

Analysis on Investment Strategy of Chinese Mainland's Offshore Wind Power: A Case Study of Jiangsu Province

Wensen Hu, Yanchun Fu, Xiaoya Guo, Gengda Li, Xiongwei Li

Guodian New Energy Technology Research Institute Co., Ltd., Beijing
Email: 10083803@qq.com

Received: Jul. 28th, 2020; accepted: Aug. 12th, 2020; published: Aug. 19th, 2020

Abstract

To release supply-demand contradiction of energy and resolve the crisis of energy and environmental protection, the rational development and utilization of the abundant offshore wind resources in the southeast coastal area have become a hotspot in the new energy industry, and thus, are favored by investors. So far, offshore wind power projects have paralleled in the grid in eight provinces and cities led by Jiangsu. But confronted with such wave of construction, we cannot help thinking: is it urgent for China to develop offshore wind power in the moment? How necessary it is to invest massively offshore wind power? This paper will start with the analysis of power system and the economic analysis of offshore wind power investment, and then take Jiangsu as an example to analyze the investment strategy on the way of dissecting sparrow.

Keywords

Offshore Wind Power, Power System, Economic Analysis, Investment Strategy

以江苏为例浅析中国大陆海上风电投资策略

胡文森, 付延春, 郭晓雅, 李庚达, 李雄威

国电新能源技术研究院有限公司, 北京
Email: 10083803@qq.com

收稿日期: 2020年7月28日; 录用日期: 2020年8月12日; 发布日期: 2020年8月19日

摘要

为了缓解能源供需矛盾并且有效化解能源和环保危机, 合理开发利用东南沿海地区丰富的海上风力资源

文章引用: 胡文森, 付延春, 郭晓雅, 李庚达, 李雄威. 以江苏为例浅析中国大陆海上风电投资策略[J]. 现代管理, 2020, 10(4): 596-607. DOI: 10.12677/mm.2020.104072

俨然成为了当下新能源行业的研究热点，备受投资者们青睐。迄今为止，以江苏为首的八个省市均有海上风电项目并网，但面对这股海上风电建设浪潮我们不禁思考：现阶段中国大陆大力发展海上风电是否为最佳时机，海上风电场大规模建设的必要性如何？本文将从电力系统分析和海上风电投资经济性分析着手，以江苏为例通过解剖麻雀方式浅析中国大陆海上风电投资策略。

关键词

海上风电，电力系统，经济型分析，投资策略

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 中国大陆东南沿海地区电力现状分析

现今我国以火力发电为主，遵循我国节能、环保的火电政策，火电采用了先进的煤粉燃烧技术和排污控制技术，遵守严格的供电煤耗和 SO_2 、 NO_x 、粉尘等排放标准，是一种清洁高效且经济的发电技术，既保证化石能源的合理利用又不对环境造成影响。然而，在中国大陆超过八成的煤炭、水能、风能和太阳能资源分布在西北部地区，超过七成的社会用电量却集中在东中部地区，资源和电力消纳分布失衡。部分东南沿海地区能源禀赋不足，尤其是近年来随着社会经济迅速发展，电力供需缺口愈发难以填补。

根据国家能源局发布的 2018 年全国电力工业统计数据，2018 年中国总发电量为 67,914.2 亿千瓦时，其中火力发电量为 49,794.7 亿千瓦时，占总发电量 73.32%，火电装机共 114,367 万千瓦，平均利用小时数约为 4354 小时，其中江西省火电利用小时数最高为 5269 小时，西藏最低为 304 小时，其中东南沿海地区部分省份电力数据如表 1 所示[1]。

Table 1. Electric power data of some provinces in southeast China

表 1. 东南沿海地区部分省份电力数据

2018 年	江苏	浙江	福建	广东
用电量(亿千瓦时)	6128.27	4532.8	2313.8	6323.35
发电量(亿千瓦时)	5030.87	3352.8	2356.9	4369.6
用电缺口(亿千瓦时)	1097.4	1180	-43.1	1953.75
火电发电量占比	88.68%	77.80%	59.82%	75.64%
火电发电量(亿千瓦时)	4461.1424	2608.4009	1409.7896	3305.0624
火电装机(万千瓦)	9749	6209	3128	8069
火电利用小时数(小时)	4576	4201	4507	4096
火电利用小时数排名	8	15	11	18

2018 年, 福建省发电量超过用电量, 不存在用电短缺, 已建机组利用合理, 开发新能源的需求并不迫切。而江苏、浙江、广东分别存在 1097 亿千瓦时、1180 亿千瓦时和 1954 亿千瓦时的用电缺口依靠区外来电弥补。然而从火电利用小时数来看, 浙江、广东火电利用率低于全国平均水平, 可通过提高现有火电机组开机率来弥补一部分用电缺口, 但仍存在能源供给不均衡。倘若依靠省内火电高强度运行来维持用电需求, 江苏、浙江、广东火电利用小时数则分别增至 5702 小时、6101 小时和 6517 小时。按照电力行业经验, 若某一地区全年的设备利用小时数高于 5500 小时, 说明该地区用电紧张, 可继续增加电源投资, 若低于 4500 小时, 则说明该地区电力富余, 一般不能再新增发电装机。江苏、浙江、广东装机目前还没有达到设计利用小时数, 当下电力供应不足的矛盾很大程度上可以通过延长火电机组开机时间、西电东送来缓解, 满足社会用电需求, 见表 2。

