

Research on Comprehensive Evaluation System of Electricity-Operation-Safety of Power Transmission and Transformation Project Based on Combination Weight-TOPSIS Method

Yanfeng Guo

Beijing Electric Power Economic and Technological Research Institute, Beijing
Email: 625183438@qq.com

Received: Sep. 20th, 2017; accepted: Oct. 5th, 2017; published: Oct. 9th, 2017

Abstract

As a basic industry of national economy, China's Power Industry has a direct impact on economic development of society and improvement of people's living standard. The construction of power grid project has characteristics of large-scale investment, long-period construction and comprehensive wide-range influence. It is of great significance to deepen research on evaluation system of project's economy, operation and safety considering basic requirements of safety and stable supply of electric power. This paper establishes a comprehensive evaluation system of power transmission and transformation project's economy, operation and safety and puts forward a comprehensive evaluation model based on TOPSIS with combined weight. The applicability of this evaluation system and model is validated through project data mining and empirical calculation, providing a theoretical and practical guidance for innovation in theory and method of project evaluation and expansion of power transmission and transformation project evaluation in the future.

Keywords

Transmission and Transformation Project, Combination Weight, Analytic Hierarchy Process, Entropy Method, TOPSIS

基于组合权重-TOPSIS法的输变电工程建设经济 - 运行 - 安全综合评价体系研究

郭艳凤

北京电力经济技术研究院, 北京
Email: 625183438@qq.com

收稿日期: 2017年9月20日; 录用日期: 2017年10月5日; 发布日期: 2017年10月9日

摘要

电力行业作为国民经济基础产业, 直接影响着地区经济社会的发展和人民生活水平的提高。随着我国电力行业的快速发展和电力体制改革的不断深入, 电力项目建设周期长、投资额大等特点凸显, 对电力工程建设经济-运行-安全进行科学合理的综合评价并为后续项目积累经验显得尤为重要。本文主要对输变电工程建设经济、安全、运行三方面进行分析, 建立了输变电工程建设经济-运行-安全综合评价体系; 结合AHP法和熵权法确定组合权重; 建立基于组合权重-TOPSIS模型对项目进行排序, 为项目后续评价提供有效支撑; 最后通过实证计算分析, 验证了该模型的可行性与实用性。本文建立的综合评价模型方便简捷且方法比较成熟, 对以后的输变电工程项目评价工作有一定借鉴意义。

关键词

输变电工程, 组合权重, 层次分析法, 熵权法, TOPSIS

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着电力体制改革的不断深化, 输变电工程建设需要在资金有限的条件下更好地发挥投资效益, 客观、科学地评价输变电工程项目的实际效益水平并总结工作经验, 为下一步输变电工程建设提供科学合理的依据, 形成闭环管理。由于电力项目建设周期长、投资额大、影响因素多、复杂程度高, 在新建输变电工程目前评估的基础上选择项目建成后适当的时点进行后评价更能客观、准确地反映一个项目的效益和影响, 并为以后的项目管理和投资决策提供依据, 使项目决策科学化、合理化, 项目管理规范化、程序化, 项目效益投资比最大化[1]。随着电力行业的发展和知识经济的推动, 我国在电力项目综合评价的研究及应用上, 不论在深度还是广度上都取得了较大进展。国家电网公司根据项目在生产运行中发挥的作用, 把电网项目分为公共网络输变电项目、联网项目、专项输电项目。在我国大力推进电网跨区联网的背景下, 目前对已投运跨区联网项目的评价研究较多, 包括对运行状况、经济效益、社会效益和联网效益等的研究, 联网效益综合评价的计算与方法已经形成一定的模式。但是对公共网络输变电项目的研究较少, 具体的方法和体系还在探讨之中。

随着灰色理论、模糊数学、神经网络、熵等理论的发展, 越来越多的数学方法应用于电力工程建设综合评价。可以查到相关文献的方法有: 灰色关联分析方法、数据包络分析法、模糊综合评价、神经网络等方法[2]。文献[3]采用模糊 AHP 法来解决电网改造后评价定性指标的量化问题。文献[4]对电力项目综合评价的操作程序和操作方法进行了有益探索。文献[5]提出用过程网络思想来进行综合评价。文献[6]应用成功度法对电力建设项目进行了分析。很多文献对综合的评价方法进行了探讨, 如熵值客观赋权法[7][8]、人工智能与 AHP 法结合[9]等。其中模糊综合评价与其他方法相结合的应用较多, 如与灰色理论

