

基于 DEA 的风电项目并网消纳能力研究

沈晨姝

(华北电力大学, 北京 102206)

摘要:针对我国风电装机容量迅猛发展,但送出等能力不足的形势,研究风电项目并网消纳能力。首先构建了包含基础特性等 4 个方面在内的一级评价指标,后完善至包含风电出力稳定性等 15 个二级指标在内的风电项目并网消纳能力综合评价指标体系,最后运用数据包络法对五个风电项目进行算例分析。结果表明 DEA 方法适用于风电项目并网消纳能力的研究。

关键词:风电;并网消纳;数据包络法;DEA

中图分类号:F272.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2017)10-0076-04

对保护环境、改善能源结构、减排大气污染物等方面日益迫切的需求,催生了我国风电装机容量的迅猛发展,但随之而来的还有日益突出的风电装机与并网消纳能力之间的矛盾。为了解决上述矛盾,国家能源局发布了《关于做好 2016 年度风电消纳工作有关要求的通知》,强调了风电市场消纳和有效利用的重要性^[1]。国家电网公司近期也印发了《2017 年促进新能源消纳工作安排的安排的通知》,指出各省公司要认真预测新能源消纳能力,严格控制弃风严重地区各类电源建设节奏,为新能源发电留足电量空间^[2]。

新政策背景下,如何在不限限制风电装机容量不断增大的同时,保证风电并网消纳能力将成为未来研究的重点。评价风电项目的并网消纳能力有助于找出限制该能力发展的瓶颈,为评价项目可持续性提供依据,能协助制定区域风电发展以及跨区域外送通道建设的规划。但目前关于风电并网消纳的研究相对较少且多停留在定性分析阶段^[3-4]。因此,迫切需要一个综合考虑基础特性、并网接入能力、就地及跨区域消纳能力等多方面因素在内的风电项目并网消纳能力评价体系。本文即在构建出综合评价指标体系后,基于 DEA 方法对风电项目的并网消纳能力进行算例分析。

1 风电项目并网消纳能力的评价指标

风电项目并网消纳能力受到政策环境、电力市场、技术水平、风电特性等多种因素的影响,主要概括为四个方面:风电出力的基础特性、风电的电网接入

能力、消纳及外送能力以及风电项目整体运行情况^[5]。这四个方面又可细分为如下 15 个二级评价指标。

1.1 风电出力的基础特性

1) 风电出力稳定性。由于风电不稳定的出力特性,对所接入电网的灵活调节能力以及稳定运行能力等方面有着更高的要求。

2) 地区调峰电源比例。指电网内部燃气机组及水电机组等具有调峰能力的电源装机容量占装机总量的比例。调峰电源规模的加大,一定程度上减轻了电网调峰压力,从而使得电网消纳风电的能力增强。

3) 技术装配水平。并网消纳相关设施设备的装配水平也决定了项目的并网接入能力。

1.2 风电的电网接入能力

1) 接入系统电压等级。良好的接入系统建设降维为风电外送创造有利的先决条件。

2) 接入电网风电装机比例。若电网中风电装机容量占比过高,则不利于电网调度,且会增加并网安全的风险。

3) 装机安排与电网规划情况。在衡量风电项目电网接入能力时,必须考虑项目未来的装机安排与所接入电网的规划情况是否匹配,若电网规划相对落后将限制机组接入,甚至会影响风电项目的审批。

1.3 消纳及外送能力

1) 地区用电负荷。在安排项目接入电网时,必须充分考虑地区内部是否能够消纳,若无法完全消纳则

收稿日期:2017-06-05

作者简介:沈晨姝(1993—),女,安徽滁州人,华北电力大学(北京)经济与管理学院,硕士生,研究方向:技术经济管理。

需要考虑电力外送的问题。地区用电负荷越大、消纳能力越强,则风电外送压力越小。

2)地区风电限电情况。例如:在东北地区的冬季为了保障供暖,优先安排火电机组出力,而火电机组装机过剩又进一步缩小了冬季风电的发电空间。另外,风力发电的不稳定性也会限制其消纳及跨区域外送。

