

基于 WEAP 水资源模型的西部矿区最优发展规划研究*

王邦策¹, 黄振华¹, 田相俊¹, 曹志国², 王勇¹

(1.北京科技大学 土木与资源工程学院, 北京 100083;
2.煤炭开采水资源保护与利用国家重点实验室, 北京 102211)

摘要:水资源短缺严重影响着西部矿区煤炭开采的可持续发展。为了从水资源角度指导矿区发展规划的制定,使西部矿区综合效益达到最大,以西部某矿区为例,根据该矿区可能的发展方向,综合考虑人口增长、矿山开采规模、节水力度、绿化强度4个因素,以2015年数据为基准,制定矿山发展至2035年的8个预案。采用WEAP模型对不同预案下矿区需水量、缺水量、缺水率等的变化进行模拟。基于模拟结果,建立矿区经济、社会、生态环境多目标函数,最终选出最优预案。结果表明,使矿区综合效益值能够达到最大的预案是“强力开采强力节水适度绿化”预案,综合评价值为0.6856。以该预案作为矿区制定下一步发展规划的参考,矿区水资源承载力得到了提升,实现了矿区的综合效益最大化。

关键词:西部矿区;WEAP模型;水资源承载力;发展规划

中图分类号:TD80;TU213.4 **文献标识码:**A

文章编号:1005-2763(2024)03-0033-08

0 引言

我国西部煤炭矿区水资源供需矛盾突出,水资源状况的好坏将直接影响矿区的可持续发展^[1-2]。水资源的状况与矿区内矿山开采强度、人口数量变化、节水及绿化强度等因素息息相关,而这些因素又直接受当地发展规划及决策者的影响。因此,从水资源角度出发去考虑矿区未来的发展规划,从而为决策者提供参考,对实现矿区的综合发展具有重要意义^[3]。WEAP是政策导向性的水资源模拟工具,可以模拟不同情景预案下水资源的变化^[4-6]。本文根据矿区未来可能发展规划制定了8个情景预案,并利用WEAP模型对不同预案下的水资源进行模拟,基于模拟结果,以矿区社会、经济、生态效

益为目标,优选出使矿区未来综合效益值最大的预案,最终以此预案为决策者制定矿区发展规划提供参考。

1 WEAP 模型及预案建立

1.1 工程背景

研究矿区位于榆林市神木县北部和鄂尔多斯市南部,属于中温带干旱、半干旱大陆性季风气候,冬季干旱寒冷,夏季炎热,气候干燥,暴雨集中,冷热多变。矿区通过煤炭资源的开发使当地形成了人口相对较多的新兴工业化地带,其经济发展高度依赖煤炭,重工业化特征突出。该地区的水资源特点表现为总量短缺、地下水资源分布不均、水资源需求量不断增加、供给量缺口较大^[3]。年平均降水量为194.7~531.6 mm,多年平均降水量为400 mm左右,不同年份略有变化。7月至9月降水量多,约占全年66.8%,3个月内的降雨量分配不均,解冻期为3月份。矿区平均每年蒸发量为2100 mm,远大于降水量。贯穿该矿区的主干流平均径流量为1.17亿m³,径流量随季节变化幅度大,平均流量为7.19 m³/s,历年最大流量为9760 m³/s,最小流量为0。该主干流的两侧分布有大大小小的支流,多为季节性河流,部分支流内的地下水以泉的形式渗出。其中支流1、支流2、支流6是比较重要的水源地,年平均流量分别为0.264 m³/s、0.185 m³/s、0.07 m³/s。

1.2 WEAP 水资源模型

根据该矿区内水资源供需结构和分布情况,建立WEAP水资源模型概化图,如图1所示。

* 收稿日期:2023-06-01

基金项目:国家重点实验室开放基金课题资助项目(SHJT-17-42.19)。

作者简介:王邦策(1980—),男,安徽马鞍山人,博士研究生,从事矿山开采与管理方面的研究,E-mail:1185514327@qq.com。

通信作者:黄振华(1998—),男,江西抚州人,硕士研究生,从事膏体充填及其流变学方面的研究,E-mail:1594312247@qq.com。

力绿化到 2035 年绿化覆盖率达 34%;适度绿化下减半可达 30%。

将单因素预案进行组合,形成 8 个综合预案,所有综合预案中人口增长率为 11.25‰。综合预案描述为“强力开采强力节水适度绿化”,其他预案与之类似。在 WEAP 模型中通过更改对应参数设置来模拟不同预案下水资源的变化。