[10]、BP神经网络算法[11]、RCM (Reliability Centered Maintenance)分析法[12]、德尔菲法[13]相结合等,多种评价方法综合应用有利于集成各种方法及模型的优点,使评价结果更为科学合理。但鉴于输变电工程建设的特殊性,以上方法应用于输变电工程项目综合评价的适应度与可操作性仍有所欠缺。

本文基于定性与定量相结合的思想,构建了输变电工程建设经济-运行-安全综合评价体系;利用AHP法确定主观权重,熵权法确定客观权重,结合主客观权重应用于TOPSIS法,建立了基于组合权重-TOPSIS模型。而后根据四个输变电项目的实际工程数据进行实证计算,为后文提出的相关建议提供有效支撑。

2. 综合评价指标体系的构建

2.1. 构建原则

建立科学合理的综合评价指标体系,是输变电工程综合评价工作的核心任务之一。在输变电工程综合评价过程中,往往采用经济效益评价为主的方法。但考虑到输变电工程的多目标性和影响因素的多样性,决策分析不仅应考虑经济因素,而且要充分考虑工程建设的运行效果、安全可靠性等其它因素。所以本文利用逻辑框架法、因果分析法等基本分析方法,系统综合地考虑影响输变电工程建设经济-运行-安全的因素,确定相关指标,构建评价指标体系。同时也遵循如下原则:

1) 全面性

输变电工程建设受多种因素相互作用、相互制约,所以指标体系要合理综合地反映评价的各个方面,统筹兼顾,并基于多因素、多标准进行综合评估,从而避免信息缺失造成分析结果与实际不符。

2) 客观性

输变电工程建设涉及许多部门,由于相互利益的冲突,加之难以排除的评价分析人员的偏好影响,专业的交叉以及心理活动因素等复杂情况,因而在定性分析时,坚持实事求是,遵守客观性至关重要。

3) 层次性

鉴于输变电工程建设过程涵盖内容的多层次性,指标体系也应为多层次结构,各指标应反映出各层次的特征,从不同方面、不同层次反映输变电工程的实际情况。在指标的设置上应按照指标间的层次递进关系,通过设置一定的梯度反映指标间的支配关系,从而消除指标间的相容性,保证指标体系的全面性、科学性。

2.2. 指标体系

本文拟从经济效益、运行效果安全可靠度3个方面对输变电工程进行综合评价。结合相关研究和输变电工程项目的特点,确定相关指标,构建评价指标体系,如图1所示。

在经济效益方面,本文选取内部收益率、资产负债率、总资产周转率和净资产增长率进行评价。其中:

① 内部收益率为使投资项目净现值等于0时的贴现率,是投资期望达到的报酬率,反映了项目的盈利能力。

② 资产负债率为负债总额与资产总额之比,是衡量项目负债水平及风险程度的重要标志,反映了项目的偿债能力。

③ 总资产周转率是指项目收入净额与平均资产总额之比,是综合评价全部资产经营质量和利用效率的重要指标,反映了项目的营运能力。

④ 净资产增长率是指企业本期净资产增加额与上期净资产总额的比率,是衡量企业总量规模变动和成长状况的重要指标,反映了项目的发展能力。

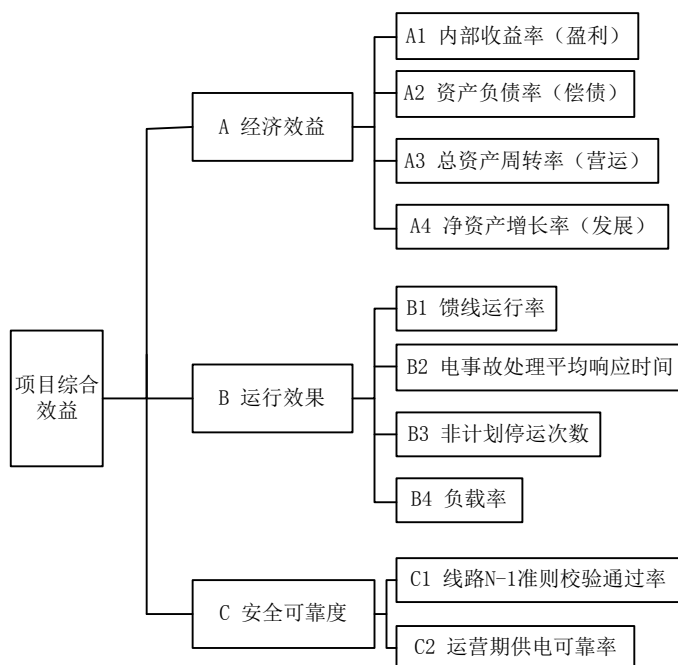


Figure 1. Power economy-operation-safety comprehensive evaluation system for power transmission and transformation project construction
图 1. 输变电工程建设经济 - 运行 - 安全综合评价体系

