地下水不进行调配。

2 参数取值

2.1 水资源可利用量

(1) 地表水可利用资源量：黄河流域干旱气候下的地表水资源量（天然径流量） $522.8 \times 10^8 \text{m}^3$ 。按国务院配水方案，其中有 $20 \times 10^8 \text{m}^3$ 调往流域外，实际可利用资源量 $502.8 \times 10^8 \text{m}^3$ 。鉴于短期内南水北调东线和中线工程的实施将置换出调往流域外的水量，因此本文地表水可利用资源量仍按 $522.8 \times 10^8 \text{m}^3$ 考虑。

(2) 地下水可开采资源量：根据《黄河流域地下水可再生能力变化规律》(G1999043606) 研究成果，各省区干旱气候下的地下水可开采量及多年平均地下水可开采量见表 2。

不同降水保证率下黄河流域各省区地下水可开采量（单位： 10^8m^3 ）

表 2

降水保证率	矿化度 (g/l)	青海	甘肃	宁夏	内蒙古	陕西	山西	河南	山东	小计	总计
75 %	0~1	25.74	10.53	11.38	14.51	42.47	32.56	36.39	22.18	195.76	227.54
	1~3	0	3.53	7.47	7.81	0	0	0	12.97	31.78	
多年平均	0~1	28.07	14.07	11.95	20.09	43.13	34.95	37.35	23.69	213.30	251.52
	1~3	0	4.72	7.90	10.82	0	0	0	14.78	38.22	

(3) 水资源重复量：是指在地表水资源量与地下水资源量评价中重复计算的可以相互转换的资源量。按照《黄河流域地下水可再生能力变化规律》(G1999043606) 提供的数据，经计算可得干旱条件下地表水可利用资源量与地下水可开采资源量间的重复量为 $59.19 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

2.2 预测需水量

根据《黄河流域地下水可再生能力变化规律》

(G1999043606) 研究成果，干旱气候下 2010 年及 2020 年黄河流域各省区预测需水量见表 3。

2.3 其它主要参数

(1) 生态环境需水量。广义上指维持生物地球化学平衡（如水热平衡、水沙平衡、水盐平衡等）所消耗的水分^[4]；狭义上是指为使生态环境不再恶化并逐渐改善而需要消耗的水资源量。黄河生态环境需水量包括汛期冲沙需水量及非汛期生态基流

干旱气候下 2010 年及 2020 年黄河流域各省区预测需水量 (单位: $10^8 m^3$)

表 3

年份	项目	青海	甘肃	宁夏	内蒙古	陕西	山西	河南	山东	总计
2010 年	工业需水量	1.57	8.57	3.00	12.53	16.07	18.51	16.16	17.26	93.67
	农业需水量	14.96	27.38	74.90	81.68	40.05	48.56	20.41	61.58	369.52
	生活需水量	1.90	7.64	2.71	3.16	15.97	9.88	9.94	10.97	62.17
	合计	18.43	43.59	80.61	97.37	72.09	76.95	46.51	89.81	525.36
2020 年	工业需水量	1.79	9.83	4.30	18.89	18.44	21.47	20.13	20.32	115.17
	农业需水量	15.06	27.61	70.61	82.10	40.03	48.14	21.59	60.78	365.92
	生活需水量	2.24	8.95	3.25	4.17	18.59	11.79	11.68	11.88	72.55
	合计	19.09	46.39	78.16	105.16	77.06	81.4	53.4	92.98	553.64

量, 对这一生态环境需水量的大小, 目前尚无统一的观点。本文按国务院配水方案的 $210 \times 10^8 m^3$ 作为黄河流域生态环境需水量。

(2) 耗水系数。各省区的引黄水量中有一部分最终又返回了黄河, 不能返回的部分为实际耗水量。实际耗水量与引水量之比称为耗水系数。根据文献^[10], 黄河流域预测平均耗水系数 2010 年为 0.7。本文按 2020 年比 2010 年增加 10% 计算, 取 2020 年黄河流域平均耗水系数为 0.77。

3 结果分析

在考虑黄河流域自产水资源量情况下, 分别对国务院配水方案、考虑工农业强化节水等因素影响

下的配水方案进行了模型计算和供需平衡状况分析, 结果如下。

3.1 国务院分配方案的供需平衡分析

在 75% 降水保证率下, 黄河流域地表水资源可分配总量为 $310 \times 10^8 m^3$ ^[11] (不含生态环境用水量 $210 \times 10^8 m^3$)。按照国务院的地表水资源分配方案 (表 4), 加上各省区地下水可开采量, 可计算出各省区可利用水资源总量, 再与各省区 2010 年、2020 年干旱气候下水资源需求量比较, 可得到各省区水资源供需对比关系 (图 1、图 2)。

