

DOI: 10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2016.01.022

基于能源监管信息的新能源接入系统能效评估方法研究

田茂君¹, 薛惠锋^{1,2}

(1. 西安理工大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710054;

2. 西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安 710072)

摘要: 基于政府能源监管角度, 综合分析了目前新能源开发和节能减排面临的问题。构建了以安全可靠、供需平衡、节能减排和经济高效为关键指标的评价指标体系, 采用模糊层次分析和综合权重方法对比分析了各级指标权重及其对评估结果的影响, 可以实现对区域电网新能源发展综合能效进行评估。对我国西部某省进行的实证分析表明, 目前新能源开发建设在低压配电等环节存在不足, 对提高节能减排综合能效有一定的不利影响, 针对分析结果给出了相关的政策建议。

关键词: 能源监管; 新能源; 评价指标体系; 层次分析法; 模糊判断; 对比分析

中图分类号: F206

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2016)01-0120-07

Analysis of evaluation method for new energy development in power grid based on energy regulatory authority information

TIAN Maojun¹, XUE Huifeng^{1,2}

(1. School of Economics and Management, Xi'an University of Technology, Xi'an 710054, China;

2. School of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Based on energy regulatory authority information, real situation and existing problem of new energy development, energy conservation and reduction of carbon dioxide emission are analyzed. A rational evaluation index system concerning main information of energy regulatory, order of safety, balance of production and consumption, energy saving and carbon emission reduction, economy is constructed. The combination of analytic hierarchy process and comprehensive weighted average method is used to analyze the weight of the index at various levels and the effect of evaluation results so as to achieve the comprehensive energy effective evaluation of new energy development of regional power grid. A positive analysis of some province in west china indicates that there exist some deficiencies in low-voltage power distribution links of the present-day new energy development and construction, being likely to have some unfavorable effect on the improvement of comprehensive effectiveness of energy saving and emission reduction. With an aim to analysis results, this paper presents some suggestions concerning relevant policies.

Key words: energy regulatory; new energy; evaluation index system; analytic hierarchy process; fuzzy judgment; comparison analysis

能源安全和电力可靠供应事关国家安全, 并直接影响到公众生活和社会稳定。在清洁化、低碳化、高效化的新要求下, 欧美等发达国家普遍加快了新能源、新材料、信息技术、节能环保等高新技术的研究和新兴产业的发展, 并对能源系统的运行开

展监测和预警^[1]。随着我国新能源相关科研和生产投入规模不断加大, 如何配合电能输送网络的建设, 对新能源开发建设、节能减排效果进行评估, 为政府管理工作提供经验和依据, 成为新能源发展面临的问题, 因此, 提出一套可以涵盖主要监管信息的能效

收稿日期: 2015-08-20

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目(2012AA052903)

作者简介: 田茂君, 男, 高级工程师, 博士生, 研究方向为经济管理研究。E-mail: tmj1972@sina.com

通讯作者: 薛惠锋, 男, 教授, 博导, 研究方向为系统工程与管理科学研究。E-mail: xhf0616@163.com

评价指标体系是非常必要的。另一方面,也需要全面科学的评价能源供给系统的综合效益,及时发现风、光等新能源发展过程中的问题,实现技术进步和社会效益均衡发展,保障新能源可持续发展^[2]。

在国内外已有的针对新能源供给系统评价标准体系的研究成果中,具有代表性的方法有:基于清洁发展机制制定的新能源项目量化评价体系^[3]、以城市运行环境和经济负担为主要影响因素的区域新能源项目量化评价体系^[4]、欧盟针对促进和发展高效网技术和设备的电网收益评估体系^[5],这些方法都对新能源的开发利用和低碳发展给予了特别关注。比较而言,欧美电网评价体系侧重于配电和用电,注重电网建成后的效果,而我国电网处于建设提升阶段,侧重于输电和配电方面,所以评价体系也倾向于电力建设相关专业领域,例如国家电网公司建立的电网安全与效益综合评价指标体系^[6],针对“两型电网”(资源节约型、环境友好型)的城市电网评价指标体系^[7]。