在运行效果方面，本文选取馈线运行率、电事故处理平均响应时间、非计划停运率和负载率进行评价。其中：

① 馈线运行率是配电网馈线承载负荷能力的指标，是判别馈线在邻接馈线发生故障时，衡量分担相应区段负荷并有效地进行切换的能力的指标。

② 电事故处理平均响应时间是运行维修人员在接到事故处理指令，到达事故现场的平均时间，反映了电网事故信息反映效率。

③ 非计划停运次数是设备在运营期内处于不可用且不是计划停运状态的次数，反映了项目运行的稳定性。

④ 负载率为实际容量与额定容量的比值，反映了项目实际负荷情况。

在安全可靠度方面，本文选取线路 N-1 准则校验通过率和运营期供电可靠率进行评价。其中：

① 线路 N-1 准则校验通过率是指在最大负荷运行方式下，变电站出线开关停运后，线路上全部负荷可通过不超过两次操作就能转移到其它线路供电的线路所占的比例，是供电可靠率考核的重要指标。

② 运营期供电可靠率是以某一统计期内，实际供电时间与本统计期全部用电时间的百分数表示，是供电可靠性的定量表示，也是供电质量的重要指标。

3. 基于组合权重-TOPSIS 模型

3.1. AHP 法

层次分析法(Analytical Hierarchy Process, AHP)是通过建立两两比较判断矩阵，逐步分层地将众多复杂因素和决策者个人因素结合起来，进行逻辑思维，然后用定量形式表示出来，是一种定性定量相结合的多属性决策分析方法[14]。它可将一些量化困难的定性问题在严格数学运算基础上量化；将一些定量、定性混杂的问题综合为统一整体进行综合分析。AHP 法首先把需要决策的问题按总目标、各层子目标、

评价准则直至具体的备选方案顺序分解为不同的层次，建立递阶层次结构和两两判断矩阵；然后利用求判断矩阵特征值向量的办法，求得每一层各元素对上一层元素的优先权重，最后再用加权求和的方法递阶求出各备选方案对总目标的最终权重。

3.2. 熵权法

熵(Entropy)是对系统状态不确定性的一种度量。熵权法在多目标决策评价中，通过各方案的固有信息得到各个指标的信息熵，信息熵越小，信息的无序度越低，其信息的效用值越大，指标的权重越大；反之，信息熵越大，信息的无序度越高，其信息的效用值越小，指标的权重越小[15]。熵权法正是利用此原理，在评价矩阵的基础上，确定各评价指标在综合处理过程中的权重。权值代表评价指标在竞争意义上的激烈程度，具有较强的客观性，排除了专家意见等易受主观因素影响的成分，是确定组合预测模型组合权重并提高组合预测模型精度的有效方法之一[16]。

3.3. TOPSIS 法

TOPSIS 即逼近于理想解的排序方法，是多目标决策中的一种常用且有效的统计分析方法，较为简单易行。它的主要原理是先选定一个理想点和一个负理想点，通过比较被评价对象与正理想点、负理想点的距离，选择较优的被评价对象。计算距离的方法通常采用欧式距离法。用这种方法可对所有的方案进行排序。

3.4. 基于组合权重-TOPSIS 模型

本文评价模型采用 AHP 法确定主观权重，熵权法确定客观权重，主客观权重综合赋权确定组合权重以反映各指标相对重要程度。将项目数据规范化矩阵与综合权重相乘，形成构造规范化矩阵，而后用 TOPSIS 法对构造规范化矩阵进行相对贴近度计算，并由此确定输变电工程建设经济 - 运行 - 安全综合水平的排名。

3.4.1. AHP 法确定主观权重

1) 在同级指标体系中，对 n 个属性的相对重要性，依据决策者两两比较各属性的重要性关系后，可给出判断矩阵： $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ ，其中 a_{ij} 表示第 i 个目标与第 j 个目标的相对重要程度。