2 预案模拟结果分析

2.1 参照预案模拟结果分析

参照预案以 2015 年作为研究分析的基准年,按照现有矿区发展政策及规划在不施加外力的情况下模拟矿区未来水资源变化。参照预案的模拟结果既可以反映该矿区在当前发展模式下未来水资源的变化趋势,又能为后续预案的建立提供参考。

参照预案下矿区需水量的变化见图 2。由图 2 可知,在参照预案下未来矿区内需求点的总需水量呈逐年上升趋势,2015 年的需水量为 3539 万 m³,到 2035 年需水量增长到 3969 万 m³,共增加了 430 万 m³。参照预案下矿区缺水量变化如图 3 所示。由图 3 可知,矿区缺水量在 2015—2035 年间呈下降趋势,到 2035 年缺水量下降为 210 万 m³,相比 2015 年下降了 20%。虽然需水量在逐年上升,但是缺水量却在逐年递减。分析产生此现象的原因是,在参照预案下到 2035 年矿区工业复用水率比 2015 年增加了 15%,而工业复用水作为工农业和绿化的主要来源,在一定程度上缓解了工农业和绿化的缺水负担,从而使缺水量总体下降。水资源需求量增加而短缺量下降,表明矿区用水满足度在提高,未来 20 a 内矿区水资源承载力在逐步提高,这与对该矿区水资源承载力的评价结果一致。表 1 为存在缺水的需求点在研究区间内每隔 10 a 缺水量的变化。

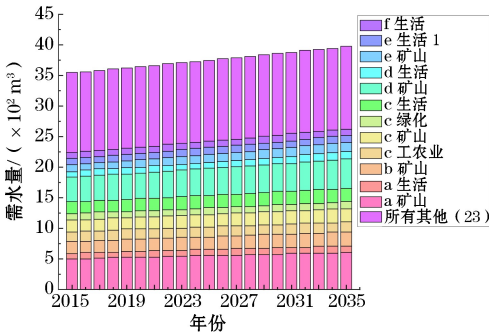


图 2 参照预案下矿区需水量变化

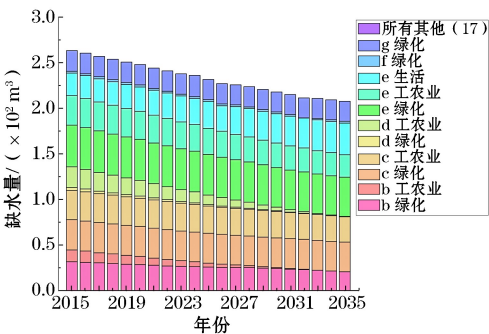


图 3 参照预案下矿区缺水量变化

表 1 缺水需求点缺水量的变化 万 m³

需求点	2015 年	2025 年	2035 年	变化
b 矿绿化	32.16	26.24	20.93	—11.23
b 矿工农业	13.20	4.47	0.00	—13.20
c 矿绿化	33.74	33.21	33.19	—0.55
c 矿工农业	32.69	30.56	28.22	—4.47
d 矿绿化	3.17	1.54	0.00	—3.17
d 矿工农业	23.16	10.75	0.00	—23.16
e 矿绿化	46.56	45.23	43.84	—2.72
e 矿工农业	33.21	29.33	25.14	—8.07
e 矿生活	24.87	29.95	35.41	10.54
f 矿绿化	2.23	2.04	1.82	—0.41
g 矿绿化	22.66	21.92	21.92	—0.74

