

基于改进的 TOPSIS 法测算灌溉用水有效利用系数

曾雪婷¹,张俊龙²,康 健³,李铁男⁴

(1. 首都经济贸易大学劳动经济学院,北京 100070;2. 青岛大学环境科学与工程学院,山东 青岛 266071;
3. 吉林省水利科学研究院,吉林 长春 130000;4. 黑龙江省水利科学研究院,黑龙江 哈尔滨 150800)

摘要:借助改进的 TOPSIS 法,优选灌区灌溉用水有效利用测算方法,并在此基础上进行灌区灌溉用水有效利用综合测算,从而提高灌溉用水有效利用系数的合理性、可操作性和准确性。以吉林省为例进行测算,结果表明:对于大、中型灌区(饮马河、白沙滩和星星哨灌区)典型渠段测量法是最优方法,对于小型灌区(五间房灌区)首尾测算法是最优方法;饮马河灌区、白沙滩灌区、星星哨灌区和五间房灌区灌溉用水有效利用系数分别为:55.9%、58.5%、50.8%和 52.2%。

关键词:改进的 TOPSIS 法;灌溉用水有效利用系数;灌区;吉林省

中图分类号:TV231.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2017)S1-0060-03

灌区的灌溉用水有效利用系数既能反映灌区的工程质量,又能反映灌区灌溉技术水平和灌溉用水管理水平,是衡量农业节水效果的关键指标^[1-2]。近年来,国内外学者在灌溉用水有效利用系数测算方面做了大量研究,常用的方法包括传统测算方法、首尾测算法、典型渠段测量法和动态测量法等^[2-4]。传统测算方法可以根据各级渠道的输水效率,判断各级渠道用水情况,反映灌溉工程质量及灌溉用水管理水平,但是其测定工作量较大;首尾测算法测算工作量较少,简便易行,但是该方法只能单纯地确定灌区的用水有效利用系数,不能分别反映渠系输水损失和田间水利用的情况;典型渠段测量法是通过典型渠道的灌溉用水有效利用系数反映灌区水资源利用情况,然而该方法对数据要求较高,且经验指标较多,易造成误差;动态测量法通过量化渠道损失水量的方法推求渠道水有效利用系数,计算机理较简单,存在局限性。各种灌溉用水有效利用系数测算方法的测算机理、适用范围各有不同,且利弊各异,针对特征性灌区开展灌区用水有效利用测算方法优选能够提高水资源利用现状评估的科学性和准确性,然而,国内外鲜有研究致力于灌溉用水有效利用系数测算方法适用性的综合评估。农业是吉林省经济用水部门中的用水大户,全省年均农业用水超过 90 亿 m³,而农业用水的利用率较低,节水潜力巨大^[5],本研究针对吉林省多个样点灌区,借助改进熵权的

TOPSIS 方法开展灌区用水有效利用测算方法优选,并在此基础上对多灌区、多方法的农业灌溉用水有效利用系数进行测算,以期为全省农业节水和提高农业水资源利用效率提供技术支持和科学依据。

1 研究方法

TOPSIS 法通过将统计数据转化为多维坐标系中的点,在空间中确定出参考点,即最优样本点和最劣样本点,然后计算各样本点到参考点的距离进行分析评价^[6]。本研究对 TOPSIS 方法的改进一方面体现在利用熵权法对标准化的原始数据矩阵进行改进加权,即依据决策者考虑的侧重不同,对相应属性的权重进行修正;另一方面体现在对评价对象与正理想解和负理想解的评价公式进行了改进。具体步骤如下^[7]:

步骤 1:建立包含 n 个属性和 m 个方案的决策矩阵 D :

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

步骤 2:利用熵权法修正各属性的权重。熵原本是一个热力学概念,它最先由 Shannon 引入信息论,现已在工程技术、社会经济等领域得到十分广泛的应用,利用熵可以解释离散型分布函数 P_i 的不确定性,对于第 k 个属性,其不确定性可用公式表示为

