

熵权法及模糊优选法在日光温室墙体综合性能评价中的应用

张欣¹ 王宏丽^{1*} 李凯² 张庆¹

(1. 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要 为科学评价日光温室墙体的综合性能,将熵权法与模糊优选法相结合,建立温室墙体性能多层次多目标的评价模型,利用信息熵理论确定各层评价指标熵权权重,最终采用模糊优选法得到墙体性能优属度。对20种模拟日光温室墙体的热性能和经济性进行综合评价,结果表明:评价对象平均熵值为97.0%,熵权权重在温度、热流、吸放热时间及造价4个方面所占比重分别为55.1%、19.4%、17%和8.4%,验证了该评价体系的科学性。该模型为评价温室墙体综合性能提供了新方法,将此评价方法与温室模拟模型相结合,可用于温室墙体的设计优化与性能预测。

关键词 熵权法;模糊优选法;评价模型;优属度;优化预测

中图分类号 S 625.1

文章编号 1007-4333(2015)05-0235-06

文献标志码 A

The application of weighted entropy and fuzzy optimization method in the evaluation of comprehensive performance of north wall in Chinese greenhouse

ZHANG Xin¹, WANG Hong-li^{1*}, LI Kai², ZHANG Qing¹

(1. College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

2. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract This paper establishes a multi-hierarchy and multi-objective evaluation model combined with weighted entropy method and fuzzy optimization method for the evaluation of heat preservation effect of north wall in Chinese greenhouse. The multi-hierarchy and multi-objective evaluation model acquire the membership degree of the performances of north walls which depends on the Information Entropy to ensure the weights of entropy of evaluating indexes in each hierarchy. The result shows that the average entropy value of evaluation model for 20 greenhouses is 97.0% and the entropy weight of temperature, heat flux, time and cost are 55.1%, 19.4%, 17% and 8.4% respectively. Consequently, this model takes a high validity by valuing the properties of heat preservation and economic efficiency on 20 kinds of north wall (simulation) in Chinese greenhouse. It offers an innovative and developed approach to assess the comprehensive performance of north wall in Chinese greenhouse and is also expected to be applied on the optimization design of greenhouse wall in the future, which can be incorporated with the greenhouse simulation.

Key words weighted entropy method; fuzzy optimization method; evaluation model; membership degree; optimization and prediction

日光温室墙体是决定温室热性能与造价的关键因素^[1-2]。目前日光温室墙体类型很多,典型的有三北地区应用广泛的砖夹苯板后墙^[3-4]、山东省寿光

市的厚土墙(4~8 m),及空心砌块后墙等。不同类型和厚度后墙的温室,其室内热性能及造价也不同。因此研究墙体特性与温室内热环境的关系,运用合

收稿日期:2014-10-25

基金项目:国家“863”计划资助项目(2013AA102407-5)

第一作者:张欣,硕士研究生,E-mail:jennifer_xin_zhang@qq.com

通讯作者:王宏丽,副教授,主要从事日光温室结构与节能、相变材料等研究,E-mail:daisy.h.wang@qq.com

理的评价方法建立温室墙体综合性能评价模型,对墙体的优化设计具有重要的现实意义。

近几年,对温室墙体性能的研究及评价已有一些成果^[5-7]。亢树华等^[8]以温度、放热量、放热时间等为主要指标对鞍山、盘锦等地的4种不同隔热材料墙体、2种不同外墙材料和3种不同厚度土墙墙体,进行观测分析及评价;马承伟等^[1]以温室墙体夜间放热量作为单项评价指标,采用有限差分算法对几种实测墙体的夜间传热量计算结果进行了非线性回归分析,建立了墙体夜间放热量简化计算的经验公式,并通过单项指标的比较对目标温室进行保温蓄热性能评价;郭慧卿等^[9]利用日光温室温度环境动态模拟程序(TEMP)就沈阳地区气候条件对20种不同北墙构造日光温室室内温度环境进行了逐时模拟,并以温度和造价为指标,评价了各种墙体的优劣,该评价方法采用综合分析法^[10],评价过程中主要凭借研究者的经验,主观性较强。以上研究过多依赖对单项或几项指标的定性分析,评价结果的准确性有待提高。

