

模糊优选模型在流域梯级水电开发中的应用*

闫毅志, 李 玲

(昆明理工大学 电力工程学院, 云南 昆明 650051)

[摘 要] 针对流域梯级水电开发优先决策问题, 应用模糊优选模型对指标的相对优属度求解。首先对指标进行模糊化, 通过模糊多目标运算得到各目标的相对隶属度, 进而确定各个水电站在流域梯级开发中的位置。实例表明, 该方法简单、有效, 排序结果合理。

[关键词] 梯级; 水电开发; 模糊优选模型; 多目标决策

[中图分类号] TV 697. 1⁺ 2

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2005) 10-0139-04

自1996年国家制定“水电要实行流域、梯级、滚动、综合开发”的方针以来, 各流域均制订了梯级水电开发计划, 优先开发那些经济效益显著、对环境的影响小、在流域中占据重要地位的水电站, 使这些水电站成为流域水电综合开发公司的母体, 从而带动整个流域其他水电站的可持续发展。

在梯级水电开发中, 相邻两电站相互联系, 上游电站对下游电站有一定调控作用。通过上下游电站的联合运行, 可提高整个系统的经济效益, 能够充分利用流域资源, 因此梯级水电站合理开发顺序的确定对整个流域的水电开发尤为重要。传统的做法是采用专家打分法, 即邀请一定数量的专家, 对流域各个电站打分, 然后取其平均值来确定梯级电站的开发顺序。该方法虽然能够综合考虑各个专家的意见, 排序结果有一定的合理性, 但其缺点是存在很大的人为性, 排序结果可靠性不高。因此, 寻求新的排序方法就显得很有必要。针对梯级水电开发是一个多目标、多属性、多层次、多阶段的复杂决策过程的特点, 作者运用模糊优选模型, 以模糊集理论为基础, 通过确定目标指标隶属度的优劣, 将决策者的意图隐含在排序结果中, 避免了实际排序工作的困难, 以期能为梯级水电开发的决策者提供有意义的参考。

1 模糊优选模型简介

根据模糊集理论^[1~4], 设决策的指标数为 m , 待评价目标数为 n , 则 n 个目标的 m 个指标的决策特征矩阵为:

$$X = (x_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; x_{ij}$ 表示第 j 个目标的第 i 个指标的特征值。

为了增加可比性, 需要对特征值作归一化处理, 转化成相对优属矩阵: $R = (r_{ij})_{m \times n}$

对于特征值越大越优的指标, 其相对优属度为:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (2)$$

对于特征值越小越优的指标, 其相对优属度为:

$$r_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (3)$$

设各指标的权重向量是: $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$;

式中, $0 \leq w_i \leq 1, \sum_{i=1}^n w_i = 1$ 。在目标函数距优距离和距劣距离平方和最小的优化原则下, 得到多目标模糊优选模型的相对优属度为:

$$u_j = \frac{1}{1 + \frac{\sum_{i=1}^m [w_i (1 - r_{ij})]^2}{\sum_{i=1}^m (w_i r_{ij})^w}} \quad (4)$$

式中, $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。

2 应用实例

2.1 基本资料概况

资水分南、西两源, 南源以夫夷水为主源, 源于

* [收稿日期] 2005-03-02

[基金项目] 国家自然科学基金项目(50279024); 教育部科学技术研究重点项目(2003-58)

[作者简介] 闫毅志(1968-), 男, 陕西扶风人, 讲师, 硕士, 主要从事水电站运行与管理研究。

广西资源县越岭北麓的桐木江,流经广西的资源县和湖南的新宁县、邵阳市等县市。西源赫水源于湖南的城步县青界山黄马界,流经武冈县、隆回县等县市。两水在邵阳县双江口汇合后称为资水。资水从双江口起向北流经邵阳、新邵、冰水河、新化、安化、桃江等县市,于益阳以下的甘溪港注入洞庭湖。全长

713 km,流域面积28 142 km²。流域年均水资源量为236 8 亿m³,水能蕴藏量为245 7 万kW,可开发的水能资源为164 3 万kW。流域水利建设虽有一定发展,但水害仍然严重,影响当地经济的持续发展。资水流域水电开发主要技术指标如表1所示^[5]。

表1 资水流域水电开发主要技术经济指标

Table 1 Main technological and economic index of Zishui valley hydropower development

