

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2018.04.016

陕北供水网络方案的多方法综合评价

张明, 白涛, 黄强

(西安理工大学 教育部西北水资源与环境生态重点实验室, 陕西 西安 710048)

摘要: 随着地区水资源供需矛盾的日益加剧,作为我国重要能源基地,陕北地区的供水网络建设及建设方案的综合评价成为缓解水资源短缺亟需解决的关键问题。本文通过层次分析法、熵权法和组合权重等多方法确定陕北供水网络方案评价指标的权重,采用层次分析法、灰色综合评价法和优势比较法开展供水方案的多方法综合评价研究,以陕北地区四种供水方案为例,验证了多种方法综合评价的优越性。结果表明:三种评价方法的评价结果一致,并结合实际情况推荐方案二为陕北供水网络的最优方案。研究成果为陕北供水网络评价指标权重确定及其综合评价模型建立了提供理论依据,对于陕北水资源优化配置方案的实施具有重要的现实意义和应用价值。

关键词: 供水网络; 综合评价方法; 方案评价; 组合权重

中图分类号: TV212.4

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2018)04-0481-08

Multi-methods comprehensive evaluation of water supply network schemes in northern Shaanxi

ZHANG Ming, BAI Tao, HUANG Qiang

(The Ministry of Education Northwest Water Resources and Environment Key Laboratory, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: With the increasing contradiction between supply and demand of regional water resources, as an important energy base in China, the water supply network construction and the comprehensive evaluation of construction schemes in northern Shaanxi have become the key problem to alleviate the shortage of water resources. In this paper, the weights of the evaluation indexes of northern Shaanxi water supply network schemes are determined by the analytic hierarchy process (AHP), entropy weight method and combined weights. By using AHP, grey comprehensive evaluation method and superiority comparison method to carry out the comprehensive evaluation research on water supply scheme, the paper verifies the superiority of the comprehensive evaluation of various methods with the example of the four kinds of the water supply scheme of northern Shaanxi. The results show that the evaluation results by three evaluation methods are consistent with the actual situation by the recommended best scheme for the water supply network in northern Shaanxi is the scheme 2. The research results provide a theoretical basis for the weight determination of the evaluation index and the comprehensive evaluation model of the water supply network in northern Shaanxi, which is of practical significance and application value for the implementation of the water resources optimal allocation scheme in northern Shaanxi.

Key words: water supply network; comprehensive evaluation method; scheme evaluation; combination weight

近年来,随着社会经济的快速发展,水资源供需矛盾日益突出。如何更好地进行水资源供给成为缓解水

收稿日期: 2018-03-30

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2017YFC0405900);陕西省水利科技计划资助项目(2017slkj-16, 2017slkj-27);中国博士后科学基金资助项目(2017M623332XB);陕西省博士后科研资助项目;陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2018JQ5145)

作者简介: 张明,男,硕士生,研究方向为水资源系统工程。E-mail: zhang_ming_1996@163.com

通讯作者: 白涛,男,讲师,博士后,研究方向为水资源系统工程。E-mail: baitao@xaut.edu.cn

资源短缺亟需解决的关键问题。针对地区供水方案的评价成为实现水资源供水网络建设的重中之重。

水资源系统评价的方法已日渐成熟,评价的方法主要有层次分析法、模糊综合评价法、灰色综合评价法等^[1-2]。随着研究的不断深入,评价方法不断得到改进,模糊识别被引入水资源配置评价方法^[3],定量指标^[4]和区间数^[5]等用来改进层次分析法,时域权重的概念^[6]被用来改进模糊综合评价法。除了对单一方法的改进,也有将两种评价方法结合形成一种评价方法的研究,如层次分析法和模糊综合评价法的结合^[7-8],灰色关联和模糊矩阵相结合^[9]等。也有针对指标权重进行研究,将主观和客观权重相结合进行评价^[10]。目前,我国水资源系统评价发展较快,不断改进评价方法以提高评价的准确性,评价方法日益成熟,但国内针对水资源系统评价的研究多采用一种评价方法,或存在权重主观性较强等问题。因此,水资源系统方案的多方法综合评价成为方案优选领域研究的重要趋势之一。

