

# 新能源发电项目多维度后评价方法体系研究

胡殿刚<sup>1</sup>, 张雪佼<sup>2</sup>, 陈乃仕<sup>3</sup>, 张军<sup>4</sup>, 余泳<sup>5</sup>

(1. 国网甘肃省电力公司, 甘肃 兰州 730030; 2. 国网天津东丽供电公司, 天津 300300; 3. 中国电力科学研究院, 北京 100192; 4. 国网天津平高智能电气有限公司, 天津 300300; 5. 国网甘肃省电力公司经济技术研究院, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 为了客观科学地评价新能源发电项目的性能和效益, 建立了将“宏观层面”的综合评价方法与“微观层面”的基本评价方法相结合的“多维度评价方法体系”。在宏观层面上, 确立技术性能、经济效益、社会影响三个评价维度, 分别采用灰色关联度分析法、数据包络/保证域法、成功度模糊综合评判法进行综合评价。在三个维度评价结果的基础上, 采用雷达图法评价项目的总体效果。在微观层面上, 针对重要指标评价维度选择对比分析法、比率分析法、因素替换法、曲线拟合法等基本评价方法进行深入分析评价。通过算例验证了所提评价方法体系的实用性和有效性。

**关键词:** 新能源发电; 多维度; 灰色关联度; 数据包络/保证域; 成功度模糊综合评判; 雷达图

## Research on multi-dimensional post evaluation methodology of new energy power generation projects

HU Diangang<sup>1</sup>, ZHANG Xuejiao<sup>2</sup>, CHEN Naishi<sup>3</sup>, ZHANG Jun<sup>4</sup>, YU Yong<sup>5</sup>

(1. State Grid Gansu Electric Power Company, Lanzhou 730030, China; 2. State Grid Tianjin Dongli Electric Power Supply Company, Tianjin 300300, China; 3. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China; 4. Tianjin Pinggao Intelligence Electrical Co., Ltd., Tianjin 300300, China; 5. Gansu Electric Power Company Economic Research Institute, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** In order to evaluate new energy power generation project performance objectively and scientifically, the multi-dimensional evaluation methodology is established, combined with comprehensive evaluation methods at macro level and basic evaluation methods at micro level. At macro level, there are three dimensions called technical dimension, economic dimension and social dimension. The methods of gray correlation degree analysis, DEA/AR, fuzzy synthetically evaluating method for successful degree are taken to evaluate the technical dimension, economic dimension and social dimension respectively according to their different features. Based on the results of evaluation above, the method of radar chart is used to evaluate the project overall effect. At micro level, the methods of comparative analysis, ratio analysis, factor alternation and curve-fitting are chosen to evaluate the important indexes dimension in depth. Effectiveness of the evaluation methodology is verified through the example.

**Key words:** new energy power generation; multi-dimensional; gray correlation degree; DEA/AR; fuzzy synthetically evaluating method for successful degree; radar chart

中图分类号: TM73

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2015)04-0010-08

## 0 引言

当今社会化石燃料不断消耗、环境问题日益突出, 新能源发电项目的建设如火如荼。迫切需要一套客观科学的评价方法体系对新能源发电项目的各个方面进行评价, 找出项目的优势和不足, 总结经验教训, 为项目运营中出现的问题和未来新项目的

决策提出建议。

目前, 新能源发电项目评价方法的研究成果较为零散, 未成体系。按照评价目标的不同, 已有的研究成果分为单目标评价和多目标评价两类。

单目标评价只涉及一个评价方面, 无法全面地反映新能源发电项目多方面的性能和效益。已有成果主要集中在项目的社会影响、经济效益、技术性

能等评价方面。文献[1]采用模糊层次分析法对风电项目的社会效益进行了评价;文献[2]采用数据包络分析法比较了4种可再生能源发电技术的经济效益;文献[3]针对风电并网后电力系统的发电调度模式建立了评价指标体系;文献[4]针对风电场并网引起的电压波动,提出了评价指标和评价方法。

多目标评价涉及的评价内容较为全面,评价指标较多,既有定性指标也有定量指标。现有研究多是采用单一的综合评价方法,例如模糊综合评判法、多层次灰色关联度分析法,将各个目标维度的指标放在一起进行处理,未能针对每个目标维度评价指标的特点选择契合的评价方法,这样可能会导致有效评价信息的流失。文献[5]从经济效益、环境效益、风险分析、社会效益四个方面建立风电项目评价指标体系,采用多层次模糊综合评价法进行评价。文献[6]从实施过程、环境影响、财务效果、可持续性四个方面建立太阳能电站项目后评价指标体系,采用熵权-模糊综合评价法得到综合评分结果。文献[7]从经济效益、技术效益、环境效益、安全效益和社