熵权法是一种科学的多目标评价方法。通过客观地确定评价指标的权重,能够有效避免人为主观确定权重的随意性^[11],且克服了传统数学方法中“唯一解”的弊端,可根据不同可能性得出多个层次

的问题解。鉴于该评价方法所需数据种类较多、信息量较大,一般先可采用数值模拟等方式得到所需的一系列评价指标后,再进行进一步客观、全面评价,本研究所选取的所有数据均为文献^[9]中TEMP模拟程序所得。除此之外,该方法又具有良好的科学性、兼容性及可扩展性^[12],故在很多领域被广泛应用。周惠成等^[13]建立了基于熵权的水库防洪调度多目标决策方法;郑健等^[10]建立了温室小型西瓜调亏灌溉综合效益模糊评价模型;张先起等^[14]提出了基于熵权的模糊物元模型对水质的综合评价;姚培龙等^[15]使用模糊综合评价方法建立了指标体系,对科技计划实施效果进行了系统评价。

本研究拟采用熵权法与模糊优选法相结合的方法,建立日光温室后墙性能综合评价模型,确定评价指标的客观赋权方法以期得到客观权重,并通过引入实例验证该评价法的科学性。

1 日光温室后墙综合性能评价模型的建立

1.1 评价对象的选取

为便于验证本评价方法的科学性,采用文献^[9]中沈阳地区20种实用墙体作为对比研究对象,具体见表1。

表1 文献^[9]中20种日光温室北墙构造

Table 1 20 Structures of north wall in No.9 reference

方案 Case	墙体构造(由内至外) Structure (from inside to outside)	方案 Case	墙体构造(由内至外) Structure (from inside to outside)
1	240 粘土砖+120 珍珠岩+120 粘土砖	11	500 加草粘土
2	120 粘土砖+120 珍珠岩+240 粘土砖	12	800 加草粘土
3	360 粘土砖+120 珍珠岩	13	1000 加草粘土
4	120 珍珠岩+360 粘土砖	14	1200 加草粘土
5	120 粘土砖+120 珍珠岩+240 加气混凝土	15	240 粘土砖+500 加草粘土
6	240 加气混凝土+800 加草粘土	16	240 粘土砖+800 加草粘土
7	500 岩石+800 加草粘土	17	240 粘土砖+1000 加草粘土
8	240 岩石+800 加草粘土	18	120 粘土砖+500 加草粘土
9	370 粘土砖	19	120 粘土砖+800 加草粘土
10	240 粘土砖	20	120 粘土砖+1000 加草粘土

注:表中“240 粘土砖”即厚度为240 mm的粘土砖,其他同此。

Note: “240 brick” listed in the table 1 refers to the thickness of brick is 240 mm. Others are the same.

1.2 评价指标结构层次的构建

本研究依据文献[9]中的数据类型,主要从日光温室综合热性能和经济性能 2 方面进行考虑,经过优选,选取温度、墙壁热流量、墙体吸放热时间、后墙

工程造价 3 层 4 个方面 15 项指标构建温室后墙保温性能的层次结构(表 2)。所有指标根据其具体内容,分属于效益型与成本型 2 类:效益型即指标越大越优;成本型即指标越小越优。

表 2 温室后墙性能综合评价结构

Table 2 Structure of comprehensive evaluation with north wall

第 1 层 The 1 st hierarchy	第 2 层 The 2 nd hierarchy	第 3 层 The 3 rd hierarchy
温室后墙性能模糊综合评价 Comprehensive evaluation with north wall	温度	平均气温,℃*
		最高气温,℃*
		最低气温,℃*
		空气温度日较差,℃
		平均地表温度,℃*
		最高地温,℃*
		最低地温,℃*
		最高墙温,℃*
		最低墙温,℃*
		墙壁热流量
		累计放热量,W/m ² *
		墙体失热占维护结构失热的比例,%
	墙体吸放热时间	累计吸热时间,h
		累计放热时间,h*
	后墙工程造价	后墙工程造价,元

注:带有*指标为效益型指标,其余指标为成本型指标。

Note:Indicators with * are efficiency type and others are cost type.