由表 1 可知,预计到 2035 年,缺水需求点比 2015 年减少了 3 个,分别是 b 矿工农业需求点、d 矿绿化需求点和 d 矿工农业需求点。通过观察 2035 年相对于 2015 年缺水量的变化可知,造成该矿区总缺水量下降的需求点中 d 矿工农业占比最大,下降了 23.16 万 m³,其次是 b 矿工农业、b 矿绿化、e 矿工农业,分别下降了 13.20 万 m³、11.23 万 m³、8.07 万 m³,其余需求点缺水量变化不大。e 矿生活需求点缺水量增加了 10.54 万 m³。通过需求点缺水量及其变化分析可知,在今后矿区水资源配置研究过程中,以下需求点的水资源状况需要重点关注,分别是 b 矿绿化、c 矿绿化、c 矿工农业、e 矿绿化、e 矿工农业、e 矿生活和 g 矿绿化。

2.2 综合预案模拟结果分析

通过 WEAP 对综合预案进行模拟,根据需求点需水量和缺水量的数值求出各综合预案下水资源缺水率的变化,见表 2。

由表 2 可知,8 个综合预案对应的矿区水资源缺水率在 2015—2035 年间逐年变小,表明各预案下矿区水资源承载力均有所提高。到 2035 年,缺水率最小的是预案 6,为 4.037%,缺水率最大的是预案 3,为 6.137%。如果仅从实施预案后矿区水资源状态的角度考虑,不同开采强度下,最优的预案安排分

别是:当矿山稳定开采时,采用“稳定开采强力节水适度绿化”预案,到 2035 年矿区总需水量为 3592 万 m³,缺水量为 145 万 m³,缺水率为 4.037%;当矿山强力开采时,采用“强力开采强力节水适度绿化”预

案,到 2035 年矿区总需水量为 3973 万 m³,缺水量为 173 万 m³,缺水率为 4.354%。“稳定开采强力节水适度绿化”预案是所有预案中使矿区水资源状况达到最优的预案。

表 2 综合预案下矿区水资源缺水率变化

%

综合预案	2015 年	2018 年	2021 年	2024 年	2027 年	2030 年	2033 年	2035 年
强力开采强力节水强力绿化	7.573	6.784	6.122	5.671	5.317	5.109	4.966	4.960
稳定开采强力节水强力绿化	7.573	6.659	5.928	5.382	4.934	4.615	4.417	4.354
强力开采强力节水适度绿化	7.573	7.356	7.158	6.953	6.717	6.500	6.275	6.137
稳定开采强力节水适度绿化	7.573	7.237	6.926	6.613	6.296	6.001	5.703	5.507
强力开采适度节水强力绿化	7.573	6.752	6.064	5.576	5.178	4.901	4.745	4.685
稳定开采适度节水强力绿化	7.573	6.627	5.865	5.243	4.741	4.392	4.140	4.037
强力开采适度节水适度绿化	7.573	7.333	7.082	6.818	6.541	6.280	6.031	5.863
稳定开采适度节水适度绿化	7.573	7.212	6.841	6.486	6.119	5.767	5.455	5.218

3 配置预案优选

水资源配置涉及到一个庞大的生态链系统,里面包含了人类活动、工业发展、区域经济、生态环境等诸多要素,因此从水资源配置角度去制定矿区发展方案时,需要遵循协调发展、可持续发展、公平性和系统性原则^[10]。利用 WEAP 模型对水资源配置方案进行模拟后,仅通过单一的缺水率指标来决定最优预案是片面的,还应综合考虑矿区内的经济和生态状况,因此,需要通过建立多目标函数来进行综合评估^[11-12]。

为了能够使矿区在发展社会经济的前提下既不损害人民利益亦不破坏生态环境,本次研究建立了社会、经济和生态环境多目标函数。通过计算分析三者的综合评价值,以综合评价值最高作为该矿区制定发展规划的参考依据。目标函数可以表示为:

$$P=W_1 P_1+W_2 P_2+W_3 P_3$$
(1)

$$W_1+W_2+W_3=1$$
(2)

