

宁东能源化工基地水资源优化配置研究

冯兴平¹, 江涛¹, 唐林¹, 李永红^{1*}, 范磊^{2,3}, 赵正宏⁴, 侯光才⁴, 钱会²

(1. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西杨凌 712100; 2. 长安大学环境科学与工程学院, 陕西西安 710054; 3. 西安市城市规划设计研究院, 陕西西安 710082; 4. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西西安 710054)

摘要 依据地下水资源评价资料和宁东能源化工基地建设规划对水资源的需求, 提出了地表水和地下水联合供水方案, 并采用线性规划模型对联合供水方案进行了优化研究, 确定了供水方案中地下水的实际配额和供水路线。研究认为: 陶乐傍河水源地可向平罗精细化工基地供水 $0.065 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$; 骆驼井应急水源地向横城和鸳鸯湖工矿区供水 $0.019 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$; 吴忠平原 2 号和 3 号备选水源地向灵武工矿区供水 0.089×10^8 和 $0.067 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$; 大泉地区的 1 号水源地向南部的马家滩和积家井工矿区供水 $0.054 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。按地下水总供水量 $0.294 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 和最佳供水路线联合配置地下水, 地表水配额只需 $3.136 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 既能满足宁东能源化工基地 2020 年规划对水资源的需求, 又能实现社会经济和环境效益的最大化。研究可为宁东能源化工基地水资源经济和高效利用提供基础依据, 也为干旱区工业基地经济合理利用水资源提供参考。

关键词 水资源; 优化配置; 宁东能源化工基地

中图分类号 S273 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)26-0170-05

Study on Optimal Allocation of Water Resources in Ningdong Energy Chemical Base

FENG Xing-ping, JIANG Tao, TANG Lin et al (Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract Based on the evaluation data of groundwater resources and the demand for water resources in the construction planning of Ningdong energy and chemical base, a joint water supply scheme for surface water and groundwater is proposed, and a linear programming model is used to optimize the joint water supply scheme, and the actual quota and water supply route in the water supply scheme are determined. It is believed that Taole riverside water source area can supply $0.065 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ to the Pingluo fine chemical base, and the emergency water source of the Luotuojing is $0.019 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ to the Hengcheng and Yuanyang industrial area, and the alternative water source of Wuzhong plain No.2 and No.3 water supply is $0.089 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ and $0.067 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ to the Lingwu mining area. The No. 1 water source in Daquan area supplied $0.054 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ to the south of Majiatan and Jijiajing mining area. According to the total water supply of $0.294 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ and the optimal water supply route, the ground water quota is only $3.136 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, which can not only meet the water resources demand of the Ningdong energy and chemical base in 2020, but also realize the maximization of the social and economic and environmental benefits. The research can provide the basic basis for the water resources economy and efficient utilization of the Ningdong energy chemical base, and also provide reference for the rational utilization of water resources in the industrial base of the arid area.

Key words Water resources; Optimal allocation; Ningdong energy chemical base

宁东能源化工基地位于宁夏回族自治区中东部, 在灵武、盐池、同心、红寺堡地区, 南北长 130 km, 东西宽 50 km, 面积约为 $3\ 500 \text{ km}^2$, 已探明煤炭储量 $273 \times 10^8 \text{ t}$, 远景储量 $1\ 394.3 \times 10^8 \text{ t}$, 是一个全国罕见的储量大、煤质好、地质构造简单的整装煤田, 被列为国家 13 个重点开发的亿吨级矿区之一。宁东能源化工基地位于鄂尔多斯盆地西缘灵盐台地之上, 区内水资源极为贫乏。基地供水来源单一, 绝大部分供水来源于黄河引水, 少量来源于吴忠平原地下水。黄河引水不但用水成本很高, 而且地表水易受污染, 输水具有季节性, 保障程度低。因此, 如何高效利用水资源是宁东能源化工基地建设面临的重要问题, 受到社会各界的广泛关注。目前文献的研究, 只是给出了基地各类水(黄河水、矿井疏干水、处理污水)配置数量, 并提出矿井水、各类废水处理利用及节约用水解决基地供水的措施^[1-2], 但未涉及基地地表水与地下水的联合运用以及水资源优化配置问题, 因而前人的研究对基地合理高效开发利用水资源的实际指导作用尚有欠缺, 有必要进行深入研究。笔者依据“鄂尔多斯盆地(宁