陕北地区是我国重要的能源基地,区内工业基地众多,工业的需水量要求巨大,可用水资源十分紧缺,各个部门之间的供水矛盾逐渐提升。虽然陕北已建成众多水库等供水工程,供水能力得到提高,但由于各个供水工程大多独立工作,没有形成完善的供水网络,供水效率不高,因此建立完善的供水网络可以缓解供水紧张,促进陕北地区进一步发展。鉴于此,本文在研究陕北地区供水网络规划的基础上,采用层次分析法和熵权法联合确定指标的组合权重,避免了指标权重确定时偏主观性或客观性的问题。采用层次分析法、灰色综合评价法和优势比较法,三种方法开展陕北地区供水方案的多方法综合评价研究,确保评价的准确性,优选最佳的供水方案。研究成果对于陕北地区供水网络的建立提供重要的支撑,将为缓解陕北地区水资源供需矛盾具有重要的现实意义和应用价值。

1 陕北供水网络及供水方案

1.1 供水网络简介

陕北地处黄土高原,总面积 9.25 万 km², 占全省面积的 40%, 东与山西省以黄河为界, 西依子午岭与甘肃省接壤, 北面与内蒙、宁夏相邻, 南以北山与关中平原相接。区内自产水资源总量偏小, 时空分布不均匀, 蒸发量大, 水土流失严重。区内引水工程主要分为定边引黄、佳县引黄、延安引黄、大泉引黄和榆神供水工程。其次, 少量供水由当地水库供应, 如王圪堵水库和南沟门水库。陕北能源基地矿

产资源优势十分突出, 区内有定边工业区、靖边工业区、榆横工业区、鱼河盐化工区、米脂绥德子州工业区、延南化工园区、子长延川工业园区、榆佳工业区、榆树湾麻黄梁工业区、清水沟工业区、锦界工业园区和府谷煤电载能区 12 个主要工业基地, 工业需水量较大。同时向定边、靖边、横山、神木、延长、延安、榆林、清涧 8 个当地主要城镇供水。随着经济的发展, 城市及生活用水与工业用水的矛盾逐渐加深, 建立完善的供水网络成为缓解水资源短缺亟需解决的关键问题。

1.2 供水网络方案设置

根据基于陕西省水利电力勘测设计研究院资料汇编的《陕北供水网络规划方案研究报告》, 在保证各个工业基地和主要城镇各自的用水总量不变的情况下, 考虑陕北当地的水资源分布和水利工程建设情况, 制定了不同供水水源之间的供水组合, 并初步拟定了四种可行的供水网络建设方案。其中各个供水水源总引水情况如下。

方案一: 王圪堵水库引水 1.56 亿 m³, 佳县引黄工程引水 0.66 亿 m³, 大泉引黄工程引水 7.31 亿 m³, 定边引黄工程引水 0.17 亿 m³, 南沟门水库引水 1.17 亿 m³, 延安引黄工程引水 0.83 亿 m³, 榆神供水工程引水 1.72 亿 m³。

方案二: 王圪堵水库引水 1.56 亿 m³, 佳县引黄工程引水 5.75 亿 m³, 大泉引黄工程引水 2.22 亿 m³, 定边引黄工程引水 0.17 亿 m³, 南沟门水库引水 1.17 亿 m³, 延安引黄工程引水 0.83 亿 m³, 榆神供水工程引水 1.72 亿 m³。

方案三: 王圪堵水库引水 1.56 亿 m³, 佳县引黄工程引水 0.66 亿 m³, 大泉引黄工程引水 7.31 亿 m³, 定边引黄工程引水 0.17 亿 m³, 南沟门水库引水 1.17 亿 m³, 延安引黄工程引水 0.83 亿 m³, 榆神供水工程引水 1.72 亿 m³。

方案四: 王圪堵水库引水 1.56 亿 m³, 佳县引黄工程引水 1.50 亿 m³, 大泉引黄工程引水 6.47 亿 m³, 定边引黄工程引水 0.17 亿 m³, 南沟门水库引水 1.17 亿 m³, 延安引黄工程引水 0.83 亿 m³, 榆神供水工程引水 1.72 亿 m³。

陕北供水网络总引水 13.42 亿 m³, 其中四种方案在定边引黄工程引水, 南沟门水库引水, 延安引黄工程引水, 榆神供水工程引水的总引水量和水量分配不变, 区别主要体现在王圪堵水库引水, 佳县引黄工程引水, 大泉引黄工程引水上。以方案一为参考, 方案二改变了佳县引黄工程引水和大泉引黄工程引水的引水量和供给对象, 方案三改变了王圪堵水库和大泉引黄工程的水量分配情况, 方案四改变了王

