

# 基于组合权重-TOPSIS 法的灌区节水评价

张立志<sup>1,2</sup>, 王昕<sup>1,2\*</sup>, 谢文鹏<sup>1,2</sup>, 徐远志<sup>1,2</sup>

(1.山东省水利科学研究院, 济南 250013; 2.山东省灌溉试验中心站, 济南 250013)

**摘要:**【目的】探究灌区节水水平评价方法, 查找山东省不同灌区类型节水短板。【方法】围绕管理节水、工程节水、农业节水 3 个方面构建灌区节水评价指标体系, 采用层次分析法和熵权法确定组合权重, 基于组合权重和 TOPSIS 法分别对山东省 14 处代表灌区节水水平进行综合评价与排序。【结果】采用主、客观赋权的组合权重为管理节水 0.370 1, 工程节水 0.489 8, 农艺节水 0.140 1; 采用组合权重和 TOPSIS 法的评价排序基本一致, 节水水平均表现为引黄灌区>引河灌区>水库灌区。【结论】灌区灌溉效益能否充分发挥是影响不同类型灌区的核心问题, 其中工程节水仍是当前灌区节水水平的主要影响因素; 山东省灌区在节水考核制度建设落实、执行水价合理性、灌区测墒灌溉普及率方面普遍存在节水短板; 基于组合权重等比例换算为百分制应用于灌区节水自评价是可行的。

**关键词:** 灌区节水评价; 层次分析法; 熵权法; 组合权重; TOPSIS 法

中图分类号: S27

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022542

张立志, 王昕, 谢文鹏, 等. 基于组合权重-TOPSIS 法的灌区节水评价[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(Supp.2): 65-70.

ZHANG Lizhi, WANG Xin, XIE Wenpeng, et al. Evaluation of Water Saving in Irrigation District Based on Combination Weight-TOPSIS Method[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(Supp.2): 65-70.

## 0 引言

【研究意义】灌区对保障粮食安全具有举足轻重的意义, 也是当今社会主要用水单元。21 世纪以来, 社会经济快速发展, 区域水资源供需矛盾不断加剧, 深入挖掘灌区节水潜力成为带动农业节水的重要举措。【研究进展】探索区域节水策略、查补节水基础设施和监管短板一直是节水领域热点问题, 崑智院士于 1989 年提出评价灌区改造前运行状况的评价标准体系; 吴景杜等<sup>[1]</sup>综合采用专家评分法、Delphi 法、层次分析和隶属度等方法确定了节水灌溉综合效应评价指标体系; 彭致功等<sup>[2]</sup>建立了灌溉用水效率等 6 个主体指标 14 个群体指标的灌溉用水管理评价指标体系, 采用主成分分析法评价了灌溉管理水平; 刘曦等<sup>[3]</sup>建立涵盖综合节水、农业节水、工业节水等五大类的区域节水水平评价指标体系, 采用综合指数法评价了北京市各区县节水水平; 楼豫红等<sup>[4]</sup>基于集对分析构建了区域节水灌溉发展水平综合评价模型对四川省及其省内 21 个地区节水灌溉发展水平进行了评价; 张丽娜等<sup>[5]</sup>基于可变模糊

集原理建立了区域节水灌溉发展水平评价模型对陕西省及各市、区域节水灌溉发展水平进行了评价和排序; 赵春红等<sup>[6]</sup>分析现有节水评价方法现状及存在问题后, 建立了宏观指标和微观指标相结合、典型调查和统计数据相结合的评价思路将评价总分值量化为 100 分进行典型区评价。【切入点】大中型灌区作为农业生产的主战场和农业节水的主阵地, 现状研究多集中于行政单元, 且针对山东省灌区的节水评价研究仍不充分, 灌区节水影响因素众多, 以山东省灌区为例, 探索适宜的评价指标和方法, 以进一步促进灌区节水发展。【拟解决的关键问题】以山东省典型灌区为对象, 揭示现状不同灌区类型的综合节水水平, “诊断”灌区节水“病症”和“病状”, 探索建立适宜于山东大中型灌区节水评价方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 评价指标体系

灌区节水评价指标的选取应首先在典型区域尺度上, 其次要综合考虑政策、工程、农业、技术、管理、资源、环境等直接和潜在影响因素<sup>[7]</sup>, 最后要考虑指标的数量, 指标数量越多, 评价结果越接近实际, 同时也增加了指标层次划分和综合计算的难度。本文在文献研究<sup>[8]</sup>、专家咨询、案例剖析的基础上, 将评价指标分为管理节水、工程节水、农