作者简介:曾雪婷(1981—),女,副教授,博士,主要从事水资源的高效利用与环境规划研究。E-mail:zxt1231@sina.com

$$E_k = -H \sum_{l=1}^m (P_{lk} \ln P_{lk}) \quad 0 \leq E_k \leq 1 \quad (2)$$

其中:

$$H = \frac{1}{\ln m} \quad P_{lk} = \frac{x_{lk}}{\sum_{l=1}^m x_{lk}}$$

式中: E_k 为不确定性; m 为方案数。据此,计算指标差异系数 d_k 及权重 W_k :

$$d_k = 1 - E_k \quad (3)$$

$$W_k = \frac{d_k}{\sum_{k=1}^n d_k} \quad (4)$$

如果决策者侧重属性 λ_k 的重要性,则可用下述公式修正其权重 W'_k :

$$W'_k = \frac{\lambda_k W_k}{\sum_{k=1}^n \lambda_k W_k} \quad (5)$$

步骤 3:将 D 矩阵进行标准化:

$$r_{lk} = \frac{x_{lk}}{\sqrt{\sum_{l=1}^m x_{lk}^2}} \quad (6)$$

$$v_{lk} = W'_k r_{lk} \quad (7)$$

步骤 4:寻找理想和负理想方案。理想方案 v_k^+ 是指中每一列中最大的正效应指标和最小的负效应指标。类似地,负理想方案 v_k^- 指每一列中最小的正效应指标和最大的负效应指标。

步骤 5:计算各方案与理想方案及负理想方案之间的距离 S_l^+ 和 S_l^- , 公式为

$$S_l^+ = \sqrt{\sum_{k=1}^n (v_{lk} - v_k^+)^2} \quad l = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

$$S_l^- = \sqrt{\sum_{k=1}^n (v_{lk} - v_k^-)^2} \quad l = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

步骤 6:计算各方案与负理想方案之间的距离的平均值 C_l :

$$C_l = \frac{S_l^-}{S_l^+ + S_l^-} \quad l = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

根据 C_l 值对方案进行分类, C_l 值越大代表方案效率越高。

2 案例分析

吉林省有 13 个大型灌区,包括饮马河灌区、白沙滩灌区、松沐灌区、前郭灌区、松城灌区等,有效灌溉面积 32.2 万 hm^2 ,其中提水灌区 5 个,有效灌溉面积 13.4 万 hm^2 ,自流灌区 8 个,有效灌溉面积 18.6 万 hm^2 ;7 个中型灌区,包括星星哨灌区、松其灌区、沙河灌区等,有效灌溉面积 2.3 万 hm^2 ;6 个小型灌区,包括五间房灌区、临江扬水灌区、达户扬水灌区等,有效灌溉面积 0.15 万 hm^2 ;主要的井灌地

区 12 个,包括坦途镇向阳村、万昌镇韩家村、甄祥灌区等。本研究选取饮马河灌区、白沙滩灌区、星星哨灌区以及五间房灌区 4 个灌区作为农业灌溉用水有效利用综合测算样点,其基本情况见表 1。

表 1 吉林省 4 个样点灌区情况

样点序号	样点灌区名称	灌区类型	灌区面积/ 万 hm^2	水源类型	地点
1	饮马河灌区	大型灌区	2.060	自流引水	九台市
2	白沙滩灌区	大型灌区	2.067	提水	镇赉县
3	星星哨灌区	中型灌区	1.100	自流引水	永吉县
4	五间房灌区	小型灌区	0.007	提水	敦化市

2.1 灌区用水有效利用测算方法优选

综合考虑传统测算方法、首尾测算法、典型渠段测量法和动态测量法 4 种灌溉用水有效利用测算候选方法本身特征以及各方法对样点灌区特征的适宜度,确保所优选方法可行性高,对样点灌区适用性强,构建优选指标体系见图 1。