夏)能源基地地下水勘查”项目的地下水资源评价资料, 结合宁东能源化工基地建设规划对水资源的需求, 提出了地表水和地下水联合供水方案, 并采用线性规划模型对供水方案进行了优化研究, 为基地水资源经济和高效利用提供基础依据, 也为干旱区工业基地经济合理利用水资源提供参考。

1 宁东能源化工基地产业规划对水资源的需求及供水现状

1.1 宁东能源化工基地产业规划 按照宁东能源化工基地总体规划, 基地以煤炭、电力和煤化工为三大主导产业, 辅助发展石油天然气化工、精细化工、材料工业和其他服务业。煤矿区包括灵武、鸳鸯湖、横城 3 个矿区, 12 个井田; 电厂包括马连台电厂、灵州煤矸石综合电厂、灵武电厂、鸳鸯湖电厂、水洞沟电厂、方家庄电厂和枣泉电厂等; 3 个工业园区包括煤化工园区、临河综合项目区和灵州综合项目区。在宁夏东北部与内蒙古交界地带建设了平罗精细化工基地^[3-4]。宁东能源化工基地地理位置及主要厂矿的分布见图 1。

1.2 宁东基地对水资源的需求 主要包括煤矿生产生活、电厂生产生活和煤化工项目对新鲜淡水的需求。根据《宁东基地总体规划与建设纲要》, 2020 年总需水量达到 $3.43 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 其中煤矿生产生活用水 $0.16 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 电厂生产生活用水 $0.29 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 煤化工生产用水 $2.98 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 以煤化工用水量最大。环保绿化需水可通过矿坑废水和工业废水的处理或再循环利用解决。

作者简介 冯兴平(1960—), 男, 陕西米脂人, 工程师, 从事生产建设项目水土保持方案编制、水土保持设施竣工验收、水土保持生态工程规划与设计研究。* 通讯作者, 博士, 从事土壤侵蚀、水土保持工程及土力学研究。

收稿日期 2018-05-16

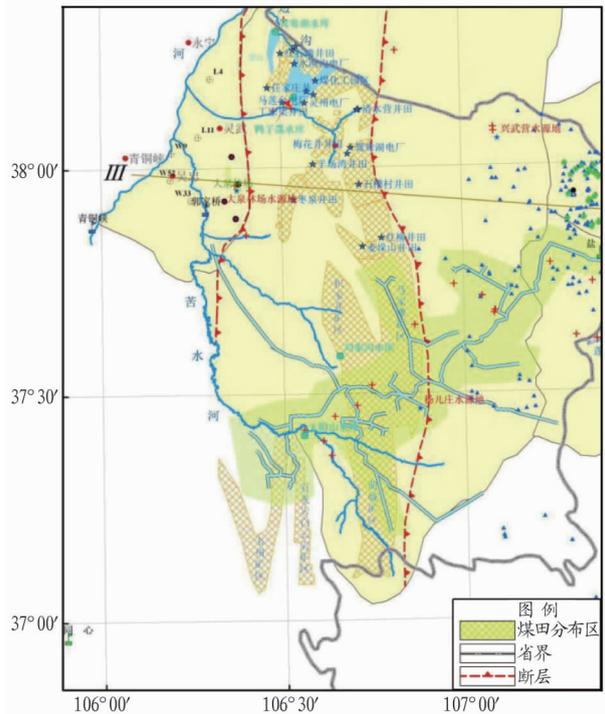


图1 宁东能源化工基地厂矿分布

Fig.1 Distribution of factories and mines in Ningdong energy chemical base

1.3 宁东基地引黄供水工程和应急水源需求

1.3.1 引黄供水工程。宁夏已经按照基地规划修建了2座引黄供水水库:鸭子荡水库和刘家沟水库。其中,鸭子荡水库位于基地北部,2020年供水量可以达到 $3.00 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 以上;太阳光供水工程(刘家沟水库)位于基地南部,供水量为 $0.36 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。这2座水库的水源均来自黄河,通过专门的管道进行输送,水量的配额来自水权置换,即把农业节约用水所产生的余额分配给工业用水^[5]。

1.3.2 应急水源需求。应急水源首先保障煤矿生产生活、电

厂生产生活新鲜淡水的需求,即2020年煤矿生产生活用水 $0.16 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,以及电厂生产生活用水 $0.29 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,合计 $0.45 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。煤化工项目的用水需求暂且不纳入应急供水保障范围。