圪堵水库、佳县引黄工程引水和大泉引黄工程引水的引水量和供给对象。见表1。

表1 陕北供水网络各方案供水量

Tab.1 Water supply of the water supply network in Northern Shaanxi

供水源	供水用户	各方案下的供水量/亿 m ³			
		方案一	方案二	方案三	方案四
王圪堵水库	靖边	0.55	0.55	0.55	0.55
	横山县城	0.17	0.17	0.17	0.17
	米脂绥德子洲工业区	0.84	0.84	0	0.47
	榆横工业区	0	0	0.47	0.47
	鱼河盐化工区	0	0	0.37	0.37
佳县引黄工程	榆佳工业区	0.66	0.66	0.66	0.66
	清水沟工业区	0	1.40	0	0
	榆树湾麻黄梁工业区	0	0.19	0	0
	鱼河盐化工区	0	3.13	0	0
	榆横工业区	0	0.37	0	0
大泉引黄工程	米脂绥德子州工业区	0	0	0	0.84
	府谷煤电载能区	1.18	1.18	1.18	1.18
	窟野河河谷区	1.04	1.04	1.04	1.04
	清水沟工业区	1.04	0	1.04	1.04
	榆树湾麻黄梁工业区	0.19	0	0.19	0.19
定边引黄工程	榆横工业区	3.13	0	2.29	2.66
	鱼河盐化工区	0.37	0	0.37	0
	米脂绥德子州工业区	0	0	0.84	0
	定边县城及工业区	0.17	0.17	0.17	0.17
	南沟门水库	延南化工园区	1.17	1.17	1.17
延安引黄工程	延长县城及工业园区	0.28	0.28	0.28	0.28
	清涧县城及工业区	0.09	0.09	0.09	0.09
	子长延川工业园区	0.28	0.28	0.28	0.28
	延安市及经济开发区	0.30	0.30	0.30	0.30
榆神供水工程	神木县城	0.27	0.27	0.27	0.27
	锦界工业园区	0.03	0.03	0.03	0.03
	清水沟工业区	0.64	0.64	0.64	0.64
	榆林市及经济开发区	0.78	0.78	0.78	0.78

1.3 供水方案评价指标体系构建

根据水资源配置评价综合性、代表性、层次性和可操作性的原则^[11-12],本文根据《陕北供水网络规划方案研究报告》中对供水网络的初期设计,综合考虑陕北供水网络建设费用,以及工程建设对当地已有其他工程的损失和供水效率的准则,采用管道长度、隧道长度、抽水站总装机、跨河建筑物长度、穿过铁路公路数量、穿过城镇数量、可利用调蓄工程和单线最多供水数量共8个指标。

评价指标体系层次结构见图1,各方案各指标原始数据见表2。

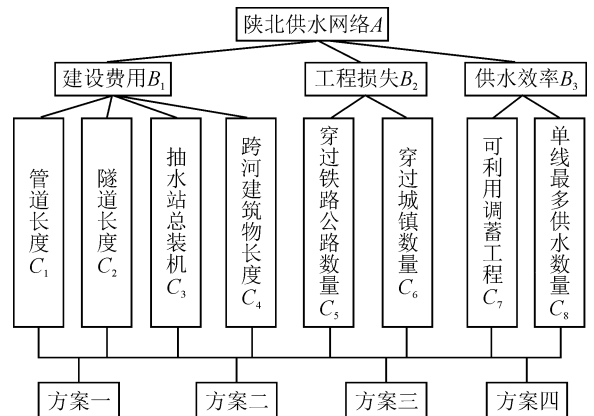


图1 陕北供水网络方案评价指标层次结构

Fig.1 Hierarchical structure of evaluation indexes for water supply network scheme in northern Shaanxi

表2 陕北供水网络方案评价指标及其原始数据

Tab.2 Evaluation indexes and its original data of water supply network scheme in northern Shaanxi

指标	符号	方案一	方案二	方案三	方案四
管道长度/km	C_1	231.64	231.62	201.48	214.78
隧道长度/km	C_2	119.6	73.37	119.6	174.6
抽水站总装机/MW	C_3	406.2	321.8	411	384
跨河建筑物长度/km	C_4	23.35	11.44	22.97	25.16
穿过铁路公路数量/条	C_5	9	10	8	8
穿过城镇数量/个	C_6	9	15	15	13
可利用调蓄工程/个	C_7	6	6	7	7
单线最多供水数量/个	C_8	6	5	7	5