会效益五方面建立指标体系,采用灰色层次分析法比较六种能源的发电效益。

论文参考现代综合评价方法理论<sup>[8-10]</sup>和项目后评价方法理论<sup>[11]</sup>,提出了将“宏观层面”的综合评价方法与“微观层面”的基本评价方法相结合的新能源发电项目“多维度评价方法体系”,克服了已有评价方法单一、不成体系的缺陷;针对新能源电站不同的评价维度选择适合的评价方法,丰富了项目后评价方法理论,体现了评价方法的针对性和方法体系的全面性。

### 1 多维度评价方法体系

“多维度评价方法体系”将“宏观层面”的综合评价方法与“微观层面”的基本评价方法相结合,如图1所示。“宏观”与“微观”是两个相对的评价视角。“宏观层面”是从整体着眼,从一级指标或二级指标上把握评价对象的特点;“微观层面”是从局部着眼,从底层指标探究评价对象的细节。

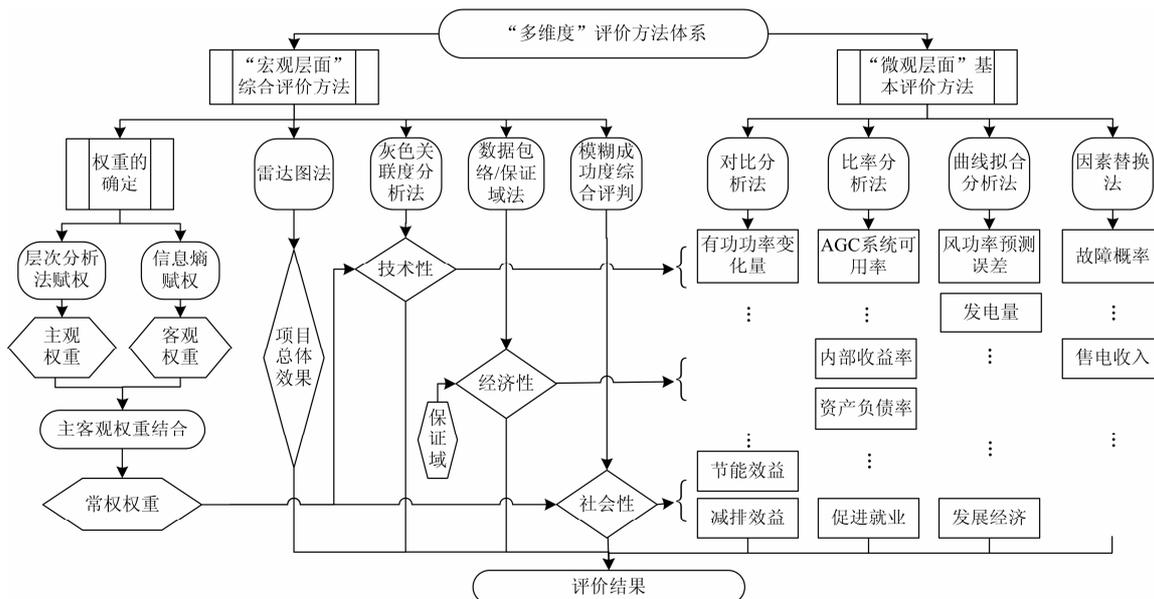


图1 新能源发电项目多维度评价方法体系图

Fig. 1 Multi-dimensional evaluation methodology of new energy power generation project

“宏观层面”包括技术性能、经济效益、社会影响三个评价维度,这一层面关注每一维度的整体评价结果,综合三个维度的评价结果,最终得到项目的总体效果。针对技术性能、经济效益、社会影响三个评价维度,分别采用灰色关联度分析法、数据包络/保证域法、成功度模糊综合评判法进行评价,计算三个维度的评分结果。在此基础上采用雷达图法计算项目总体效果。

“微观层面”评价是“宏观层面”评价的基础和必要补充。“宏观层面”上的综合评价能够得到各个评价维度的整体评价结果,但是单一指标的具体情况无法被直观地展现出来,需要微观层面的定量分析来补充。

