

# 建立非并网风电适宜产业的指标体系研究

刘 勇

(江苏省宏观经济研究院,南京 210013)

**[摘要]** 本文主要阐述非并网风电适宜产业指标评价体系的内涵及其构建原则,确定指标体系的层次以及各个指标的科学涵义和计算方法,并根据所构建的指标体系进行案例分析。本指标体系分为两个层次,第一层包含4个方面的宏观指标群,分别反映非并网风电的经济、社会和环境以及风电随机波动性特征;第二层反映在第一层次里各个宏观指标群的具体构成指标状况。指标权重的确定依据层次分析法,对各指标进行分类,建立多层次结构,构造成对比较矩阵,并根据随机一致性检验,经过多轮综合分析最终确定指标体系中各个层次指标的权重情况,权重的确定方法和过程客观、严谨、科学。在此基础上,根据指标间的内在联系建立综合评价模型,最终形成科学、合理、较为完善的指标综合评价体系。

**[关键词]** 非并网风电;适宜产业;指标体系

**[中图分类号]** F224.9 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2015)03-0060-07

## 1 非并网风电的特性

### 1.1 非并网风电的经济特性

非并网风电系统主要采用直流电,回避风电上网电压差、相位差、频率差等难以控制的问题,绕开电网这一限制风电大规模应用的瓶颈<sup>[1]</sup>。由于没有了上网条件的束缚,风力机可以采用一些低成本、高效能的设备,也可以简化甚至省去成本高、结构复杂的设备,实现风电场到用户的“点到点”直接供电,不仅大大节约了投资成本,也简化了生产的工艺流程。在我国风能富集区可利用非并网风电技术建设若干可持续的绿色能源基地,非并网风电将成为大规模风电产业发展趋势。

### 1.2 非并网风电的社会特性

在提供就业岗位方面,非并网风电与普通风电产业没有实质性的差别。风电产业能提供大量的

就业岗位,美国一项研究表明,生产同样的电力,风电比煤炭发电多创造27%的就业,比天然气联合循环发电多创造66%的就业。美国全球观察研究所的一项报告显示,1×10<sup>9</sup> kW·h发电量用煤炭或核燃料只能提供100~116个就业机会,而风电场则可以提供542个工作岗位。目前,中国的生产效率远低于欧美国家,再加上非并网风电适宜产业在内的就业,中国风电产业的发展所能带来的潜在就业要明显高于欧美国家。

### 1.3 非并网风电的环境特性

我国能源安全和环境污染形势日益严峻,以煤炭为主的能源结构已进入困境,难以支撑经济与社会、人与自然的和谐与可持续发展。大规模直接应用“非并网风电”,将大大提高风能资源的利用效率,把非并网风电直接应用于高耗能等相适宜产业,将替代大量的化石能源,同时大大减少温室气

**[收稿日期]** 2014-12-18

**[基金项目]** 国家科技支撑计划项目资助(2013BAB08B04)

**[作者简介]** 刘 勇,1982年出生,男,江苏扬州市人,助理研究员,主要研究方向为资源环境经济学;E-mail:ly@zjzw.net

体排放<sup>[2]</sup>。

### 1.4 风电固有的不稳定特性

由于气流瞬息万变,风时有时无,时大时小,时、日、月、季、年的变化都十分明显;另外,地形变化,地理纬度不同,风力的地区差异也很大,即使两个近邻区域,由于地形的不同,其风力可能相差几倍甚至几十倍,海上和陆上也有差别。以上差异造成了风的随机、波动不稳定特性,从而导致风电电流具有大幅度、随机、波动的不稳定特性。因此,所选择的非并网风电适宜产业需要满足风电的随机、波动的不稳定特性。