2) 得到判断矩阵后，可以根据矩阵 A 的最大特征值 λ_{\max} ($\lambda_{\max} > n$)，对判断矩阵进行一致性检验。对通过一致性检验的矩阵，用几何平均法求得权重：

$$M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}, i = (1, 2, \dots, n)$$

$$\bar{\omega}_i = \sqrt[n]{M_i}$$

主观各属性权重为

$$\omega_i = \bar{\omega}_i / \sum_{i=1}^n \bar{\omega}_i \quad (1)$$

3.4.2. 熵法确定客观权重

1) 假设多属性决策矩阵： $B = [x_{ij}]_{n \times m}$ ，对矩阵进行规范化，则有 $p_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij}$ 。

2) 计算信息熵为 $E_i = -K \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}, i = (1, 2, \dots, m)$ ；表示所有方案对属性 X_i 的贡献总量。

3) 客观各属性权重为

$$\omega_i = (1 - E_i) / \sum_{i=1}^m E_i \quad (2)$$

3.4.3. 组合权重

采用主客观权重组合赋权, 即取 $w_{i综合} = \alpha w_{i主观} + (1-\alpha)w_{i客观}$, w_i 表示第 i 项权重; $\alpha (0 \leq \alpha \leq 1)$ 表示主观偏好系数。在偏差的平方和最小的前提下, 最佳的组合权重结果是主观 AHP 权重和客观熵权各占 50%, 即取 $\alpha = 0.5$ [17]。

主客观权重组合赋权既避免了单纯采用主观赋权法的主观偏见以及可能未能充分考虑客观规律的弊端, 又避免了单纯采用客观赋权法忽略了指标本身在实际运用中的重要程度, 甚至出现确定的权重与属性的实际重要程度相悖的现象。主客观权重综合赋权保证了评价结果与实际情况更加吻合, 更能反映输变电工程建设经济 - 运行 - 安全综合水平。

3.4.4. 基于组合权重-TOPSIS 模型

1) 输变电工程项目数据规范化矩阵与组合权重相乘, 形成构造规范化矩阵:

$$C = [Za_{ij}]_{m \times n}, Za_{ij} = p_{ij} \cdot w_{i综合} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

其中, p_{ij} 为输变电工程项目数据规范化矩阵元素, $w_{i综合}$ 为各指标主客观综合权重。

2) 确定正向、负向指标的正、负理想解。

正向指标: 正理想解: $f_i^* = \max(Za_{ij}), (i = 1, 2, \dots, m)$;

负理想解: $f_i' = \min(Za_{ij}), (i = 1, 2, \dots, m)$ 。

负向指标: 正理想解: $f_i^* = \min(Za_{ij}), (i = 1, 2, \dots, m)$;

负理想解: $f_i' = \max(Za_{ij}), (i = 1, 2, \dots, m)$ 。

3) 到正、负理想解的欧氏距离:

$$S_{ai}^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Za_{ij} - f_i^*)^2}, (i = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

$$S_{ai}' = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Za_{ij} - f_i')^2}, (i = 1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

4) 分类指标的相对贴适度:

$$C_{ai}^* = Sa_i' / (Sa_i^* + Sa_i'), (i = 1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

相对贴适度以离理想解最近且与负理想解最远为最优, 则相对贴适度越大则该方案越有优势, 因此相对贴适度大小即为项目建设经济 - 运行 - 安全综合水平的高低。最终根据各输变电工程项目综合评价指标的相对贴适度大小, 对项目建设经济 - 运行 - 安全综合水平进行排名。

4. 实证计算

本文利用中国的 4 个 220Kv 电压等级输变电工程项目的实际工程数据(见表 1)进行实证分析。其评价时点均为投产运行 2 年后。为论述方便, 分别将这 4 个输变电工程项目用 1、2、3、4 表示。

基于四个输变电工程项目的实际数据和上文构建的输变电工程建设经济 - 运行 - 安全综合评价体系, 结合式(1)、(2)、(3)分别求出各评价指标的主观、客观权重及组合权重, 结果如表 2、表 3 所示:

由表中数据分析可得, 考虑到输变电工程投资的复杂性和投运后运行效果的综合性, 主观赋权时较偏向于经济效益的评价; 而熵权法客观赋值时仅根据指标数据的无序度确定权重, 因为运行效果的具体指标数据熵值较小, 所以运行效果的权重较大。组合权重综合了主客观赋权, 使评价结果与实际情况更加吻合, 更能客观科学地反映输变电工程建设经济 - 运行 - 安全综合水平(图 2)。因此, 本文构建的基于组合权重-TOPSIS 模型的评价结果是较为稳定且合理可信的。

Table 1. 220 kV power transmission project statistics
表 1. 220 kV 输变电工程项目统计数据

分类指标	具体指标	单位	1	2	3	4
A 经济效益	A1 内部收益率	%	9.47	13.51	7.8	11.53
	A2 资产负债率	%	67.13	66.25	57.19	77.83
	A3 总资产周转率	%	1.41	1.35	1.08	1.37
	A4 净资产增长率	%	8.06	20.29	15.75	11.56
B 运行效果	B1 馈线运行率	%	0.34	0.73	0.55	0.62
	B2 电事故处理平均响应时间	h	5.23	3.15	4.77	3.69
	B3 非计划停运次数	次	3	6	1	4
	B4 负载率	%	29.11	36.98	12.24	36.42
C 安全可靠度	C1 线路 N-1 准则校验通过率	%	53.97	48.36	58.79	54.11
	C2 运营期供电可靠率	%	98.8	97.15	98.13	96.79

Table 2. Subjective, objective weight and combined weight of the three-level index
表 2. 三级指标的主观、客观权重及组合权重

三级指标	主观权重	客观权重	组合权重
A1 内部收益率	0.18	0.06	0.12
A2 资产负债率	0.14	0.02	0.08
A3 总资产周转率	0.05	0.01	0.03
A4 净资产增长率	0.08	0.15	0.12
B1 馈线运行率	0.08	0.10	0.09
B2 电事故处理平均响应时间	0.08	0.05	0.07
B3 非计划停运次数	0.10	0.41	0.25
B4 负载率	0.16	0.20	0.18
C1 线路 N-1 准则校验通过率	0.04	0.01	0.02
C2 运营期供电可靠率	0.09	0.00	0.05

Table 3. Subjective, objective weight and combined weight of secondary indicators
表 3. 二级指标的主观、客观权重及组合权重

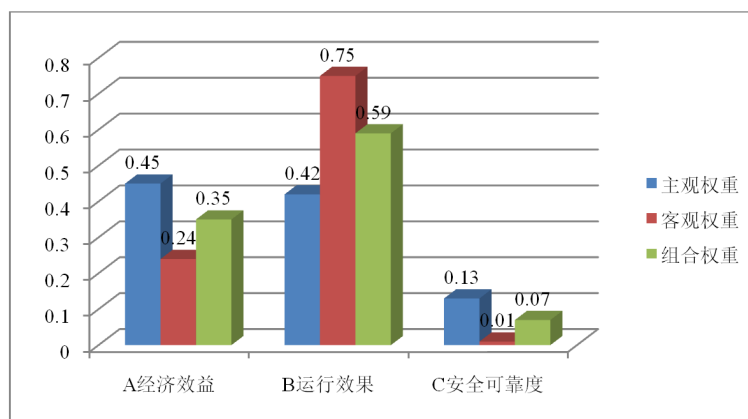
二级指标	主观权重	客观权重	组合权重
A 经济效益	0.45	0.24	0.35
B 运行效果	0.42	0.75	0.59
C 安全可靠度	0.13	0.01	0.07

最后, 根据式(3)、(4)、(5)、(6)利用 TOPSIS 法确定各项目的相对贴近度并进行排序(见表 4)。

从最后的评价结果可以看出, 项目 2 的经济 - 运行 - 安全综合水平最高, 处于领先水平, 项目 4 的经济 - 运行 - 安全情况良好, 项目 1 和项目 3 的经济 - 运行 - 安全综合水平处于落后地位。与实际情况相符, 说明基于组合权重-TOPSIS 模型应用于输变电工程建设经济 - 运行 - 安全综合评价的可行性与实用性。

Table 4. 220 kV power transmission project evaluation results**表 4.** 220 kV 输变电工程项目评价结果