“微观层面”关注评价者关注的重要底层指标,并根据指标的特点选择适当的基本评价方法,如对比分析法、比率分析法、曲线拟合法、因素替换法

等,对指标进行量化分析,探究各因素对指标变化的影响程度,观察重要指标在不同时期的变化情况,与行业标准进行对比分析。

由此,该评价方法体系是多层次、多方位、多角度地刻画出新能源发电项目性能和效益的“经纬”所在。

## 2 宏观层面的综合评价方法

### 2.1 权重的确定

采用层次分析法与信息熵赋权法相结合的主客观综合赋权法<sup>[12]</sup>确定技术性评价指标权重;采用层次分析法确定社会性评价指标权重;采用权重保证域确定经济性评价指标权重的变化范围<sup>[13]</sup>。

### 2.2 灰色关联度分析法评价技术性能维度

灰色关联度分析法具有计算量小且对样本量和样本分布没有严格要求的特点,适用于定量指标较多的情形。新能源发电项目技术性能指标多为定量指标,采用灰色关联度分析法进行综合评价。评价步骤如下。

1) 选取能够反映项目技术性内涵的重要指标构建技术性评价指标体系。对于定性指标采用专家打分的方法量化。

2) 根据指标相关标准划分每个指标的评价等级界限,所有指标的同一等级界限组成一组“评价等级标准集”,其中:标准集 I = “优、良等级界限”、标准集 II = “合格、不合格等级界限”。

3) 将所有评价等级标准集与新能源发电项目的运营期技术性指标数据一起作为评价方案,采用灰色关联度分析法进行评价,评价模型如下:

假设系统由  $m$  个指标、 $n$  个方案组成,则  $n$  个方案的原始指标构成如式(1)矩阵。

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

由式(1)确定最优方案  $X_0 = [x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0m}]$ 。其中:  $x_{0k}$  ( $k=1, \dots, m$ ) 是  $n$  个方案里第  $k$  项指标的最优值。

#### ① 指标值的规范化处理

对原始指标矩阵和最优方案进行规范化处理

$$\lambda_{ik} = \frac{x_{ik} - x_k^{\min}}{x_k^{\max} - x_k^{\min}}, (i=0, 1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

式中:  $\lambda_{ik}$  表示第  $i$  个方案的第  $k$  个指标的规范化数

值;  $x_k^{\min}$  表示第  $k$  个指标在所有方案中的最小值;  $x_k^{\max}$  表示第  $k$  个指标在所有方案中的最大值。

#### ② 计算关联度系数

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |\lambda_{0k} - \lambda_{ik}| + \rho \max_i \max_k |\lambda_{0k} - \lambda_{ik}|}{|\lambda_{0k} - \lambda_{ik}| + \rho \max_i \max_k |\lambda_{0k} - \lambda_{ik}|} \quad (3)$$

式中:  $\rho \in [0, 1]$ , 通常取  $\rho = 0.5$ ;  $\xi_i(k)$  为第  $i$  个方案第  $k$  个指标与最优指标的关联系数。

#### ③ 计算综合评判结果

第  $i$  个方案与最优方案  $X_0$  的加权关联度  $r_i$  为

$$r_i = \sum_{k=1}^m W(k) \times \xi_i(k) \quad (4)$$

式中:  $W(k)$  为第  $k$  个指标的权重;  $r_i$  越大表示方案  $i$  与最优方案越接近, 据此得到各方案排序, 进而得到新能源发电项目技术性能评价等级。

#### 4) 计算技术性得分

令标准集 I 得分 80 分; 标准集 II 得分 60 分, 设标准集 I 的加权关联度为  $r_I$ ; 标准集 II 的加权关联度为  $r_{II}$ ; 运营期  $a$  的加权关联度为  $r_a$ , 则运营期  $a$  的技术性得分为

$$f_1 = 20 \times \frac{r_a - r_{II}}{r_I - r_{II}} + 60 \quad (5)$$

### 2.3 数据包络/保证域法评价经济效益维度

鉴于新能源发电项目经济性评价系统具有多个投入和产出指标, 指标权重不易确定, 指标之间函数关系式不明确的特点, 采用数据包络/保证域法对新能源发电项目经济效益进行综合评价。

数据包络分析/保证域法( DEA/AR)通过引入保证域(Assurance Region)限制权重范围, 从而克服传统 DEA 模型无法体现决策者偏好的缺陷。方法步骤如下。