## 2 指标体系的建立

### 2.1 指标体系的目标

建立非并网风电适宜产业的指标体系,目的在于依据评价结果全面筛选出适宜于非并网风电的产业,扩大非并网风电的适用范围,为最终建成科

技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥的非并网风电产业体系提供科学的产业依据和指导。

### 2.2 指标体系的内涵

非并网风电适宜产业的指标体系分为两个层次,如图1所示,第一层包含4个方面的宏观指标群,分别反映非并网风电的经济、社会和环境以及风电随机波动性特征;第二层反映在第一层次里各个宏观指标群的具体构成指标状况( $A_{11}, \dots, A_{1j}, \dots, A_{1i}, \dots, A_{1j}$ )。指标权重的确定依据层次分析法,对各指标进行分类,建立多层次结构,构造成对比较矩阵,并根据 consistency ratio(CR)检验,经过多轮综合分析最终确定指标体系中各个层次指标的权重情况,权重的确定方法和过程客观、严谨、科学。在此基础上,根据指标间的内在联系建立综合评价模型,最终形成科学、合理、较为完善的指标综合评价体系。

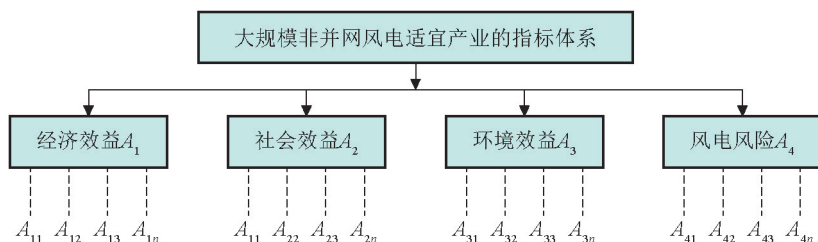


图1 指标体系的系统层次

Fig. 1 System hierarchy of the index system

### 2.3 指标体系的原则

在建立本指标体系过程中要遵循当前利益与长远利益相结合,经济效益、生态效益和社会效益相结合,静态分析与动态分析相结合,兼顾导向性、系统性、科学性和适应性的原则<sup>[3]</sup>。

导向性原则,即指标能体现科学发展观的内涵,能够涵盖科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥以及节能减排等基本要求。

系统性原则,即指标应能全面反映非并网风电产业整个系统的特性,使评价目标和评价指标能有机联系起来,形成一个层次分明的有机整体。

科学性原则,指既要通过总量指标反映产业的规模特征,又要通过相对量指标来体现产业发展的效能差异;既要通过静态指标反映产业发展的现状

和实力,又要通过动态指标反映产业发展的前景和趋势。另外,指标设计应具有可操作性,简便易懂,便于获得,易于测算。

适应性原则,即指标体系必须能够随产业结构的调整、系统的发展演化进行适当调整,具备一定的弹性。

### 2.4 指标体系的构成

基于指标选取原则,本文从经济效益、社会效益、环境效益、风电风险4个方面构建了非并网风电适宜产业的指标体系。

每一系统都由复杂的多元参量组成,具体的指标体系见表1。本指标体系在时间上反映非并网风电适宜产业的发展速度和趋向,在数量上反映非并网风电适宜产业的规模和效益,在层次上反映非并网风电适宜产业的功能和水平。

表1 非并网风电适宜产业的评价指标

Table 1 The evaluation indexes of non-grid-connected wind power suitable industry

一级指标层	指标分类	序号	二级指标层	单位
经济效益	成本分析	1	单位千瓦投资率	万元/kW
		2	非并网风电电价	元/(kW·h)
	效益水平	3	总资产增长率	%
		4	总资产贡献率	%
		5	投资回报率	%
		6	全员劳动生产率	%
		7	工业增加值率	%
		8	产品销售率	%
		9	资产利税率	%
	政策支持	10	CDM机制CERs减排量收益占总收益比例	%
11		政府电价补贴占原电价比例	%	
社会效益	社会贡献	12	社会贡献率	%
		13	社会积累率	%
		14	从业人员比例增幅	%
环境效益	节约能源	15	单位工业增加值能耗下降率	%
		16	工业用水重复利用率	%
		17	工业用地产出率	%
		18	CO <sub>2</sub> 排放削减率	%
	减少排放	19	SO <sub>2</sub> 排放削减率	%
		20	工业废水COD排放削减率	%
		21	工业固体废物处置率	%
		22	资源消费率	%
		23	工业“三废”综合利用率	%
		24	风电蓄电对供电稳定性贡献率	%
风电风险	风险评估	25	电流变化对产品生产运营的影响(生产故障率)	%
		26	电流变化对产品质量的影响(产品质量合格率)	%