收稿日期: 2022-09-30

作者简介: 张立志 (1992-), 男, 山东聊城人。工程师, 硕士研究生, 主要从事节水灌溉。E-mail: skyzhanglizhi@shandong.cn

通信作者: 王昕 (1970-), 女, 山东济南人。研究员, 学士, 主要从事农田水利。E-mail: skywangxin@shandong.cn

业节水 3 个方面,采用 Delphi 法<sup>[9]</sup>进行指标重要性分析筛选,确定了如表所示的灌区节水评价指标体系,包括 13 项定量指标和 2 项定性指标(节水考核制度建设落实,灌区信息化程度),按照指标量化依据,采用评价组现场调查百分制打分和随机问卷调查对 2 项定性指标赋值量化。

表 1 灌区节水评价指标体系

Table 1 Optimized index system of water saving assessment on irrigation district

| 目标层    | 一级指标                   | 二级指标                         | 指标含义                                    | 指标量化依据                                             |
|--------|------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 灌区节水评价 | 管理节水 (B <sub>1</sub> ) | “两费”落实率 (C <sub>1</sub> )    | 灌区人员基本支出和公益性工程维修养护经费                    | 落实金额/核定金额                                          |
|        |                        | 节水考核制度建设落实 (C <sub>2</sub> ) | 提升水资源集约节约利用能力的有力举措                      | 依据节水考核制度建设,有效性及实际执行情况综合评判                          |
|        |                        | 灌区信息化程度 (C <sub>3</sub> )    | 提升灌区管理效能,保障工程安全运行、实现水资源优化配置、提高用水效率的技术手段 | 依据灌区具有信息采集,信息监控,信息传输,信息处理,用水管理决策支持,办公自动化 6 个阶段综合判定 |
|        |                        | 供水记录齐全率 (C <sub>4</sub> )    | 制定用水计划、水费收缴的依据                          | 供水记录水量/年度上报实际供水量                                   |
|        |                        | 执行水价合理性 (C <sub>5</sub> )    | 以经济手段实施节水的关键                            | 执行水价/运行维护成本水价                                      |
|        |                        | 水费收缴率 (C <sub>6</sub> )      | 保障工程良性运行的基础                             | 实收水费/应收水费                                          |
|        |                        | 节水培训与宣传 (C <sub>7</sub> )    | 培养基层用水户节水意识,建立良好用水和节水观念的重要途径            | 年度开展节水培训和节水宣传次数                                    |
|        | 工程节水 (B <sub>2</sub> ) | 灌溉供水保障率 (C <sub>8</sub> )    | 反映灌溉水源与输配水系统保障农业灌溉用水程度                  | 当年实际灌溉供水量/相应水平年设计灌溉供水量                             |
|        |                        | 灌溉水有效利用系数 (C <sub>9</sub> )  | 灌区灌溉水资源利用效率和管理水平的重要参考指标                 | 赋存于计划湿润层的水量/水源总引水量                                 |
|        |                        | 节水灌溉面积率 (C <sub>10</sub> )   | 反映工程节水能力                                | 节水灌溉面积/设计灌溉面积                                      |
|        |                        | 配套设施完好率 (C <sub>11</sub> )   | 现有配套工程能否发挥既定效果                          | 配套设施完好数量/配套设施总数                                    |
|        |                        | 输水干渠衬砌率 (C <sub>12</sub> )   | 减少灌区输水损失的工程手段                           | 已衬砌渠道/输水干渠总长度                                      |
|        | 农艺节水 (B <sub>3</sub> ) | 用水计量率 (C <sub>13</sub> )     | 测算用水效率、用水定价、水费收取等事项的重要依据,是灌区用水管理的基础     | 干支渠用水口门计量数/干支渠用水口门总数                               |
|        |                        | 灌溉水分生产率 (C <sub>14</sub> )   | 反映作物灌溉水生产效率,衡量灌区农业生产水平的关键指标             | 单位灌溉水生产的作物产量                                       |
|        |                        | 灌区测墒灌溉普及率 (C <sub>15</sub> ) | 测定作物主要生育时期耕层土壤墒情,依据作物需水特性制定灌区供水计划       | 每万亩有效灌溉面积上的墒情点数量                                   |