3)地区用电量增长速度。电力市场的经济发展潜力决定了未来风电项目的就地消纳能力的增长情况。

4)地区电力供需情况。电力供需形势也会影响风电消纳能力,紧张的电力供应形势有助于避免弃风,增加区域内电力消纳。

5)跨区域外送通道容量。目前我国风电基地大多处于经济欠发达地区,本地用电负荷低、电网建设相对落后,导致风电接纳困难。因此,大力建设外送通道,尤其是远距离、跨区域的特高压电网,将大力提升电网的风电消纳能力。

6)外送通道与装机容量匹配度。在衡量跨区域外送能力时,除了考虑外送通道的容量,还应该结合项目自身的装机情况,衡量外送通道与风电装机能否良好匹配。

1.4 风电项目整体运行效果

1)设备利用水平。是衡量风电项目发电密度的指标,以全额发电时间与统计时间的比值为评价指标。

2)实际发电水平。是分析风电项目容量有效性的重要指标,通过计算风电机组实际发电量与额定发电量的比值,衡量风电装机容量的利用程度。

3)整体安全水平。是分析风电系统运行可靠性的重要指标,通过衡量机组停运情况分析项目的整体运行安全水平,以等效运营时间与统计时间的比值作为评价指标^[6-8]。

2 DEA 模型描述

数据包络分析(DEA)是以相对效率概念为基础发展起来的一种效率评价方法,运用该方法可以直接

使用原始数据,不需要进行一致化和无量纲化处理,具有结构简单、使用方便等优点,被广泛运用在电力工业领域中。结合评价对象特点以及所选指标的相关特性,本文选取数据包络分析 DEA 常规模型中的超效率(Super-Efficiency)模型进行风电项目并网消纳能力综合评价。该模型的基本思路是:在评估决策单元时,将该决策单元本身排除在决策单元的集合之外,使得有效决策单元之间也能比较效率的高低。针对所选的该模型方法进行简单介绍。

将参与评价的风电项目作为决策单元,设共有 n 个风电项目,每个项目有 m 种类型的输入(X)和 s 种类型的输出(Y), DWU_j 的输入和输出分别为: $x_j = (x_{1j}, x_{2j}, L, x_{mj})^T, y_j = (y_{1j}, y_{2j}, L, y_{sj})^T, (j = 1, 2, L, n)$ 。反映在模型上,可表示为如下对偶规划模型:

$$\begin{cases} \min[\theta - \hat{e}^T S^- + \hat{e}^T S^+] \\ \text{s. t. } \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 0}}^n x_j \lambda_j + S^- = \theta x_0 \\ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 0}}^n y_j \lambda_j - S^+ = y_0 \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, L, n, \theta \in E_+^+, S^- \geq 0 \end{cases}$$

其中, $\hat{e}^T = (1, 1, L, 1)^T$,若满足 $\theta_0 = 1, S^- = 0, S^+ = 0$,则称 DWU_{j_0} 为 DEA 有效。设模型的最优解为, $\theta^0, \lambda^0, S^{0-}, S^{0+}$,若 $\theta^0 = 1$,且 $S^{0-} = 0, S^{0+} = 0$,则称 DMU 为 DEA 有效;若 $\theta^0 = 1$,且 $S^{0-} \neq 0, S^{0+} \neq 0$ 则称 DMU 为弱 DEA 有效;若 $\theta^0 < 1$,则称 DMU 为非 DEA 有效。

该模型的经济意义是:如果某个决策单元是 DEA 有效的,则对于这些决策单元,其投入 X ,所获得的产出 Y 已达到最优^[9]。

3 算例分析

本文选取了五个具有代表性的风电项目来具体分析其并网消纳能力,项目的原始数据分别如表 1 所示。选取超效率模型,运用 DEA-Solver 软件得到了如表 2 所示的评价结果和如表 3 所示的松弛变量矩阵。