式中, P 为综合评价值; P_1 为经济状况目标,由于该矿区的经济主要是由矿山开采及其下游产业决定,而且在此次 WEAP 模型模拟中,两者的需水量均以万元耗水量进行计算,所以经济状况以该矿区内矿山及其下游产业这两者的总需水量来表示; P_2 为矿区社会目标,本文对水资源进行研究的 社会目标是指矿区内水资源的整体状况,以该矿区所有需求点的总需求满足度表示; P_3 为生态环境目标,以矿区内植被覆盖率与绿化需水满足度的乘积表示。计算时, P_1 、 P_2 、 P_3 均为原始数值标准化处理之后的数值; W_1 、 W_2 、 W_3 分别为经济、社会和生态环境

目标的权重值。

在优选配置预案时,矿区的经济、社会、生态指标之间相互牵制、互相影响,未来发展方向受政策与决策者的经验影响较大,而且没有详尽的数据信息可以用来计算各自的权重,所以考虑采用 AHP 法进行权重计算,通过决策者对三者的相互重要程度做出判断并通过标度转化成可计算的数值,得出更加贴合实际的权重值^[13-14]。权重计算步骤如下。

(1) 建立该矿区水资源配置预案优选指标判断矩阵:

$$A=(a_{ij})_{3\times 3}$$
(3)

式中, a_{ij} 为指标 i 相对于指标 j 的重要程度,由决策者分析当地发展规划并结合自身经验给出,具体标度及其定义见表 3。指标 j 相对于指标 i 的重要程度表示为 $a_{ji}=1/a_{ij}$ 。

表 3 标度表

标度	定义
1	同样重要
3	稍微重要
5	明显重要
7	重要得多
9	极端重要

根据指标与指标之间的相对重要程度,标度取值也可为它们的中间值 2, 4, 6, 8。

(2) 每行指标对应的值相乘得 M_i :

$$M_i=\prod_{j=1}^3 a_{ij}(i,j=1,2,3)$$
(4)

(3) 计算 M_i 的 3 次方根 V_i :

$$V_i=\sqrt[3]{M_i}$$
(5)

(4) 对 W_i 归一化处理:

$$W_i = V_i / \sum V_i \tag{6}$$

计算所得 $W=(W_1, W_2, W_3)$ 便是判断矩阵的特征向量,同时也是对应指标的权重。

(5) 一致性检验:

一致性检验主要是防止指标对比时的逻辑错误,见式(7) 和式(8)。

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \tag{7}$$

$$CR = CI / RI \tag{8}$$

式中, $n=3$; CI 为一致性指标; $\lambda_{\max}$ 为判断矩阵的最大特征向量; RI 为判断矩阵的平均随机一致性指标,可以通过查表获得,见表 4; CR 为一致性检验比例,只有当 $CR < 0.1$ 时,判断矩阵才具备满意的一致性,说明权数分配是合理的,否则需要重新调整判断矩阵直到获得满意的一致性。

表 4 不同阶数下的 RI 值

阶数								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

该矿区水资源配置预案优选指标的权重计算结果见表 5。

表 5 判断矩阵及权重

因素	经济	社会	生态环境	权重	排序
经济	1	1/2	2	0.2973	2
社会	2	1	3	0.5390	1
生态环境	1/2	1/3	1	0.1638	3

由表 5 可知,该矿区综合发展的评价中社会指标占比最大,其次是地区经济,最后是生态环境状况。

由于各指标的单位 and 量纲不同,无法进行比较和计算,因此需要对数据进行标准化处理,此次研究中使用 z-score 标准化法^[15-16]。计算时需要先求标

准差和均值,计算公式如下:

$$x'_{ij} = \frac{(x_{ij} - \mu)}{\sigma} \tag{9}$$

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \tag{10}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \mu)^2}{n - 1}} \tag{11}$$

式中, x'_{ij} 为标准化后的值; x_{ij} 为原始值; μ 为各指标原始值的算术平均值; σ 为各指标原始值的标准差。各指标的原始数值和标准化数值见表 6 和表 7。

表 6 经 WEAP 模型模拟的指标值原始结果

预案	经济	社会	生态环境
强力开采强力节水强力绿化	3048.345	0.9504	0.2253
稳定开采强力节水强力绿化	2666.916	0.9531	0.2390
强力开采强力节水适度绿化	3048.345	0.9564	0.2039
稳定开采强力节水适度绿化	2666.916	0.9596	0.2176
强力开采适度节水强力绿化	3136.912	0.9386	0.2136
稳定开采适度节水强力绿化	2755.483	0.9414	0.2198
强力开采适度节水适度绿化	3136.912	0.9449	0.1943
稳定开采适度节水适度绿化	2755.483	0.9478	0.1991