## 1.2 评价指标权重确定

为避免专家主观因素造成偏差和客观赋权偏离实际指标重要程度,本次采用层次分析法和熵权法<sup>[10]</sup>的主客观耦合的综合赋权法确定评价指标权重。

层次分析法简称 AHP,由美国运筹学家 saaty T L 提出,将复杂问题按照相对重要权值逐层分解至简单因素的层次权重决策分析方法<sup>[11]</sup>,是常用主观赋权方法。层次分析法按照目标层、准则层、方案层的逻辑顺序将复杂的问题分解成不同层次,由下到上逐层构建重要程度判断矩阵求解当前层次各指标相对上层次对应指标的相对权重,最后由上到下计算各层指标对总目标的最终权重,计算方法详见参考文献[12-14]。熵权法确权过程主要包括决策矩阵构建、数据标准化、指标熵值计算、指标权重计算<sup>[15]</sup>。为保证评价结果更加科学可靠,采用主观赋权成果和客观赋权成果耦合后形成的综合权重来作

为评价指标的组合权重,来避免单独采用主、客观赋权所带来的偏差。将层次分析法和熵权法计算的权重结果对应第  $j$  个指标按式(1)进行耦合计算组合权重。

$$w_j = \frac{w'_j \times w''_j}{\sum_{j=1}^n w'_j \times w''_j}, \quad (1)$$

式中:  $w_j$  为综合权重;  $n$  为指标数量;  $w'_j$ 、 $w''_j$  分别为层次分析法和熵权法确定的第  $j$  个指标的权重。

## 1.3 综合评价

### 1.3.1 基于组合权重的排序

计算过程主要包括构建标准化矩阵消除评价指标性质、量值、量纲差异,将各指标无量纲值乘以相应的组合权重,最后项求和得到灌区的综合得分值。

1) 构建标准化决策矩阵  $V=(\theta_{ij})_{m \times n}$

$$\theta_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m x_{kj}^2}}, \quad (2)$$

式中： $i=1,2,\dots,m$ ； $j=1,2,\dots,n$ ； $x_{ij}$ 为第  $i$  个灌区第  $j$  个指标的量化值； $\theta_{ij}$ 为  $i$  个灌区第  $j$  个指标的标准化值。

2) 构建加权决策矩阵  $R=(r_{ij})_{m \times n}$

$$r_{ij}=w_j\theta_{ij}。 \quad (3)$$

3) 综合得分  $y_i$

$$y_i = \sum_{j=1}^n r_{ij}。 \quad (4)$$

依据  $y_i$  值的大小对所有灌区依照递减的顺序排列， $y_i$  值越大，灌区评价结果越优。

### 1.3.2 基于 TOPSIS 法的排序

TOPSIS 法 (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) 是多目标决策分析中对多个对象系统性评价和分析的方法<sup>[16]</sup>，通过判定评价对象与理想化目标的贴近程度完成优劣排序，关键过程如下。

1) 构建标准化决策矩阵，见式 (2)。

2) 构建加权决策矩阵，见式 (3)。

3) 计算理想解和负理想解

第  $j$  个指标的正理想解  $r_j^+$  与负理想解  $r_j^-$ ，式 (5)、式 (6) 分别表示效益型指标和成本型指标的正负理想解。

$$r_j^+ = \max (r_{ij}) \quad r_j^- = \min (r_{ij}) \quad (i=1,2,\dots,m), \quad (5)$$

$$R_j^+ = \min (r_{ij}) \quad r_j^- = \max (r_{ij}) \quad (i=1,2,\dots,m)。 \quad (6)$$

4) 计算每个方案与正、负理想解 的距离

$$G_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^+)^2}, \quad i=1,2,\dots,m, \quad (7)$$

$$G_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^-)^2}, \quad i=1,2,\dots,m。 \quad (8)$$

5) 各方案与理想解的贴近程度及决策

$$\varepsilon_i = \frac{G_i^-}{G_i^+ + G_i^-}, \quad i=1,2,\dots,m。 \quad (9)$$

依据  $\varepsilon_i$  值的大小对所有灌区依照递减的顺序排列， $\varepsilon_i$  值越大，灌区评价结果越优。

## 2 实例分析

### 2.1 研究对象选择

山东省共有大型灌区 48 处，中型灌区 447 处，有效灌溉面积占全省 64% 以上，是山东省主要粮食生产基地，也是农业节水的重要领域。随着大中型

灌区续建配套和节水改造工程等节水项目的实施，山东省大中型灌区工程完好率提高至 65% 以上，作物水分生产率提高至  $1.5 \text{ kg/m}^3$ ，亩均灌溉用水量降至  $170 \text{ m}^3$  以下，潘庄灌区、位山灌区分别入选水利部灌区水效领跑者名录。同时也出现诸如供水水源不稳定、工程老化、维修养护不及时、灌区面积缩减等问题。为综合评定山东省灌区节水水平，选择太河灌区、堽城坝灌区、安孙灌区等 14 处山东省不同类型大中型灌区为目标开展评价，目标灌区基本情况如表 2 所示。