为了方便以后的评价计算,对所选的指标的原始数据进行归一化处理^[13]。陕北供水网络方案评价指标归一化结果如表3所列。其中,可利用的调蓄工程指标属于越大越优型,其余指标属于越小越优型。

表3 陕北供水网络方案评价指标及其归一化结果

Tab.3 Evaluation indexes of water supply network scheme in northern Shaanxi and the normalized results

指标	符号	方案一	方案二	方案三	方案四
管道长度/km	C_1	0.000 0	0.000 7	1.000 0	0.559 0
隧道长度/km	C_2	0.543 3	1.000 0	0.543 3	0.000 0
抽水站总装机/MW	C_3	0.053 8	1.000 0	0.000 0	0.302 7
跨河建筑物长度/km	C_4	0.131 9	1.000 0	0.159 6	0.000 0
穿过铁路公路数量/条	C_5	0.500 0	0.000 0	1.000 0	1.000 0
穿过城镇数量/个	C_6	1.000 0	0.000 0	0.000 0	0.666 7
可利用调蓄工程/个	C_7	0.000 0	0.000 0	1.000 0	1.000 0
单线最多供水数量/个	C_8	0.500 0	1.000 0	0.000 0	1.000 0

越大越优型指标归一化公式如下:

$$C'_{ij} = \frac{C_{ij} - \text{Min}C_{ij}}{\text{Max}C_{ij} - \text{Min}C_{ij}} \quad (1)$$

其余指标归一化公式如下:

$$C'_{ij} = \frac{\text{Max}C_{ij} - C_{ij}}{\text{Max}C_{ij} - \text{Min}C_{ij}} \quad (2)$$

式中: C_{ij} 表示第 j 个方案第 i 个指标的原始数据; $\text{Max}C_{ij}$ 和 $\text{Min}C_{ij}$ 表示第 j 个方案第 i 个指标的最大值和最小值; C'_{ij} 表示 C_{ij} 归一化之后的数据。

2 指标权重的确定

2.1 层次分析法

层次分析法^[14-16] (Analytic Hierarchy Process, AHP)是构建一个多层次的评价模型,通过逐层计算,

得出指标相对于位于最高层的目标层的权重。层次分析法确定权重的主要步骤如下。

1)构建陕北供水网络层次结构模型,模型分为四层,分别为目标层、准则层、指标层和方案层。

2)构建元素之间的判断矩阵。两两判断矩阵的构建方法采用 SAATY 提出的指标相对重要性 9 级标度法。

3)判断矩阵的一致性检验。对于第二步建立的每个判断矩阵都应进行一致性检验,一致性检验采取 CI 、 RI 、 CR 进行检验, CI 为一致性指标, RI 为平均随机一致性指标, CR 为一致性比率。 RI 的值与判断矩阵的阶数有关,当矩阵的阶数大于等于三阶时应计算 CR 的值,指标 CI 和 RI 的计算公式如下:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

式中: λ_{\max} 表示判断矩阵最大特征值; n 为判断矩阵的阶数; CI 值越大,判断矩阵一致性较差, CI 值越小,判断矩阵一致性越好,当 $CI = 0$ 时,认为判断矩阵具有完全的一致性;当 $CI \leq 0.1$ 时,认为判断矩阵一般满足一致性检验;当 $CR \leq 0.1$ 时,认为判断矩阵满足一致性检验,否则重新进行构建判断矩阵。

4)确定权重。判断矩阵在通过一致性检验后采用规范列平均法确定权重。规范列平均法计算步骤如下。

a)求出判断矩阵每一元素每一列的总和。

b)把判断矩阵的每一元素除以其相对应列的总和,得标准判断矩阵。

c)计算判断矩阵的每一行的平均值,平均值即为权重。

在确定针对同一影响因素下不同元素的权重之后,根据层次分析结构所属关系将上一级与下一级权重对应相乘,确定针对目标层不同指标的总权重。

2.2 熵权法

熵权法^[17]作为一种客观赋权法应用广泛且易操作,在水质评价中的得到了广泛的应用,通过对熵的计算确定权重。当评价指标的变异程度越大,信息熵越小,该指标所体现的信息量越大,指标的熵权越大。反之,指标变异程度越小,信息熵越大,该指标所体现的信息量越小,指标的熵权越小。