1) 构建新能源发电项目经济性评价指标体系, 并将指标分为输入类指标  $x_i$  ( $i=1, \dots, m$ ) 和输出类指标  $y_r$  ( $r=1, \dots, s$ )。选择多个运营期数据、行业标准数据、行业优秀数据作为多组决策单元(DMU)。

2) 确定权重保证域(AR)。选取某一输入指标权重  $v_{i_0}$  和某一输出指标权重  $u_{r_0}$  为基准, 构造 AR 为

$$\begin{cases} l_{i_0, i} \leq v_i / v_{i_0} \leq u_{i_0, i}, (i \neq i_0) \\ L_{r_0, r} \leq u_r / u_{r_0} \leq U_{r_0, r}, (r \neq r_0) \end{cases} \quad (6)$$

式中:  $l_{i_0, i}$ 、 $u_{i_0, i}$  和  $L_{r_0, r}$ 、 $U_{r_0, r}$  分别为输入比率和输出比率的上、下界, 由专家经验确定。公式(6)可转

化为如下形式的保证域(AR)<sup>[13]</sup>。

$$\begin{pmatrix} P & 0 \\ 0 & Q \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ u \end{pmatrix} \leq 0 \quad (7)$$

3) 将公式(7)加入 CCR 模型中可得 DEA/AR 模型为

$$\begin{aligned} \max & \sum_r u_r y_{r0} \\ \text{s.t.} & \sum_i v_i x_{i0} = 1 \\ & \sum_r u_r y_{rj} - \sum_i v_i x_{ij} \leq 0, \quad (j=1, \dots, n) \\ & \begin{pmatrix} P & 0 \\ 0 & Q \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ u \end{pmatrix} \leq 0 \\ & (v, u)^T \geq 0 \end{aligned} \quad (8)$$

对公式(8)应用对偶模型, 并引入松弛变量进行求解, 得到各运营期的相对经济效率  $e_i$ 。

4) 计算经济性得分

令行业优秀得分 80 分; 行业标准得分 60 分, 设行业优秀的经济效率为  $e_1$ ; 行业标准的经济效率为  $e_{II}$ ; 运营期 a 的经济效率为  $e_a$ , 则运营期 a 的经济性得分为

$$f_2 = 20 \times \frac{e_a - e_{II}}{e_1 - e_{II}} + 60 \quad (9)$$

## 2.4 成功度模糊综合评判法评价社会影响维度

项目成功度评价是依靠评价专家的经验, 综合各项指标的评价结果, 对项目的成功程度作出定性的结论。在新能源发电项目社会影响评价系统中, 一些定性指标的表述具有模糊性。受文化水平、知识结构等因素的影响, 不同专家给出的指标成功度评价等级可能不同。为此, 将模糊综合评判引入成功度评价中, 使评价过程更加客观科学。

成功度模糊综合评判的步骤如下。

1) 确定评价指标和评价等级

构建新能源发电项目社会影响评价指标体系, 设  $m$  个指标的集合  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 。根据成功度标准<sup>[11]</sup>确定评价等级集合  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_5\} = \{\text{完全成功}, \text{基本成功}, \text{部分成功}, \text{不成功}, \text{失败}\}$ 。

2) 进行单因素评判, 构造评判矩阵

由  $h$  位专家根据项目成功度判断标准<sup>[11]</sup>对单个指标  $u_i (i=1, \dots, m)$  所属等级进行判断, 统计指标属于各评价等级  $v_j (j=1, \dots, 5)$  的频数  $f_{ij}$ , 进而求得指标  $u_i$  属于等级  $v_j$  的隶属度  $r_{ij}$ 。

$$r_{ij} = \frac{f_{ij}}{h} \quad (10)$$

构造评判矩阵  $R$

$$R = (r_{ij})_{m \times 5} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{25} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{m5} \end{pmatrix} \quad (11)$$

3) 模糊合成, 进行综合评判

设  $m$  个指标的权重向量  $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ , 则评判结果向量  $B$  为

$$B = A \circ R \quad (12)$$

式中, 算子“ $\circ$ ”取最大乘积算子( $\vee - \bullet$ ), 运算规则为

$$b_j = \bigvee_{i=1}^m (a_i \bullet r_{ij}), (j=1, 2, \dots, 5) \quad (13)$$

将评判结果向量  $B$  归一化, 得到新能源项目对五个成功度等级的隶属度百分比  $B' = (b'_1, b'_2, \dots, b'_5)$ 。

$$b'_j = b_j / \sum_{j=1}^5 b_j, (j=1, 2, \dots, 5) \quad (14)$$

将隶属度最大的成功度等级作为项目社会影响评价结果。

4) 计算社会性得分

令完全成功得分 100; 基本成功得分 80; 部分成功得分 60; 不成功得分 40; 失败得分 20, 则运营期 a 的社会性得分为

$$f_3 = 100 \times b'_1 + 80 \times b'_2 + 60 \times b'_3 + 40 \times b'_4 + 20 \times b'_5 \quad (15)$$