2 研究资料与方法

笔者依据“鄂尔多斯盆地(宁夏)能源基地地下水勘查”项目的地下水资源评价资料(2014年),通过统计和图表方法分析可向宁东能源化工基地供水的各地下水水源地的可采资源量及基地周边水源地应急供水能力;利用拓扑图方式表达地表水与地下水联合供水的方案的基本内容;采用线性规划模型对联合供水方案进行优化研究,确定供水方案中地下水的实际配额和供水路线。

3 结果与分析

3.1 地下水源地及其供水潜力 目前,已经探明可以向宁东能源化工基地供水的地下水水源地有5处,各水源地的地下水可开采量统计如表1所示。备选应急水源地的可开采量汇总表2。将上述水源地的供水能力绘制成框图(图2)。

表1 宁东能源化工基地水源地地下水可开采量统计

Table 1 Statistics of groundwater recoverable in Ningdong energy chemical base

水源地 Water head site	现状可开采量 Current exploitation quantity $\times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$	工程可开采量 Engineering recoverable quantity $\times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$	水质 Water Quality
骆驼井水源地 Luotuojing water head site	0.018	0.046	淡水
灵武大泉水源地 Lingwu Daquan water head site	0.090	0.270	淡水
灵武崇兴水源地 Lingwu Chongxing water head site	0.040	0.070	淡水
陶乐平原水源地 Taole plain water head site	0.010	0.113	淡水
吴忠平原傍河水源地 Wuzhong plain riverside water head site	0	0.246	淡水

表2 宁东基地备选应急水源地的可开采量汇总

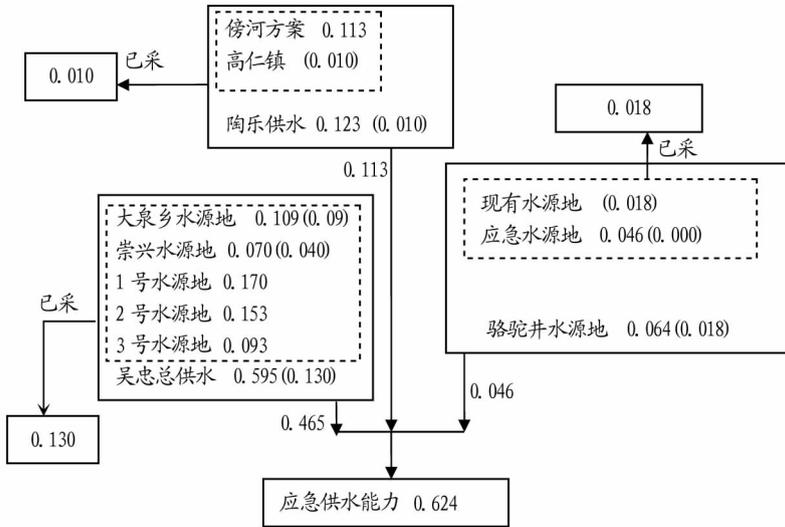
Table 2 Summary of recoverable amount of alternative emergency water sources in Ningdong energy and chemical base

地区 Region	水源地 Water head site	井数 Number of wells	可开采量 Workable reserves $\times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	单井可开采量 Single well recoverable amount m^3/d	年可开采量 Annual recoverable amount $\times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$	难恢复降深 Difficult to restore depth m
陶乐平原 Taole plain	傍河水源地	10	3.10	3 100	0.113	1.10
吴忠平原	1号水源地	9	4.67	5 189	0.170	0.84
Wuzhong plain	2号水源地	6	4.20	7 000	0.153	0.57
	3号水源地	5	2.55	5 100	0.093	0.24
盐池 Salt pond	骆驼井	10	1.25	1 250	0.046	1.23
合计 Total			15.77	—	0.576	—

根据图2分析,来自宁东能源化工基地西部的盐池骆驼井地区可供水 $0.046 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,东部的灵武地区可供水 $0.465 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,而北部的陶乐地区可供水 $0.113 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。合计的工程可开采量为 $0.624 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,已经能满足宁东能源化工基地2020年应急供水 $0.450 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 的要求。更远期的应急供水可能需要利用微咸水,要考虑对微咸水进行处理。