由于从不同专业领域的角度对能源供需某一方面进行评估时,都存在不能充分反映全社会实际用能效益的问题,所以本文从政府能源监管角度,综合分析了目前节能减排面临的形势,构建了基于层次分析和综合加权平均的评估方法及评估模型,提出了可以充分涵盖现有能源监管主要信息的新能源并网系统能效评价指标体系。通过进行实证分析,验证了评价方法的有效性,并根据分析结果提出了相关政策建议。

1 能效评估指标体系

1.1 关键指标选取原则

关键指标的选取采用各国政府部门普遍采用的评价指标体系准则——SMART 准则,即满足特定(Specific)、可观测(Measurable)、可得到(Attainable)、相关(Relevant)和可跟踪(Trackable)等五项基本要求。根据该准则,结合新能源并网系统评价主要目标,本文在提取关键性指标时确定如下原则:①数据全面,应能够充分反映目前新能源并网系统运行特点;②客观公正,关键性指标数据应来源于公共监测信息,可以反映各个环节实际情况;③直观实用,关键性评价指标数据应可以直接获取并进行计算分析;④典型有效,关键性评价指标数据应反映新能源并网系统运行重点问题,使得公共监管部门可以把握问题的主要方面。

1.2 关键指标选取方法

目前我国的能源监管信息系统基本是在原电力

监管信息系统基础上进一步拓展监管范围形成的,其主要监控内容包含对电力供需、电煤信息、节能减排、受电通道、电力运行概况、供需平衡、电力运行、电力安全等情况进行统计、监控、监测和预警。

本文分析关键指标的基础数据均来自该监管系统的监测数据。

1.3 运行环境分析

从全球范围来看,火力发电在电力结构中仍占有重要位置。

对我国而言,燃煤发电在未来较长时间内仍将在电力工业中发挥主导作用。但是,过多依赖煤炭的能源结构不仅不利于满足我国未来的能源需求,同时也将对环境造成巨大压力,故解决煤电为主和节能减排这一矛盾,使煤电清洁发电,成为今后发展的主要途径。

另一方面,电网作为电力行业和能源行业中的重要能源传输部门,是联系发电侧和用电侧的桥梁。但长期以来电网建设中存在“重输电、轻配电”的问题,因此,本文在确定电网通道监控指标时,分输、配电及相应不同电压等级确定评价指标。再者,我国城市和农村供电可靠性差异较大,而人们对电能质量的要求日益提高,因此也需要进行差异化评估。

在科学用电方面,通过移峰填谷,改变需求负荷特性,可以提高电能利用效率,减少一次能源的消耗,从而减少或延缓对新增发电装机容量的需求。

在有序用电方面,可通过行政和技术手段,缓解供需矛盾,促进电能资源优化配置。各地正在积极制定和完善有序用能预案,在保障经济发展和群众生活合理用电需求的同时,坚决抑制“两高”行业用电的过快增长,促进节能减排目标的实现。

1.4 新能源并网系统能效评估指标体系

根据上述电力生产、消费环境分析,结合评价目标要求^[8],本文构建了新能源并网系统能效评估指标体系,其中二级指标 9 个,三级指标 19 个,具体指标如图 1 所示。