## 2.5 雷达图法评价项目总体效果

雷达图法是一种多变量图形对比分析和综合评估方法, 它可以直观、形象地展现出项目的总体效果, 同时体现出评价对象的总体优势和各项指标之间的相对优势<sup>[14]</sup>。评价步骤如下:

1) 绘制雷达图

① 绘制技术性、经济性、社会性三个评价维度的指标轴, 指标轴之间的夹角为  $120^\circ$ 。在指标轴上标出分值刻度, 满分为 100。

② 在三个指标轴上标出相应评价维度的评分结果  $f_i (i=1, 2, 3)$ , 顺次连接各指标值点, 得到评价对象的雷达图多边形。定义指标值均为 100 时的雷达图多边形为基本多边形。

2) 综合评估

计算面积系数  $\alpha_1$ , 均衡度系数  $\alpha_2$

$$\alpha_1 = S_1 / S \quad (16)$$

$$\alpha_2 = S_1 / S' \quad (17)$$

$$S' = (C_1 / C)^2 S \quad (18)$$

计算综合评估值  $k$

$$k = \sqrt{\alpha_1 \alpha_2} \quad (19)$$

式中:  $S$ 、 $C$  分别为基本多边形的面积和周长;  $S_1$ 、

$C_1$  分别为待评方案雷达图多边形的面积和周长;  $S'$  为周长为  $C_1$  并与基本多边形相似的多边形面积。

### 3 微观层面的基本评价方法

“宏观层面”上的综合评价能够得到各个评价维度的整体评价结果,但是某些重要指标的具体情况无法被直观地展现出来。因此在“宏观层面”的基础上复加“微观层面”评价维度。

在微观层面上,从指标体系中提取出评价者关注的重要指标,根据重要指标的特点和评价者的需要采用基本评价方法(统计学中的一些单指标评价方法)对重要指标情况进行补充评价。

对比分析法<sup>[15]</sup>、比率分析法<sup>[16]</sup>、曲线拟合法<sup>[17]</sup>和因素替换法<sup>[16]</sup>是四种常用的基本评价方法。在宏观层面的社会影响评价维度中,各指标以成功度的形式展现,实际值无法衡量,通过有无对比分析,将项目后评价时点各指标情况与假设无项目时可能发生的情况进行对比,可以确定项目建设带来的真实社会影响;为分析财务指标偏离前评估的程度和偏离原因,采用比率分析法计算内部收益率变化率、资产负债率变化率;采用因素替换法分析评价期上网电价、政策补贴和发电量对于售电收入变化的影响程度;采用曲线拟合法对发电量、风功率预测误差等生产运营指标不同时间尺度的统计值进行拟合,从中分析指标随气候变化的发展规律,预测指标未来发展趋势等。

## 4 实例验证

以某风力发电项目的实际运行情况为例,验证多维度评价方法体系的有效性。

### 4.1 技术性能评价维度

以运营期 1 为例,构建风电项目技术性评价指标体系,各指标实际数据、评价等级标准集及权重如表 1 所示。

表 1 技术性评价指标体系及评价数据

Table 1 Indexes and data of technical dimension

二级指标	三级指标	优、良界限	良、不合格界限	运营期 1 数据	权重
功率控制	有功功率变化	16.75	33.3	12.5	0.2
	无功补偿配置	7	3	5	0.2
电能质量	闪变	0.4	0.8	0.51	0.1
	谐波	1%	2%	1.20%	0.1
源网友好	低电压穿越能力	7	3	8	0.2
	风功率预测误差	10%	20%	8%	0.2