表 2 灌区基本情况

Table 2 Basic situation of irrigation area

| 序号 | 灌区名称  | 灌区类型 | 位置  | 灌区规模 |
|----|-------|------|-----|------|
| 1  | 太河灌区  | 水库灌区 | 淄博市 | 大型   |
| 2  | 堽城坝灌区 | 引河灌区 | 泰安市 | 大型   |
| 3  | 安孙灌区  | 引河灌区 | 泰安市 | 中型   |
| 4  | 小埠东灌区 | 引河灌区 | 临沂市 | 大型   |
| 5  | 葛沟灌区  | 引河灌区 | 临沂市 | 大型   |
| 6  | 韩刘灌区  | 引黄灌区 | 德州市 | 中型   |
| 7  | 潘庄灌区  | 引黄灌区 | 德州市 | 大型   |
| 8  | 小开河灌区 | 引黄灌区 | 滨州市 | 大型   |
| 9  | 青峰岭灌区 | 水库灌区 | 日照市 | 大型   |
| 10 | 丹河灌区  | 水库灌区 | 潍坊市 | 中型   |
| 11 | 峡山灌区  | 水库灌区 | 潍坊市 | 大型   |
| 12 | 双河灌区  | 引黄灌区 | 东营市 | 中型   |
| 13 | 位山灌区  | 引黄灌区 | 聊城市 | 大型   |
| 14 | 谢寨灌区  | 引黄灌区 | 菏泽市 | 大型   |

### 2.2 评价指标赋值

评价指标赋值数据参考了包括灌区历年统计资料、山东省水利统计年鉴、山东省农田灌溉水有效利用系数测算报告、“十三五”续建配套与节水改造建设项目实施效果自评估、“十四五”续建配套与现代化改造工程可行性研究报告等资料。其中，“两费”落实率  $C_1$ 、供水记录齐全率  $C_4$ 、执行水价合理性  $C_5$ 、水费收缴率  $C_6$ 、节水培训与宣传  $C_7$ 、灌溉供水保障率  $C_8$ 、节水灌溉面积率  $C_{10}$ 、配套设施完好率  $C_{11}$ 、输水干渠衬砌率  $C_{12}$ 、用水计量率  $C_{13}$ 、灌溉水分生产率  $C_{14}$ 、灌区测墒灌溉普及率  $C_{15}$  的通过对统计数据的核算后量化赋值，节水考核制度建设落实  $C_2$ 、灌区信息化程度  $C_3$  采用专家组现场调查研判赋值，灌溉水有效利用系数  $C_9$  来自山东省农田灌溉水有效利用系数测算报告。2021 年 7 月，围绕山东省节水型灌区申报名录遴选，在省水利厅支持下，组织专家对所述 14 处灌区进行现场复核，完成指标量化赋值，经统计处理后，得到标准化决策矩阵如表 3 所示。

表 3 灌区节水评价标准化决策矩阵

Table 3 Standardized decision matrix for irrigation district water saving evaluation