通过信息熵计算熵权的计算步骤如下。

1)对原始数据进行归一化处理。

2)设有 m 个指标, n 个评价方案,根据公式计算指标的定义熵:

$$h_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad (5)$$

式中: h_i 为第 i 个指标的熵; $k = 1/\ln n$; $f_{ij} = c_{ij} / \sum_{j=1}^n c_{ij}$, c_{ij} 为第 j 个方案第 i 个指标归一化结果,当 $f_{ij} = 0$ 时,令 $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$ 。

3)根据定义熵和公式计算指标的定义熵权:

$$w_i = \frac{1 - h_i}{m - \sum_{i=1}^m h_i} \quad (6)$$

式中: w_i 为第 i 个指标的熵权。

2.3 组合权重

组合权重是将主观赋权法和客观赋权法所确定的权重利用公式进行计算,综合两种权重使得最终的权重同时具有主观和客观两种方法的优点。采用乘法合成归一法^[18]确定组合权重:

$$w_i = \frac{w'_i w''_i}{\sum_{i=1}^m w'_i w''_i} \quad (7)$$

式中: w_i 为第 i 个指标组合权重; w'_i 为层次分析法确定的第 i 个指标权重; w''_i 为熵权法确定的第 i 个指标的权重。

2.4 权重计算

由层次分析法确定的各个相对重要性判断矩阵、一致性检验以及各指标分权重的计算结果见表4~7。

表4 准则层B相对于目标层A的相对重要性判断矩阵及分权重

Tab. 4 Relative importance judgment matrix and sub-weight of the criterion layer B relative to the target layer A

A	B ₁	B ₂	B ₃	CR	权重
B ₁	1	4	2		0.571 4
B ₂	1/4	1	1/2	0.000 0	0.142 9
B ₃	1/2	2	1		0.285 7

表5 指标层相对于准则层B₁的相对重要性判断矩阵及分权重

Tab. 5 Relative importance judgment matrix and partial weight of index layer relative to criterion layer B₁

B ₁	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	CR	权重
C ₁	1	1/7	1/3	1/3		0.070 8
C ₂	7	1	3	2	0.005 5	0.507 5
C ₃	3	1/3	1	1		0.200 3
C ₄	3	1/2	1	1		0.221 4

表6 指标层相对于准则层B₂的相对重要性判断矩阵及分权重

Tab. 6 Relative importance judgment matrix and partial weight of index layer relative to criterion layer B₂

B ₂	C ₅	C ₆	CI	权重
C ₅	1	1/2		0.333 3
C ₆	2	1	0.000 0	0.666 7

表7 指标层相对于准则层B₃的相对重要性判断矩阵及分权重

Tab. 7 Relative importance judgment matrix and partial weight of index layer relative to criterion layer B₃

B ₃	C ₇	C ₈	CI	权重
C ₇	1	2		0.666 7
C ₈	1/2	1	0.000 0	0.333 3

从层次分析法的计算结果可以看出:各个指标的判断矩阵的CI或CR值都小于0.1,一致性检验合格。故可以采用层次分析法确定的权重计算结果。

根据层次分析法、熵权法和组合权重的数学模型分别计算陕北供水网络评价指标的权重(见表8)。

表8 陕北供水网络评价指标权重

Tab. 8 Evaluation index weight of water supply network in northern Shaanxi

指标	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
层次分析法	0.040 4	0.290 0	0.114 5	0.126 5
熵权法	0.161 3	0.073 6	0.154 3	0.153 9
组合权重	0.054 5	0.178 4	0.147 7	0.162 8
指标	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
层次分析法	0.047 6	0.095 2	0.190 5	0.095 2
熵权法	0.073 2	0.157 5	0.153 1	0.073 1
组合权重	0.029 1	0.125 4	0.243 8	0.058 3

从表8可看出:层析分析法和熵权法所确定的指标权重在个别指标上差异较大,这是因为层次分析法主要考虑了决策者的意愿而忽视了客观因素,熵权法则完全考虑客观因素而忽视了主观意愿,因此这两种方法确定的指标权重都不能直接参与评价,综合这两种方法的组合权重法同时考虑主观和客观的因素,确定的指标权重更加合理。