表 1 风电项目并网消纳能力原始数据

二级指标	风电项目 A	风电项目 B	风电项目 C	风电项目 D	风电项目 E
风电出力特性 C11	2	2	5	3	4
地区调峰电源比例 C12	22.20%	15.20%	45.00%	18.70%	5.90%
技术装配水平 C13	3	2	3	4	4
接入系统电压等级 C21	220 kV	66 kV	110 kV	110 kV	220 kV
接入电网风电装机比例 C22	12.04%	16.80%	6.40%	24.50%	15.00%
装机安排与电网规划情况 C23	3	2	4	5	4

续表 1

二级指标	风电项目 A	风电项目 B	风电项目 C	风电项目 D	风电项目 E
地区用电负荷 C31	71.2×10^8	71.2×10^8	223×10^8	121×10^8	56.5×10^8
地区风电限电情况 C32	2	2	4	3	4
地区用电量增长速度 C33	4.55%	4.55%	4.60%	15%	7.20%
地区电力供需情况 C34	4	4	2	3	3
跨区域外送通道容量 C35	500 kV	500 kV	800 kV	1 000 kV	880 kV
外送通道与装机容量匹配度 C36	2	2	4	5	3
设备利用水平 C41	18.87%	15.25%	25.42%	28.58%	23.56%
实际发电水平 C42	68.46%	50.24%	89.79%	80.48%	85.22%
整体安全水平 C43	98.27%	92.61%	97.72%	95.25%	94.71%

表 2 风电项目并网消纳能力综合得分及排名

1	风电项目 E	3.356 163 9
2	风电项目 C	2.528 782 9
3	风电项目 B	1.977 795 6
4	风电项目 D	1.552 470 6
5	风电项目 A	1.466 879 4

表 3 风电项目并网消纳能力松弛变量矩阵

决策单元			风电项目 D	风电项目 C	风电项目 A	风电项目 B	风电项目 E
得分			1.55	2.53	1.47	1.98	3.36
超额量			C11	S-(1)	0.00	8.33	0.00
超额量	C12	S-(2)	0.00	1.07	0.20	0.60	10.25
超额量	C13	S-(3)	2.23	3.27	1.38	0.02	0.00
超额量	C21	S-(4)	0.00	40.80	192.20	0.72	9.19
超额量	C22	S-(5)	0.18	0.00	0.00	0.00	621.88
超额量	C23	S-(6)	3.43	5.80	1.29	0.19	0.24
超额量	C31	S-(7)	37.56	502.96	30.75	0.00	8.13
超额量	C32	S-(8)	0.35	5.80	0.00	0.00	61.67
超额量	C33	S-(9)	0.16	0.04	0.00	0.96	10.25
超额量	C34	S-(10)	0.00	1.82	2.12	0.01	0.08
超额量	C35	S-(11)	590.76	1 073.55	23.03	5.17	6.89
超额量	C36	S-(12)	3.83	6.88	0.20	220.89	1 894.53
短缺量	C41	S+(1)	0.00	0.00	0.01	0.23	4.77
短缺量	C42	S+(2)	0.19	0.02	0.00	0.09	0.07
短缺量	C43	S+(3)	0.40	0.04	0.00	0.27	0.00

得分结果表明:风电项目 E 的并网消纳能力最高,其次为风电项目 C、B 和 D,消纳能力最差的为风电项目 A。

由上述松弛变量矩阵我们可以得出如下结论:

1) 风电项目 E 并网消纳能力得分最高的原因主要在于其具有很高的技术装配水平以及风电接入系统,电厂装机安排符合电网规划情况,而且其所在地区的跨区域外送通道容量丰富与装机容量匹配度高,为风电并网送出提供了很大的便利。