Table 2. Utilization hours of thermal power in Jiangsu, Zhejiang and Guangdong
表 2. 江苏、浙江、广东火电利用小时数分析

2018 年	用电缺口(亿千瓦时)	火电装机(万千瓦)	新增火电利用小时数(小时)	实际利用小时数(小时)	理想利用小时数(小时)
江苏	1097.4	9749	1126	4576	5702
浙江	1180	6209	1900	4201	6101
广东	1953.75	8069	2421	4096	6517

随着社会的进步, 未来电力需求的增长, 未来我国东南沿海地电力供应是否可以通过延长火电机组开机时间、西电东送来解决? 本文将以江苏省为例, 通过分析电力现状并根据历史电力数据预测未来五年江苏省全社会电需求增量和火电装机总量以及西电东送, 探讨江苏省未来五年内发展海上风电的必要性并定量计算投资收益率。

2. 江苏省电力分析

2.1. 江苏省电力现状

作为传统的经济大省, 江苏省既是发电大省也是用电大省。电力产业的快速发展为江苏省的经济运行提供了强有力的保障, 较大的经济体量和较高的经济增长速度也为电力生产和消费带来了广阔的空间。自改革开放以来江苏省经济保持稳定发展, 尤其是近五年江苏省的经济发展呈中高速增长, 在 2015 至 2019 年间, 省内全社会生产总值增速分别为 8.5%、7.8%、7.2%、6.6%和 6.1%。仅 2019 年一年江苏省地区生产总值达到 9.96 万亿元, 占我国国内生产总值的 10.1% [2]。与经济实力匹配的是江苏省的电力发展水平。根据江苏省统计局公开数据显示, 在 2015 至 2019 年间, 江苏省全社会用电量增速分别达 2.0%、6.7%、6.4%、5.5%和 2.2%。中电联统计数据显示, 截至 2018 年年底, 江苏省发电装机容量达到 12657 万千瓦。其中, 燃煤装机 7884.6 万千瓦, 占全省装机 62.3%; 天然气、抽蓄、核电装机分别为 1501.7 万千瓦、260 万千瓦和 437.2 万千瓦, 分别占全省装机的 11.9%、2.1%和 3.5%。风电和光伏装机分别为 864.6 万千瓦和 1332.3 万千瓦, 分别占全省装机的 6.8%和 10.5% [3], 见图 1。

此外, 江苏省还通过已建成的±800 千伏锦屏 - 苏南、±800 千伏雁淮、在建中的锡盟 - 泰州等特高压直流输电工程跨省跨区输电通道为江苏省输送来自四川、山西、内蒙等地的丰富电力, 成为了“西电东送”的重要接收地。2018 年, 江苏省通过省间输电通道所接受区外来电约占总负荷的 18%, 其中四川水电、西北风电等清洁能源达到一半以上, 见图 2。

