

时序模拟与概率分析相结合的风电消纳能力评估方法研究

文/徐 栋¹ 刘天慧¹ 季时宇¹ 张广玉¹ 赵国亮²

1. 中国电力工程顾问集团东北电力设计院有限公司；2. 华能吉林发电有限公司新能源分公司

提出了一种时序模拟与概率分析相结合的新型风电消纳计算方法，综合了二者的优点。根据供需平衡确定常规机组开机方式，根据系统常规机组的调峰能力及风电持续出力概率曲线确定风电消纳电力及电量。为适应工程计算，提出了保持固定出力区间（如5%）面积不变、出力采用固定值等效的简化原则。

根据《能源发展“十三五”规划》，2020年我国非化石能源消费比重提高到15%以上，单位GDP CO₂排放量较2015年降低18%。大力发展风电等可再生能源既是改善能源消费结构的需要，也是改善生态、保护环境的需要。

风电消纳能力受多种因素制约，根据实际运行经验可知，主要制约因素有调峰约束、调频约束、断面潮流安全约束和局部地区电压稳定约束等。本文重点研究调峰因素导致的风电限定问题。

风电具有随机性和间歇性的特点，与电力实时平衡间存在矛盾，需对系统中其他具有调节能力的机组（如抽水蓄能、可调水电、燃机及火电等）进行调峰。在系统调峰能力不足的情况下，为保证系统安全稳定运行，需限制风电出力。

电网接纳风电能力主要与负荷水平及负荷特性、电源结构及调节特性、系统旋转备用大小、风电场的出力特性等相关。随着风电比重的不断提高，电源规划必须面对和解决电网接纳风电的能力问题。建立科学的消纳能力评估方法，有助于风电场建设规划，辅助消纳措施的制定。

风电消纳能力评估方法综述

目前风电消纳能力评估方法主要分为时序模拟

和概率分析两大类。

各种时序模拟方法的核心包括两部分：①利用确定性或概率性机组组合模型确定常规机组开机方式；②基于机组开机方式和日内实时风电出力数据，根据系统常规机组的调峰能力确定风电消纳电力及电量。时序模拟具有直观、获取信息较多的优点，若想获取全年的风电消纳情况，需要对全年的风电出力时序曲线进行模拟，目前的模拟方法难以保证该时序曲线的准确性。

概率分析方法的核心包括两部分：①求取常规机组、负荷、风电出力概率累计曲线；②基于各概率累计曲线包络范围确定弃风电量和未被利用的风电消纳空间。概率分析对风电出力的模拟相对准确，但考虑供热季热电机组出力对风电消纳能力的影响较复杂，工程应用困难。

时序模拟与概率分析相结合的风电消纳计算方法

1. 风电消纳计算思路

本文综合时序模拟与概率分析的优点，利用确定性机组组合模型确定常规机组开机方式，基于风电概率分布特性，根据系统常规机组的调峰能力确定风电消纳电力及电量。

具体实施步骤:

1) 根据最大负荷需求 P_{Lmax} 和电网运行需要, 确定常规机组开机容量 $P_G=P_{Lmax}(1+K_G)$, 其中 K_G 为旋转备用率。

2) 根据各类常规机组调节特性, 确定实时综合可调出力下限 P_{Gmin} , 需考虑热电供热约束、火电最小稳燃和水电强迫出力等。

3) 根据实时负荷水平 P_L 和常规机组, 实时综合可调出力下限 P_{Gmin} , 确定电网实时可接纳风电最大电力 $P_{Wmax}=P_L-P_{Gmin}$ 。

4) 根据无限电历史实时数据、统计风电持续出力概率曲线(类似年持续负荷特性, 纵坐标为风电出力标幺值, 横坐标为概率值)。

5) 根据风电装机容量及持续出力概率曲线, 确定风电持续出力曲线 P_W 。

6) 在常规机组, 实时综合可调出力曲线 P_{Gmin} 的基础上, 叠加风电持续出力曲线 P_W , $P_W>P_L$ (实时负荷水平)的部分弃风。风电弃风电量计算示意图如图1所示, 其中阴影部分为时间 ΔT 内的弃风电量。