安全可靠指标主要描述电网各级输电通道在实际运行方式的限制条件下可以为全社会提供的安全保障,是反映技术进步和社会效益的核心关键指标。

供需平衡指标描述的是调度区域内电力供应对负荷需求的相应裕度,为调整资源配置提供预警信息。

节能减排指标反映燃煤机组燃料消耗、碳排放情况以及电网的运行环保水平。

经济高效指标描述社会经济运行成本中电力消费部分以及电网建设的合理性。各分级指标的详细定义见表 1。

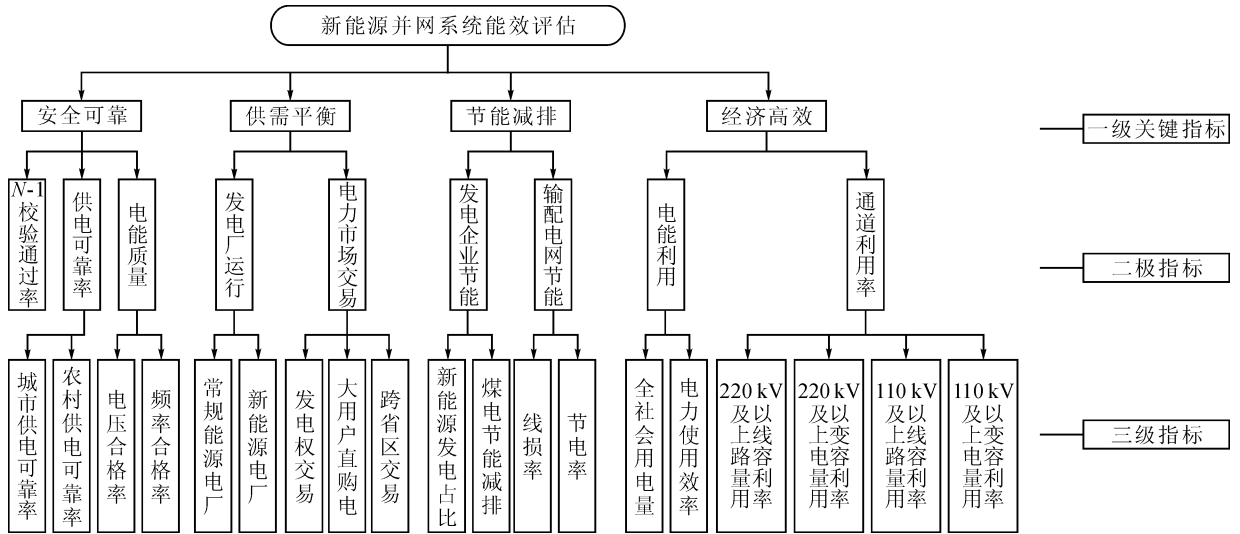


图 1 新能源并网系统能效评估指标体系

Fig. 1 The index system for power system with new energy

表 1 新能源并网系统能效评估指标定义

Tab. 1 Definition of the index system for power system with new energy

指标名称	指标含义	指标测度
N-1 校验通过率	检验电网结构强度和运行方式是否满足安全运行要求。	满足 N-1 的元件数量(个)/总元件数量(个)
城市供电可靠率	反映城市用户的平均非停电时间所占比例。	$(1 - \text{城市用户平均停电时间} / \text{统计期内时间}) \times 100\%$
农村供电可靠率	反映农村用户的平均非停电时间所占比例。	$(1 - \text{农村用户平均停电时间} / \text{统计期内时间}) \times 100\%$
电压合格率	实际运行电压在允许电压偏差范围内的累计运行时间和对应的总运行时间的百分比。	$(1 - \text{电压超限时间} / \text{总运行统计时间}) \times 100\%$
频率合格率	电网频率在允许偏差内的时间与统计时间的百分比。	$(\text{总合格时间} / \text{总运行统计时间}) \times 100\%$
常规能源电厂	反映水、火、核电机组实际利用率, 本文重点针对火电机组。	年平均运行小时数
新能源电厂	反映风、光发电机组实际利用率。	年平均运行小时数
发电权交易	以市场方式实现发电机组、发电场之间电量替代的交易行为, 也称替代电量交易。	电力市场中发电权交易的电量统计值, kW · h
大用户直购电	电厂和终端购电大用户之间通过直接交易的形式协定购电量。	统计区域内大用户直购电量及占比
跨省区交易	省区间通过直接交易的形式协定购电量执行情况。	统计跨省区的交易电量及其年增长率水平
新能源发电占比	风、光发电上网电量占区域内年销售电量的比例。	%
煤电节能减排	火电机组脱硫装置投运率、脱硫效率等。	%
线损率	电网的综合线损率水平。	综合线损下降指标/最大用电负荷
节电率	节电量占电网企业售电营业区内上年售电量的比例。	实际节约电量/年度电力电量节约指标
全社会用电量	统计区域内在一定时间段内的全社会用电总数。	kW · h