2018年江苏省装机结构图

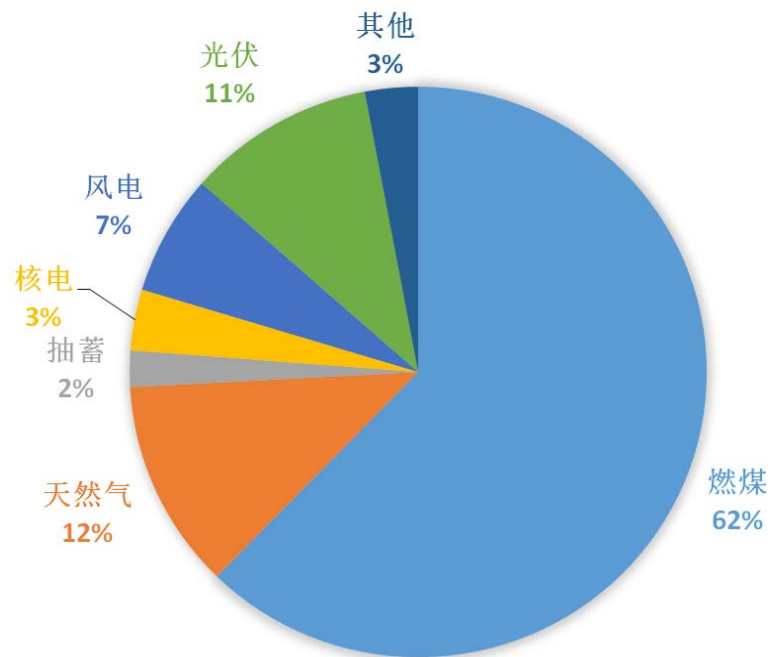


Figure 1. Installation structure of Jiangsu Province in 2018

图 1. 江苏省 2018 年装机结构图

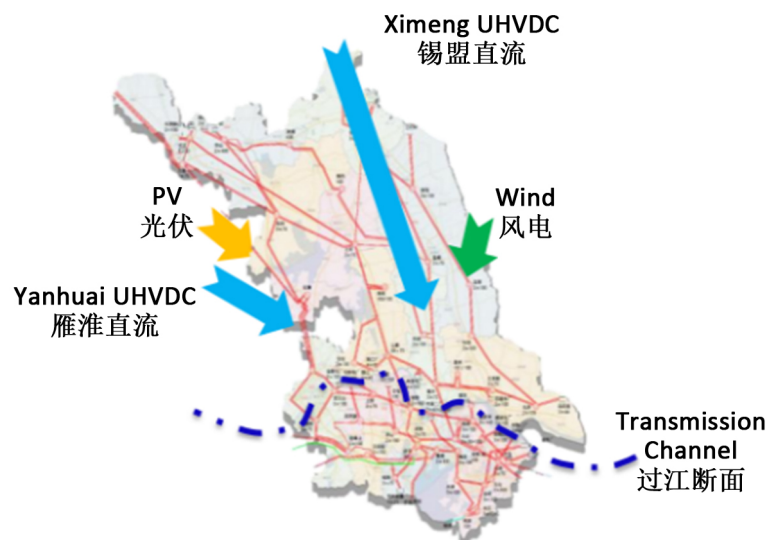


Figure 2. Pattern of external electricity in Jiangsu [3]

图 2. 江苏省区外来电格局图[3]

2.2. 江苏省未来电力预测

2.2.1. 电力需求预测

电力需求和经济活动有直接的关系，经济的增长往往伴随着大量的电力消费。这里将建立二者之间的回归关系，由此预测江苏省未来五年的电力需求。

通过查询江苏省统计局数据[4]，2009 年~2018 年电力数据和江苏省名义生产总值数据如表 3：

Table 3. Total social electricity consumption and nominal GDP of Jiangsu Province from 2009 to 2018
表 3. 2009 年~2018 年江苏省全社会用电量和名义 GDP 总值

年份	用电量(亿千瓦时)	GDP (亿元)
2009	3313.99	34,457
2010	3864.28	41,425
2011	4281.62	49,110
2012	4580.9	54,058
2013	4956.62	59,753
2014	5012.54	65,088
2015	5114.7	70,116
2016	5458.95	76,086
2017	5807.89	85,901
2018	6128.27	92,595

由散点图可以初步得出二者具有指数关系的结论，相关系数为： $R^2 = 0.9918$ ，见图 3。

用电量-GDP散点图

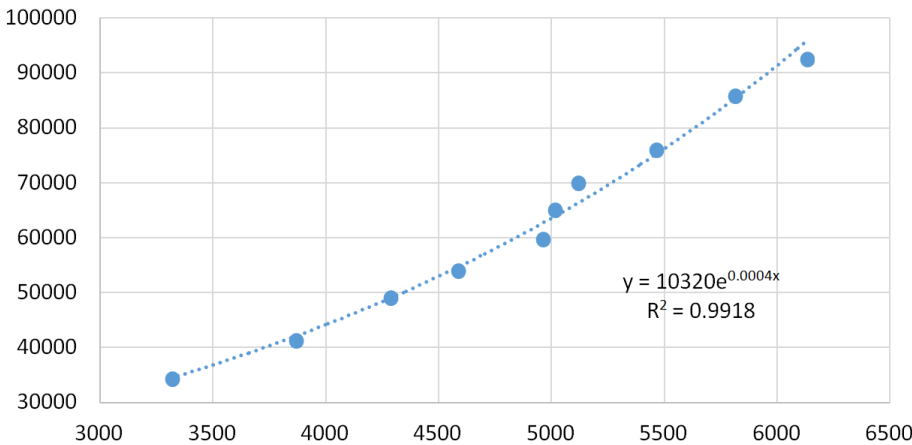


Figure 3. Scatter chart of electricity consumption-GDP
图 3. 全社会用电量-GDP 值散点图

为建立严格的因果关系，本文对上表的统计数据进行格兰杰(Granger)因果关分析。通过计算可得，用电量引起 GDP 变化的可信值超过 95%，而 GDP 是引起用电量变化原因的可信值不超过 50% [5]。因此设 X 为全社会用电量，Y 为 GDP 值，对用电量、GDP 进行自然对数变换处理，分别记为 LNX 和 LNY，建立二者一阶线性关系： $LNY_t = a_0 + a_1LNX_t + a_2LNX_{t-1} + \gamma LNY_{t-1} + \mu_t$ 。做差分得到误差修正模型：

$$\Delta LNY_t = a_1 \Delta LNX_t + (\gamma - 1) \left(LNY_{t-1} + \frac{a_1 + a_2}{\gamma - 1} LNX_{t-1} + \frac{a_0}{\gamma - 1} \right) + \mu_t$$

其中， $LNY_{t-1} + \frac{a_1 + a_2}{\gamma - 1} LNX_{t-1} + \frac{a_0}{\gamma - 1}$ 项为误差修正，其修正速度为 $\gamma - 1$ 。

带入表 3 数据后，得到： $\Delta LNY_t = 0.4084 \Delta LNX_t - 0.2503 (LNY_{t-1} - 1.2854 LNX_{t-1} - 0.7278) + \mu_t$