注: CDM: clean development mechanism; CERs: certified emission reduction; COD: chemical oxygen demand

#### 2.4.1 经济效益

经济效益是产业可持续发展的动力,包括成本分析、效益水平和政策支持三方面<sup>[4]</sup>。

1)成本分析。主要考虑从风电场投资到建成以及非并网风电在高耗能产业应用过程的成本状况,包括单位千瓦投资率、非并网风电电价。

$$\text{单位千瓦投资率} = \frac{\text{风电场投资总额(万元)}}{\text{风电场规模(kW)}} \times 100\% \quad (1)$$

2)效益水平。效益水平包括总资产增长率、总资产贡献率、投资回报率、全员劳动生产率、工业增加值率、产品销售率、资产利税率。

$$\text{总资产增长率} = \frac{\text{增加值}}{\text{总资产}} \times 100\% \quad (2)$$

该指标反映了工业产品的销售程度,可用来分析工业产销衔接情况,研究工业产品满足社会需求程度。

$$\text{总资产贡献率} = (\text{利润总额} + \text{税金总额} +$$

$$\text{利息支出}) / \text{平均资产总额} \times 100\% \quad (3)$$

该指标反映企业全部资产的获利能力,是企业经营和管理水平的集中体现,是评价和考核企业盈利能力的核心。其中,税金总额为产品销售税金及附加与应交增值税之和;平均资产总额为期初、期末资产的算术平均值。

$$\text{投资回报率} = \frac{\text{项目完成后年平均新增利税}}{\text{投资总额}} \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{全员劳动生产率} = \frac{\text{工业增加值}}{\text{全部职工平均人数}} \times 100\% \quad (5)$$

该指标是企业平均每个职工在单位时间内创造的工业生产最终成果,反映企业的生产效率和劳动投入的经济效益。

$$\text{工业增加值率} = \frac{\text{工业增加值}}{\text{工业总产值}} \times 100\% \quad (6)$$

$$\text{产品销售率} = \frac{\text{工业销售产值}}{\text{工业总产值}} \times 100\%$$

(7)

$$\text{资产利税率} = \frac{\text{累计实现利税总额}}{\text{固定资产净值平均余额} + \text{流动资产平均余额}} \times 100\% \quad (8)$$

资产利税率指在一定时期内已实现的利润、税金总额与同期的资产(固定资产净值和流动资产)之比,反映每单位(通常是每万元)资金所提供的利润税金额。它是考察和评价部门或企业资金运用的经济效益,分析资金投入效果的主要分析指标。

3)政策支持。包括CDM机制CERs减排量收益占总收益比例和政府电价补贴占原电价比例。

#### 2.4.2 社会效益

社会效益是衡量企业对社会贡献程度的一个重要指标,包括社会贡献率、社会积累率、从业人员比例增幅。

$$\text{社会贡献率} = \frac{\text{社会贡献总额}}{\text{平均资产总额}} \times 100\% \quad (9)$$

社会贡献总额包括工资、劳保退休统筹及其他社会福利支出、利息支出净额、应交增值税、产品销售税金及附加、应交所得税及其他税、净利润等。为了反映企业对国家所作贡献的程度,可按上述原则计算贡献率。

$$\text{社会积累率} = \frac{\text{上交国家财政总额}}{\text{企业社会贡献总额}} \times 100\% \quad (10)$$

该指标衡量企业社会贡献总额中多少用于上交国家财政。上交国家财政总额包括应交增值税、应交产品销售税金及附加、应交所得税、其他税收等。

$$\text{从业人员比例增幅} = \frac{\text{产业拉动新增就业人数}}{\text{原有产业就业人数}} \times 100\% \quad (11)$$

该指标反映产业对就业的拉动效应。

#### 2.4.3 环境效益

环境效益是产业发展的决定性因素,也是衡量企业履行社会责任的一个重要指标<sup>[5]</sup>。环境效益指标主要体现在节约能源、减少排放、资源利用率3个方面。