| 目标灌区  | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | C <sub>6</sub> | C <sub>7</sub> | C <sub>8</sub> | C <sub>9</sub> | C <sub>10</sub> | C <sub>11</sub> | C <sub>12</sub> | C <sub>13</sub> | C <sub>14</sub> | C <sub>15</sub> | C <sub>16</sub> |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 太河灌区  | 0.20           | 1.00           | 1.50           | 1.50           | 0.33           | 0.14           | 1.00           | 0.30           | 0.522 6        | 0.49            | 0.47            | 0.51            | 0.76            | 1.39            | 0.19            | 0.20            |
| 堽城坝灌区 | 0.73           | 1.50           | 0.50           | 2.60           | 0.67           | 0.98           | 2.00           | 1.00           | 0.525 9        | 0.58            | 0.87            | 0.52            | 0.24            | 2.36            | 0.20            | 0.73            |
| 安孙灌区  | 0.20           | 1.00           | 0.50           | 2.10           | 0.55           | 0.50           | 5.00           | 1.00           | 0.481 3        | 0.45            | 0.70            | 0.40            | 0.84            | 1.51            | 0.46            | 0.20            |
| 小埠东灌区 | 0.75           | 1.50           | 2.50           | 1.90           | 0.75           | 0.17           | 4.00           | 0.54           | 0.512 4        | 0.43            | 0.79            | 0.77            | 0.61            | 1.50            | 0.20            | 0.75            |
| 葛沟灌区  | 0.91           | 1.50           | 3.00           | 1.80           | 0.75           | 0.10           | 4.00           | 0.60           | 0.506 4        | 0.45            | 0.73            | 0.90            | 0.77            | 2.39            | 0.06            | 0.91            |
| 韩刘灌区  | 1.00           | 3.00           | 3.00           | 4.00           | 0.72           | 1.00           | 5.00           | 0.89           | 0.499 7        | 0.45            | 0.99            | 0.34            | 1.00            | 2.16            | 0.20            | 1.00            |
| 潘庄灌区  | 1.00           | 3.00           | 5.00           | 4.50           | 0.59           | 1.00           | 7.00           | 1.00           | 0.523 4        | 0.76            | 0.93            | 1.00            | 0.97            | 2.29            | 0.07            | 1.00            |
| 小开河灌区 | 1.00           | 2.00           | 4.00           | 4.50           | 0.40           | 1.00           | 4.00           | 1.00           | 0.530 8        | 0.65            | 0.92            | 1.00            | 0.89            | 2.12            | 0.09            | 1.00            |
| 青峰岭灌区 | 0.95           | 1.60           | 0.00           | 2.00           | 0.41           | 0.00           | 5.00           | 0.64           | 0.503 9        | 0.45            | 0.54            | 0.25            | 0.39            | 2.23            | 0.20            | 0.95            |
| 丹河灌区  | 0.69           | 1.00           | 1.00           | 2.50           | 0.00           | 0.40           | 2.00           | 0.40           | 0.501 1        | 0.61            | 0.95            | 1.00            | 1.00            | 1.95            | 0.48            | 0.69            |
| 峡山灌区  | 1.00           | 1.00           | 0.00           | 2.00           | 0.20           | 0.50           | 4.00           | 0.66           | 0.528 3        | 0.40            | 0.24            | 0.12            | 0.60            | 2.47            | 0.03            | 1.00            |
| 双河灌区  | 1.00           | 2.00           | 2.00           | 3.50           | 0.29           | 1.00           | 5.00           | 1.00           | 0.527 8        | 0.49            | 0.70            | 0.90            | 1.00            | 1.05            | 0.20            | 1.00            |
| 位山灌区  | 1.00           | 3.00           | 4.50           | 4.60           | 0.57           | 1.00           | 7.00           | 1.00           | 0.525 3        | 0.76            | 0.90            | 1.00            | 0.96            | 1.89            | 0.04            | 1.00            |
| 谢寨灌区  | 0.50           | 1.50           | 0.00           | 2.70           | 0.40           | 1.00           | 3.00           | 1.00           | 0.508 2        | 0.47            | 0.65            | 0.10            | 0.97            | 1.57            | 0.08            | 0.50            |

### 2.3 评价结果与分析

邀请专家按照指标相对重要程度排序后,采用层次分析法得到主观权重 $w'$ =(0.026 8, 0.015 0, 0.023 0, 0.045 8, 0.071 5, 0.111 3, 0.026 9, 0.041 9, 0.077 0, 0.089 8, 0.094 8, 0.082 9, 0.170 6, 0.081 7, 0.040 9),根据代表灌区各项指标量化值采用熵权法得到客观权重 $w''$ =(0.048 5, 0.134 9, 0.115 1, 0.086 8, 0.036 2, 0.065 8, 0.047 2, 0.044 9, 0.033 2, 0.096 8, 0.032 1, 0.069 4, 0.035 3, 0.041 8, 0.112 1),将计算成果带入式(1)得到组合权重 $w$ =(0.022 7, 0.035 6, 0.046 3, 0.069 6, 0.045 3, 0.128 3, 0.022 3, 0.033 0, 0.044 7, 0.152 4, 0.053 4, 0.100 8, 0.105 5, 0.059 8, 0.080 3)。