陕北供水网络的建立是为了使陕北各个供水节点联合供水,因此指标权重上赋予可利用调蓄工程最高的权重,同时陕北地处黄土高原,地区多丘陵沟壑,建立陕北供水网络需要建立众多的水利工程和设备,相比于其他方面的投资,输水隧洞的费用较大,其次为跨河建筑物和抽水站总装机,这些在确定的组合权重之中都有体现。

3 供水方案的评价方法

3.1 层次分析法

层次分析法在确定权重后,将处理后的归一化数据直接与确定的权重进行加权和计算,计算的结果为层次分析法评价各个评价方案的评分,再根据各个方案的评分进行排序,得到层次分析法评价结果。

$$R = wC \tag{8}$$

式中: R 为评价结果集; w 为评价指标权重矩阵; C 为归一化的指标数据矩阵。

3.2 灰色综合评价法

灰色综合评价法^[19]是一种以灰色关联分析为理论指导的综合性评估方法。基于灰色关联度的灰色综合评价法通过计算关联度来评价目标对象。灰色综合评价法的主要计算步骤如下。

1) 构建评价指标矩阵 C , 确定各个指标的最优值, 构建最优指标集:

$$C_{\max} = (C_{1\max}, C_{2\max}, \dots, C_{n\max}) \tag{9}$$

式中: C_{\max} 为最优指标集; $C_{n\max}$ 为第 n 个指标的最优值。

2) 将最优指标值与指标矩阵各指标相减, 构建绝对差值矩阵, 确定绝对差值矩阵的最大值 Δ_{\max} 和最小值 Δ_{\min} :

$$\Delta = \begin{pmatrix} \Delta_{11} & \dots & \Delta_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta_{n1} & \dots & \Delta_{nm} \end{pmatrix} \tag{10}$$

式中: Δ 为绝对差值矩阵; Δ_{nm} 为第 m 个方案第 n 个指标的绝对差值。

3) 建立关联系数 ϵ :

$$\epsilon_{ij} = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{ij} + \xi \Delta_{\max}} \tag{11}$$

式中: ϵ_{ij} 为第 j 个方案第 i 个指标的关联系数; Δ_{ij} 为第 j 个方案第 i 个指标的绝对差值; ξ 为分辨系数, 常取 0.5。

4) 将关联系数与确定的权重进行加权和计算各方案关联度, 并进行方案排序。关联度计算公式如下:

$$r_j = \sum_{i=1}^n w_i \epsilon_{ij} \tag{12}$$

式中: r_j 为第 j 个方案关联度; w_i 为第 i 个指标的组合同权重。

3.3 优势比较法

优势比较法是一种基于方案相对优势概念的评价方法。优势比较法首先将这些相同数据的无用指标剔除, 再对其余指标进行评价工作。其主要思路是根据方案优选的确定性和一致性要求进行评价计算。其中, 确定性是指两种方案比较后必有优劣之分, 可以确定方案的优劣排序; 一致性是指通过两两比较的结果不能相互矛盾。例如: 通过比较 A 方案劣于 B 方案, B 方案劣于 C 方案, 则 A 方案一定劣于 C 方案。优势比较法的主要计算步骤如下。

1) 对指标进行加权处理, 确定决策矩阵 Z :

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & \dots & Z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{m1} & \dots & Z_{mn} \end{bmatrix} \tag{13}$$

式中, Z_{ij} 为第 j 个方案第 i 个指标的归一化加权后的值。

2) 确定相对优势矩阵 V :

$$V_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_{ik} Z_{ij}}{\sum_{i=1}^n Z_{ij}^2} \tag{14}$$

3) 根据相对优势矩阵确定优势判断矩阵 D , 当 $V_{kj} > V_{jk}$, 表示第 k 个方案优于第 j 个方案, $d_{kj} = 1$, 反之 $d_{kj} = 0$, 此外 $d_{kk} = 1$ 。

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & \dots & d_{nn} \end{bmatrix} \tag{15}$$