1)节约能源方面,包括单位工业增加值能耗下降率、工业用水重复利用率、工业用地产出率。a.单位工业增加值能耗下降率=(工业能源消费量增长指数/工业增加值增长指数-1)×100%;b.工业用水重复利用率=重复利用水量/(取水量+重复利用水量)×100%;c.工业用地产出率,即工业增加值与工业用地的比值。

2)减少排放方面,包括CO<sub>2</sub>排放削减率、SO<sub>2</sub>排放削减率、工业废水COD排放削减率、工业固体废物处置率。a.CO<sub>2</sub>排放削减率=(上年工业CO<sub>2</sub>排放总量-当年工业CO<sub>2</sub>排放总量)/上年工业CO<sub>2</sub>排放总量×100%;b.SO<sub>2</sub>排放削减率=(上年工业SO<sub>2</sub>排放总量-当年工业SO<sub>2</sub>排放总量)/上年工业SO<sub>2</sub>排放总量×100%;c.工业废水COD排放削减率=(上年工业废水COD排放总量-当年工业废水COD排放总量)/上年工业废水COD排放总量×100%;d.工业固体废物处置率=工业固体废物处置量/工业固体废物产生量×100%。

3)资源利用率方面,包括资源消费率和工业“三废”综合利用率。a.资源消费率=(总产出-增加值)/总产出×100%;b.工业“三废”综合利用率=工业“三废”综合利用量/(工业“三废”产生量+综合利用往年贮存量)×100%。

#### 2.4.4 风电风险

非并网风电适宜产业须进行风电风险评估,主要包括风电蓄电对供电稳定性贡献率、电流变化对产品生产运营的影响(生产故障率)、电流变化对产品质量的影响(产品质量合格率)。

### 2.5 指标体系的权重

为准确求算各个指标对非并网风电适宜产业综合指标的贡献度,本文引入层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)确定指标的权重。层次分析法是由美国学者T.L.Saaty于20世纪70年代中期提出来的,是一种定量分析与定性分析相结合的多目标决策方法。采用该方法确定权重的优点是,将多个指标的比较问题转化为两两比较问题,使权重确定更加准确。本文将专家综合评价意见汇总,各层指标的具体打分情况如下。

1)一级指标判断矩阵(见表2)。

表2 一级指标判断矩阵

Table 2 The comparative judgment matrix of primary index

A	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	1	3	1/3	1/2
A <sub>2</sub>	1/3	1	1/4	1/5
A <sub>3</sub>	3	4	1	1/2
A <sub>4</sub>	2	5	2	1

2)二级指标判断矩阵(经济效益)(见表3)。



表3 二级指标判断矩阵(经济效益)

Table 3 The comparative judgment matrix of secondary index(economic benefits)

$A_1$	$A_{11}$	$A_{12}$	$A_{13}$	$A_{14}$	$A_{15}$	$A_{16}$	$A_{17}$	$A_{18}$	$A_{19}$	$A_{110}$	$A_{111}$
$A_{11}$	1	1	2	2	2	2	2	3	4	1	1
$A_{12}$	1	1	2	2	2	2	2	3	4	1	1
$A_{13}$	1/2	1/2	1	1	1	1	1	2	2	1/2	1/2
$A_{14}$	1/2	1/2	1	1	1	1	1	2	2	1/2	1/2
$A_{15}$	1/2	1/2	1	1	1	1	1	2	2	1/2	1/2
$A_{16}$	1/2	1/2	1	1	1	1	1	2	2	1/2	1/2
$A_{17}$	1/2	1/2	1	1	1	1	1	2	2	1/2	1/2
$A_{18}$	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	2	1/2	1/3
$A_{19}$	1/4	1/4	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/4
$A_{110}$	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1
$A_{111}$	1	1	2	2	2	2	2	3	4	1	1

3)二级指标判断矩阵(社会效益)(见表4)。

表4 二级指标判断矩阵(社会效益)

Table 4 The comparative judgment matrix of secondary index(social benefits)

$A_2$	$A_{21}$	$A_{22}$	$A_{23}$
$A_{21}$	1	2	2
$A_{22}$	1/2	1	2
$A_{23}$	1/2	1/2	1

4)二级指标判断矩阵(环境效益)(见表5)。

表5 二级指标判断矩阵(环境效益)