2 优选模型计算步骤

2.1 熵权法计算步骤

1)从n(本例n=20)个日光温室后墙墙体设计方案中优选出1个适用的方案,需要以m(本例m=15)个目标评价其优劣,则可建立由n个方案及其对应的m个评价指标组成的模糊决策特征值矩阵:

$$X = (x_{ij}) \tag{1}$$

式中: x_{ij} 为方案j指标i的特征值, $i=1,2,\dots,15$;
 $j=1,2,\dots,20$ 。

本例中第1~14项日光温室室内温度环境TEMP模拟指标特征值见文献[9],列举顺序见表2;第15项后墙工程造价以2012年发布的陕西材料信息价(第3期)为依据。根据式(1)得到20个方案的特征值矩阵:

$x =$

15.65	15.77	15.59	15.50	15.91	15.69	14.70	14.78	13.13	10.81	14.48	15.06	15.20	15.20	15.05	15.24	15.17	14.87	15.24	15.20
26.66	26.51	26.61	30.84	26.65	29.24	23.67	23.67	24.35	20.80	25.25	25.74	25.87	25.87	26.13	26.29	26.23	25.96	26.28	26.24
11.25	11.15	11.18	9.18	11.40	9.92	11.43	11.49	7.51	4.38	9.49	10.43	10.71	10.63	10.31	10.66	10.48	9.91	10.64	10.50
15.41	15.36	15.43	21.66	15.25	19.32	12.24	12.18	16.84	16.42	15.76	15.31	15.16	15.24	15.82	15.63	15.75	16.05	15.64	15.74
18.25	18.33	18.22	18.25	18.42	18.32	17.59	17.64	16.73	15.34	17.52	17.86	17.95	17.95	17.88	18.00	17.92	17.77	18.00	17.89
29.86	29.80	29.81	31.39	29.89	30.74	28.52	28.54	28.24	26.69	28.92	29.26	29.35	29.35	29.46	29.58	29.50	29.34	29.57	29.55
13.74	13.77	13.69	12.60	13.93	13.06	13.57	13.64	11.23	9.13	12.58	13.19	13.36	13.32	13.11	13.33	13.17	12.89	13.33	13.24
36.77	36.31	36.64	54.87	36.81	46.66	29.21	29.13	60.61	26.30	38.41	40.39	40.91	40.87	34.85	35.44	35.35	34.20	35.41	35.24
14.54	13.87	14.36	8.42	14.48	10.43	16.25	16.26	7.07	2.25	10.07	12.60	13.39	13.13	12.18	13.08	12.71	11.27	13.01	12.61
1 034.5	1 070.9	1 041.3	244.8	1 047.5	577.8	1 577.5	1 512.6	1 283.8	1 424.8	1 314.5	1 233.1	1 211.5	1 213.1	1 124.4	1 095.5	1 098.7	1 154.8	1 099.0	1 106.7
589.6	643.9	571.0	-114.0	698.1	197.4	656.6	692.3	35.6	-163.6	251.3	459.3	518.8	503.9	380.1	455.3	435.6	307.8	457.0	425.6
20	19	21	17	16	17	37	37	45	58	39	32	30	30	30	27	27	33	27	28
7	7	7	23	7	7	7	7	16	22	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
17	17	17	1	17	17	17	17	8	2	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
274	274	274	274	232	344	305	260	259	168	136	218	272	327	304	386	440	220	302	356

2)为进行多目标比较,需对各指标进行归一化处理。2类指标对优的相对隶属度 r_{ij} 如下:

效益型

$$r_{ij} = (x_{ij} - x_{i,\min}) / (x_{i,\max} - x_{i,\min}) \quad (2)$$

成本型

$$r_{ij} = (x_{i,\max} - x_{ij}) / (x_{i,\max} - x_{i,\min}) \quad (3)$$

式中: $x_{i,\max}$ 表示方案集中指标 i 的最大特征值; $x_{i,\min}$

$\mathbf{R} =$

0.949	0.973	0.937	0.920	1.000	0.957	0.763	0.778	0.455	0.000	0.720	0.833	0.861	0.861	0.831	0.869	0.855	0.796	0.869	0.861
0.584	0.569	0.579	1.000	0.583	0.841	0.286	0.286	0.354	0.000	0.443	0.492	0.505	0.505	0.531	0.547	0.541	0.514	0.546	0.542
0.966	0.952	0.956	0.675	0.987	0.779	0.992	1.000	0.440	0.000	0.719	0.851	0.890	0.879	0.834	0.883	0.858	0.778	0.880	0.861
0.659	0.665	0.657	0.000	0.676	0.247	0.994	1.000	0.508	0.553	0.622	0.670	0.686	0.677	0.616	0.636	0.623	0.592	0.635	0.624
0.945	0.971	0.935	0.945	1.000	0.968	0.731	0.747	0.451	0.000	0.708	0.818	0.847	0.847	0.825	0.864	0.838	0.789	0.864	0.828
0.674	0.662	0.664	1.000	0.681	0.862	0.389	0.394	0.330	0.000	0.474	0.547	0.566	0.566	0.589	0.615	0.598	0.564	0.613	0.609
0.960	0.967	0.950	0.723	1.000	0.819	0.925	0.940	0.438	0.000	0.719	0.846	0.881	0.873	0.829	0.875	0.842	0.783	0.875	0.856
0.366	0.350	0.362	1.000	0.368	0.713	0.102	0.099	0.151	0.000	0.424	0.493	0.511	0.510	0.299	0.320	0.317	0.277	0.319	0.313
0.877	0.829	0.864	0.440	0.873	0.584	0.999	1.000	0.344	0.000	0.558	0.739	0.795	0.777	0.709	0.773	0.747	0.644	0.768	0.739
0.593	0.620	0.598	0.000	0.602	0.250	1.000	0.951	0.780	0.885	0.803	0.742	0.725	0.727	0.660	0.638	0.641	0.683	0.641	0.647
0.874	0.937	0.853	0.058	1.000	0.419	0.952	0.993	0.231	0.000	0.481	0.723	0.792	0.775	0.631	0.718	0.695	0.547	0.720	0.684
0.905	0.929	0.881	0.976	1.000	0.976	0.500	0.500	0.310	0.000	0.452	0.619	0.667	0.667	0.667	0.738	0.738	0.595	0.738	0.714
1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.438	0.063	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.438	0.063	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.546	0.546	0.546	0.546	0.684	0.316	0.444	0.592	0.595	0.895	1.000	0.730	0.553	0.372	0.447	0.178	0.000	0.724	0.454	0.276

3)在 n 个方案中,定义相对最优方案隶属度 \mathbf{G} 与相对最劣方案隶属度 \mathbf{D} 分别为:

$$\mathbf{G} = (g_1, g_2, \dots, g_m)^T \quad (5)$$

$$\mathbf{D} = (d_1, d_2, \dots, d_m)^T \quad (6)$$

将矩阵 \mathbf{R} 归一化处理得矩阵:

$$\mathbf{B} = (b_{ij}) \quad (7)$$

由式(5)、(6)和(7)分别计算得到向量 \mathbf{G} 、 \mathbf{D} 和矩阵 \mathbf{B} ,其中 $\mathbf{R} = \mathbf{B}$ 。

$$\mathbf{G} = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)^T$$

$$\mathbf{D} = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)^T$$

4)评价指标 i 的熵值为:

$$H_i = -\frac{1}{\ln n} \left[\sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \right] \quad (8)$$

$$f_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{t=1}^n b_{it}} \quad (9)$$

式中: $0 \leq H_i \leq 1$,为使 $\ln f_{ij}$ 有意义,假定 $f_{ij} = 0$ 时, $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$; $i = 1, 2, \dots, 15$; $j = 1, 2, \dots, 20$ 。由式(8)和(9)得熵值向量: $\mathbf{H} = [0.980 \ 0.969 \ 0.979 \ 0.974 \ 0.980 \ 0.973 \ 0.980 \ 0.940 \ 0.974 \ 0.974 \ 0.956 \ 0.971 \ 0.966 \ 0.966 \ 0.962]$ 。可见,平均熵值为 97.0%,说明所选 15 项指标含有绝大部分原始信息^[11]。

