

基于调峰及网架约束的新疆电网风电接纳能力研究

宋鹏飞¹, 张 锋², 亢朋朋¹, 郭小龙², 樊国伟², 常喜强²

(1. 国网新疆电力公司电力科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830000;

2. 国网新疆电力公司, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要:以新疆电网实际运行中遇到的调峰与新能源出力之间的矛盾为出发点,通过基于极端学习机的预测方法,以调峰能力和电力平衡约束为主要手段,确定新疆电网满足调峰要求的最小开机方式与最大新能源出力的最优解,实现经济调度、智能调度。

关键词:调峰; 风力发电; 最小开机; 极端学习机

中图分类号: TM614 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2018)01-0014-03

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.01.003

Research on Wind Power Accommodation Capability of Xinjiang Power Grid Based on Peak Shaving and Grid Structure Constraints

Song Pengfei¹, Zhang Feng², Kang Pengpeng¹, Guo Xiaolong², Fan Guowei², Chang Xiqiang²

(1. State Grid Xinjiang Electric Power Research Institute, Urumqi 830000, Xinjiang, China;

2. State Grid Xinjiang Electric Power Co., LTD., Urumqi 830000, Xinjiang, China)

Abstract: Taking the contradictions between load shaving and new energy output encountered in the actual operation of Xinjiang power grid as a starting point, and taking the peaking capability and power balance constraints as the main means, the optimal solutions for the minimum start-up mode and the maximum new energy output to satisfy the requirements of peak shaving in Xinjiang power grid are determined through the prediction methods based on extreme learning machine (ELM) to achieve the economic dispatch and intelligent scheduling.

Key words: peak shaving; wind power generation; minimum start-up; extreme learning machine (ELM)

0 引言

随着能源的日趋枯竭以及环境问题日益凸显,大力发展可持续性新能源成为必然选择,近年来中国风电得到快速发展,特别是新疆哈密新能源基地风电总量在短短几年间已突破千万千瓦。风电出力的随机性、波动性及间歇性给电网带来巨大风险,同时以燃煤火电为主的新疆电网,供暖期调峰电源本身比较匮乏,风电大规模送出更加剧了系统调峰困难。风电大规模发展与系统调峰造成的新能源受限矛盾已越来越突出^[1-3]。

新疆电网全网总装机 80 GW,其中公用机组 49 GW,风电 20 GW,全疆最大经营口径负荷 11.9 GW。风电负荷特性见图 1、图 2、图 3。风电由于分

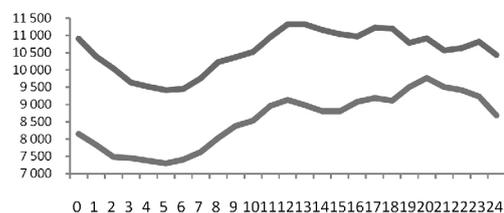


图 1 夏季、冬季日负荷曲线

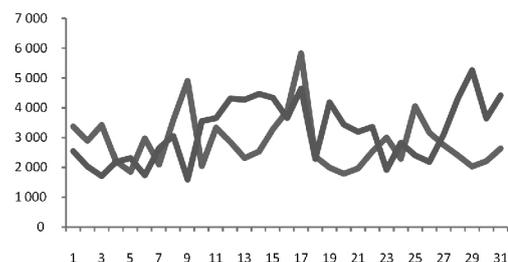


图 2 夏季、冬季风功率波动曲线

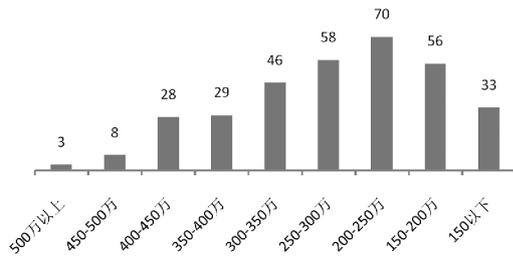


图3 风电出力波动值区间

散地域广,出力波动性大,对于系统调峰造成较大压力。因此对于风电出力一方面要考虑其在常规能源最小开机方式下的最大值,另一方面要考虑新能源出现大规模波动情况下,常规机组是否具有足够的上调备用容量,保证系统外送组织能力。