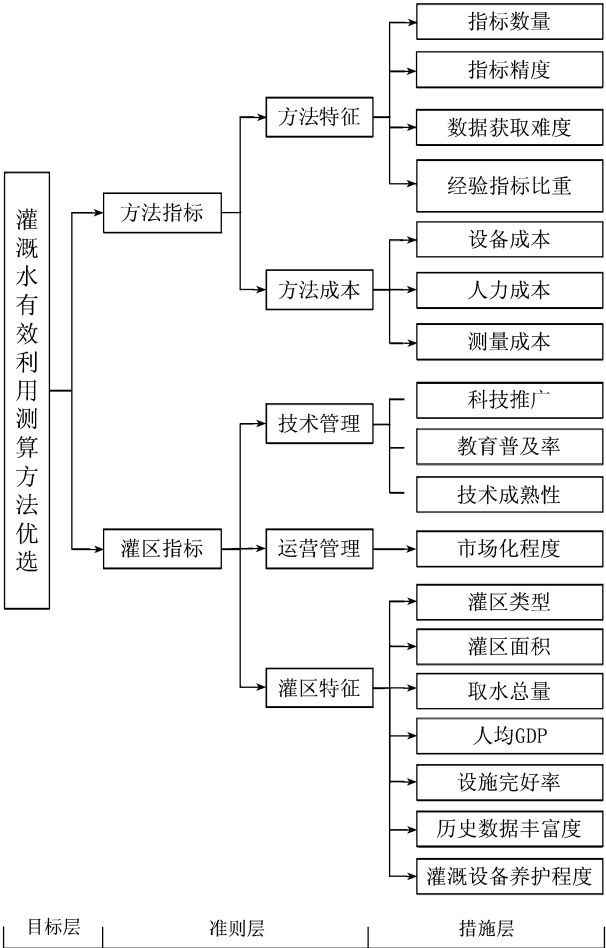


图 1 灌区用水有效利用测算方法优选指标体系

2.2 结果与分析

结合各灌区历史数据及现场观测数据,针对每个灌区按照灌溉用水有效利用测算方法优选指标体系进行打分,分数取值范围为 0~10,分数越高表明测算方法在所选灌区该指标项适应性越强。打分法

能够避免数据归一化处理步骤带来的系统误差,样点灌区方法优选综合评估指标取值见表 2,指标的取值依据专家评价系统、文献调查和实地观测获得。传统测算法方法成本指标值较低,这是因为一个灌区的固定渠道一般都有干、支、斗、农 4 级,大型灌区级数更多,而每一个级别的渠道又有多条,特别是斗、农渠数量更多,计算某级渠道的加权平均渠道水利用系数时,测定工作量很大;而首尾测算法不需要对各级渠道的渠道水利用系数进行测定,大大减少了测定工作量,因此该方法成本指标评分较高。技术管理、运营管理及灌区特征等灌区指标值则是通过实地调查、文献查阅获取,反映灌溉用水有效利用测算法对灌区该指标现状的适应性。饮马河灌区是吉林省大型及重点灌区,历史数据相对于其他中小型及井灌灌区较为丰富,对数据及参数要求较高的典型渠段测量法对于饮马河灌区的适应度较高;而首尾测算法所需数据较少,随之方法准确性较差,因此该方法在饮马河灌区的历史数据丰富度指标值较低。

将上述数据作为 TOPSIS 方法的标准矩阵,开展综合评估,得到 4 个灌溉用水有效利用测算法优选评估结果,4 个灌区利用传统测算法、首尾测算法、典型渠段测量法和动态测量法分别评估的得分为:饮马河灌区(0.2620,0.3270,0.8714,0.6538),白沙滩灌区(0.3676,0.3275,0.7352,0.6493),星星哨灌区(0.4155,0.3319,0.6707,0.5914),五间

房灌区(0.4181,0.5392,0.4540,0.4176)。可见,在饮马河灌区,典型渠段测量法为最优的测算方法,4 种方法的优劣次序为:典型渠段测量法优于动态测量法优于首尾测算法优于传统测算法;在白沙滩灌区,典型渠段测量法为最优的测算方法,4 种方法的优劣次序为:典型渠段测量法优于动态测量法优于传统测算法优于首尾测算法;在星星哨灌区,典型渠段测量法是最优的测算方法,4 种方法的优劣次序为:典型渠段测量法优于动态测量法优于传统测算法优于首尾测算法;在五间房灌区,首尾测算法是最优的测算方法,4 种方法的优劣次序为:首尾测算法优于典型渠段测量法优于传统测算法优于动态测量法。

经过优选,发现对于大、中型灌区(饮马河、白沙滩和星星哨灌区)典型渠段测量法是最优方法,因为大、中型灌区在科技推广、教育率和技术、数据储备方面有着较好的基础,这也为典型渠段测量法在灌区的实施提供了有利条件。对于小型灌区(五间房灌区)首尾测算法是最优方法,因为该方法不需要对各级渠道的渠道水利用系数进行测定,克服了典型渠段测量法、传统测算法等方法测定工作量大的缺点,适用于技术、数据储备较差的地区;另一方面,该方法只是单纯为了确定灌区用水有效利用系数,不能分别反映渠系输水损失和田间水利用的情况,在设施较为完备和数据较为丰富的大型灌区,该方法在功能上逊于其他方法。