3.2 地表水与地下水联合供水的方案 按照宁东能源基地

的总体规划,能源化工企业的用水主要通过鸭子荡水库和刘家沟水库提供^[6]。引黄供水工程依赖于黄河及其附属的水利设施,输水具有季节性,需要修建水库或大型蓄水池并处理泥沙沉淀,供水和维护运营的成本很高,蒸发渗漏造成的水资源浪费较大,而且地表水易受污染,保障程度低^[7]。在探明了地下水水源地之后,通过适当引入地下水的供水工程,可以减少蒸发损失,降低运营成本,并起到应急供水的作用。



注:括号数据中为已有开采量($\times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$)

Note: The data in parentheses is the existing mining amount($\times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$)

图2 宁东能源基地周边水源地应急供水能力框图

Fig.2 Block diagram of emergency water supply capacity of water sources near Ningdong energy base

用。但是,仅靠现有的地下水水源地,还不能满足能源化工基地的全部新鲜淡水需求。因此,采用地表水与地下水联合供水的方案,将更有利于区域水资源的高效开发利用^[8]。经分析研究,提出了如图3所示的宁东能源化工基地地表水与地下水联合供水方案。方案的要点如下:

(1)陶乐水源地向平罗精细化工基地单独供水。平罗精细化工基地在陶乐地区的北端,目前的供水措施是引黄河水,经供水管道和泵站输送到工业区。该基地规划供水为 $2.0 \text{ 万m}^3/\text{d}$ ($0.073 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$),而陶乐傍河水源地的可开采量达到 $0.113 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,能够满足平罗精细化工基地的需求。

(2)修建输水管道和配电站联合骆驼井应急水源地,向横城工矿区 and 鸳鸯湖矿区供水。骆驼井应急水源地的供水能力为 $0.046 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

(3)在灵武地区,修建配电站和输水管道联合傍河3号水源地和鸭子荡水库的供水管道,向横城工矿区供水。另外修建配电站联合现有的崇兴水源地和2号备选水源地联合鸭子荡水库的供水管道,向灵武工矿区提供煤矿和电厂的生产生活用水。这种与鸭子荡水库联合调度的方案中,地下水的可供水量达到 $0.276 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。鸭子荡水库则向煤化工基地提供煤化工项目的新鲜淡水需求,2020年设计供水能力为 $2.980 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,地下水可供水量占比很小。

(4)在灵武南部地区,将大泉水源地与1号备选水源地与刘家沟水库的地表水进行联合调度,向积家井和马家滩工矿区供水。马家滩和积家井矿区2020年规划需要 $0.054 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 的新鲜淡水,低于刘家沟水库的供水能力。大泉水源地和1号水源地的可供水总量为 $0.189 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,比马家

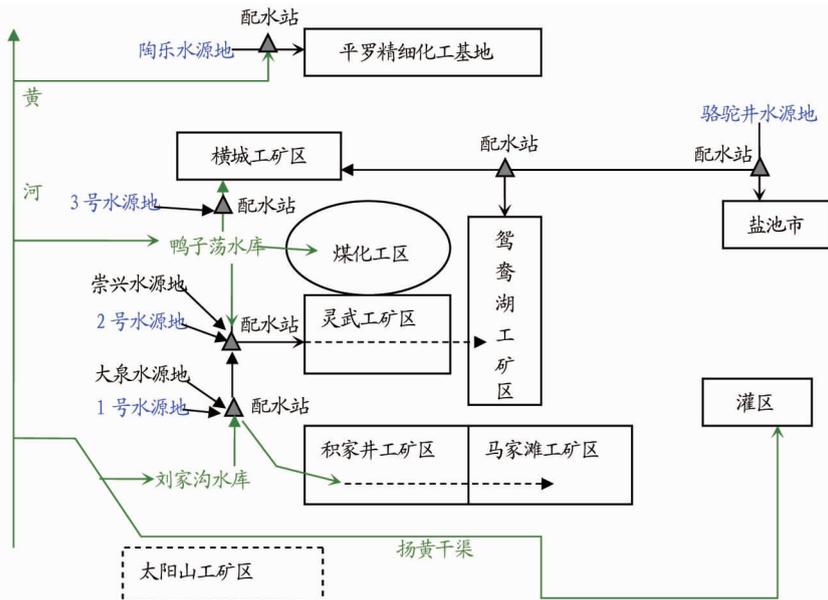


图3 宁东能源化工基地地表水与地下水联合供水方案拓扑图

Fig.3 Topological plan of joint water supply plan for surface water and underground water at Ningdong energy chemical base