表 7 标准化结果

预案	经济	社会	生态环境
强力开采强力节水强力绿化	0.747 90	0.202 17	0.816 63
稳定开采强力节水强力绿化	−1.200 27	0.599 16	1.813 32
强力开采强力节水适度绿化	0.747 90	1.084 36	−0.740 24
稳定开采强力节水适度绿化	−1.200 27	1.554 86	0.256 45
强力开采适度节水强力绿化	1.200 27	−1.532 81	−0.034 56
稳定开采适度节水强力绿化	−0.747 90	−1.121 12	0.416 50
强力开采适度节水适度绿化	1.200 27	−0.606 51	−1.438 65
稳定开采适度节水适度绿化	−0.747 90	−0.180 11	−1.089 45

将标准化后的经济、社会、生态环境指标值与各自的权重相结合计算出 2035 年的综合评价值,结果见表 8。

表 8 各预案 2035 年综合评价值

预案	社会评价值	经济指标评价值	生态环境指标评价值	综合效益评价值	排序
强力开采强力节水强力绿化	0.1090	0.2224	0.1338	0.4652	3
稳定开采强力节水强力绿化	0.3229	−0.3568	0.2970	0.2631	4
强力开采强力节水适度绿化	0.5845	0.2224	−0.1213	0.6856	1
稳定开采强力节水适度绿化	0.8381	−0.3568	0.0420	0.5233	2
强力开采适度节水强力绿化	−0.8262	0.3568	−0.0057	−0.4751	6
稳定开采适度节水强力绿化	−0.6043	−0.2224	0.0682	−0.7585	8
强力开采适度节水适度绿化	−0.3269	0.3568	−0.2357	−0.2058	5
稳定开采适度节水适度绿化	−0.0971	−0.2224	−0.1785	−0.4980	7

由表 8 可知,所研究矿区制定的 8 个预案中综合评价价值最高的是“强力开采强力节水适度绿化”预案,综合效益评价值为 0.6856。如果矿区以评价值最高的预案模式发展,到 2035 年矿区总需水量为 3973 万 m^3 ,需求点缺水量为 170 万 m^3 ,缺水率为 4.28%。当矿山需要根据实际情况采用稳定开采时,则“稳定开采强力节水适度绿化”预案为最优预案,到 2035 年矿区总需水量为 3592 万 m^3 ,缺水量为 145 万 m^3 ,缺水率为 4.037%。因此,为了达到未来矿区发展效益最大化,决策者可以选用“强力开采强力节水适度绿化”预案作为参考,制定矿区下一步发展规划。