续表 1

指标名称	指标含义	指标测度
电力使用效率	反映统计区域内单位用电量产生的经济效益	生产增加值/同期耗电量,元/kW·h
220 kV 及以上线路容量利用率(220 线)	750 kV(500 kV,330 kV,220 kV)输电线路年运行最大功率占经济输送功率(或稳定限额)比例。	%
220 kV 及以上变电容量利用率(220 变)	750 kV(500 kV,330 kV,220 kV)主变年运行最大负载率。	%
110 kV 及以上线路容量利用率(110 线)	110 kV(35 kV,10 kV)配电线路最大负载率。	%
110 kV 及以上变电容量利用率(110 变)	110 kV(35 kV,10 kV)配变最大负载率。	%

2 分析模型

层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)是一种通过构建一个层次结构模型,再根据较少的定量信息来求解多目标、多准则和无结构特性的复杂决策问题的较为简便的决策方法^[9-13]。在实际应用中,由于综合判断一致性与判断矩阵一致性的差异及检验方面存在困难,且缺乏科学依据来表述一些指标的定量关系,因此基于模糊判断的层次分析法(FAHP)更适用于那些人在定性判断中起主要作用且对决策结果不能直接准确度量的场合^[14-19]。采用模糊层次分析的主要步骤简述如下^[20-21]。

2.1 构造模糊判断矩阵

首先设定包含 n 个评价指标的一组评价指标集合 X :

$$X = \{x_i\} (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中, n 为指标个数, x_i 元素为评价指标。

通过对其中第 i 个和第 j 个指标进行两两比较,可以构造 n 阶模糊判断矩阵 $(\delta_{ij})_{n \times n}$:

$$(\delta_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \cdots & \delta_{1n} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \cdots & \delta_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{n1} & \delta_{n2} & \cdots & \delta_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中,矩阵元素 δ_{ij} 为表示第 i 个和第 j 个指标相互间影响的重要性标度。当 $i = j$ 时, $\delta_{ij} = 0.5$; 当 $i \neq j$ 时, $\delta_{ij} = 1 - \delta_{ji}$, 与其它指标(例如第 k 个)关联 $\delta_{ij} = \delta_{ik} - \delta_{jk} + 0.5$, 其中 $i, j, k = 1, 2, \dots, n$ 。

2.2 确定评价模糊关系

不同的指标取值可以形成不同的评价等级,从而形成模糊评价结果集合 V :

$$V = \{v_i\} \quad (3)$$

式中,元素 v_i 为各指标组合对应的评价方案。

采用模糊分析时,对每一个指标评价可用隶属程度函数 μ_{M_i} 使得 v_i 的元素取值在 $[0, 1]$ 区间,本

文采用的模糊数 M_i 是一个三参数 (l_i, m_i, u_i) 定义的三角模糊数。这里 m_i 为 M_i 的隶属度为 1 时 x_i 中值; l_i 和 u_i 分别为评价取值下界和上界。当 $l_i \leq x_i \leq m_i$ 时, $\mu_{M_i}(x_i) = x_i/(m_i - u_i) - l_i/(m_i - l_i)$; 当 $m_i \leq x_i \leq u_i$ 时, $\mu_{M_i}(x_i) = x_i/(m_i - u_i) - l_i/(m_i - u_i)$; x_i 取其它值时, $\mu_{M_i}(x_i)$ 均为 0。

2.3 权重计算

每个指标的初始权重,即其模糊值 M_i 为:

$$M_i = \sum_{j=1}^n \delta_{ij} \times \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ij} \right)^{-1} \quad (4)$$

我们将一个模糊数大于其它模糊数的可能性 P 作为同其它模糊数比较后得到的最终权重。任意两个模糊数如 $M_1 \geq M_2$ 的可能性 P 定义为:

$$P(M_1 \geq M_2) = (l_1 - u_2) / ((m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)) \quad (5)$$

而一个模糊数大于其它模糊数的可能性定义为:

$$P(M \geq M_1, M_2, \dots, M_n) = \min P(M \geq M_i) \quad (6)$$

其中, M 为 M_i 中任意一个模糊数。

3 实证分析

本文以西北地区某省 2013 年新能源接入电网系统和工业运行监测面板数据为评估对象,选取 3 种评估方案:方案一给定安全可靠、供需平衡、节能减排和经济高效四个一级关键指标相同的权重;方案二进行综合层次分析;方案三采用模糊分层分析法进行评估。