Table 5 The comparative judgment matrix of secondary index(environmental benefits)

$A_3$	$A_{31}$	$A_{32}$	$A_{33}$	$A_{34}$	$A_{35}$	$A_{36}$	$A_{37}$	$A_{38}$	$A_{39}$
$A_{31}$	1	2	2	3	3	4	3	2	2
$A_{32}$	1/2	1	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1
$A_{33}$	1/2	1	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1
$A_{34}$	1/3	2	2	1	1	1/2	1	2	2
$A_{35}$	1/3	2	2	1	1	1	1	2	2
$A_{36}$	1/4	2	2	2	1	1	1	2	2
$A_{37}$	1/3	2	2	1	1	1	1	2	2
$A_{38}$	1/2	1	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1
$A_{39}$	1/2	1	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1

5)二级指标判断矩阵(风电风险)(见表6)。

6)评价指标及指标权重分配。综上,将二级指标的权值与一级指标的权值相乘,得到本指标体系中26个指标在非并网风电适宜产业综合指数中所

表6 二级指标判断矩阵(风电风险)

Table 6 The comparative judgment matrix of secondary index(wind power risk)

$A_4$	$A_{41}$	$A_{42}$	$A_{43}$
$A_{41}$	1	1/5	1/4
$A_{42}$	5	1	2
$A_{43}$	4	1/2	1

占的权重 $v_{ij}$ ,见表7。

$$v_{ij} = v_{A_i} \cdot v_{A_i A_j} \cdot 100\% \quad (12)$$

式(12)中, $v_{A_i} \cdot v_{A_i A_j}$ 表示二级指标的权值; $v_{A_i}$ 表示一级指标的权值。

从表7可见,在一级指标中, $A_4$ (风电风险指标)权重最大,其次是 $A_3$ (环境效益指标);在二级指标中,从各个指标在整个指标体系中的权重来看, $A_{42}$ (电流变化对产品生产运营的影响)和 $A_{43}$ (电流变化对产品质量的影响)的权重较高。专家的综合意见表明,能够适应风电电流随机、波动的不稳定特性是并网风电适宜产业选择的关键因素。

### 3 结语

随着我国产业转型升级战略部署的深入实施,能源结构战略性调整及其产业布局的要求将进一步提高。非并网风电产业的发展应在国家产业发展框架下,构建具有自主知识产权的产业发展体系,并以非并网风电产业链为突破口,筛选出适宜于非并网风电的产业,扩大非并网风电的适用

表7 非并网风电适宜产业评价指标及指标权重分配  
Table 7 The evaluation indexes of non-grid-connected wind power suitable industry and their weight distribution

序号	一级指标层	权重	二级指标层	权重		
1	A <sub>1</sub>	17.198 %	A <sub>11</sub>	2.428 %		
2			A <sub>12</sub>	2.428 %		
3			A <sub>13</sub>	1.249 %		
4			A <sub>14</sub>	1.249 %		
5			A <sub>15</sub>	1.249 %		
6			A <sub>16</sub>	1.249 %		
7			A <sub>17</sub>	1.249 %		
8			A <sub>18</sub>	0.787 %		
9			A <sub>19</sub>	0.640 %		
10			A <sub>110</sub>	2.241 %		
11			A <sub>111</sub>	2.428 %		
12	A <sub>2</sub>	7.172 %	A <sub>21</sub>	3.539 %		
13			A <sub>22</sub>	2.229 %		
14			A <sub>23</sub>	1.404 %		
15	A <sub>3</sub>	32.490 %	A <sub>31</sub>	8.180 %		
16			A <sub>32</sub>	2.213 %		
17			A <sub>33</sub>	2.213 %		
18			A <sub>34</sub>	3.619 %		
19			A <sub>35</sub>	3.842 %		
20			A <sub>36</sub>	4.156 %		
21			A <sub>37</sub>	3.842 %		
22			A <sub>38</sub>	2.213 %		
23			A <sub>39</sub>	2.213 %		
24			A <sub>4</sub>	43.139 %	A <sub>41</sub>	4.200 %
25					A <sub>42</sub>	24.570 %
26	A <sub>43</sub>	14.368 %				