4 最优预案下矿区水资源承载力变化

通过分析实施预案前后矿区内水资源、经济、生态环境的变化以及各缺水需求点满足度的变化可知,矿区水资源承载力有所提高。

4.1 从水资源角度考虑

通过对矿区实施“强力开采强力节水适度绿化”方案,矿区未来水需求量、缺水量与按原本政策发展(参照预案)的结果对比如图 4、图 5 所示。

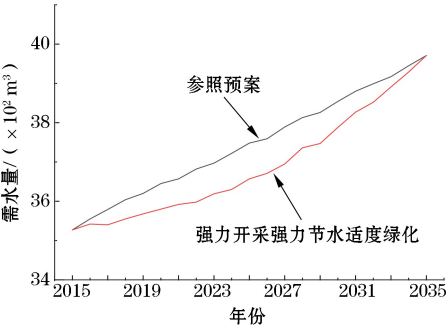


图 4 预案前后需水量变化

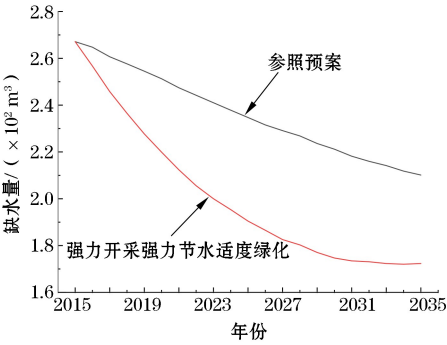


图 5 预案前后缺水量变化

由图 4、图 5 可知,实施最优预案后,矿区需水量仍在逐年增长,到 2035 年达到与参照预案同等的

需水量,大约为 4000 万 m^3 ,但是在研究时间区间内需水量均要低于参照预案。矿区缺水量的下降速度大于参照预案,到 2035 年缺水量减小到 173 万 m^3 ,相比同年参照预案,减少了 38 万 m^3 ,比基准年 2015 年减少了 95 万 m^3 。最优预案下矿区用水需求满足度变化见表 9。

表 9 实施预案前后用水满足度的变化 %								
预案	2015 年	2018 年	2021 年	2024 年	2027 年	2030 年	2033 年	2035 年
参照	92.43	92.84	93.24	93.59	93.97	94.27	94.55	94.68
最优	92.43	93.94	94.07	94.62	95.07	95.39	95.58	95.65

由表 9 可知,最优预案下矿区需求点用水满足度逐年增大,且均大于同年参照预案的满足度,到 2035 年满足度比 2015 年提升了 3.22 个百分点,说明在最优预案下矿区内水资源承载力有所提高。

4.2 从矿区经济角度考虑

由于本次研究是通过矿区矿山及其下游产业的需水量来间接表示矿区的经济,所以通过对比实施预案前后的总需水量变化,便可得知矿区内经济的发展变化情况,如图 6 所示。

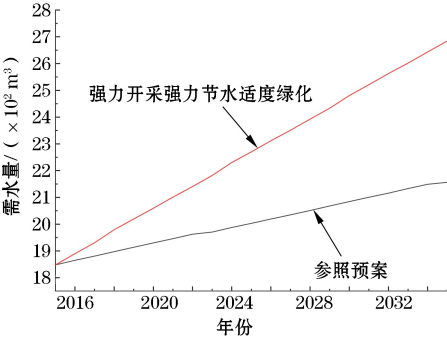


图 6 实施预案前后矿区经济变化

由图 6 可知,实施预案前后矿区总需水量在 2015—2035 年间均呈上升趋势,实施最优预案后,上升速度加快,到 2035 年需水量达到 2694 万 m^3 ,比基准年 2015 年增长了 841 万 m^3 ,相当于矿区经济增长了 45.4%;在不实施预案的情况下,到 2035 年需水量达 2165 万 m^3 ,比基准年增长了 312 万 m^3 ,等同于矿区经济增长了 16.8%。因此,在实施预案后,矿区经济到 2035 年相比不实施预案增长 28.6 个百分点。通过对水资源和经济变化分析可知,矿区实施该预案在矿区整体需水满足度增大的情况下,矿区经济也实现了增长,表明在此预案下矿区水资源承载力在逐步提高。

4.3 从生态环境角度考虑

通过 WEAP 模拟结果可知,矿区内绿化缺水占总缺水量的很大一部分,生态环境状况仍然很严峻,但整体在逐年好转,实施预案前后矿区内所有绿化需求点需水满足度与当年植被覆盖率乘积的变化见表 10。

表 10 实施预案前后生态环境状况变化

预案	2015 年	2018 年	2021 年	2024 年	2027 年	2030 年	2033 年	2035 年
参照	0.1654	0.1675	0.1697	0.1717	0.1730	0.1745	0.1766	0.1780
最优	0.1654	0.1720	0.1773	0.1812	0.1869	0.1939	0.2003	0.2040

由表 10 可知,在不实施预案的情况下,矿区生态环境状况已经在逐步好转,从生态角度讲,矿区水资源承载力在提高。实施最优预案加快了好转速度,矿区水资源承载力得到了进一步提升。通过模拟结果可知,矿区内存在缺水的需求点中缺水比较严重的有 b 矿绿化、c 矿绿化、c 矿工农业、d 矿工农业、e 矿绿化、e 矿工农业、e 矿生活、g 矿绿化需求点,该矿区一年内水资源短缺最为严重的情况发生在 6 月,因此,通过比较这几个严重缺水需求点实施预案前后每年 6 月满足度的变化,能够更具体地反映最优预案对矿区内水资源承载力的影响。需求点满足度的变化曲线如图 7、图 8 所示。