电站名称 Electric station name	装机容量/MW Capacity	年发电量/ (亿kW·h) Yearly electric charge	保证 出力/MW Guaranteeing power	迁移 人口数 Emigrant population	淹没 面积/hm ² Submerged area	投资/亿元 Investment	回收率/% Receiving percent
孔雀滩 Kongquetan	21	0.91	3.05	485	346.7	2.07	11.76
神滩渡 Shentandu	22.5	1.03	3.99	1 285	134.7	1.95	13.81
晒谷滩 Shaigutan	33	1.5	5.7	1 325	157.9	2.86	13.74
筱溪 Xiaoxi	80	3.83	13.25	5 310	44.7	3.21	25.86
浪石滩 Langshitan	30	1.3	4.5	1 765	12.8	2.36	14.28
东坪 Dongping	40	1.86	11.3	270	19.3	3.36	14.36
敷溪口 Fuxikou	180	7.93	45.43	33 080	909.7	16.1	14.49
金塘村 Jintangcun	42	2.06	11.84	4 835	86.7	3.85	13.92
白竹洲 Baizhuzhou	45	2.15	12.16	747	114.6	3.77	14.73
修山 Xiushan	60	2.92	17.44	15	160.9	3.52	19.88
史家洲 Shijiazhou	25.2	1.23	0	3 888	100.3	5.44	8.99
江子田 Jiangzitian	12	0.57	2.17	136	134.7	1.3	12.31
犬木塘 Quanmutang	40	1.34	7.89	14 664	747.3	13.44	10.18
洞口塘 Dongkoutang	48	1.77	16.2	10 415	426	7.56	13.93

2.2 指标选定及排序结果

根据水电站开发所涉及的多种因素,选用8个指标^[6,7](表2)定量描述电站优越性,分别是:单位千瓦投资(元/kW)、单位保证出力投资(元/kW)、单位

电能成本[元/(kW·h)]、效益费用比、内部回收率(%)、年发电量(亿kW·h)、每亿度电需迁移人口、每亿度电需淹没面积(hm²)。

表2 资水流域水电开发指标

Table 2 Hydropower development index in Zishui valley

电站名称 Electric station name	单位千瓦 投资/ (元· kW ⁻¹) Invest- ment each	单位保证 出力投资/ (元· kW ⁻¹) investment each guaran- teeing power	单位电能 成本/ (元·kW ⁻¹ · h ⁻¹) Investment each electric power	效益 费用比 Benefit/ cost	内部 回收率/% Internal receiving percent	年发电量/ (亿kW·h) Yearly electric power	每亿度电 需迁移 人口 Emigrant population each 0.1 billion kW·h	每亿度电需 淹没面积/ hm ² each 0.1 billion kW·h
孔雀滩 Kongquetan	9 857	67 869	2.27	0.98	11.76	0.91	533	5 714
神滩渡 Shentandu	8 667	48 872	1.89	1.17	13.81	1.03	1 248	1 962
晒谷滩 Shaigutan	8 667	50 172	1.91	1.16	13.74	1.5	883	1 579
筱溪 Xiaoxi	4 013	24 226	0.84	2.64	25.86	3.83	1 386	175
浪石滩 Langshitan	7 867	52 444	1.82	1.21	14.28	1.3	1 358	148
东坪 Dongping	8 400	29 735	1.81	1.22	14.36	1.86	145	156
敷溪口 Fuxikou	8 944	35 509	2.03	1.26	14.49	7.93	4 172	1 721
金塘村 Jintangcun	9 167	32 517	1.87	1.18	13.92	2.06	2 347	631
白竹洲 Baizhuzhou	8 378	31 003	1.75	1.26	14.73	2.15	347	800
修山 Xiushan	5 867	20 183	1.21	1.82	19.88	2.92	5	827
史家洲 Shijiazhou	21 587	0	4.42	0.74	8.99	1.23	3 161	1 223
江子田 Jiangzitian	10 833	59 908	2.32	1.02	12.31	0.56	243	3 607
犬木塘 Quanmutang	33 600	170 342	10.03	0.81	10.18	1.34	10 943	8 366
洞口塘 Dongkoutang	15 750	46 667	4.27	1.18	13.93	1.77	5 884	3 610