滩和积家井矿区需求量还大,因此剩余的水量可以向北分配到灵武工矿区。

3.3 宁东能源化工基地供水方案的优化 以上的讨论提出了宁东能源化工基地地表水与地下水联合供水的方案,确定了周边地下水水源地的供水线路和最大可能供水规模,但还存在很大的不确定性,即地下水的实际供水规模达到多大才是经济合理的方案。为了定量地确定方案中的供水配额,该研究通过线性规划模型进行分析。

3.3.1 模型方程。宁东能源化工基地地表水与地下水联合供水方案优化的基本思路是用最低的经济成本达到供水目标^[9-10]。因为引用黄河水的供水方案是已经有规划的,工程建设已经部分完成。因此,在该模型中不再考虑地表水工程的基础设施投资,而主要考虑地下水供水工程的基础设施投资和运营成本。

供水总量取决于需求,应满足以下关系式:

$$Q_1 + Q_2 = Q_s \quad (1)$$

式中, Q_1 为地表水的有效供水量; Q_2 为地下水的供水量; Q_s 为需要达到的总供水量。设地表水引水量为 Q_s , 考虑到蒸发和渗漏损失量,地表水有效供水量与引水量关系如下:

$$Q_1 = (1-\eta)Q_s \quad (2)$$

式中, η 为损失系数,按照鸭子荡水库的有关资料, η 可取 3.3%(源自“宁东能源化工基地一期供水工程水资源论证报告书”)。

对于损失的水量,属于水资源的浪费,引入以下罚函数:

$$J_w = (q_s + e_s \eta Q_s) \eta Q_s = \left(q_s + e_s \frac{\eta}{1-\eta} Q_1 \right) \frac{\eta}{1-\eta} Q_1 \quad (3)$$

式中, J_w 为模型中引入的处罚成本; q_s 为为单方水的水权置换成本; e_s 为处罚的倍增函数(即每多浪费 1 m³ 水需要多增加的单方成本)。根据宁夏地区水权置换的经验, $q_s = 2.0$ 元/m³。 e_s 可取 0.01 元/万 m³,表示每多浪费 1 万 m³ 方水单价上涨 0.01 元。

地下水和地表水供水都需要满足以下约束条件:

$$Q_1 \leq Q_R; Q_2 \leq Q_P \quad (4)$$

式中, Q_P 为地下水的可开采量; Q_R 为地表水库的供水能力。

对于任一地下水水源地,开采量会引起当地供水和生态环境压力,其水权置换的单价成本随着实际开采量与可开采量的比例(环境压力增大)增加,计算公式如下:

$$M_p = q_g \left(1 + 3 \frac{Q_2}{Q_P} \right) Q_2 \quad (5)$$

式中, q_g 为地下水的基础水权置换单方成本(取 2.0 元/m³)。

总的经济成本按下式计算:

$$J_x(Q_1, Q_2) = J_w + \frac{M_p}{\Delta t} + \frac{q_s Q_1}{(1-\eta)\Delta t} + \frac{q_e Q_2 L_g}{\Delta t} + m_s Q_1 + m_g Q_2 \quad (6)$$

式中, t 为模型考虑的投资回收周期(20 年); $q_s Q_1$ 为地表水的水权置换成本; q_e 为地下水供水工程的基础设施投资单方成本[0.04 元/(m³·km)]; L_g 为输水距离; m_s 为地表水供水工程的运营配水成本(1.5 元/m³); m_g 为地下水供水工程的运营配水成本(1.0 元/m³)。

规划模型的目标函数如下:

$$J_x = \min J_x(Q_s, Q_g) \quad (7)$$

即联合供水方案在 20 年内的总成本达到最低。

3.3.2 模型求解。对图 3 中的供水方案可以分解几个组成部分,分别求解各自的优化模型,然后进行汇总。

3.3.2.1 陶乐地区优化供水方案。陶乐地区平罗精细化工基地的需水量 Q_x 为 0.073×10^8 m³/a,其中陶乐水源地的工程可开采量为 Q_P 为 0.113×10^8 m³/a,目前黄河三棵柳引水工程供水能力 Q_R 为 0.055×10^8 m³/a,输水距离 L_g 为 40 km。模型求解得到的结果如图 4 所示。