做积分可得: $LN Y_t = 1.2156 LN X_t + 0.7813$

根据 GDP 倒推全社会用电量, 分别计算当 GDP 增速(不考虑通货膨胀)为 4%、5%、6%、7%、8%、9%、10%时, 未来五年江苏省用电量见图 4。

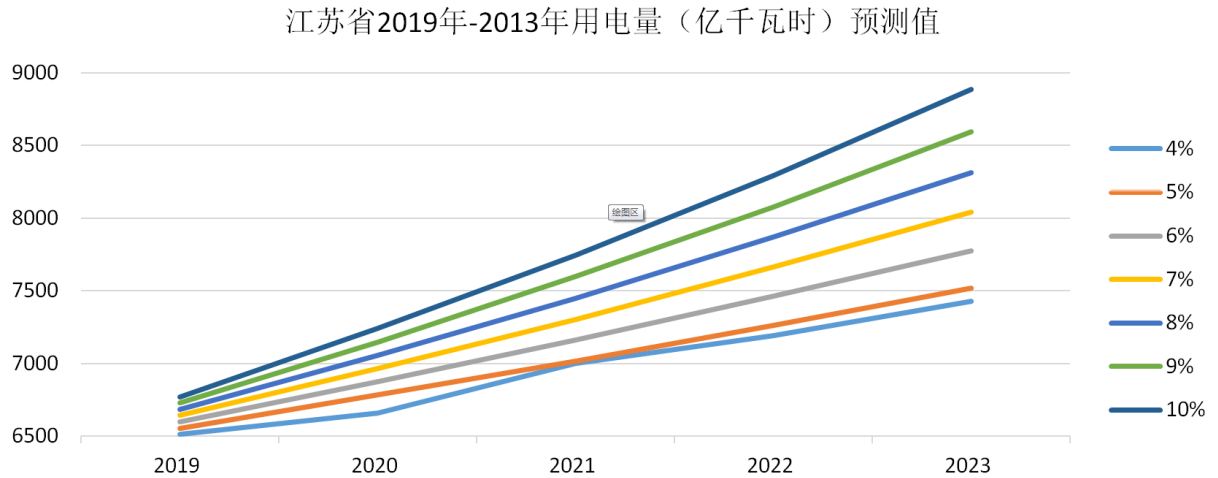


Figure 4. Forecast value of electricity consumption (10^8 kwh) in Jiangsu from 2019 to 2013

图 4. 江苏省 2019 年~2013 年用电量(亿千瓦时)预测值

2.2.2. 火电装机容量预测

根据相同方法, 可计算火电装机容量和发电量之间的因果关系并预测江苏省未来五年火电装机容量, 见表 4。

Table 4. Prediction of thermal power installed capacity in Jiangsu

表 4. 江苏省火电装机容量预测

火电装机量预测 (万千瓦)		年份				
		2019	2020	2021	2022	2023
GDP 增长速率	4%	10,283.88	10,029.02	11,321.56	11,763.00	12,281.85
	5%	10,352.54	10,216.67	11,348.67	11,879.44	12,433.29
	6%	10,421.10	10,353.21	11,578.21	12,202.64	12,859.78
	7%	10,489.53	10,490.53	11,810.85	12,532.68	13,298.62
	8%	10,557.82	10,628.65	12,046.58	12,869.65	13,750.07
	9%	10,625.99	10,767.55	12,285.44	13,213.64	14,214.38
	10%	10,694.06	10,907.24	12,527.40	13,564.71	14,691.76

2.2.3. 利用小时数预测

根据表 3 和表 4 的用电量预测和火电装机预测, 可以计算当 GDP 增速介于 4%和 10%时, 江苏省未来五年火电利用小时数, 见表 5。

从表中可知, 如果水电、核电等其他能源机组装机容量、利用小时数保持不变并且不接纳区外来电, 为了满足未来五年社会用电需要, 火电利用小时数基本维持在 5580 小时至 5830 小时之间, 和 2018 年用电供需形势差别甚微。

倘若充分利用已建“西电东送”通道，接纳区外来电，火电利用小时数基本维持在 4690 小时至 5110 小时之间，仍不超过 5500 的设计利用小时数。由此可见在未来五年内，江苏省发用电不平衡的应对方法首选提高现有火电机组利用率以及合理利用“西电东送”通道线路，海上风电的发展并不紧迫。

Table 5. Prediction of thermal power utilization hour in Jiangsu
表 5. 江苏省火电利用小时数预测

火电利用小时数预测 (小时/年)	年份										
	2019		2020		2021		2022		2023		
是否接纳区外来电	√		√		√		√		√		
GDP 增长速率	4%	5778	4711	5692	4976	5681	4712	5630	4697	5584	4690
	5%	5820	4721	5762	5006	5696	4715	5691	4711	5658	4707
	6%	5820	4732	5769	5028	5696	4744	5691	4748	5658	4751
	7%	5789	4742	5754	5049	5702	4773	5660	4784	5619	4794
	8%	5830	4753	5829	5070	5825	4800	5824	4819	5824	4835
	9%	5789	4742	5748	5049	5702	4773	5660	4784	5619	4794
	10%	5799	4773	5757	5110	5729	4853	5695	4886	5660	4913