将灌区节水评价标准化决策矩阵、组合权重按照式(2)一式(8)分别计算计算得到代表灌区基于组合权重、TOPSIS法节水评价排序结果如表4所示。

表 4 基于组合权重、TOPSIS法的排序结果

Tbale 4 Ranking results based on combination weight and TOPSIS method

| 目标灌区  | 组合权重       |    | TOPSIS 法 |    |
|-------|------------|----|----------|----|
|       | 综合得分 $y_i$ | 排序 | 与理想解贴近程度 | 排序 |
| 太河灌区  | 0.173 8    | 12 | 0.324 1  | 12 |
| 堽城坝灌区 | 0.242 9    | 7  | 0.529 0  | 7  |
| 安孙灌区  | 0.233 1    | 8  | 0.522 8  | 8  |
| 小埠东灌区 | 0.212 7    | 11 | 0.406 0  | 10 |
| 葛沟灌区  | 0.218 2    | 9  | 0.405 1  | 11 |
| 韩刘灌区  | 0.287 6    | 4  | 0.595 1  | 6  |
| 潘庄灌区  | 0.336 7    | 1  | 0.669 5  | 1  |
| 小开河灌区 | 0.307 9    | 3  | 0.645 7  | 3  |
| 青峰岭灌区 | 0.166 0    | 13 | 0.249 2  | 14 |
| 丹河灌区  | 0.264 4    | 6  | 0.604 2  | 5  |
| 峡山灌区  | 0.159 8    | 14 | 0.286 6  | 13 |
| 双河灌区  | 0.276 7    | 5  | 0.619 8  | 4  |
| 位山灌区  | 0.327 4    | 2  | 0.646 7  | 2  |
| 谢寨灌区  | 0.215 1    | 10 | 0.468 2  | 9  |

组合权重计算结果显示:管理节水指标为

0.370 1,工程节水指标为0.489 8,农艺节水指标为0.140 1,工程节水指标表现灌区是否具有发挥效益的基础、是否具备节水基本条件,仍然是目前影响灌区节水水平的关键,管理节水表现灌区能否合理运用灌区现有的工程节水能力,发挥其节水效果,因此也是表达灌区节水的重要部分,农艺节水指标是落实节水“最后一公里”的关键,是灌区节水不可缺少的组成部分,这与当前农业高效节水由单一工程节水向综合节水转变、由重建轻管向建管并重转变的工作思路是一致的。评价指标中超过0.10的评价指标有水费收缴率(0.128 3)、节水灌溉面积率(0.152 4)、输水干渠衬砌率(0.100 8)、用水量率(0.105 5)。灌区早期建设标准低、运行时间久、历史欠账多等因素影响,输水干渠衬砌、节水灌溉面积和用水量等工程节水仍是影响当前灌区节水主要内容,这在山东省“十四五”续建配套与现代化改造工程可行性研究报告中也有所体现。自2016年开展农业水价综合改革以来,水价、水费一直是发挥价格杠杆作用推进农业节水重要抓手,同时,水费收缴还是保障灌区稳定发挥效益的关键,与本次评价结果表现一致。

根据组合权重直接计算综合得分的排序结果与采用TOPSIS法计算与理想解贴近程度排序结果基本一致,潘庄灌区、位山灌区、小开河灌区等引黄灌区整体排序靠前,引河灌区堽城坝灌区、安孙灌区、葛沟灌区等引河灌区多处于中间位置,除丹河灌区外,其他水库灌区位于12~14名。潘庄灌区、位山灌区潘庄灌区、位山灌区分别于2019、2021年评定入选灌区水效领跑者名单,代表了山东灌区综合节水能力的最高水平,与本次评价结果一致;2021年山东省推荐位山、小开河、双河、丹河、韩刘、安孙灌区为首批节水型灌区<sup>[17]</sup>,与本次评价结

果基本一致。

山东省灌区节水水平评价排序结果整体来看表现为引黄灌区>引河灌区>水库灌区。其中,在管理节水指标中,引黄、引河、引库灌区综合“两费”落实率为 92%、65%、71%,供水记录齐全率为 79.4%、42%、40%,执行水价合理性为 49%、68%、24%,水费收缴率为 100%、44%、26%,节水培训与宣传次数为 5.17、3.75、3.00,管理指标中对结果影响较大的供水记录齐全率、水费收缴率均与排序结果一致,其他专家综合现场评定的指标也表现出与排序结果一致;工程节水指标中,引黄、引河、引库灌区综合灌溉供水保障率为 98%、79%、50%,灌溉水有效利用系数为 0.52、0.51、0.51,节水灌溉面积率为 60%、47%、49%,配套设施完好率为 85%、77%、55%,输水干渠衬砌率为 72%、64%、47%,用水计量率为 97%、61%、69%,除节水灌溉面积率和用水计量率在引河、引库灌区中有所变动外,其他与排序结果一致;农艺节水指标中,引黄、引河、引库灌区综合灌溉水分生产率表现为引库灌区>引河灌区>引黄灌区,与现状引黄灌区水源稳定、引河灌区水源波动性大、水库灌区灌溉水源不足保持一致,灌区测墒灌溉普及率表现为引河灌区>引库灌区>引黄灌区,现状引黄灌区面积设计面积较大,引河、水库灌区设计面积小,为此出现本情况也符合实际。