4) 将判断矩阵各行元素相加并减去 1 得矩阵 P , 将判断矩阵各列元素相加得矩阵 Q , 判断矩阵应满足:

$$P_i + Q_i = n, (i = 1, 2, 3, \dots, n) \tag{16}$$

式中: P_i 为 P 的第 i 个元素, Q_i 为 Q 的第 i 个元素, Q 各列的数值即为对应方案的排名。

4 陕北供水网络方案的评价

根据建立的三种评价方法的数学模型分别对陕北供水网络 4 种供水方案进行评价, 评价结果见表 9。

表 9 陕北供水网络多方法综合评价评分及排序结果

Tab.9 Comprehensive evaluation and ranking results by multi-methods of water supply network in northern Shaanxi

计算方法	方案一	方案二	方案三	方案四
层次分析法	0.295 5 4	0.547 1 1	0.450 4 3	0.490 0 2
灰色综合评价法	0.472 3 4	0.698 0 1	0.591 8 3	0.610 8 2
优势比较法	4	1	3	2

层次分析法和灰色综合评价法先计算各方案评分, 再进行排序, 优势比较法直接得出方案排名。由表 9 可以看出三种评价方法评价结果一致。最终确定陕北供水网络方案最优方案为方案二, 其次分别为方案四、方案三和方案一。

陕北供水网络拟定的四种方案中虽然方案二在可利用调蓄工程相对方案三和方案四评分低, 但在实际中已经可以保障供水网络的正常运行。在其他投资较大的指标上方案二评分较高, 实际建设投资较少。此外方案二主要考虑佳县引黄, 其他方案主要考虑大泉引黄, 据实际调查结果, 佳县引黄线路所

经过地段,不存在采空区风险问题,基本不存在压煤情况,虽然大泉引黄线路在布设时已根据地质调查资料,避开采空区,并尽可能减少压煤采空问题,但相对于佳县引黄风险和投资较大。因此从投资、效益和安全综合考虑,方案二应优于其他方案,这也与三种评价方法的评价结果吻合。根据陕北供水网络方案多方法综合评价的结果及实际情况,综合考虑优选方案二。

5 结 论

本文针对我国重要能源基地——陕北地区的供水问题,采用多方法开展陕北供水网络方案的多方案评价与优选研究,得出以下结论。

1) 采用层次分析法和熵权法两种方法进行指标的赋权,综合了主观和客观赋权法的优点,得到的指标权重与实际情况相差较小,为供水方案的优选提供技术参考。

2) 采用层次分析法、灰色综合评价法和优势比较法分别对陕北供水网络的4种方案进行评价计算,推荐方案二为陕北供水网络的最优方案。

3) 多评价方法计算结果的一致性,并根据实际情况验证了最优方案的合理性,证明了多评价方法较单一评价方法的优越性和可靠性,增强了评价结果的说服力,更有利于陕北供水网络方案的实施。

参考文献:

- [1] 郑雄伟,周芬,刘光裕,等. 水资源供给配置评价指标体系研究[J]. 水利规划与设计,2007,(3):1-5.
- [2] 杨丽莉,马细霞. 武嘉灌区水资源配置方案综合评价研究[J]. 人民黄河,2012,34(10):83-85.
YANG Lili, MA Xixia. Overall merit of water resources allocation scheme in Wujia irrigation area[J]. Yellow River, 2012,34(10):83-85.
- [3] 陈文艳,王好芳. 基于模糊识别的流域水资源配置评价[J]. 水电能源科学,2009,27(4):29-30.
CHEN Wenyan, WANG Haofang. River basin water resources allocation evaluation based on fuzzy recognition[J]. Water Resources and Power, 2009, 27(4): 29-30.
- [4] 游进军,赵帆,杨聪,等. 针对水资源配置评价的定量指标改进层次分析法研究[J]. 水利水电技术,2010,41(3):6-16.
YOU Jinjun, ZHAO Fan, YANG Cong, et al. Improved analytic hierarchy process for quantitative index of assessment on water resources allocation[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2010, 41(3): 6-16.
- [5] 张成凤,粟晓玲,蔡焕杰. 基于区间层次分析法的榆阳区水资源配置系统和谐性评价研究[J]. 自然资源学报, 2017,32(6):1053-1063.
ZHANG Chengfeng, SU Xiaoling, CAI Huanjie. Harmony evaluation of water resources allocation system in Yuyang area based on IAHP[J]. Journal of Natural Resources, 2017,32(6):1053-1063.
- [6] 高学平,孙博闻,菅天亮,等. 基于时域权重矩阵的模糊综合水质评价法及其应用[J]. 环境工程学报,2017,11(2):970-976.
GAO Xueping, SUN Bowen, ZI Tianliang, et al. Application of improved fuzzy comprehensive water quality assessment based on weight matrix of temporal distribution[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2017, 11(2):970-976.
- [7] 陈曦,曾亚武. 基于层次分析法和模糊理论水库大坝安全综合评价[J]. 水利与建筑工程学报,2017,15(6):95-100.
CHEN Xi, ZENG Yawu. Safety evaluation of reservoir dam based on analytic hierarchy process and fuzzy theory[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2017, 15(6):95-100.
- [8] 刘国良,顾正华,赵世凯,等. 基于数据驱动的区域水资源智能配置研究[J]. 水利水运工程学报,2015,(5):38-45.
LIU Guoliang, GU Zhenghua, ZHAO Shikai, et al. Research on intelligent allocation of regional water resources based on data-driven approach [J]. Hydro-Science and Engineering, 2015,(5):38-45.
- [9] 袁艳梅,沙晓军,刘煜晴,等. 改进的模糊综合评价法在水资源承载力评价中的应用[J]. 水资源保护,2017,33(1):52-56.
YUAN Yanmei, SHA Xiaojun, LIU Yuqing, et al. Application of improved fuzzy comprehensive evaluation method to water resources carrying capacity evaluation [J]. Water Resources Protection, 2017,33(1):52-56.
- [10] 王佩. 水资源合理配置指标权重研究[D]. 邯郸:河北工程大学,2015.
WANG Pei. Study on the index weight of rational allocation of water resources[D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2015.
- [11] 曹英志,刘书明,崔晓健,等. 我国海域资源配置评价体系构建[J]. 生态经济,2015,31(1):109-113.
CAO Yingzhi, LIU Shuming, CUI Xiaojian, et al. The establishment of evaluation system of China's sea area resource allocation [J]. Ecological Economy, 2015,31(1):109-113.
- [12] 曾国熙,裴源生,梁川. 流域水资源合理配置评价理论及评价指标体系研究[J]. 海河水利,2006,(4):35-39.

- ZENG Guoxi, PEI Yuansheng, LIANG Chuan. Evaluation theory and index system of basin water sources rational allocation[J]. Haihe Water Resources, 2006, (4): 35-39.
- [13] 解阳阳, 赵梦龙, 王义民, 等. 榆林近期供水网络方案的多方法综合评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(3): 219-228.
- XIE Yangyang, ZHAO Menglong, WANG Yimin, et al. Comprehensive evaluation of recent water supply network schemes in Yulin using multiple methods[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2015, 43(3): 219-228.
- [14] 徐瑛丽. 区域水资源配置方案评价研究[D]. 南京: 河海大学, 2006.
- XU Yingli. Valuation of regional water resources allocation schemes[D]. Nanjing: Hehai University, 2006.
- [15] 唐睿. 基于层次分析法的富平配电网综合评估[D]. 北京: 华北电力大学, 2011.
- TANG Rui. Comprehensive evaluation of Fuping distribution network based on analytical hierarchy process [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2011.
- [16] 邓洁, 贺康宁. 基于生态需水的威海市水资源配置研究[J]. 中国农村水利水电, 2009, (10): 40-43.
- [17] 何国华, 汪妮, 解建仓, 等. 基于熵权的水资源配置和谐性模糊综合评价模型的建立及应用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(2): 214-220.
- HE Guohua, WANG Ni, XIE Jiancang, et al. Establishment and application of fuzzy comprehensive assessment model for harmony of water allocation based on entropy weight[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2016, 44(2): 214-220.
- [18] 尚天成, 高彬彬, 李翔鹏, 等. 基于层次分析法和熵权法的城市土地集约利用评价[J]. 电子科技大学学报(社科版), 2009, 11(6): 6-9.
- SHANG Tiancheng, GAO Binbin, LI Xiangpeng, et al. Urban land intensive utilization evaluation based on AHP and entropy method[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China (Social Sciences Edition), 2009, 11(6): 6-9.
- [19] 杨晓庄, 林延华, 程英春. 基于灰色综合评价法的住宅开发项目研究[J]. 工程管理学报, 2011, 25(1): 95-99.
- YANG Xiaozhuang, LI Yanhua, CHENG Yingchun. Study of residential development projects based on the grey comprehensive evaluation[J]. Journal of Engineering Management, 2011, 25(1): 95-99.

(责任编辑 王绪迪)