表示方案集中指标 i 的最小特征值。

由于各目标间的不可公度性与冲突性,应将各目标特征值转化为相对隶属度。据式(2)和(3)将矩阵 \mathbf{X} 转换为其对优的相对隶属度矩阵:

$$\mathbf{R} = (r_{ij}) \quad (4)$$

式中: r_{ij} 为方案 j 指标 i 的特征值对优的相对隶属度。计算得矩阵:

5)利用熵值计算评价指标 i 的熵权为:

$$\omega_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \quad (10)$$

式中: $i = 1, 2, \dots, 15$ 。由式(10)可得熵权向量:

$$\mathbf{W}_e = [0.044 \ 0.067 \ 0.046 \ 0.057 \ 0.045$$

$$0.059 \ 0.045 \ 0.132 \ 0.056 \ 0.057 \ 0.096$$

$$0.063 \ 0.074 \ 0.074 \ 0.084]$$
。所得熵权权重在 4 个评价方面所占的比重分别为:温度 55.1%,热流量 19.4%,吸放热时间 17.0%,造价 8.4%。

2.2 模糊优选法计算步骤

根据加权广义欧式权距离与最小二乘法准则可得方案 j 的相对优属度:

$$u_j = \left\{ 1 + \frac{\sum_{i=1}^m [\omega_i (g_i - r_{ij})]^2}{\sum_{i=1}^m [\omega_i (r_{ij} - d_i)]^2} \right\}^{-1} \quad (11)$$

式中: $g_i = \bigvee_{j=1}^n r_{ij}$, $d_i = \bigwedge_{j=1}^n r_{ij}$ 。将信息熵权向量 \mathbf{W}_e 分别代入式(11),得到相对优属度向量为:

$$\mathbf{U} = [0.793 \ 0.792 \ 0.786 \ 0.562 \ 0.826$$

$$0.758 \ 0.645 \ 0.666 \ 0.261 \ 0.133 \ 0.714$$

$$0.806 \ 0.811 \ 0.778 \ 0.673 \ 0.669 \ 0.626$$

$$0.669 \ 0.714 \ 0.670]$$
。

2.3 计算结果及讨论

由方案相对优属度越大越优原则,20 种墙体构造方案排名结果见表 3。可见:

1)本研究排名与文献[9]排名基本一致。2 种排名均显示,方案 5 综合性能最优,方案 10 最劣。说明本研究的优选法和文献[9]中采用的 TEMP 模拟优选法结果具有一致性。

2)熵权法及模糊优选法较 TEMP 模拟优选法结果更准确合理。这不仅体现在前者增加了经济性指标,使评价体系更完整;而且能依据各自性能所占熵权权重的比例不同将方案的细微差别体现出来,如 TEMP 模拟优选法未能给出方案 3、4 的排名,且对方案 12、15 及 13、14、16、17、19、20 分别给出了同等的排名,而熵权法及模糊优选法却给每个方案以准确排名。说明熵权法及模糊优选法识别度更高,结果也更具实用性。

3)土墙厚度由 500 mm(方案 11)增至 800 mm(方案 12)、1 000 mm(方案 13)时,气温、地温增幅显著且经济性较高;超过 1 000 mm 后,随墙厚增加温度变化不显著,而经济性能变差。故与文献[9]排名不同,1 000 mm 加草粘土明显优于 1 200 mm 加草粘土(方案 14)。对土墙方案 11~14,本研究的排名结果与亢树华等^[8]实测结果也一致,证明了该综合评价方法的准确性。

4)240 mm 砖墙培 500 mm 加草粘土(方案 15)的室内温度仅略低于同墙厚培 800 mm 加草粘土(方案 16)的室内温度,说明培土厚度达到一定值时继续增加墙厚对增温贡献不大,且因其成本的增加导致优属度下降。

5)在墙体符合力学承重性能的条件下,从经济和热性能综合考虑,较薄粘土砖与较厚土墙的组合优于其他组合。

表 3 本研究中 20 种后墙方案综合性能排名及与文献[9]排名对比

Table 3 Ranks of 20 walls according to the comprehensive performance between this study and the reference[9]