3. 江苏省海上风电

3.1. 江苏省海上风电现状

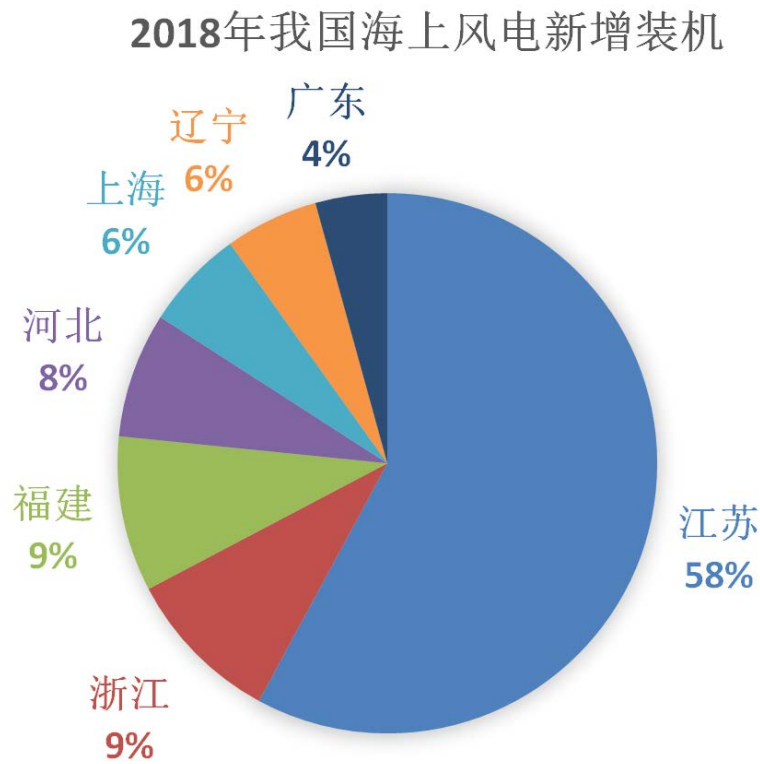


Figure 5. New installed offshore wind power in China in 2018
图 5. 2018 年我国海上风电新增装机

截至2018年我国海上风电累计装机

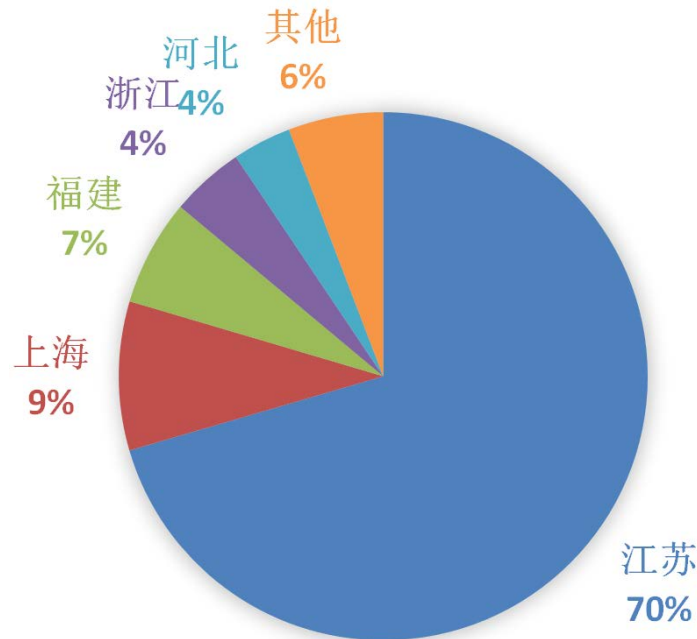


Figure 6. Cumulative installed capacity of offshore wind power in China (up to 2018)
图 6. 2018 年我国海上风电新增装机(截至 2018 年)

2018 年,我国海上风电新增装机分布在江苏、浙江、福建、河北、上海、辽宁和广东七省市(新增海上风电装机容量分布如图 5)。截至 2018 年底,江苏省海上风电累计装机容量突破 300 万千瓦,占全国海上风电累计装机容量的 70.4% [6],连续多年领跑全国(我国累计海上风电装机容量分布如图 6)。根据江苏省“十三五”规划,2020 年江苏省海上风电装机容量将达到 300 万千瓦,占全国海上风电规划装机容量的 60%。2018 年 9 月,江苏省委、省政府办公厅印发了《关于加快全省化工钢铁煤电行业转型升级高质量发展的实施意见》(苏办发[2018]32 号),煤电方面,从严从紧新规划建设大型燃煤发电机组,支持通过容量和煤量等(减)量替代。到 2020 年,全省燃煤发电项目装机规模控制在 8000 万千瓦以内,燃煤发电装机占比由去年的 67.6%下降至 58.5%,区外来电最大电力占全省全社会最大负荷的比重由去年的 23%提高至 28.5%左右[7]。2019 年 3 月,江苏省政府办公厅发布了《关于印发江苏省环境基础设施三年建设方案(2018~2020 年)的通知》,提出:“科学发展风电,坚持海陆并举、以海为主。”“2020 年风电装机并网规模突破 1000 万千瓦。到 2020 年,非化石能源发电装机力争达到 2600 万千瓦,占省内电力装机的 20%左右。”