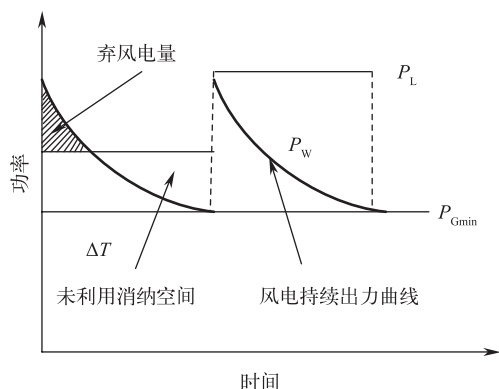


图1 风电弃风电量计算示意图

2. 工程简化计算方法

(1) 简化原则

1) 将全年以天为间隔进行划分, 单独研究每天风电消纳情况, 最后进行累加分析全年整体情况。

2) 每月采用1个典型日代表。

3) 每时采用1个确定负荷等效。

4) 将风电持续出力概率曲线以固定出力区间(如5%)进行划分, 以保持面积不变为原则, 各区间出力采用固定值等效, 如图2所示。

5) 弃风电量为

$$W_q = (2\Delta P + \Delta P_x) \times \Delta p_{r1} + (\Delta P + \Delta P_x) \times \Delta p_{r2} + \Delta P_x \times \Delta p_{r3} \quad (1)$$

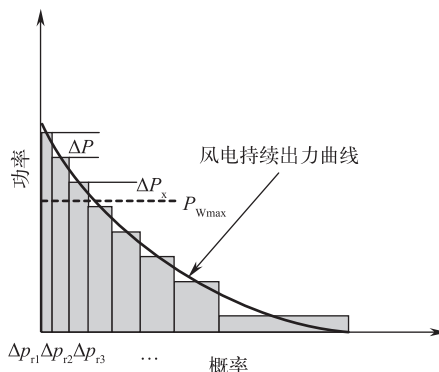


图2 风电持续出力概率曲线简化示意图

(2) 计算流程

风电消纳工程简化计算流程如图3所示。该流程为单日弃风电量计算过程, 需按简化原则扩展至全年后分析年弃风情况。

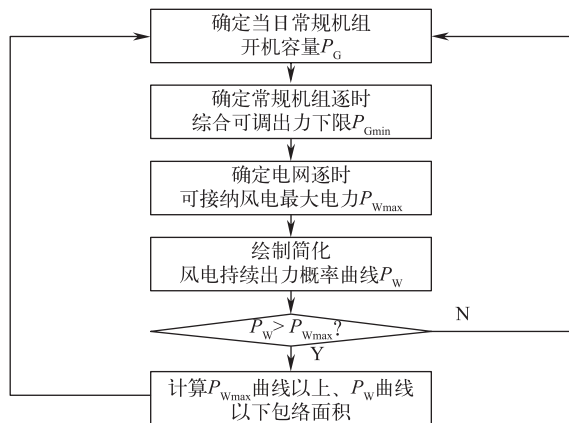


图3 风电消纳工程简化计算流程

锡盟风电基地消纳能力分析

1. 工程概况

1) 锡盟—泰州±800 kV特高压直流输电工程。额定输送功率为10 000 MW, 起点为内蒙古锡盟地区, 落点为江苏泰州地区。

2) 胜利—锡盟—北京东—济南1 000 kV特高压交流输变电工程。新建胜利(6 000 MV·A)、锡盟(3 000 MV·A)、北京东(6 000 MV·A)和济南(6 000 MV·A)4座特高压变电站, 新建胜利—锡盟—北京东—济南双回特高压线路。