由式(1)~式(4)求得各级指标的关联度,进而判断出评价等级如表 2 所示。

由表 2 可见,该风电项目技术性能综合评价等级为优秀;在二级指标中,功率控制性能和电能质量达到良好等级,源网友好度达到优秀等级。

表 2 各级指标关联度及评价等级结果

Table 2 Index correlation degree and evaluation grade

二级指标	三级指标	优、良界限	良、不合格界限	运营期 1 数据	评价等级
功率控制	有功功率变化	0.710	0.333	1.000	优
	无功补偿配置	1.000	0.333	0.500	良
	二级指标关联度	0.855	0.333	0.750	良
电能质量	闪变	1.000	0.333	0.645	良
	谐波	1.000	0.333	0.714	良
	二级指标关联度	1.000	0.333	0.680	良
源网友好	低电压穿越能力	0.714	0.333	1.000	优
	风功率预测误差	0.750	0.333	1.000	优
	二级指标关联度	0.732	0.333	1.000	优
一级指标关联度		0.835	0.333	0.836	优

由一级指标关联度,运用公式(5)计算出运营期 1 的技术性得分为 80.04 分。采用同样的方法计算运营期 2 的得分为 85.61 分。

### 4.2 经济效益评价维度

将风电项目经济性评价指标分为输入和输出两类。各决策单元(DMU)指标数据情况如表 3 所示。

表 3 各决策单元的经济性评价指标数据情况

Table 3 Data of economic dimension for DMU

指标	DMU				
	行业标准	行业优秀	运营期 1	运营期 2	
输入	投资回收期	15	9.68	10.29	9.74
入	资产负债率	80%	70%	78%	75%
输出	内部收益率	5%	9.38%	8.13%	9.04%
出	流动比率	1	2.4	1.8	2

确定权重保证域:

$$1 \leq \text{资产负债率权重} / \text{投资回收期权重} \leq 10$$

$$10 \leq \text{内部收益率权重} / \text{流动比率权重} \leq 100$$

由公式(8)求解四个决策单元的经济效率值,并计算非 DEA 有效的决策单元与生产前沿面上投影值的距离,得到各经济指标的改善空间,结果如表 4 所示。

由表 4 可见,该风电场的运营期 1 和运营期 2 的经济效率分别为 0.79 和 0.93,高于行业标准 0.37,但与行业优秀的经济效率 1 仍有一定的差距。其中,运营期 1 的经济效率为 0.79,没有达到 DEA 有效,投资回收期仍需缩短 2.13 年,资产负债率仍需降低

18.99%, 流动比率需要提高 0.22 才能达到 DEA 有效。

表 4 各决策单元效率及改善空间  
Table 4 Efficiency and improvement for DMU

效率	DMU	指标			
		投资回收期	资产负债率	内部收益率	流动比率
0.37	行业标准	-10	-44.35%	0	0.22
1	行业优秀	0	0	0	0
0.79	运营期 1	-2.13	-18.99%	0	0.22
0.93	运营期 2	-0.67	-9.4%	0	0.25

由式(9)得到, 运营期 1 的经济性得分为 73.33 分, 运营期 2 的经济性得分为 77.78 分。

### 4.3 社会影响评价维度

从节能效益、减排效益、促进就业、发展经济、自然生态五个方面建立社会影响评价指标体系。采用层次分析法赋权确定各指标权重, 如表 5 所示。

以风电场运营期 1 为例, 由 10 位专家根据项目成功度等级标准<sup>[11]</sup>独立给出各指标评语, 由式(10)计算各指标属于五个成功度等级的隶属度, 如表 5 所示。

表 5 社会性指标评判矩阵表  
Table 5 Evaluation matrix for social dimension indexes

指标	权重	完全	基本	部分	不成	失
		成功	成功	成功	功	败
节能效益	0.3	0.4	0.6	0	0	0
减排效益	0.3	0.3	0.5	0.2	0	0
促进就业	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0
发展经济	0.1	0.3	0.4	0.1	0.1	0.1
自然生态	0.2	0.5	0.3	0.2	0	0

由式(12)~式(14)求得项目社会影响属于各个成功度等级的百分比  $B' = (32\%, 47\%, 16\%, 3\%, 3\%)$ 。由最大百分比知: 该项目的社会影响评价等级为“基本成功”。

由式(15)得到运营期 1 的社会性得分为 80 分。同理可得运营期 2 的社会性得分为 90 分。

### 4.4 项目总体效果评价

技术性能、经济效益、社会影响三个评价维度的评分结果如表 6 所示。

表 6 三个维度的评分结果  
Table 6 Score results of three dimensions

运营期	技术性能	经济效益	社会影响
运营期 1	80.04	73.33	80
运营期 2	85.61	77.78	90

由表 6 绘制雷达图, 如图 2 所示。

由式(16)~式(19)计算综合评估值。运营期 1 的面积系数为 0.604 6、均衡度系数为 0.998 8、综合评估值为 0.777 1; 运营期 2 的面积系数为 0.712 1、均衡度系数为 0.997 3、综合评估值为 0.842 7。可见,