2) 风电项目 C 同样具有良好的接入系统、跨区域外送通道容量以及很高的装机容量匹配度,实际发

电水平及整体安全水平均较好。

3) 风电项目 D 在出力稳定性以及调峰电源比例水平没有上述电厂高,但其区域负荷情况以及跨区域外送通道容量水平都较为理想,实际发电水平较高。

4) 风电项目 B 接入系统电压等级、电厂装机安排符合电网规划情况以及区域用电负荷情况均不理想,跨区域外送通道容量较风电项目 E 等均有较大差距。因此,并网消纳能力整体较差。

5) 而风电项目 A 跨区域外送通道不足,电厂设备利用水平过低,因此其并网消纳能力在五个电厂中最低。

4 结语

本文设计了一套合理的风电项目并网消纳能力评价指标体系,运用数据包络法(DEA)对已有的风电项目并网消纳能力进行实践研究,弥补了现有研究缺少定量分析的不足,并且算例结果表明 DEA 方法可以很好地运用于风电项目并网消纳能力的研究。然而风电项目并网消纳能力是一个复杂的问题,本研究在对评价指标的挖掘以及评价指标间的关联分析方面仍存在较大的完善空间。未来应深入分析限制风电项目并网消纳能力的影响因素,给出切实可行的整改意见。

参考文献

[1] 张娜. 西北电网风电消纳能力评价研究[J]. 商届论坛, 2012(17): 209-210.

- [2] 王晓峰. 东北电网消纳风电能力研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2011.
- [3] 王云鹏. 风电消纳能力分析评估系统的设计与应用[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.
- [4] 凡鹏飞, 张粒子, 谢国辉. 充裕性资源协同参与系统调节的风电消纳能力分析模型[J]. 电网技术, 2012(5): 51-57.
- [5] 宋艺航, 谭忠富, 李欢欢. 促进风电消纳的发电侧、储能及需求侧联合优化模型[J]. 电网技术, 2014(3): 610-615.
- [6] 周莹. 促进大规模风电消纳的风电价格机制研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2013.
- [7] 徐国丰, 黄民翔, 裴旭. 华东大规模风电消纳模式研究[J]. 华东电力, 2011(7): 1045-1048.
- [8] 史瑞静, 李凤婷, 樊小朝. 风电场风电利用水平综合评价指标体系的研究分析[J]. 水力发电, 2015(3): 80-83+91.
- [9] 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: 155-178.

Study on the Absorptive Capacity of Wind Power Grid Project Based on DEA

SHEN Chen-shu

(North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: The capacity of wind power installed in China is developing rapidly, but the situation of insufficient sending capacity is insufficient. In this situation, research on wind power project consumptive ability is especially necessary. Above all, the first level evaluation index of four aspects was built, including basic characteristics. Then improved it to a comprehensive evaluation index system, which contains 15 secondary indicators including the stability of wind power output. Finally, used data envelopment analysis to evaluate five wind power projects. The results show that the DEA method can be well applied to the research of wind power consumptive ability.

Key words: wind power; absorptive capacity; data envelopment analysis; DEA model

(上接第 23 页)

Research on the Co-evolution of Internet Development and Industrial Structure Upgrading in China

YE Cun-jun, FANG Liang

(School of Management, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi 541004, China)

Abstract: That, accelerating the integration of the Internet and traditional industries, is of great significance to upgrade the economic structure. Based on the data of 2006-2016 in China, this paper analyzes the co evolution relationship between Internet development and upgrading of industrial structure on the basis of grey relational entropy flow model, finds that in most of the years, the development of the Internet and the upgrading of the industrial structure is related to the orderly. And only in a few years, the evolution of the two relations into chaos, disorder state. Our government should continue to deepen the integration of Internet and traditional industries, and thus promote its integration and development of traditional industries.

Key words: internet; industrial structure; co-evolution; entropy change