根据表 2, 由式 (1) 可得特征矩阵为:

$$X_{8 \times 14} = \begin{bmatrix} 9\ 857 & 8\ 667 & 8\ 667 & 4\ 013 & 7\ 867 & 8\ 400 & 8\ 944 & 9\ 167 & 8\ 378 & 5\ 867 & 21\ 587 & 10\ 833 & 33\ 600 & 15\ 750 \\ 67\ 869 & 48\ 872 & 50\ 175 & 24\ 226 & 52\ 444 & 29\ 735 & 35\ 509 & 32\ 517 & 31\ 003 & 20\ 183 & 0 & 59\ 908 & 170\ 342 & 46\ 667 \\ 2\ 27 & 1\ 89 & 1\ 91 & 0\ 84 & 1\ 82 & 1\ 81 & 2\ 03 & 1\ 87 & 1\ 75 & 1\ 21 & 4\ 42 & 2\ 32 & 10\ 03 & 4\ 27 \\ 0\ 98 & 1\ 17 & 1\ 16 & 2\ 64 & 1\ 21 & 1\ 22 & 1\ 26 & 1\ 18 & 1\ 26 & 1\ 82 & 0\ 74 & 1\ 02 & 0\ 81 & 1\ 18 \\ 11\ 76 & 13\ 81 & 13\ 74 & 25\ 86 & 14\ 28 & 14\ 36 & 14\ 49 & 13\ 92 & 14\ 73 & 19\ 88 & 8\ 99 & 12\ 31 & 10\ 18 & 13\ 93 \\ 0\ 91 & 1\ 03 & 1\ 5 & 3\ 83 & 1\ 3 & 1\ 86 & 7\ 93 & 2\ 06 & 2\ 15 & 2\ 92 & 1\ 23 & 0\ 56 & 1\ 34 & 1\ 77 \\ 533 & 1\ 248 & 883 & 1\ 386 & 1\ 358 & 145 & 4\ 172 & 2\ 347 & 347 & 5 & 3\ 161 & 243 & 10\ 943 & 5\ 884 \\ 5\ 714 & 1\ 962 & 1\ 579 & 175 & 148 & 156 & 1\ 721 & 631 & 800 & 827 & 1\ 223 & 3\ 607 & 8\ 366 & 3\ 610 \end{bmatrix}$$

根据式 (2)、式 (3) 可得指标相对特征矩阵为:

$$R_{8 \times 14} = \begin{bmatrix} 0\ 802 & 0\ 843 & 0\ 843 & 1\ 000 & 0\ 870 & 0\ 852 & 0\ 833 & 0\ 826 & 0\ 852 & 0\ 937 & 0\ 406 & 0\ 770 & 0\ 000 & 0\ 603 \\ 0\ 602 & 0\ 703 & 0\ 705 & 0\ 858 & 0\ 692 & 0\ 825 & 0\ 792 & 0\ 809 & 0\ 818 & 0\ 882 & 1\ 000 & 0\ 648 & 0\ 000 & 0\ 726 \\ 0\ 844 & 0\ 886 & 0\ 884 & 1\ 00 & 0\ 893 & 0\ 894 & 0\ 871 & 0\ 888 & 0\ 901 & 0\ 960 & 0\ 610 & 0\ 839 & 0\ 000 & 0\ 627 \\ 0\ 126 & 0\ 226 & 0\ 221 & 1\ 000 & 0\ 247 & 0\ 253 & 0\ 274 & 0\ 232 & 0\ 274 & 0\ 568 & 0\ 000 & 0\ 147 & 0\ 037 & 0\ 232 \\ 0\ 164 & 0\ 286 & 0\ 282 & 1\ 000 & 0\ 314 & 0\ 318 & 0\ 326 & 0\ 292 & 0\ 340 & 0\ 646 & 0\ 000 & 0\ 197 & 0\ 071 & 0\ 293 \\ 0\ 047 & 0\ 064 & 0\ 128 & 0\ 444 & 0\ 100 & 0\ 176 & 1\ 000 & 0\ 204 & 0\ 216 & 0\ 320 & 0\ 091 & 0\ 000 & 0\ 106 & 0\ 164 \\ 0\ 952 & 0\ 886 & 0\ 920 & 0\ 874 & 0\ 876 & 0\ 987 & 0\ 619 & 0\ 786 & 0\ 969 & 1\ 000 & 0\ 711 & 0\ 978 & 0\ 000 & 0\ 463 \\ 0\ 323 & 0\ 779 & 0\ 826 & 0\ 997 & 1\ 000 & 0\ 999 & 0\ 809 & 0\ 941 & 0\ 921 & 0\ 917 & 0\ 869 & 0\ 579 & 0\ 000 & 0\ 579 \end{bmatrix}$$