江苏省还具备独特的海上风能资源开发优势:

- 1) 海域风资源丰富,开发潜力高;

Table 6. Exploitable area and development potential of offshore wind power in Jiangsu [9]

表 6. 江苏省离岸海上风电可开发面积和开发潜力[9]

距离/km	可开发面积/km ²	风能技术(万千瓦)	可开发电力(亿千瓦时/年)
20	7614	3800	1045
50	19035	9500	2612.5

依据江苏省统计局资料,江苏省东部沿海拥有 954 km 海岸线,滩涂面积达 6500 km²。若参考江苏启

东海上风电场年均利用小时约 2750 小时[8]，则发电潜力将远大于风电需求量，见表 6。

- 2) 地形条件优越，以平原为主，气候工程条件好，风电场的建设造价成本和施工难度降低；
- 3) 海上风电场紧邻用电负荷中心，风电场沿海岸线布局，呈带状分布，可就近接入连云港电网、盐城电网、南通电网等，及时并网，节省输电耗费，有利于风电消纳；
- 4) 全省海上风电产业链相对成熟，配套产业发展规划完善。

3.2. 海上风电经济性分析

2019 年 5 月，国家发改委下发《关于完善风电上网电价政策的通知》(发改价格[2019]882 号)，通知规定 2019 年符合规划、纳入财政补贴年度规模管理的新核准近海风电指导价调整为每千瓦时 0.8 元，2020 年调整为每千瓦时 0.75 元。2020 年 1 月，财政部、发展改革委、能源局发布的《关于促进非水可再生能源发电健康发展的若干意见》，明确提出 2021 年 12 月 31 日前未完成全部机组并网的新增海上风电项目不再纳入中央财政补贴范围。由此可见，我国海上风电上网电价演化类似陆上风电，发展初期由国家财政补贴，积极鼓励工程投资，随着海上风电规模的增大，包括单机容量的增大和单个风电场规模的增大，海上风电的竞争力将会和陆上风电一样，成为经济的电力，最终趋于平价上网。因而在脱离政府补贴后，海上风电是否值得投资还需取决于工程成本控制。

本文以江苏省 2018 年新核准、2020 年开工的三峡新能源江苏如东 H10 海上风电项目为算例，研究上网电价和工程单位造价对投资收益率的影响，分析现阶段工程造价下的合理投资电价以及未来平价上网所对应的工程造价水平。同时参考国外海上风电生产技术水平发展，合理分析我国海上风电工程单位千瓦造价趋势。江苏如东 H10 海上风电项目是江苏省发改委 2019 年 1 月 16 日新核准 24 个海上风电项目之一，并于 2020 年 2 月由三峡新能源破土动工，工程建设为期一年。该项目位于如东县东部的黄沙洋海域，风电场中心离岸直线距离约 63 km，厂区海底高程-14 至-22 m，规划海域面积约 66 km²，装机容量 400 MW，风电场配套新建两座 220 KV 海上升压站，汇集于海上换流站后以一回±400 kV 直流电缆送往陆上换流站[8]。具体参数见表 7。

Table 7. Parameters of Jiangsu Rudong H10 offshore wind power project [8]

表 7. 江苏如东 H10 海上风电项目参数[8]

分析参数	海上风电
规模/MW	400
上网电价(含税)/[元·(kWh) ⁻¹]	0.45
税率/%	13
银行贷款年利率/%	5
还款年限/年	15
自有资金比例/%	20
建设周期/年	1
运营周期/年	30
年平均利用小时数/h	2750
运维费用/[元·(kW·年) ⁻¹]	100
单位千瓦造价/[元·(kW) ⁻¹]	17918

通过计算内部收益率[10]得出，上网电价取 0.45 元/千瓦时，江苏省如东#H10 项目海上风电投资收益

率仅为 2.76%，远低于一般项目基准折现率 8%，项目亏损严重。仅从经济性分析，若维持现有技术和造价水平，当上网电价为 0.64 元时，项目投资才具有可行性，见图 7。鉴于 2020 年 1 月财政部、发展改革委、能源局发布的《关于促进非水可再生能源发电健康发展的若干意见》，明确提出 2021 年 12 月 31 日前未完成全部机组并网的新增海上风电项目不再纳入中央财政补贴范围，我国海上风电竞价市场也愈发成熟，因此在未来试图依靠电价补贴来维持此类项目的运营将难以实现。