### 3 讨论

1) 针对评价排序结果中引黄灌区>引河灌区>水库灌区,分析来看主要原因是灌区灌溉效益能否充分发挥。山东省引黄灌区水源保障率高,一直是续建配套与节水改造、高标准农田建设的重点,2020 年山东省通过“引黄灌区农业节水工程”疏浚、整治骨干渠道 4 130 条、6 190 km<sup>2</sup>,配套渠系建筑物达到 3 400 座,通过水利工程配套、水费收缴规范、水价改革推进等进一步转变用水方式粗放、“浇地难”、“收费不公平”等问题。山东省引河灌区水源不稳定和工程设施老化,导致灌溉面积缩减,当前引河灌区专职于灌溉供水,灌溉面积缩减导致水费收入难以维持现阶段费用支出,影响灌区运转和效益的充分发挥。山东省水库大多承担着城市工业生活供水,在水资源日益严峻的形势下,灌溉供水有所压减,导致灌溉面积缩减,工程老化失修,水库灌区灌溉效益大不如前。

2) 山东省灌区在节水考核制度建设落实、执行水价合理性、灌区测墒灌溉普及率方面普遍存在节水短板。在节水考核制度建设落实上,少有灌区专

门开展,当前灌区管理干支渠骨干渠道的职能背景下,如何选择有效的灌区节水考核落脚点仍需各部门的协作。灌区执行水价仍普遍不足运行维护成本水价,位山灌区、韩刘灌区等部分灌区通过采用政府转移支付等方式弥补差额部分,保证了灌区运行经费,但一定程度上也对水价格市场杠杆作用产生制约。灌区测墒灌溉普及率不高,设计灌溉面积万亩平均测墒点不足 0.20,可探讨借助“十四五”灌区续建配套与现代化改造,合理布设具备远传功能的墒情监测仪器,为灌区滤定和执行供水计划、提前防范严重干旱事件等提供科学参考。

3) 基于组合权重的评价排序与基于 TOPSIS 法的评价排序结果基本一致,均能反映出灌区的节水状况。未来可探讨将组合权重等比例换算为百分制,制定相应的赋分原则,形成简便已操作的灌区节水评价手册,由灌区管理单位自发开展来指导本灌区的节水建设方向。

### 4 结论

1) 灌区节水评价指标通过层次分析法和熵权法组合赋权,管理节水指标权重为 0.370 1,工程节水指标权重为 0.489 8,农艺节水指标权重为 0.140 1。其中水费收缴率、节水灌溉面积率、输水干渠衬砌率、用水计量率是影响灌区节水评价结果的主要指标。

2) 山东省大中型灌区节水水平按灌区类型划分为引黄灌区>引河灌区>水库灌区,主要原因是灌区灌溉效益能否充分发挥,引河灌区和水库灌区需进一步核查灌区现状,开展节水工程项目,提高工程节水能力,发挥灌区效益。

3) 山东省大中型灌区在节水考核制度、执行水价、灌区测墒灌溉等方面普遍存在节水短板。基于本指标体系下的组合权重等比例换算为百分制评价方法,能够满足灌区节水自查需要,适应于山东大中型灌区节水评价。

4) 本次评价仅对灌区节水水平进行排序,可用于灌区间节水水平的对比分析,若对单独灌区节水短板进行评价分析仍需进一步开展工作。灌区节水水平影响因素复杂,在灌区不同发展阶段具有不同的核心要求,未来评价过程中仍需及时顺应灌区发展更新评价指标体系。

### 参考文献:

- [1] 吴景社,康绍忠,王景雷.节水灌溉综合效应评价指标的选取与分级研究[J].灌溉排水学报,2004(5): 17-19.
- [2] 彭致功,刘钰,许迪,等.灌溉用水管理评价指标体系构建及综合评