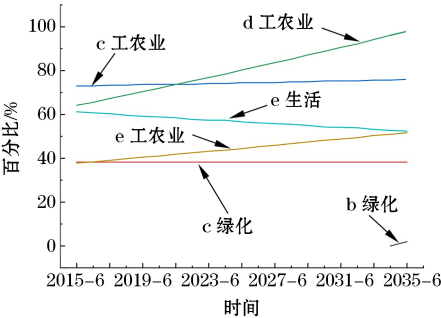


图 7 参照预案下 6 月缺水需求点满足度的变化

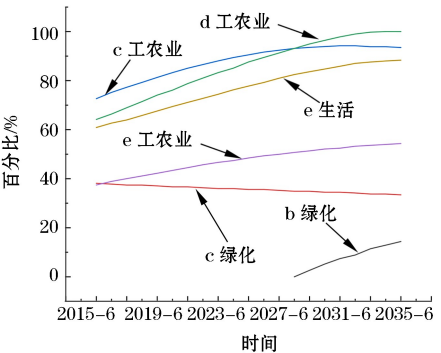


图 8 最优预案下 6 月缺水需求点满足度的变化

通过对比图 7、图 8 可以看出,在实施最优预案之后,对矿区内除 e 矿绿化、g 矿绿化需求点之外,其他需求点满足度均有影响。其中对 e 矿生活需求点的影响最大,实施预案后到 2035 年满足度相比基准年 2015 年上升了 29 个百分点,达到 89%,相比不实施预案上升 39%,极大改善了 e 矿生活用水条件;其次是 c 矿工农业、b 矿绿化、e 矿工农业需求点,实施预案后到 2035 年需求满足度分别比不实施预案上升了 19 个百分点、15 个百分点、5 个百分点; b 矿绿化需求点 6 月份满足度由之前的 0 从 2029 年开始逐渐上升; d 矿工农业需求点每年的满足度均有所提升,但是最终到 2035 年实施预案前后基本相等; e 矿绿化、g 矿绿化需求点的满足度在 6 月份仍然为 0。虽然 c 矿绿化需求点满足度下降了约 5 个百分点,但是并不表明 c 矿生态评价价值也降低了,关于生态除了考虑绿化用水满足度之外,还必须结合植被覆盖率的变化,用两者的乘积表示,实施预案之后到 2035 年植被覆盖率已经由之前的 26% 增至 30%,两者乘积由之前的 0.0923 变为 0.105,因此 c 矿的生态状况也在好转,只是速度比较缓慢。

5 结论

- (1) 根据矿区未来可能的发展方向,制定了 8 个综合预案,综合考虑了人口增长、节水、矿山开采规模和绿化因素。利用 WEAP 模拟了每个预案下矿区水资源的变化,并通过建立矿区经济、社会、生态环境多目标函数进行评价。
- (2) 根据模拟结果,确定了综合评价价值最高为“强力开采强力节水适度绿化”预案。在该预案下,研究时间区间内矿区人口以 11.25% 的增长率增长,矿山开采规模到 2035 年比基准年 2015 年增加了 35%。此外,工业复用水率提高了 15%,矿山下游产业的产值增加了 1 倍,农业用水每万平方米比之前节省了 40%,人均生活用水降低到 247.5 m³,植被覆盖率增加到 30%。
- (3) 通过实施该预案,矿区的水资源承载力得到了提升。具体表现为:整个矿区需求点总用水满足度提高了 3.22 个百分点,达到了 95.65%;经济方面相比之前增长了 45.4%;可承载的植被覆盖率增加了 4 个百分点,达到 30%。此外,除 e 矿绿化、g 矿绿化需求点外,绝大部分缺水需求点的用水条件也得到了改善。
- (4) 从水资源角度出发,矿区决策者可以参考

该预案来制定矿区下一步的发展规划,以实现矿区的综合效益最大化。

参考文献(References):

[1] 田相俊,李翠平,曹志国,等.基于 TOPSIS 法的西部矿区水资源承载力综合评价[J].矿业研究与开发,2020,40(9):170-175.