3.1 数据预处理

以模糊层次分析为例,四个一级关键指标的一致性判断矩阵为:

$$\delta = \begin{bmatrix} 0.50 & 0.70 & 0.65 & 0.64 \\ 0.30 & 0.50 & 0.45 & 0.44 \\ 0.35 & 0.55 & 0.50 & 0.49 \\ 0.36 & 0.56 & 0.51 & 0.50 \end{bmatrix} \quad (7)$$

经计算后得到权重系数向量(0.396 0, 0.174 0, 0.210 5, 0.219 5)。对各级指标进行类似分析,得到不同方案指标的总目标权重值,见表 2。

表 2 评估指标权重
Tab. 2 Indicator weight value of evaluation

指标	权重		
	方案一	方案二	方案三
安全可靠	0.250 0	0.526 4	0.396 0
N-1 校验通过率	0.039 2	0.101 0	0.089 2
城市供电可靠率	0.100 5	0.250 2	0.163 3
农村供电可靠率	0.056 1	0.083 4	0.064 4
电压合格率	0.027 2	0.045 9	0.039 6
频率合格率	0.027 2	0.045 9	0.039 5
供需平衡	0.250 0	0.086 8	0.174 0
常规能源电厂	0.053 6	0.037 2	0.028 8
新能源电厂	0.071 4	0.027 9	0.056 4
发电权交易	0.017 9	0.004 6	0.015 0
大用户直购电	0.017 9	0.005 2	0.060 0
跨区域交易	0.089 3	0.011 9	0.013 8
节能减排	0.250 0	0.183 7	0.210 5
新能源发电占比	0.109 4	0.034 4	0.055 9
煤电节能减排	0.038 5	0.103 3	0.106 8
线损率	0.062 5	0.023 0	0.023 9
节电率	0.039 6	0.023 0	0.023 9
经济高效	0.250 0	0.203 1	0.219 5
全社会用电量	0.035 1	0.033 9	0.035 3
电力使用效率	0.027 3	0.067 7	0.070 7
220 变	0.047 8	0.038 3	0.041 2
220 线	0.109 0	0.037 2	0.030 2
110 变	0.009 4	0.011 9	0.024 8
110 线	0.021 4	0.014 1	0.017 3

3.2 评估计算

首先利用之前得到的权重评估得到各指标层指标及类别层指标的值,之后由专家按照表 1、2 中各级指标打分,例如某个典型值依次为:(100, 100, 90, 85, 90, 60, 80, 60, 80, 60, 100, 80, 90, 100, 80, 60, 60, 60, 70, 60),加权求和后即可得到总体评价情况,见表 3。

表 3 评估结果
Tab. 3 Evaluation result

指标	权重		
	方案一	方案二	方案三
安全可靠	95	96	96
供需平衡	67	68	72
节能减排	94	87	88
经济高效	63	64	64
总评价分	80	79	80

3.3 数据分析

该地区新能源开发建设效果综合评价较好。其中,采用不同分析方法时,安全可靠指标评价均良好,供需平衡和经济高效指标表现一般,节能减排指标在不同方案中的评估结果差异较为明显。现分别讨论如下:

系统在安全可靠方面评价较好,但在农村的供电可靠性和电能质量方面存在不足,故应加强农村电网建设与改造,提高农村供电水平。系统在供需平衡方面和经济高效方面均表现一般,该地区电力市场发展水平较低,且工业生产体系以重工业为主,轻工业和农业对该地区的经济发展有一定影响,使得一方面用电量增长较慢,另一方面对经济增长的贡献还主要体现在以原材料为主的重工业和资源密集型基础工业上。

该地区电力能源输送通道运行状况良好,但电网运行灵活性相对较差,用户参与度中的智能用电互动服务指数较低。

在评估结果中特别注意到,不同评估方法在节能减排方面的评估结果出现了一定的差别,可以看到该地区电网环保水平较高,而发电环保水平较低,这使得该地区电力运行数据中火电机组年运行小时数偏低,削弱了“上大压小”等节能改造措施的实际应用效果。因此,在积极引导燃煤发电企业加大技术投入、升级改造的同时,应深化网源协调调度工作,提高机组综合节能运行水平。