- 价[J]. 武汉大学学报(工学版), 2009, 42(5): 644-648.
- [3] 刘曦. 区域节水水平评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [4] 楼豫红, 康绍忠, 崔宁博, 等. 基于集对分析的区域节水灌溉发展水平综合评价模型构建与应用: 以四川为例[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2014, 46(2): 20-28.
- [5] 张丽娜, 朱玮, 于倩雯. 基于可变模糊集的区域节水灌溉发展水平评价研究[J]. 节水灌溉, 2018(5): 63-66, 69.
- [6] 赵春红, 张程, 张继群, 等. 区域节水评价方法研究和实践[J]. 水利发展研究, 2021(5): 66-70.
- [7] 姜新慧, 徐其士. 农业灌溉节水潜力评价[J]. 华北水利水电学院学报, 2012, 33(3): 27-29.
- [8] 崔远来, 董斌, 李远华, 等. 农业灌溉节水评价指标与尺度问题[J]. 农业工程学报, 2007(7): 1-7.
- [9] 袁勤俭, 宗乾进, 沈洪洲. 德尔菲法在我国的发展及应用研究: 南京大学知识图谱研究组系列论文[J]. 现代情报, 2011(5): 3-4.
- [10] 刘玘玘, 汪妮, 解建仓, 等. 基于熵权法的城市生态系统健康模糊评价[J]. 武汉大学学报(工学版), 2014, 47(6): 755-759.
- [11] 郭齐胜, 董志明, 单家元. 系统建模[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006: 292-297.
- [12] 崔金涛, 吐尔逊·买买提明, 张磊, 等. 基于层次分析法的新疆节水型社会建设综合评价[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(S2): 129-132.
- [13] 张丽萍. 基于层次分析法的水利工程滑坡体稳定性评估方法分析[J]. 水科学与工程学报, 2020(4): 75-79.
- [14] 舒卫萍. 山东省灌区综合评价[D]. 武汉: 武汉大学, 2005.
- [15] 王煜, 俞双恩, 丁继辉, 等. 基于熵权 TOPSIS 模型评价不同施氮水平下水稻灌排模式[J]. 排灌机械工程学报, 2020, 38(7): 720-725.
- [16] HWANG C L, YOON K. Multiple attribute decision making: Methods and applications[M]. New York: Springer-Verlag, 1981.
- [17] 王孝亮, 肖翔, 王征. 加强灌区节水管理 全面提升农业用水效率[J]. 山东水利, 2022(1): 14-16.

## Evaluation of Water Saving in Irrigation District Based on Combination Weight-TOPSIS Method

ZHANG Lizhi<sup>1,2</sup>, WANG Xin<sup>1,2\*</sup>, XIE Wenpeng<sup>1,2</sup>, XU Yuanzhi<sup>1,2</sup>

(1. Water Resources research Institute of Shandong province, Ji'nan 250013, China;

2. Shandong Irrigation Experiment Central Station, Ji'nan 250013, China)

**Abstract:** 【Objective】The purpose of this paper is to explore the method of evaluating the level of water saving in irrigation districts and to find out the shortcomings of water saving in different irrigation district types in Shandong Province. 【Method】The irrigation district water saving evaluation index system is built around three aspects: water saving in management, water saving in engineering and water saving in agriculture. The combination weights were calculated using hierarchical analysis and entropy weight method. Comprehensive evaluation and ranking of 14 representative irrigation districts in Shandong Province for water saving level using combined weights and TOPSIS method. 【Result】The combined weight of subjective and objective weighting are management water saving 0.370 1, engineering water saving 0.489 8 and agronomic water saving 0.140 1. The evaluation ranking using combined weights and TOPSIS method is basically the same, and the ranking results show that the Yellow Diversion Irrigation District > River Diversion Irrigation District > Reservoir Irrigation District. 【Conclusion】Whether the irrigation benefits of irrigation districts can be given full play is the core issue affecting different types of irrigation districts, where engineering water saving is still the main influencing factor of the current level of water saving in irrigation districts. In Shandong Province irrigation areas, there are widespread water-saving shortcomings in the implementation of water-saving assessment system construction, the implementation of water price rationality, and the popularization rate of soil moisture measurement irrigation. It is feasible to apply to self-evaluation of water saving in irrigation districts based on equiproportional conversion of combination weights to a percentage system.

**Key words:** evaluation of water saving in irrigation district; AHP; entropy weight method; combination weight; TOPSIS method

责任编辑: 赵宇龙