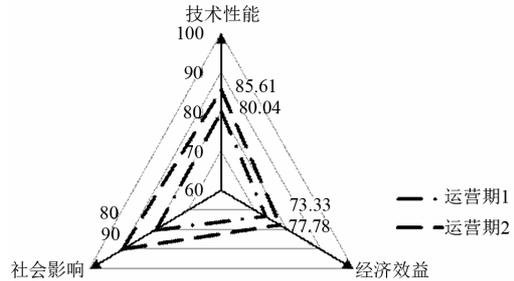


图 2 项目总体效果雷达图

Fig. 2 Radar chart of project overall effect

运营期 2 的项目总体效果优于运营期 1, 但指标的均衡度不如运营期 1, 这是因为运营期 2 的社会影响有了很大的改善而经济效益相对较差。

### 4.5 微观层面的重要指标评价维度

对以下重要指标采用基本评价方法进行分析:

表征经济效益的指标。资产负债率、内部收益率、流动比率。选择比率分析法分析其变化规律。

表征社会影响的指标。减排效益指标, 包括减少废气排放成本和减少烟尘排放成本; 节能效益指标, 即减少的煤耗成本。选择对比分析法分析项目带来的实际效益。

#### 1) 比率分析法评价经济效益重要指标

由表 3 中的数据情况, 选择行业优秀为基期数据, 得到运营期 2 各项指标的定基比率、环比比率、同比增长率如表 7。

表 7 运营期 2 财务指标比率分析

Table 7 Ratio analysis for financial indexes of operating period 2

财务指标	定基比率	环比比率	同比增长率
资产负债率	107.14%	96.15%	-3.85%
内部收益率	96.38%	111.19%	11.19%
流动比率	83.33%	111.11%	11.11%

由表 7 可见: 运营期 2 的资产负债率有所改善, 比运营期 1 降低了 3.85%; 但是, 与行业优秀的定基比率大于 1, 表明资产负债率未达到行业优秀的水平, 需要进一步降低。同样, 内部收益率和流动比率也较运营期 1 有所改善。

#### 2) 对比分析法评价社会影响重要指标

采用有无对比分析法分析项目的节能效益、减

排效益情况。根据当地发展规划,若不建设风电场,当地将建设一座同容量的火电厂。经计算,得到项目运营期 1、项目运营期 2 和无风电项目三种情况下的节能效益和减排效益对比情况如表 8 所示。

表 8 有无项目两种情况下节能效益和减排效益对比表  
Table 8 Energy-saving benefits and emissions benefits under two conditions

二级指标	三级指标	运营期1	运营期2	无项目
减排效益 指标/万元	减少废气排放成本	2 324.17	2 469.43	0
	减少烟尘排放成本	0.19	0.2	0
	减排效益合计	2 324.36	2 469.63	0
节能效益 指标/万元	减少的煤耗成本	7 391.4	7 853.36	0

由表 8 可见,该风电项目建设为当地带来了很大的节能和减排效益。其中运营期 1 的减排效益合计 2 324 万元,节能效益 7 391 万元;运营期 2 的节能和减排效益比运营期 1 略有提高。

## 5 结语

1) 论文建立了多维度评价方法体系,多层次、多方位、多角度地评价新能源发电项目各方面的性能、效益和影响。解决了已有新能源发电项目评价方法体系不健全的问题。

2) 将现代综合评价方法引入到项目后评价方法中,丰富了项目后评价方法理论。针对技术性能、经济效益、社会影响等不同评价维度应用不同的综合评价方法,提高了评价方法对于评价目标和评价对象的契合度。