[2] 方向清.基于全生命周期的矿井水利用技术模式[J].中国煤炭地质,2021,33(7):67-71.

[3] 顾大钊,张勇,曹志国.我国煤炭开采水资源保护利用技术研究进展[J].煤炭科学技术,2016,44(1):1-7.

[4] 张建新.基于 WEAP 模型的疏勒河流域昌马灌区节水灌溉研究[D].北京:清华大学,2015.

[5] 李青,孙韧,田丽丽,等.WEAP 模型在天津市滨海新区水资源与水环境管理中的应用初探[J].水资源与水工程学报,2010,21(2):56-59.

[6] KOU L M, LI X Y, LIN J Y, et al. Simulation of urban water resources in Xiamen based on a WEAP model[J]. Water,2018,10(6):732.

[7] 苏振辉,降亚楠,吕婧妤,等.基于水量水质耦合模拟优化的渠并结合灌区多目标水资源优化配置模型与方法[J].节水灌溉,2023,333(5):46-55+61.

[8] 张真,张光明,张盼月.基于多目标不确定性机会约束规划的矿区水资源配置研究[J].水资源与水工程学报,2022,33(5):53-61.

[9] 张文达.干旱区城市水资源优化配置研究[D].邯郸:河北工程大学,2021.

[10] 潘忠文.环境规制对区域绿色水资源效率提升的影响研究[D].成都:西南财经大学,2021.

[11] SANDOVAL-SOLIS S, ORTIZ PARTIDA J P, FLOYD L. Multi-Objective Water Planning in a Poor Water Data Region: Aragvi River Basin[J]. Sustainability,2022,14(6):3649.

[12] FENG J H. Optimal allocation of regional water resources based on multi-objective dynamic equilibrium strategy[J]. Applied Mathematical Modelling,2021,90:1183-1203.

[13] 李治军,姚蓉,王涛,等.基于 AHP-熵权法与模糊模型的西安市水资源安全评价[J].水利科技与经济,2022,28(5):1-5.

[14] CABRERA J E, COBACHO R, ESTRUCH V, et al. Analytical hierarchical process (AHP) as a decision support tool in water resources management[J]. Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA,2011,60(6):343-351.

[15] 孙晓兵.生态退耕背景下延安市土地利用变化及景观可持续研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2017.

[16] NOGUEIRA A L, MUNITA C S. Quantitative methods of standardization in cluster analysis: finding groups in data [J]. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2020,325(3):719-724.

Study on The Optimal Development Planning of Western Mining Area Based on WEAP Water Resources Model

WANG Bangce¹, HUANG Zhenhua¹, TIAN Xiangjun¹, CAO Zhiguo², WANG Yong¹

(1.School of Civil and Resource Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;
2.State Key Laboratory of Water Resource Protection and Utilization in Coal Mining, Beijing 102211, China)

Abstract: The shortage of water resources seriously affects the sustainable development of coal mining in western mining areas. In order to guide the formulation of the development plan of the mining area from the perspective of water resources, so as to maximize the comprehensive benefits of the western mining area. Taking a mining area in the west as an example, according to the possible development direction of the mining area, the four factors of population growth, mining scale, water saving intensity and greening intensity were comprehensively considered to formulate 8 contingency plans for the development of mines until 2035 in terms of the data from 2015.By using the WEAP model, the changes in water demand, water deficit, and water deficit rate in mining areas under different contingency plans were simulated. Based on the simulation results, multi-objective functions of the mining, including the economic, social and ecological environment were established, and the optimal plan was finally selected. The results show that the plan to maximize the comprehensive benefit value of the mining area is the plan of “strong mining, strong water saving and moderate greening”, and the comprehensive evaluation value is 0.6856.Taking this plan as a reference for the mining area to formulate the next development plan, the water resources carrying capacity of the mining area has been improved, and the comprehensive benefits of the mining area have been maximized.

Key words: Western mining area, WEAP model, Water resources carrying capacity, Development planning