表 2 样点灌区用水有效利用测算法优选评估指标取值

灌区	饮马河灌区				白沙滩灌区				星星哨灌区				五间房灌区			
指标	CT	SW	DX	DT	CT	SW	DX	DT	CT	SW	DX	DT	CT	SW	DX	DT
指标数量	5.5	3.2	9.1	7.4	5.5	3.2	9.1	7.4	5.5	3.2	9.1	7.4	5.5	3.2	9.1	7.4
指标精度	4.3	1.6	9.4	6.5	4.3	1.6	9.4	6.5	4.3	1.6	9.4	6.5	4.3	1.6	9.4	6.5
指标获取难度	7.4	8.6	2.4	5.3	7.4	8.6	2.4	5.3	7.4	8.6	2.4	5.3	7.4	8.6	2.4	5.3
经验指标比重	3.3	1.4	1.2	1.3	3.3	1.4	1.2	1.3	3.3	1.4	1.2	1.3	3.3	1.4	1.2	1.3
设备成本	2.2	5.6	3.8	4.3	2.2	5.6	3.8	4.3	2.2	5.6	3.8	4.3	2.2	5.6	3.8	4.3
人力成本	2.7	5.8	3.6	3.8	2.7	5.8	3.6	3.8	2.7	5.8	3.6	3.8	2.7	5.8	3.6	3.8
测量成本	2.5	6.2	3.8	4.2	2.5	6.2	3.8	4.2	2.5	6.2	3.8	4.2	2.5	6.2	3.8	4.2
科技推广	1.3	2.8	8.2	6.5	3.7	2.3	6.4	5.5	3.3	2.6	6.7	4.6	4.2	6.1	2.2	3.8
教育普及率	4.2	1.4	8.3	5.2	4.5	1.7	7.2	5.7	4.4	3.6	5.6	5.8	5.3	6.4	2.3	4.5
技术成熟性	5.6	2.2	7.3	6.5	4.4	2.2	6.4	6.7	4.3	2.5	6.7	4.6	5.4	7.5	3.6	4.8
市场化程度	3.3	3.3	7.8	8.3	3.5	2.3	7.8	7.6	3.4	4.5	5.4	6.3	6.3	8.2	2.6	4.2
灌区类型	2.2	5.4	9.5	6.8	2.4	6.4	8.5	7.3	3.6	7.4	5.5	8.7	9.3	5.6	4.1	6
灌区面积	2.3	5.3	8.5	6	2.4	5.2	8.3	6.2	4.5	6.3	5.1	4.2	6.6	5.1	4.2	4.8
取水总量	1.3	8.2	5.7	5.2	2.6	7.3	5.5	4.2	2.6	5.2	3.4	3.5	4.2	5.6	3.2	2.8
人均GDP	3.2	1.6	6.4	5.5	4.3	2.7	7.3	4.5	4.2	3.6	5.2	5.7	5.3	6.4	3.1	4.5
设施完好率	6.8	4.5	8.4	7.1	6.4	4.4	7.5	6.5	6.3	4.2	5.6	6.5	6.4	7.3	3.8	4.6
历史数据丰富度	5.2	3.5	8.4	7	6.6	5.6	8.4	7.2	6.2	4.6	4.2	5.6	3.5	8.2	1.7	2.6
灌溉设备养护程度	6.5	3.2	8.5	7.8	5.2	4.4	7.2	6.7	5.8	4.5	5.2	6.6	6.5	8.7	3.2	5.6

注：传统测算法标示为 CT，首尾测算法标示为 SW，典型渠段测量法标示为 DX，动态测量法标示为 DT。

格控制超采地区地下水资源的开采使用。

4 结 论

a. 加大松花江水资源的利用。目前哈尔滨市
区开发利用松花江水资源不足 3 亿 m³,过境水开发
利用率低,为缓解城市水资源的供需矛盾,应加强对
松花江水资源的利用。

b. 加大节水力度。哈尔滨市应从管理上、技
术上完善城市节水,针对大灌区主要问题,对症下
药,节约和保护水资源。

c. 加大水源保护力度。据统计,2011 年哈尔滨
市区有灌溉面积 8.026 万 km²。其中,水田 3.495
万 hm²,约占总灌溉面积的 44%。通过建立相对稳
定的灌区管理队伍,改进灌溉制度、制定农业用水
的政策法规、出台合理的水价政策、组织成立农民用
水户协会等一系列措施,提高水资源的有效利用率,促
进农业节水。①加强水(环境)功能区管理。按照
水功能区对水质的要求和水体的自然净化能力,核
定水域纳污总量,提出限制排污总量,制定分阶段控
制方案;定期对全市河道、水库水质进行监测,特别
是加强对饮用水水源保护区的水质监测;严格监管
新建、改建和扩建入河排污口;严格监控各企业入
河排污口的水质情况。②加强工业废水排放管理。严