项目	1	2	3	4
相对贴近度	0.4163	0.9200	0.1604	0.6218
排名	3	1	4	2

**Figure 2.** Comparison of subjective and objective weights of secondary indicators**图 2.** 二级指标主客观及组合权重对比图

5. 结语

本文从建立科学的评价指标体系和应用适合的评价模型两方面进行深入的研究。在对实际的输变电工程项目数据指标进行了整理及应用创新的基础上，构建了输变电工程建设经济 - 运行 - 安全综合评价体系。而后综合利用 AHP 主观赋权与熵权法客观赋权，主观权重与客观权重相互修正得组合权重，最后用基于组合权重-TOPSIS 模型进行输变电工程建设经济 - 运行 - 安全综合评价研究，有效减少了决策过程中过分依赖主观或客观权重造成的偏差，使得评价结果更能反映现实情况，弥补了传统评价方法的不足。

基于现有数据与本文模型，可结合计算机软件设计算法，实现输入原始数据即得评价结果，不但简化了评价工作，且能在一定程度上保证结论的可靠性，便于实现电算化，符合工程管理信息化的行业趋势。在实际的运用中，决策者在利用先进信息技术充分挖掘有效工程数据的前提下，应结合具体输变电工程项目的特殊性完善指标体系，使得方案比选结果更加科学可靠。该评价体系较为科学合理且简单易行，稍加改动也可广泛运用于其他领域的方案比较与优选决策过程中。

参考文献 (References)

- [1] 赵柯. 配电网项目后评价方法浅析[J]. 科学大众(科学教育), 2013(2): 170.
- [2] 何永秀. 电力综合评价方法及应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
- [3] 王广庆, 孙红星. 秦皇岛农村电网建设与改造项目后评价研究[J]. 农村电气化, 2003(3): 12-14.
- [4] Xian, Y. and Wang, L.J. (2001) Research on Processes of Electric Power Project Post Evaluation. *Journal of Tianjin Institute of Urban Construction*, 7, 124-127.
- [5] 和金生, 郑春东, 陈杭君. 电力建设项目后评价理论与方法研究[J]. 华北电力技术, 1998(7): 1-5.
- [6] Bai, Y.Q., Ye, P. and Liang, X.D. (2005) The Practice of Electric Power Project Post Evaluation. *Shanxi Electric Power*, 4, 60-62.
- [7] Song, P., Yang, Q.F. and Feng, B. (2007) Application of Entropy Coefficient Optimization Model of Multi-Criteria

- Decision in Post-Evaluation of Urban Rail Transit. *Proceedings of IEEE Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*.
- [8] Xiao, Y., Shao, D.G. and Wu, Y.T. (2007) The Methodology of Post-Evaluation of River Basin Harnessing Project for Sustainable Development Based on Entropy Theory. *Proceedings of IEEE Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*.
- [9] Chu, F.F. and Li, Y.J. (2006) A Comprehensive Evaluation Method of e-Commerce Websites Using GA, CA and AHP. *Proceedings of IEEE Conference on Management Science and Engineering*.
- [10] Wang, L., Zeng, Y.R. and Zhang, D.F. (2006) A New Approach to Evaluating the Criticality Class of Spare Parts Incorporating Fuzzy Comprehensive Evaluation and Grey Relational Analysis. *Proceedings of IEEE Conference on Computational Intelligence and Security*.
- [11] Ma, F.L., Li, S.P., He, Y.L., *et al.* (2005) Comprehensive Evaluation of the Cutting Performance of Sugarcane Harvester Based on Fuzzy Theory and Neural Network. *Proceedings of IEEE Conference on High-Performance Computing*.
- [12] 顾煜炯, 董玉亮, 杨昆. 基于模糊评判和 RCM 分析的发电设备状态综合评价[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(6): 189-194.
- [13] Chen, J.H., Sheng, D.R. and Li, W. (2002) A Model of Multi-Objective Comprehensive Evaluation for Power Plant Projects. *Proceedings of the CSEE*, **22**, 152-155.
- [14] 杨保安, 张科静. 多目标决策分析理论、方法与应用研究[M]. 上海: 东华大学出版社, 2008.
- [15] 曾明, 陈英杰, 胡献忠, 董达鹏. 基于多层次模糊综合评价法的我国智能电网风险评价[J]. 华东电力, 2011(4): 535-539.
- [16] 任玉珑, 刘焕, 望玉丽, 等. 基于熵权和支持向量机的中长期电力负荷预测[J]. 统计与决策, 2009(14): 46-48.
- [17] 舒欢, 刘文娜. 基于组合赋权-TOPSIS 模型的水利工程建设方案优选决策方法[J]. 工程管理学报, 2013.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7311, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: mm@hanspub.org