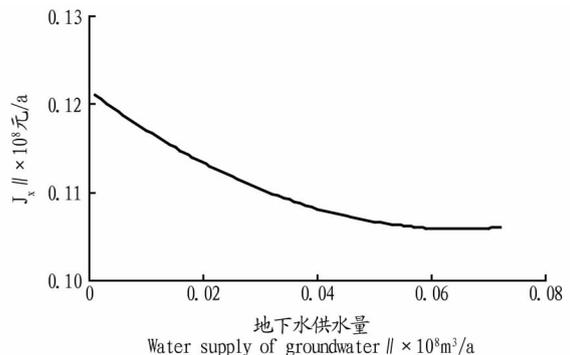


图 4 陶乐地区供水方案经济成本随地下水供水量的变化曲线
Fig.4 Variation curve of economic cost of water supply scheme in Taole area

由图 4 可以看出,随着地下水的供水量增加,供水经济成本总体呈现下降趋势。当地下水的供水量达到 0.065×10^8 m³/a 时,供水成本降低到最低。陶乐傍河水源地的可开采量达到 0.113×10^8 m³/a,但只要开采 0.065×10^8 m³/a 就可以满足最优供水目标,这样地表水只需要调度 0.008×10^8 m³/a。

3.3.2.2 中部工矿区优化供水方案。中部工矿区包括横城工矿区、灵武工矿区和鸳鸯湖工矿区,联合供水的总需水量 Q_x 为 0.396×10^8 m³/a,地表供水工程为鸭子荡水库,除去向煤化工的供水外,剩余供水能力为 0.256×10^8 m³/a。地下水的水源地有 4 个:骆驼井应急水源地、现有的灵武崇兴水源地、3 号备选水源地和 2 号备选水源地,总计可供水量达到 0.352×10^8 m³/a。首先进行总量的优化选择,然后按照各个水源地的供水能力分配供水量,平均输水距离按照 60 km 计,模型求解得到的结果如图 5 所示。

由图 5 可以看出,随着地下水的供水量增加,供水经济成本总体呈现上升趋势,但当地下水的供水量达到 0.175×10^8 m³/a 时,供水成本降低到最低。因中部矿区联合供水的总需水量 Q_x 为 0.396×10^8 m³/a,故最优供水方案应为地下水的供水总量采用 0.175×10^8 m³/a,地表水的供水量为 0.245×10^8 m³/a。在这些水源地中,崇兴水源地已是灵武市水源地,可不作为宁东基地应急供水的水源地。2 号水源地与 3 号水源地按照供水能力和输水距离进行比例划分,建议开采方案:骆驼井应急水源地 0.019×10^8 m³/a(占可开采量的 41%);灵武平原 2 号备选水源地 0.089×10^8 m³/a(占可开采

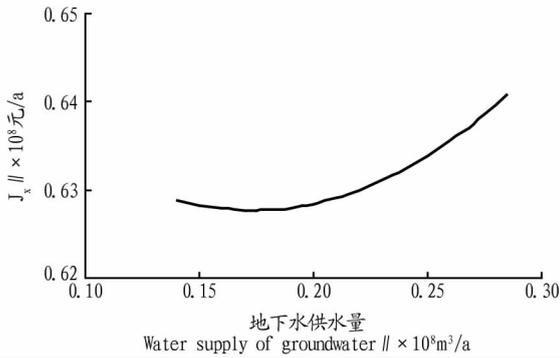


图5 中部工矿区供水方案经济成本随地下水供水量的变化曲线
Fig.5 Variation curve of economic cost of water supply scheme in central industrial and mining area

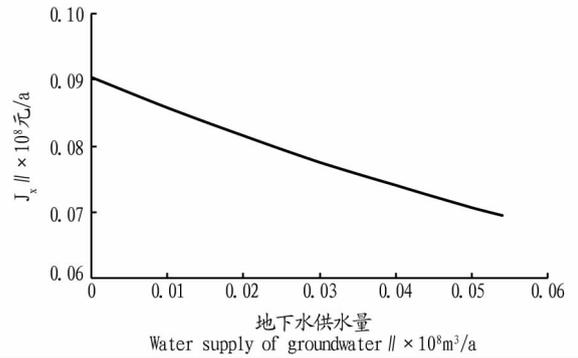


图6 南部工矿区供水方案经济成本随地下水供水量的变化曲线
Fig.6 Variation curve of economic cost of water supply scheme in the southern industrial and mining area

量的58%);灵武平原3号备选水源地 $0.067 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ (占可开采量的72%)。