格执行工业废水排放监督机制,对违规偷排污水的
工业企业进行严厉惩处,并录入企业信誉档案。定
期进行工业水平衡监测,核实工业废水排放量。
③加快污水处理厂建设。按照松花江流域哈尔滨
市境内水污染防治规划,新建和扩建污水处理厂。
位于城市内沟上游的污水处理厂出水将回用于内
沟综合整治后的景观用水,在规划新建的污水处
理厂中,建成或预留回用水设施建设用地。④水
源地保护。对于已经划定的磨盘山水库、西泉眼
水库水源保护区,严格水源保护管理,同时进行一
定的政策补偿,建立水质监测系统及水体污染事
件应急响应机制,确保城市饮用水安全。

参考文献:

[1] 王顺久,张欣莉. 水资源优化配置原理及方法[M]. 北
京:中国水利水电出版社,2007.
[2] 孙智一,吴晓蓉. 浅谈水系规划设计方案的优化比选
[J]. 水利科技与经济,2009,15(10):892.
[3] 陈宁,张彦军. 水资源可持续发展的概念、内涵及指标
体系[J]. 地域研究与开发,1998,17(4):37-39.
[4] 李令跃,甘泓. 论水资源合理配置和承载能力概念与可
持续发展之间的关系[J]. 水科学进展,2000,11(3):
307-313.

(收稿日期:2017-12-18 编辑:徐 娟)

(上接第 62 页)

在灌区灌溉用水有效利用测算方法优选的基
础上,进一步开展灌溉用水有效利用系数估算。首
先,基于多种方法对各灌区灌溉用水有效利用系数
进行测算,其次确定各方法权重,并在此基础上综
合估算

各灌区农业灌溉用水有效利用系数,结果见表 3。
饮马河灌区、白沙滩灌区、星星哨灌区和五间房灌
区灌溉用水有效利用系数分别为:55.9%、58.5%、
50.8%和 52.2%。

表 3 各灌区农业灌溉用水有效利用系数估算结果

灌区名称	传统测算方法		首尾测算法		典型渠段测量法		动态测量法		灌溉用水有效 利用系数/%
	系数/%	权重	系数/%	权重	系数/%	权重	系数/%	权重	
饮马河灌区	56.6	0.12	62.4	0.15	55.6	0.41	52.9	0.31	55.9
白沙滩灌区	57.2	0.18	59.2	0.16	53.7	0.35	52.8	0.31	58.5
星星哨灌区	53.3	0.21	58.9	0.17	47.0	0.33	48.9	0.29	50.8
五间房灌区	47.4	0.23	58.4	0.29	54.7	0.25	46.3	0.23	52.2

3 结 论

利用改进的 TOPSIS 法对吉林省饮马河、白沙
滩、星星哨和五间房 4 个样点灌区农业灌溉用水有
效利用测算方法进行优选,并测算 4 个灌区的灌溉
用水有效利用系数。结果表明:对于大、中型灌区
(饮马河、白沙滩和星星哨灌区)典型渠段测量法
是最优方法,对于小型灌区(五间房灌区)首尾测
算法是最优方法;饮马河灌区、白沙滩灌区、星
星哨灌区和五间房灌区灌溉用水有效利用系数分
别为:55.9%、58.5%、50.8%和 52.2%。

参考文献:

[1] 赵红洁,吕志远,霍星,等. 麻地壕黄河灌区灌溉水利用

系数分析研究[J]. 中国农村水利水电,2014(8):5-8.
[2] 高峰,赵竞成,许建中,等. 灌溉水利用系数测定方法研
究[J]. 灌溉排水学报,2004,23(1):14-20.
[3] 张立明,杨绍峰,孙伟东. 动态测定法在渠道水利用系
数测定中的应用[J]. 内蒙古水利,2012(6):25-26.
[4] 韩振中,裴源生,李远华,等. 灌溉用水有效利用系数测
算与分析[J]. 中国水利,2009(3):11-14.
[5] 胡成彦,刘列涛. 吉林省农业用水节水潜力分析[J].
吉林水利,2007(11):37-38.
[6] 周四军,庄成杰. 基于距离综合评价法的我国国民幸福
指数 NHI 测评[J]. 财经理论与实践,2008,29(115):
112-115.
[7] 曾雪婷,李永平,崔亮,等. 基于熵权 TOPSIS 法的水保
项目管理评价[J]. 人民黄河,2015,37(5):80-83.

(收稿日期:2017-11-13 编辑:王 芳)