2. 边界条件

1) 特高压交直流通道输送容量16 000 MW, 等效利用小时数按6 000 h考虑。

2) 风电理论利用小时数按2 700 h考虑。

3) 特高压交直流外送通道典型日外送有功功率曲线按受端负荷特性考虑,如图4所示。

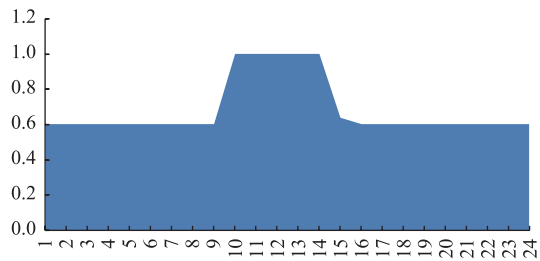


图4 特高压交直流外送通道典型曲线

- 4) 配套火电15 900 MW (其中常规火电15 200 MW, 热电700 MW)。
- 5) 常规火电实际出力受阻按11%考虑 (其中煤质尖峰受阻3%, 厂用电及送出网损8%), 最小技术出力参照同类机组情况, 按46.7%考虑。
- 6) 热电机组供热期实际出力受阻按18%考虑 (其中供热因素10%, 厂用电及送出网损8%), 最小技术出力参照同类机组情况, 按70%考虑; 非供热期实际出力受阻参经常规火电, 最小技术出力参照同类机组情况, 按47.1%考虑。
- 7) 风电出力概率分布见表1。

表1 风电出力概率分布

风电出力区间	出力概率 (%)	电量概率 (%)
0.00~0.05	18.26	2.11
0.05~0.10	13.59	4.71
0.10~0.15	11.99	6.93
0.15~0.20	11.09	8.97
0.20~0.25	9.91	10.31
0.25~0.30	8.74	11.11
0.30~0.35	7.40	11.11
0.35~0.40	5.65	9.79
0.40~0.45	3.53	6.93
0.45~0.50	2.51	5.51
0.50~0.55	1.73	4.19
0.55~0.60	1.37	3.65
0.60~0.65	0.94	2.70
0.65~0.70	0.83	2.60
0.70~0.75	0.60	2.01
0.75~0.80	0.55	1.96
0.80~0.85	0.45	1.72
0.85~0.90	0.37	1.50
0.90~0.95	0.47	2.00
0.95~1.00	0.04	0.18

3. 计算结果

按上述边界条件计算, 锡盟风电基地风电弃风比例为9.3%, 年利用小时数为2 439 h, 火电年利用小时数为3 875 h。

结束语

本文提出了时序模拟方法与概率分析方法相结合的新型风电消纳计算方法, 利用确定性机组组合模型确定常规机组开机方式, 基于风电概率分布特性, 根据系统常规机组的调峰能力确定风电消纳电力及电量。并进一步提出了相应简化原则: 将风电持续出力概率曲线以固定出力区间 (如5%) 进行划分, 以保持面积不变为原则, 各区间出力采用固定值等效, 风电持续概率曲线和可接纳风电最大电力曲线包络面积为实时弃风电量。EA

(收稿日期: 2023-09-08)

参考文献

[1] 牛东晓, 李建锋, 魏林君, 等. 跨区电网中风电消纳影响因素分析及综合评估方法研究[J]. 电网技术, 2016, 40(4): 1087-1093.

[2] 贾文昭, 康重庆, 李丹, 等. 基于日前风功率预测的风电消纳能力评估方法[J]. 电网技术, 2012, 36(8): 69-75.

[3] 王艺博, 蔡国伟, 郑存龙, 等. 考虑合理弃风的风电消纳方法研究[J]. 电测与仪表, 2016, 53(11): 45-50.

[4] 李海波, 鲁宗相, 乔颖, 等. 基于非时序生产模拟的风电消纳评估方法[J]. 电力建设, 2015, 36(10): 129-137.

[5] 刘畅, 吴浩, 高长征, 等. 风电消纳能力分析方法的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(4): 61-66.

[6] 朱尤成, 王金荣, 徐坚. 基于ELSTM算法的区域风电发电量预测方法的研究[J]. 电气应用, 2021, 40(1): 55-59.