范围<sup>[6,7]</sup>,培育以新能源开发与利用为核心的具有国际竞争力的新兴产业。

## Study on index system of suitable industry for non-grid-connected wind power

Liu Yong

(Jiangsu Institute of Macroeconomic Research, Nanjing 210013, China)

[Abstract] The index system is divided into two levels: the first level includes macro index

本指标体系具有十分重要的理论和实践意义,不仅可以评价非并网风电适宜产业,全程监督、预测和指导产业的发展,还可用于对行业的发展评估,为决策者提供良好的决策基础,为生产者提供科学的产业决策指导依据。

鉴于国内对非并网风电适宜产业研究不多,评价非并网风电适宜产业的指标体系尚未见过,本文采用量化的方法对其研究,虽在指标构建和指标评价方面做了大量工作,但在很多方面还需进一步完善。就指标体系本身而言,在使用过程中发现新问题还须进行及时调整,以使指标更为科学、合理;在选择专家打分时可以将范围扩大,以建立更为广泛的专家库,增强数据的准确性。

### 参考文献

- [1] 顾为东.非并网风电产业发展新战略与风电非并网理论[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [2] Gu Weidong, Fang Min, Zhang Ping, et al. Test research on electrolytic aluminum feasibility of non-grid-connected simulated wind power[C]//Proceedings of Non-Grid-Connected Wind Power Systems (ISTP). USA: The American Scholars Press, 2008.
- [3] 李道芳,陈琳,赵恒志.产业发展现状评价的指标体系及实证研究[J].中国行政管理,2007(9):70-72.
- [4] 刘富江,邢俊玲.建立工业经济效益综合评价考核指标体系的基本原则[J].中国统计,1998(8):5-6.
- [5] 罗昆燕,廖视根,李松,等.贵州高污染产业经济效益与环境效益的现状评价及预测研究[J].贵州科学,2006,24(3):57-61.
- [6] Gu Weidong. The development and utilization research on non-grid-connected wind power systems[C]//Proceedings of Non-Grid-Connected Wind Power Systems (ISTP). USA:The American Scholars Press, 2008.
- [7] Fang Chuanglin, Huang Jinchuan, Zhang Qiang, et al. The development status and strategy of the wind power industry in China[C]//Proceedings of Non-Grid-Connected Wind Power Systems (ISTP). USA:The American Scholars Press, 2008.

groups in four aspects, respectively reflecting the characteristics of economy, society, environment, and random fluctuation of wind power; the second level reflects specific index construction of each macro index group in the first level. The weight of an index at each level in index system is eventually determined by level analysis through classifying each index, establishing a multi-level structure, building a paired comparison matrix, and through many rounds of comprehensive analysis in accordance with CR testing. The method and the process of weight determination is objective, rigorous, and scientific. A comprehensive evaluation model is built according to the intrinsic link between indexes, and finally, a scientific, reasonable, and improved system of comprehensive index evaluation is formed. The index system shall observe combination of the current interests with long-term interests, economic, and ecological benefits with social benefits and static analysis with dynamic analysis and take account of guidance, systematic, scientific and adaptive principles in the process of its establishment.

**[Key words]** non-grid-connected wind power; suitable industry; index system

---

(上接 59 页)

## Offshore wind power development and hydrogen(oxygen) production industrial base construction in multi energy cooperative supply system

Jin Chunpeng

(Jiangsu Institute of Macroeconomic Research, Nanjing 210013, China)

**[Abstract]** Wind energy is abundant (especially in coastal areas) that provides large space for wind power development. The application of large scale non-grid-connected wind power is one of the ways to multi-directional developing wind power. This paper analyzes the distribution and exploitation of wind resource in Jiangsu coastal areas, studies on industrial chain of “applying non-grid-connected wind power to high energy consumption industries” under the instruction of non-grid-connected wind power theory, and puts forward some suggestions for constructing industrial bases of non-grid-connected wind power in Jiangsu coastal areas.

**[Key words]** offshore wind power; multi energy cooperative supply; hydrogen(oxygen) production; industrial base