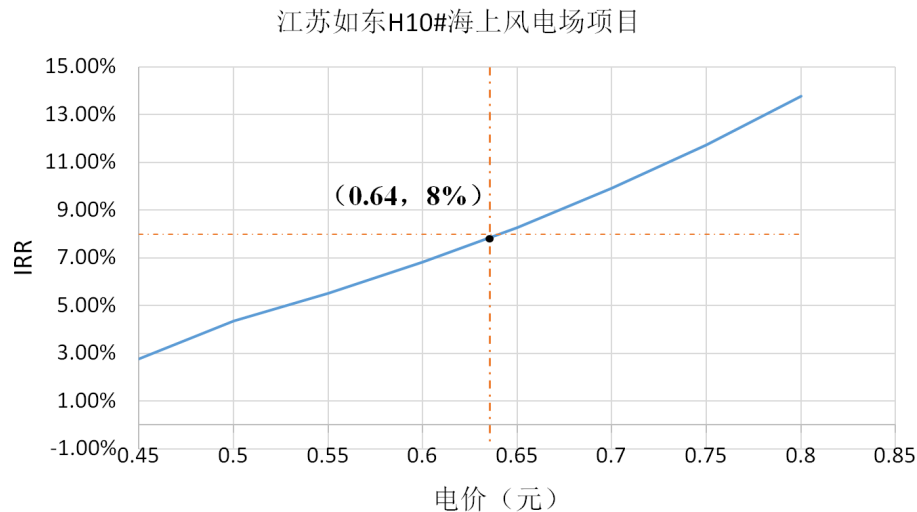


Figure 7. Relationship between electricity price and IRR (internal rate of return)

图 7. 江苏如东 H10 海上风电项目电价与内部收益率 IRR (Internal Rate of Return)关系图

为了保证其未来在电力市场的竞争性和投资的收益率，这里分析造价成本对内部收益率的影响，通过上述经济性分析方法可得，当单位千瓦造价不超过 12,800 元时，投资收益率可维持在 8%以上，项目投资可行，见图 8。从 2010 年我国第一个海上风电项目——东海大桥海上风电场的每千瓦 22,549 元到如今江苏省平均每千瓦造价 18,109 元，十年将降低了 19.69%。从我国海上风电市场来看，伴随着产业的发展和成熟，风机制造技术不断提高，生产成本在逐年减少，可以预见未来海上风电项目的投资风险将大大降低。

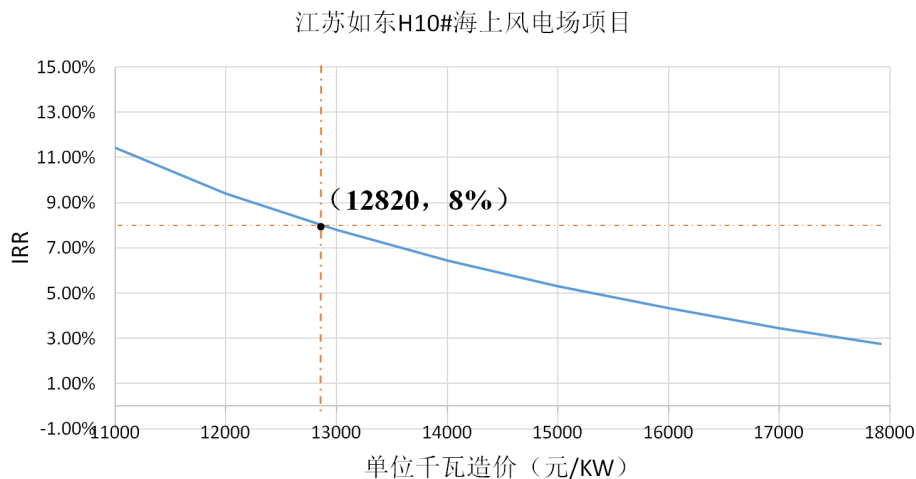


Figure 8. Relationship between unit kilowatt cost and IRR

图 8. 江苏如东海上风电项目单位千瓦造价与内部收益率 IRR 关系图

目前国内海上风电市场、技术、电价政策等等尚未成熟，我们可以通过拟合欧洲海上风电成本变化历史曲线来预测未来我国海上风电造价成本变化：随着技术的发展，欧洲海上风电离岸距离和水深不断增加，因而海上风单位成本造价具有较大的波动性，总体呈三次方幂发展，见图 9。我国海上风电起步落后欧洲三十年左右，通过该曲线可以错位拟合并预测我国海上风电单位造价变化趋势。以 2010 年我国首个海上风电项目单位造价 22,549 元/千瓦为基准，预测将在 2025 年我国海上风电单位造价降至 12,800 元以下；以 2018 年以来江苏省新核准海上风电项目平均单位造价 18,109 元/千瓦为基准，预测将在 2028 年我国海上风电单位造价降至 12,800 元以下。

由此我们得出结论：2025~2028 年起，江苏省海上风电投资具有可行性。

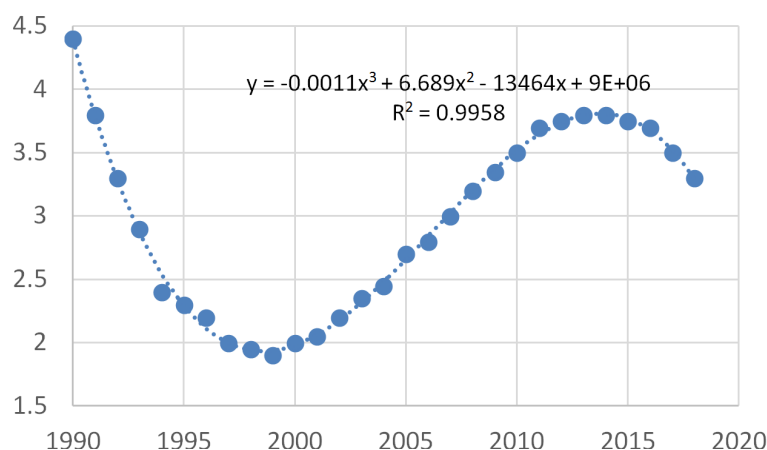


Figure 9. Average cost per kilowatt of offshore wind power in Europe from 1991 to 2018 [11] (103€/kW)