3) 运用本文的评价方法体系对我国某市级风力发电项目进行评价,得到了较为全面、细致的评价结果。验证了该方法体系的实用性和有效性。

## 参考文献

- [1] 陈明燕. 风电项目社会效益综合评价研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2012.  
CHEN Mingyan. Social benefit study of wind power project[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2012.
- [2] 谢传胜, 贾晓希, 董达鹏, 等. 基于 DEA 的可再生能源发电技术经济效益评价[J]. 水电能源科学, 2012, 30(7): 204-206.  
XIE Chuansheng, JIA Xiaoxi, DONG Dapeng, et al. Economic benefit evaluation of renewable power generation technology based on DEA method[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(7): 204-206.
- [3] 游大海, 潘凯, 王科, 等. 含风电场的电力系统协调优化调度的评价技术[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(1): 157-163.  
YOU Dahai, PAN Kai, WANG Ke, et al. Evaluation of coordination optimal dispatching in wind power integrated system[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(1): 157-163.
- [4] 朱星阳, 张建华, 刘文霞, 等. 风电并网引起电网电压波动的评价方法及应用[J]. 电工技术学报, 2013, 28(5): 88-98.  
ZHU Xingyang, ZHANG Jianhua, LIU Wenxia, et al. Evaluation methodology and its application of voltage fluctuation in power network caused by interconnected wind power[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(5): 88-98.
- [5] 李丽君. 基于模糊层次分析法的康保协合风电场项目综合评价研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2011.  
LI Lijun. The comprehensive evaluation research of Xiehe wind power project of Kangbao based on fuzzy-AHP[D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2011.
- [6] 宋玉萍, 孟忠. 太阳能光伏电站项目的评价方法及实证研究[J]. 华北电力技术, 2011(1): 30-34.  
SONG Yuping, MENG Zhong. Evaluation method and empirical research of solar photovoltaic substation project[J]. North China Electric Power, 2011(1): 30-34.
- [7] 胡文培. 我国主要能源发电效益的比较研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2011.  
HU Wenpei. The main energy generation benefits comparative study in China[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2011.
- [8] 杜栋, 庞庆华, 吴炎. 现代综合评价方法与案例精选[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.  
DU Dong, PANG Qinghua, WU Yan. Comprehensive evaluation of modern methods and case selection[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008.
- [9] 张懿议, 廖瑞金, 杨丽君, 等. 基于云理论的电力变压器绝缘状态评估方法[J]. 电工技术学报, 2012, 27(5): 13-20.  
ZHANG Yiyi, LIAO Ruijin, YANG Lijun, et al. An assessment method for insulation condition of power transformer based upon cloud model[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(5): 13-20.
- [10] 马丽叶, 卢志刚, 胡华伟. 基于区间数的城市配电网

- 经济运行模糊综合评价[J]. 电工技术学报, 2012, 27(8): 163-171.
- MA Liye, LU Zhigang, HU Huawei. A fuzzy comprehensive evaluation method for economic operation of urban distribution network based on interval number[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(8): 163-171.
- [11] 张三力. 项目后评价[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- ZHANG Sanli. Post project evaluation[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1998.
- [12] 李如琦, 苏浩益, 曲振旭. 核向量空间模型在电能质量综合评估中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(1): 72-76.
- LI Ruqi, SU Haoyi, QU Zhenxu. Application of kernel vector space model in power quality comprehensive evaluation[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(1): 72-76.
- [13] THOMPSON R G, LEE E, THRALL R M. DEA/AR-efficiency of US independent oil/gas producers over time[J]. Computers & Operations Research, 1992, 19(5): 377-391.
- [14] 王雁凌, 李艳君, 许奇超. 改进雷达图法在输变电工程综合评价中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(5): 119-123.
- WANG Yanling, LI Yanjun, XU Qichao. Application of improved radar chart in comprehensive evaluation of power transmission and transformation project[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(5): 119-123.
- [15] 牛东晓, 王维军, 周浩, 等. 火力发电项目后评价方法及应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010: 14-15.
- NIU Dongxiao, WANG Weijun, ZHOU Hao, et al. Post thermal power project evaluation and applications[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2010: 14-15.
- [16] 周辉. 保定热电厂南郊热电联产工程项目经济性评价[D]. 保定: 华北电力大学, 2011.
- ZHOU Hui. Economic evaluation about cogeneration project in the southern suburbs of Baoding thermal power plant[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2011.
- [17] 李庆扬, 王能超, 易大义. 数值分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- LI Qingyang, WANG Nengchao, YI Dayi. Numerical analysis[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008.

---

收稿日期: 2014-05-09; 修回日期: 2014-10-09

作者简介:

胡殿刚(1975-), 男, 高级工程师, 研究方向为智能电网发展及工程应用;

张雪佼(1989-), 女, 通信作者, 硕士, 研究方向为电力经济; E-mail: dbdldxzxj@126.com

陈乃仕(1980-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为智能电网在电力调度中的应用。

(编辑 葛艳娜)