从图 1、图 2 中可以看出, 2010 年及 2020 年干旱气候下, 当地表水资源按照国务院配水方案进行分配时, 各省区剩余水资源量差异较大 (表 5)。

干旱气候下黄河地表水资源分配方案 (国务院方案)

表 4

省区	青海	四川	甘肃	宁夏	内蒙古	陕西	山西	河南	山东	调往流域外	合计
年配水量 ($10^8 m^3$)	11.7	0.4	25.2	33.1	48.5	31.5	35.7	45.9	58.0	20.0	310.0

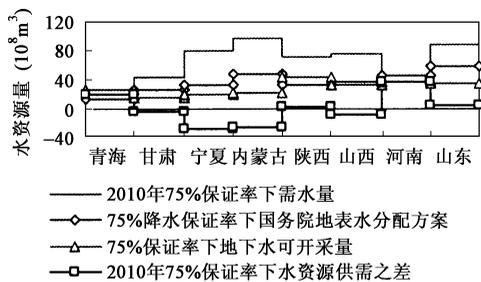


图 1 2010 年干旱气候国务院配水方案下黄河流域各省区水资源供需对比图

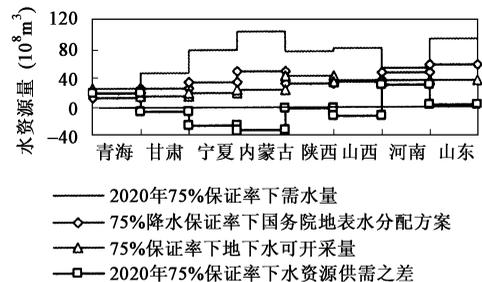


图 2 2020 年干旱气候国务院配水方案下黄河流域各省区水资源供需对比图

国务院地表水分配方案下黄河流域各省区水资源剩余量 ($10^8 m^3$)

表 5

年份	青海	甘肃	宁夏	内蒙古	陕西	山西	河南	山东
2010 年	19.01	- 4.33	- 28.66	- 26.55	1.88	- 8.69	35.78	3.34
2020 年	18.35	- 7.13	- 26.21	- 34.34	- 3.09	- 13.14	28.89	0.17

其中, 青海、河南剩余水资源量较大; 宁夏、内蒙古、山西、甘肃处于缺水状态。这只是在不考虑地表水与地下水资源重复量情况下的结果, 如果考虑到重复量, 上述缺水省区的缺水量将更大。

因此, 怎样充分利用水资源盈余省区的剩余水资源量, 使得缺水省区的缺水量达到最小, 需要通过地表水与地下水资源进行联合优化调配来研究。

3.2 方案1 优化结果分析

优化调配结果见表6及图3、图4。

经过上述线性规划数学模型优化计算，方案1

干旱气候下方案1 优化结果 (单位: $10^8 m^3$)

表6

年份	配水来源	配水量								生态环境配水量	小计	供需之差
		青海	甘肃	宁夏	内蒙古	陕西	山西	河南	山东			
2010年	地表水	14.53	22.72	35.10	80.66	40.91	46.65	17.57	54.66	210	522.80	- 44.26
	地下水	3.90	14.06	8.06	16.71	31.18	30.30	28.94	35.15	/	168.30	
2020年	地表水	7.66	22.22	36.02	72.54	34.59	55.73	17.01	67.03	210	522.80	- 72.54
	地下水	3.90	10.37	6.84	16.71	42.47	25.67	36.39	25.95	/	168.30	

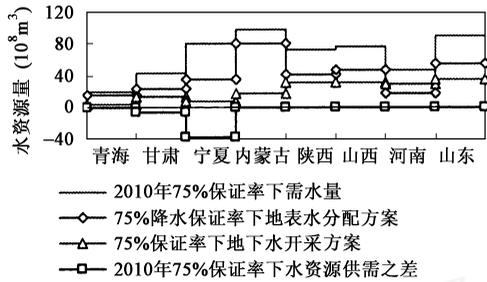


图3 2010年干旱气候下方案1 优化后黄河流域各省(区)水资源供需对比图

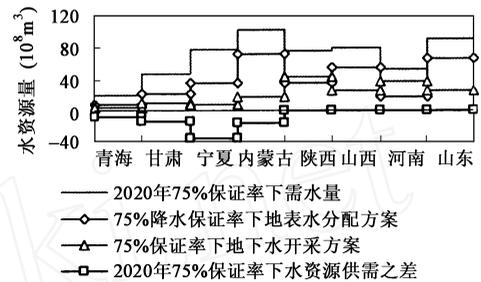


图4 2020年干旱气候下方案1 优化后黄河流域各省(区)水资源供需对比图

从表6和图3、图4可以看出:

(1) 2010年干旱气候下, 经过方案1 优化调配后, 黄河流域总体仍缺水 $44.26 \times 10^8 m^3$, 其中青海、甘肃、宁夏、内蒙缺水共 $37.45 \times 10^8 m^3$ 、甘肃缺水 $6.81 \times 10^8 m^3$, 其它省区达到了供需平衡。表明, 在不考虑工农业强化节水及地下水超采等措施的情况下, 黄河流域自有水资源将不能满足自身需要, 处于缺水状态。

(2) 2020年干旱气候下, 经过方案1 优化调配后, 黄河流域总体缺水 $72.54 \times 10^8 m^3$, 其中青海、

甘肃、宁夏、内蒙分别缺水 7.53、13.8、35.3、 $15.91 \times 10^8 m^3$, 其它省区达到了供需平衡。这说明, 在不采取有效措施的情况下, 2020年黄河流域水资源短缺状况将更加严重, 对黄河流域生态环境安全将造成严重威胁。

3.3 方案2 优化结果分析

在2010年前, 可能采取的应对措施主要有地下水适当超采、工农业强制节水等。方案2 优化结果见表7和图5、表8和图6。

2010年干旱气候下方案2 优化结果 (单位: $10^8 m^3$)

表7

年份	配水来源	配水量								生态环境配水量	小计	水资源剩余量
		青海	甘肃	宁夏	内蒙古	陕西	山西	河南	山东			
2010年	地表水	3.36	26.56	67.43	71.24	35.30	35.29	17.65	55.97	210	522.80	26.10
	地下水	13.41	13.43	5.39	16.71	31.18	34.95	25.20	25.95	/	166.22	

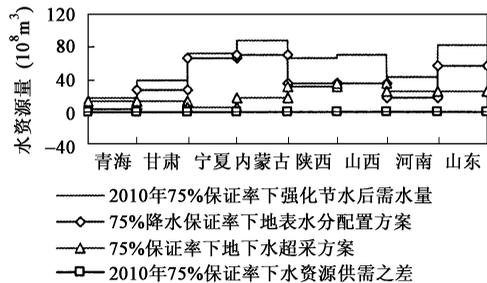


图5 2010年干旱气候下方案2 优化后黄河流域各省区水资源供需对比图

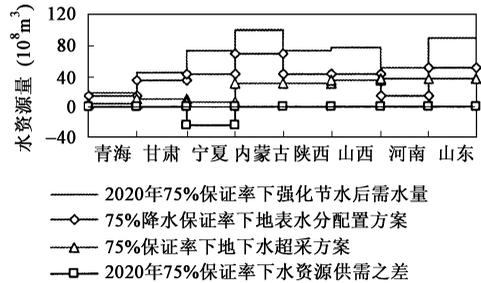


图6 2020年干旱气候下方案2 优化后黄河流域各省区水资源供需对比图

年份	配水来源	配水量								生态环境配水量	小计	水资源剩余量
		青海	甘肃	宁夏	内蒙古	陕西	山西	河南	山东			
2020年	地表水	14.34	34.24	43.31	69.21	42.96	42.97	13.96	51.81	210	522.80	-24.47
	地下水	3.90	10.28	6.64	30.91	31.18	34.95	37.35	37.11	/	192.32	

从表7和图5、表8和图6中可以看出:

(1) 2010年, 由于采取了适当超采地下水以及强化工农业节水10%的措施, 在增加水资源供给量 $24 \times 10^8\text{m}^3$ 的同时减少了水资源的需求量 $46.36 \times 10^8\text{m}^3$, 使得黄河流域水资源供需状况从方案1的缺水 $44.26 \times 10^8\text{m}^3$ 转变为出现正均衡状态, 各省区水资源需求量均得到了满足, 同时, 黄河流域剩余水资源量 $26.10 \times 10^8\text{m}^3$ 。可见, 在2010年干旱气候下, 采取超采地下水和强化工农业节水超过10%的措施, 总体上能够满足流域整体发展对水资源的需求。实际上, 由于强化工农业节水措施已经满足了水资源需求, 因此在2010年方案2中地下水未超采。也就是说, 如果仅采取强化工农业节水10%而不采取超采地下水等措施, 水资源供需在总量上也可刚好达到平衡(剩余水资源 $2.1 \times 10^8\text{m}^3$), 但水安全战略风险增大, 因此采取适当超采地下水的措施是必要的。