图 9. 1991~2018 年欧洲海上风电单千瓦平均造价[11] (千欧元/kW)

4. 结论

本文首先从我国电力结构入手，分析当下我们东南沿海四省发用电现状、现有火电利用率，以此为依据讨论了已建火电机组的利用潜力。然后以江苏省为研究对象，一方面讨论了未来五年内电力系统形式得出了未来发用电不平衡很大程度上可以通过提高火电机组利用小时数以及合理利用现有“西电东送”通道来解决的结论。另一方面，研究了江苏省海上电力系统和海上风电发展现状，分析了江苏省风电发展的必要性，从电力需求、风能资源、经济效益等方面，采用定性分析和定量分析相结合的方法，着重分析江苏省海上风电的供需关系并进行投资经济性分析，从而为中国大陆海上风电项目的投资者提供理论依据，得出结论具体如下：

1) 我国海上风电资源分布靠近高电力负荷区，且开发潜力大，超过 3500 GW，完全满足未来风电开发需求。从能源安全和可持续发展的角度出发，开发海上风电支撑我国能源转型发展战略，对能源产业和经济具有拉动作用，此外还能带动关联产业有利于疫情之后的经济复苏，在未来是非常必要的。但目前我国尚未建立完备的风能资源评估体系，海上风电相关规划待研究落实，有关政策与管理机制也尚待研究完善。

2) 现阶段沿海地区火电机组利用率较低，“西电东送”输电通道尚有余力，五年之内如存在供电不足的情况，可以通过提高已建火电机组利用小时数和接纳区外来电予以解决，因而海上风电的开发并不紧迫。

3) 分析生产技术水平发展、电价并计算投资收益回报率，可以做出 2021 年年底未并网的海上风电

项目投资收益率较低的推论, 预见 2025~2028 年海上风电单位千瓦造价将降至 12,800 元以下, 届时海上风电项目的投资才具有可行性, 风险将大大降低。在此之前应采取加大我国风机研发力度和制造水平, 提高设备本土化程度的应对措施, 控制生产成本。

在海上风电项目投资尚未具备可行性之前仍需积极参与海上风电建设, 勘察可建设资源, 做好微观选址工作, 建设示范项目。与国内头部风电整机制造商密切合作并且关注整机造价情况及技术进步情况, 密切关注西门子、三菱重工、GE 等国际海上风机整机制造商的造价变化和技术发展水平以及海缆市场情况。做好平价上网情况下满足较好收益率的整机低造价时代来临的准备, 可大规模开展海上风电建设。

基金项目

本文得到国家能源集团 2019 年科技创新项目“国家能源集团新能源智慧企业建设标准(GJNY-19-140)”的资助支持。

参考文献

- [1] 国家能源局. 国家能源局发布 2018 年全国电力工业统计数据[EB/OL]. http://www.nea.gov.cn/2019-01/18/c_137754977.htm
- [2] 江苏省人民政府办公厅. 2019 年江苏省国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. http://www.jiangsu.gov.cn/art/2020/4/14/art_77531_9044724.html
- [3] 电力规划设计总院. 基于现代建模方法的江苏电力系统灵活电源规划研究[EB/OL]. <http://www.eppei.com/>
- [4] 江苏省统计局. 2018 年 1~12 月份全社会用电量[EB/OL]. http://tj.jiangsu.gov.cn/art/2019/1/30/art_64640_8107011.html
- [5] 叶珊, 李士华. 江苏省电力消费与地区经济关系的实证分析[J]. 电工电气, 2018(1): 60-63.
- [6] 中国风能协会. 2018 中国风电装机容量统计《中国风电产业地图 2018》[EB/OL]. http://www.cwea.org.cn/industry_data.html
- [7] 中共江苏省委办公厅. 关于加快全省化工钢铁煤电行业转型升级高质量发展的实施意见[EB/OL]. http://www.zgjssw.gov.cn/fabuting/liangbanwenjian/201809/t20180912_5692445.shtml
- [8] 全国能源信息网. 江苏启东 800 MW 海上风电项目开始招标 单机要求 6 MW 及以上海上机型! [EB/OL]. <http://news.bjx.com.cn/html/20190916/1007151.shtml>
- [9] 刘秋华, 陈超, 董丹丹. 江苏省海上风电资源利用现状分析[J]. 南京工程学院学报(社会科学版), 2015, 15(3): 55-61.
- [10] Shamshirband, S., Petkovic, D., Cojbasic, Z., et al. (2014) Adaptive Neuro-Fuzzy Optimization of Wind Farm Project Net Profit. *Energy Conversion & Management*, **80**, 229-237. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.01.038>
- [11] 国信证券. 海上风电专题研究之一: 从欧洲发展历程看中国海上风电市场前景[EB/OL]. <http://istock.jrj.com.cn/article,yanbao,31155084.html>