取指标的权向量是:

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_8) = (0\ 041\ 2, 0\ 061\ 7, 0\ 308\ 7, 0\ 046\ 3, 0\ 056\ 6, 0\ 072\ 0, 0\ 257\ 3, 0\ 156\ 2)$$

根据式 (4) 可得目标优属度为:

$$U = (0\ 853, 0\ 929, 0\ 939, 0\ 985, 0\ 943, 0\ 958, 0\ 892, 0\ 930, 0\ 959, 0\ 981, 0\ 749, 0\ 897, 0\ 000\ 4, 0\ 590)$$

应用模糊优选模型对资水流域梯级电站优劣进行排序, 并将排序结果与专家评估结果进行比较, 结

果见表 3。由表 3 可以看出, 技术指标较好、投资较低、淹没面积较小、移民人口少的一些电站排序优先, 这与专家在实际中的初步评估结果基本一致, 但敷溪口电站排序变化很大。虽然该电站技术指标较好, 但其投资、淹没面积和移民数等指标值较大, 综合考虑其性能并不理想。

与专家排序相比, 本方法既考虑了同一指标内部的优劣性, 又考虑了各个指标间的重要性, 还克服了专家凭经验来衡量指标间重要性的缺陷, 具有直观、简单的特点, 可广泛应用于多目标决策问题。

表 3 资水流域梯级水电开发 2 种排序结果的比较

Table 3 Comparative order of two calculation results in Zishui valley hydropower development

电站名称 Station's name	专家评估顺序 Expert's assessment order	模糊优选模型 计算排序 Fuzzy optimization pattern calculation order	电站名称 Station's name	专家评估顺序 Expert's assessment order	模糊优选模型 计算排序 Fuzzy optimization pattern calculation order
孔雀滩 Kongquetan	12	11	神滩渡 Shentandu	9	8
晒谷滩 Shaigutan	10	6	筱溪 Xiaoxi	1	1
浪石滩 Langshitan	6	5	东坪 Dongping	5	4
敷溪口 Fuxikou	4	10	金塘村 Jintangcun	8	7
白竹洲 Baizhuzhou	3	3	修山 Xiushan	2	2
史家洲 Shijiazhou	14	12	江子田 Jiangzitian	11	9
犬木塘 Quanmutang	13	14	洞口塘 Dongkoutang	7	13

3 结 语

- 1) 本文基于陈守煜^[1,2]模糊优选模型, 将模型应
- 2) 流域梯级电站开发是一项复杂的多目标决策

用到梯级水电站开发排序中, 扩展了该模型的应用, 也尝试了梯级水电开发排序的一种新途径。

过程,只有比较合理地制订出梯级电站开发的先后顺序,才能使整个流域开发走上可持续发展的道路。

因此,模糊优选模型能够比较准确地解决流域梯级水电开发的多目标决策问题。

[参考文献]

- [1] 陈守煜 系统模糊决策理论与应用[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1993
- [2] 陈守煜 工程模糊理论与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998
- [3] 陈守煜 模糊优选逆命题的解法及在防洪调度决策中的应用[J]. 水利学报, 2002, (3): 59- 63
- [4] 陈守煜 防洪调度多目标决策理论与模型[J]. 中国工程科学, 2000, (2): 47- 52
- [5] 胡飞明 多目标综合评价法在近期工程选择中的应用[J]. 水电能源科学, 2003, 21(2): 75- 77
- [6] 李晓英, 陈守伦, 袁建国 模糊综合评判法在防洪规划后评价中的应用[J]. 水电能源科学, 2003, 21(1): 58- 60
- [7] 杨具瑞, 方 锋, 田 媛, 等 多级泵站老化的模糊评价模式[J]. 水利水电技术, 2002, (4): 25- 26, 36

Application of fuzzy optimization pattern in hydropower development of multi-level valley

YAN Y i-zhi, L I L i-n g

(College of Hydroelectric Power Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650051, China)

Abstract: A method based on the fuzzy optimization pattern is presented for multi-objective decision-making in hydropower development of multi-level valley, and an optimal size of index is transferred. Indexes and weights are firstly fuzzified, then relative membership degree to objectives is obtained by fuzzy operation, and the place of power stations is defined in whole valley. The example shows that the method is convenient and effective.

Key words: multi-level; hydropower development; fuzzy optimization pattern; multiobjective decision-making