(2) 2020年, 黄河流域水资源需求量较大, 虽然采取了适当超采地下水以及强化工农业节水5%两项措施, 但黄河流域总体上依然缺水 $24.47 \times 10^8\text{m}^3$, 主要集中在宁夏。此时, 地下水开采量为 $192.32 \times 10^8\text{m}^3$, 超采 $24 \times 10^8\text{m}^3$ 。因此, 要解决2020年干旱气候下黄河流域水资源的供需矛盾, 还需要采取进一步的措施。

综上所述, 干旱气候下, 如果不采取有效措施, 2010年黄河流域自有水资源将不能满足全流域生活、生产、生态健康发展的需要; 在采取超采地下水至多年平均地下水可开采量, 并强化工农业节水10%的举措下, 2010年黄河流域水资源的可供量与需求量基本达到宏观均衡状态, 各省区需水量基本得到满足, 优化调配方案见表7; 2020年干旱气候下, 仅采取超采地下水及强化工农业节水5%的措施, 将不能实现黄河流域水资源的供需平衡(表8), 流域整体上处于缺水状态, 需要实施南水北调西线工程。

4 结论

(1) 干旱气候下, 2010年, 在考虑地下水与地表水重复资源量和地下水水质供水等因素的情况下, 如果不采取有效措施, 黄河流域自产水资源不能满足全流域生活、生产、生态健康发展需求, 缺

水量超过 $44 \times 10^8\text{m}^3$; 在地下水开采达到多年平均开采量、强化工农业节水10%两项措施下, 黄河流域水资源的可供量与需求量宏观上达到均衡状态, 能够满足黄河流域水资源的供需平衡。

(2) 干旱气候下, 2020年, 若仅开采地下水达到多年平均开采水平, 强化工农业节水5%时, 黄河流域自产水资源不能满足全流域发展的需求, 缺水量超过 $24 \times 10^8\text{m}^3$; 需要采取进一步超采地下水、实施南水北调西线工程等措施。

(3) 2010年, 在75%降水保证率条件下, 当适当超采地下水、强化工农业节水10%时, 黄河流域地表水及地下水资源在各省区间的宏观优化配置方案是:

地表水 (10^8m^3): 青海 3.36、甘肃 26.56、宁夏 67.43、内蒙古 71.24、陕西 35.30、山西 35.29、河南 17.65、山东 55.97 以及生态环境配水 210;

地下水 (10^8m^3): 青海 13.41、甘肃 13.43、宁夏 5.39、内蒙古 16.71、陕西 31.18、山西 34.95、河南 25.20、山东 25.95。

对于黄河流域来说, 本文所述调配方案的实施条件, 需要配套措施及政策支持, 实行全流域农业灌溉方式转变和对部分省区给予适当经济扶持等措施、完善地下水开采等基础设施建设、同时需要制定和执行相关的水资源配置制度和政策。

参 考 文 献

- [1] 常炳炎, 薛松贵, 张会言等. 黄河流域水资源合理分配和优化调度 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998.
- [2] 秦毅苏, 朱延华, 曹树林等. 黄河流域地下水资源合理开发利用 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998.
- [3] 刘昌明, 陈效国. 黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理研究和进展 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2001.
- [4] 水利部黄河水利委员会. 黄河近期重点治理开发规划 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002.
- [5] 朱晓原, 张学成. 黄河水资源变化研究 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1999.
- [6] 汪岗, 范昭. 黄河水沙变化研究, 第一卷(上册) [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002.
- [7] 陈先德. 黄河水文(黄河水利科学技术丛书) [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1997.
- [8] 黄河水利委员会黄河志总编辑室. 黄河流域综述 [M]. 郑州: 河南人民出版社, 1998.
- [9] 孙广生, 乔西现, 孙寿松. 黄河水资源管理 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2001.
- [10] 贾绍凤, 张士锋. 黄河流域可供水量究竟有多少 [J]. 自然资源学报, 2001, 16(6).