方案 Case	相对优属度 Relative membership degree	本研究排名 New rank	文献[9]排名 Original rank	方案 Case	相对优属度 Relative membership degree	本研究排名 New rank	文献[9]排名 Original rank
1	0.793	4	3	11	0.714	9	10
2	0.792	5	2	12	0.806	3	6
3	0.786	6	—	13	0.811	2	5
4	0.562	18	—	14	0.778	7	5
5	0.826	1	1	15	0.673	11	6
6	0.758	8	4	16	0.669	13	5
7	0.645	16	9	17	0.626	17	5
8	0.666	15	8	18	0.669	13	7
9	0.261	19	11	19	0.714	9	5
10	0.133	20	12	20	0.670	12	5

3 结论及展望

1)基于熵权法和模糊优选法的温室墙体评价模型从 20 个方案及其对应的 15 个评价指标中优选出最佳日光温室模拟后墙方案 5,所得平均熵值为 97.0%,即所选所有指标能够完整反映出绝大部分的原始信息,且评价结果与文献[9]中的 TEMP 评价法以及其他研究^[8]中的实测结果吻合度较高,说

明该评价法可信可靠。

2)熵权权重在 4 个评价方面的比重分别为:温度 55.1%,热流量 19.4%,吸放热时间 17.0%,造价占 8.4%。该计算结果表明,造价在日光温室的综合性能评定中占不可忽略的比重,而本研究结果中后墙性能的综合排名与文献[9]排名的差异性能能够在一定程度上体现出造价对综合评价的影响。

3)本评价模型识别度高、反映原始信息全面,且

评价结果客观实用。在今后的研究中,该评价方法若能与相应的温室环境模拟模型结合,同时纳入日光温室湿度、光照等其他重要指标,可在温室或墙体结构优化和温室使用效果预测方面有广泛的应用前景。

参 考 文 献

- [1] 马承伟,卜云龙,籍秀红,等.日光温室墙体夜间放热量计算与保温蓄热性评价方法的研究[J].上海交通大学学报:农业科学版,2008,26(5):411-415
- [2] 李军,杨世宏.日光温室保温墙体的厚度确定和成本概算[J].宁夏农林科技,2002(4):28-29
- [3] 房树田,高跃春.EPS外保温复合墙体的保温层厚度设计研究[J].黑龙江工程学院学报,2004,18(1):57-59
- [4] 李成芳,李亚灵,温祥珍.日光温室保温板外置复合墙体的温度特性[J].山西农业大学学报:自然科学版,2009,29(5):453-457
- [5] 马承伟,陆海,李睿,等.日光温室墙体传热的一维差分模型与数值模拟[J].农业工程学报,2010,26(6):231-237
- [6] 张冲,王传奇,杨鲁伟,等.基于内表面对流和辐射换热的温室夜间热平衡分析及验证[J].中国农业大学学报,2013,18(3):172-177
- [7] 丁为民,汪小昆,李毅念,等.温室环境控制与温室模拟模型研究现状分析[J].农业机械学报,2009,40(5):162-168
- [8] 亢树华,房思强,戴雅东,等.节能型日光温室墙体材料及结构的研究[J].中国蔬菜,1992(6):1-5
- [9] 郭慧卿,李振海,张振武,等.日光温室北墙构造与室内温度环境的关系[J].沈阳农业大学学报,1995,26(2):193-199
- [10] 郑健,蔡焕杰,王健,等.温室小型西瓜调亏灌溉综合效益评价模型[J].农业机械学报,2011,42(7):124-129
- [11] 章穗,张梅,迟国泰.基于熵权法的科学技术评价模型及其实证研究[J].管理学报,2010,7(1):34-42
- [12] 张佳,姜同强.综合评价方法的研究现状评述[J].管理观察,2009(6):154-157
- [13] 周惠成,张改红,王国利.基于熵权的水库防洪调度多目标决策方法及应用[J].水利学报,2007,38(1):100-106
- [14] 张先起,梁川.基于熵权的模糊物元模型在水质综合评价中的应用[J].水利学报,2005,36(9):1057-1061
- [15] 姚培龙.科技计划实施效果评价指标体系建立及模糊综合评价[J].科技管理研究,2007,27(7):91-92

责任编辑:刘迎春