4 结论与建议

本文针对从不同专业领域的角度对能源供需某一方面进行评估时,不能充分反映全社会实际用能效益的问题,从电源、电网和用户侧等方面综合分析了目前新能源开发与节能减排面临的形势,以安全可靠、供需平衡、节能减排和经济高效为关键指标,

确定了可以充分涵盖我国现有省级能源监管主要信息的新能源接入系统能效评价指标体系,构建了基于模糊层次分析的评估方法及评估模型。实证分析表明,目前新能源开发建设在低压配电等环节存在一定不足,对节能减排综合能效的提高存在一定的不利影响。依据评估分析结果,对新能源建设提出如下政策建议。

1) 新能源消纳机制要反映电力供给成本 and 市场需求,为保障整体经济的可持续发展,应建立合理的上网—输配—消纳联动机制。进一步鼓励西部新能源集中开发地区发展优势产业,为风、光电消纳促销的低谷电价等方案试点提供政策支持,促进就地消纳。

2) 积极推动电力金融市场的建设,进一步完善电力市场交易规则和交易系统功能,稳步扩大市场交易份额,并加强电网外送通道的建设,使跨区域外送不再受制于通道限制。特别是应促进挖掘现有系统的调节能力,逐步推进辅助服务的市场化。

3) 在制定提升新能源消纳的政策时,积极采用市场规则代替强制的管制手段,给参与新能源消纳的电力市场交易主体更多的选择权,促进低谷时期风电的消纳,提升全社会节能减排综合能效。

参考文献:

- [1] HE Y, XIA T, LIU Z, et al. Evaluation of the capability of accepting large-scale wind power in China[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 19(1): 509-516.
- [2] CRISTÓBAL J R S. A multi criteria data envelopment analysis model to evaluate the efficiency of the renewable energy technologies[J]. *Renewable Energy*, 2011, 36 (4): 2742-2746.
- [3] 赵小平, 薛惠峰, 宋立强. 能源和环境与区域经济协调发展研究[J]. *环境保护科学*, 2014, 40(1): 57-60.
ZHAO Xiaoping, XUE Hui Feng, SONG Liqiang. Research on the energy, environment and economy coordinated development [J]. *Renewable Energy*, 2014, 40 (1): 57-60.
- [4] 刘尚余, 赵黛青, 陈勇. 可再生能源领域 CDM 项目标准评估体系的构建[J]. *能源与环境*, 2007, 26(6): 37-40.
LIU Shangyu, ZHAO Daiqing, CHEN yong. Establishment of standard evaluation system for CDM projects in renewable energy field [J]. *Energy and Environment*, 2007, 26(6): 37-40
- [5] 王波, 常杪, 李宗轩, 等. 中国城市新能源发展决策支持指标体系构建及应用[J]. *可再生能源*, 2013, 31 (11): 141-144.
- WANG Bo, CHANG Miao, LI Zongxuan, et al. China city new energy development decision support index system construction and application[J]. *Renewable Energy Resources*, 2013, 31(11): 141-144.
- [6] 国网北京经济技术研究院. 电网发展评估方法与模型研究[R]. 北京: 国网北京经济技术研究院, 2010.
State Power Economic Research Institute. Analysis on grid comprehensive assessment systems and model[R]. Beijing: State Power Economic Research Institute, 2010.
- [7] 程超, 周渝惠, 岳开伟, 等. 城市绿色电力战略环境评价指标体系[J]. *中国电力*, 2012, 45(3): 76-80.
CHENG Chao, ZHOU Yuhui, YUE Kaiwei, et al. Indicators system of strategic environmental assessment for urban green electricity power [J]. *Electric Power*, 2012, 45(3): 76-80.
- [8] 卢志钢, 张炜, 王新华, 等. 多目标多层次模糊综合评价在电力企业运行状况评价中的应用[J]. *电网技术*, 2002, 26(2): 54-57.
LU Zhigang, ZHANG Wei, WANG Xinhua, et al. Application of multi-object multi-layer fuzzy comprehensive evaluation of economic operation situation of electric power enterprise [J]. *Power System Technology*, 2002, 26(2): 54-57.
- [9] 曹卫兵. 可再生能源产业技术评价与选择研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
CAO Weibing. Research on the assessment and selection of renewable energy industrial technology [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2011.
- [10] 李媛媛, 牛东晓, 李韩房, 等. 电能在终端能源中的竞争力分析评价指标体系的构建研究[J]. *华东电力*, 2008, 36(5): 517-521.
LI Yuanyuan, NIU Dongxiao, LI Hanfang, et al. Construction of competence assessment systems for electricity in final energy [J]. *East China Electric Power*, 2008, 36(5): 517-521.
- [11] 耿金花, 高齐圣, 张嗣瀛. 基于层次分析法和因子分析的社区满意度评价体系[J]. *系统管理学报*, 2007, 16(6): 673-677.
GENG Jinhua, GAO Qisheng, ZHANG Siying. Community satisfaction evaluation system's research based on AHP and factor analysis [J]. *Journal of System & Management*, 2007, 16(6): 673-677.
- [12] VIDAL L A, FRANCK M, BOCQUET J C. Using a delphi process and the analytic hierarchy process (AHP) to evaluate the complexity of projects [J]. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38(5): 5388-5405.