3.3.2.3 南部工矿区优化供水方案。南部工矿区包括马家滩工矿区和积家井工矿区,联合供水的总需水量 Q_x 为 $0.054 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,地表供水工程为刘家沟水库,供水能力为 $0.061 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。地下水水源地为大泉乡水源地和1号备选水源地,应急供水量为 $0.189 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,输水距离计为50 km。模型求解得到的结果如图6所示。

由图6可以看出,采用地下水可以降低供水成本,且全部采用地下水时成本最低。灵武1号备选水源地的可开采量为 $0.170 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,超过了南部工矿区的需水量,因此可以考虑全部由1号备选水源地供水,应急供水量 $0.054 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,只占可开采量的32%。

3.3.3 联合供水方案地下水的实际供水路线和供水配额。为实现用最低的经济成本达到供水目标,通过对地表水与地下水联合供水方案优化,地下水的实际供水路线和供水配额见表3。

表3 联合供水方案地下水的实际供水路线和供水配额

Table 3 Actual water supply routes and water quota for combined water supply schemes

水源地 Water head site	供水路线 Water supply route	供水配额 Water supply quota// $\times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$
陶乐傍河水源地 Tao Le riverside water head site	平罗精细化工基地	0.065
骆驼井应急水源地 Luotuojing emergency water head site	横城和鸳鸯湖工矿区	0.019
吴忠2号备选水源地 Wuzhong No.2 alternative water head site	灵武工矿区	0.089
吴忠3号备选水源地 Wuzhong No.3 alternative water head site	灵武工矿区	0.067
大泉地区的1号水源地 The No.1 water head site of the Daquan area	马家滩和积家井工矿区	0.054

按总供水量 $0.294 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 和最佳供水路线联合配置地下水,地表水配额只需 $3.136 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,既能满足宁东能源化工基地2020年规划对水资源的需求,又能实现社会经济和环境效益的最大化。

4 结论

(1)该研究提出宁东能源化工基地地表水和地下水联合供水的方案,并采用线性规划模型对联合供水的方案进行优化,根据优化方案确定了地下水的实际供水路线和供水配额:陶乐傍河水源地可向平罗精细化工基地供水 $0.065 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$;骆驼井应急水源地向横城和鸳鸯湖工矿区供水 $0.019 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$;吴忠平原2号和3号备选水源地向灵武工矿区供水 0.089×10^8 和 $0.067 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$;大泉地区的1号水源地向南部的马家滩和积家井工矿区供水 $0.054 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

(2)按总供水量 $0.294 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 和最佳供水路线联合配置地下水,地表水配额只需 $3.136 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,既能满足宁东能源化工基地2020年规划对水资源需求,又能实现社会经济和环境效益的最大化。

参考文献

- [1] 陈丹,李淑霞,李岩.宁东能源化工基地水资源配置[J].宁夏农林科技,2012,53(7):107-108.
- [2] 张华,包淑萍.宁东能源化工基地水资源配置及用水解决途径的探讨[J].中国水利,2014(13):23-25.
- [3] 马晓兵,郭梁.浅议宁夏河东灌区水资源优化配置[J].科技经济导刊,2017(35):88,86.
- [4] 黄晓荣,张新海,裴源生,等.基于宏观经济结构合理化的宁夏水资源合理配置[J].水利学报,2006,37(3):371-375.
- [5] 谢新民,赵文骏,裴源生,等.宁夏水资源优化配置与可持续利用战略研究[M].郑州:黄河水利出版社,2002.
- [6] SINGH A, PANDA S N. Optimization and simulation modelling for managing the problems of water resources [J]. Water resources management, 2013, 27(9): 3421-3431.
- [7] HAN Y, HUANG Y F, WANG G Q, et al. A multi-objective linear programming model with interval parameters for water resources allocation in Dalian City [J]. Water resources management, 2011, 25(2): 449-463.
- [8] 鹿海员,谢新民,郭克贞,等.基于水资源优化配置的地下水可开采量研究[J].水利学报,2013,44(10):1182-1188.
- [9] 张玲玲,高亮.多目标约束下区域水资源优化配置研究[J].水资源与水工程学报,2014,25(4):16-19.
- [10] 杨丽丽,王云霞,谢新民,等.基于地表水和地下水联合调控的水资源配置模型研究[J].水电能源科学,2010,28(7):23-26.