- [13] AKTAS A, CEBI S, TEMIZ I. A new evaluation model for service quality of health care systems based on AHP and information axiom[J]. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2015, 28(3): 1009-1021.
- [14] MOSADEGHI R, WARNKEN J, TOMLINSON R, et al. Comparison of Fuzzy-AHP and AHP in a spatial multi-criteria decision making model for urban land-use planning[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2015, 49(1): 54-65.
- [15] 高彩萍, 李景平. 地方政府执行力模糊层次评价模型的构建[J]. *统计与决策*, 2014, 30(14): 41-43.
GAO Caiping, LI Jingping. Construction of evaluation model of executive capability of local government based on fuzzy analytic hierarchy process[J]. *Statistics and Decision*, 2014, 30(14): 41-43.
- [16] 刘泽双, 章丹, 康英. 基于遗传算法的模糊综合评价法在科技人才创新能力评价中的应用[J]. *西安理工大学学报*, 2008, 24(3): 376-381.
LIU Zeshuang, ZHANG Dan, KANG Ying. Application of fuzzy comprehensive evaluation based on genetic algorithm to evaluation of innovative capability of Sci-Tech talent[J]. *Journal of Xi'an University of Technology*, 2008, 24(3): 376-381.
- [17] 吴开尧, 朱启贵. 长江三角能源可持续发展综合评价—基于模糊层次分析法[J]. *现代管理科学*, 2010, 19(8): 6-8.
WU Kaiyao, ZHU Qigui. Comprehensive evaluation of sustained energy development in the Yangtze delta-based on fuzzy analytic hierarchy process[J]. *Modern Management Science*, 2010, 19(8): 6-8.
- [18] 闫建文, 徐传召, 文位忠. 基于模糊多层次综合评价的风电建设项目社会评价[J]. *西安理工大学学报*, 2011, 27(2): 234-238.
YAN Jianwen, XU Chuazhao, WEN Weizhong. Social evaluation of wind power construction project based on fuzzy multitier omprehensive assessment[J]. *Journal of Xi'an University of Technology*, 2011, 27(2): 234-238.
- [19] 孟凡生, 李美莹. 我国能源供给影响因素的综合评价研究[J]. *科研管理*, 2014, 35(9): 49-57.
MENG Fansheng, LI Meiyong. Research on influencing factors evaluation of energy supply in China [J]. *Science Research Management*, 2014, 35(9): 49-57.
- [20] MANGLA S K, KUMAR P, BARUA M K. Risk analysis in green supply chain using fuzzy AHP approach[J]. *Conservation and Recycling*, 2014, 22(7): 2964-2980.
- [21] NGUYEN A T, NGUYEN L D, LE-HOAI L, et al. Quantifying the complexity of transportation projects using the fuzzy analytic hierarchy process[J]. *International Journal of Project Management*, 2014, 14(8): 1364-1376.
(责任编辑 周 蓓)