下面采用基于极端学习机的风功率及负荷预测手段,对新疆电网最小开机方式及风电出力空间进行平衡预测,对指导实际运行具有重要意义^[4]。

1 极端学习机

极端学习机(extreme learning machine, ELM)是典型的单隐含层前馈神经网络^[5](single-hidden layer feedforward neural network, SLFNs),如图4所示。对于N个相互独立的任意样本 (x_i, y_i) 其中,

$$\begin{aligned} x_i &= [x_{i1} \ x_{i2} \ \dots \ x_{in}]^T \\ y_i &= [y_{i1} \ y_{i2} \ \dots \ y_{im}]^T \in R^m \end{aligned} \quad (1)$$

对于含有1个隐含层神经元的SLFN,其数学模型为

$$O_j = \sum_{i=1}^l \eta_i g(\omega_i \cdot x_j + a_i) \quad j=1, \dots, N \quad (2)$$

式中: $\omega_i = [\omega_{i1} \ \omega_{i2} \ \dots \ \omega_{in}]$,为第i个隐含层神经元与输入神经元之间的连接权向量; $\eta_i = [\eta_{i1} \ \eta_{i2} \ \dots \ \eta_{im}]$,为第i个隐含层神经元与输出神经元之间的连接权向量; a_i 为第i个隐含层神经元阈值;l为隐含层神经元数目; $g(\cdot)$ 为神经元激发函数; $\omega_i \cdot x$ 为两者的内积。

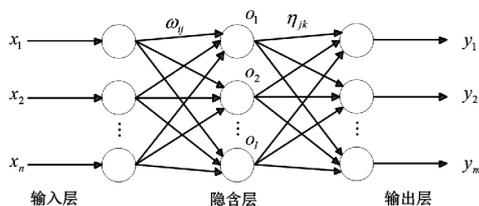


图4 ELM的结构示意图

为使训练样本输出误差最小,可以通过令

$\min E = \sum_{j=1}^l \|o_j - y_j\| = 0$ 得到。

$$y_j = \sum_{i=1}^l \eta_i g(\omega_i \cdot x_j + a_i) \quad j=1, \dots, N \quad (3)$$

上述方程可以写成如下形式。

$$\mathbf{H}\boldsymbol{\eta} = \mathbf{Y} \quad (4)$$

式中: \mathbf{H} 称为神经网络隐含层输出矩阵,

$$\begin{aligned} \mathbf{H}(\omega_1, \dots, \omega_l, a_1, \dots, a_l, x_1, \dots, x_N) &= \\ \begin{bmatrix} g(\omega_1 \cdot x_1 + a_1) & g(\omega_1 \cdot x_1 + a_2) & \dots & g(\omega_1 \cdot x_1 + a_l) \\ g(\omega_1 \cdot x_2 + a_1) & g(\omega_1 \cdot x_2 + a_2) & \dots & g(\omega_1 \cdot x_2 + a_l) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g(\omega_l \cdot x_N + a_1) & g(\omega_l \cdot x_N + a_2) & \dots & g(\omega_l \cdot x_N + a_l) \end{bmatrix}_{N \times l}; \\ \boldsymbol{\eta} &= [\eta_1^T \ \eta_2^T \ \dots \ \eta_l^T]^T_{l \times m}; \\ \mathbf{Y} &= [y_1^T \ y_2^T \ \dots \ y_N^T]^T_{N \times m}. \end{aligned} \quad (5)$$

对于N个任意样本 (x_i, y_i) 其中 $x_i = [x_{i1} \ x_{i2} \ \dots \ x_{in}]^T \in R^n$, $y_i = [y_{i1} \ y_{i2} \ \dots \ y_{im}]^T \in R^m$,一个任意区间可微的激活函数 $g: R \rightarrow R$,则对具有N个隐含层神经元的SLFN,在任意赋值 $\omega_i \in R^n$ 和 $a_i \in R$ 的情况下,其隐含层输出矩阵 \mathbf{H} 可逆且有 $\|\mathbf{H}\boldsymbol{\eta} - \mathbf{Y}\| = 0$ 。

上述证明中指出,如果训练样本和隐含层神经元个数相同,矩阵 \mathbf{H} 就变为可逆方阵,训练样本误差可以近似为0。但是在大多数情况下,训练样本个数要远远多于隐含层节点数目,此时 \mathbf{H} 为非方阵,因此可能不存在 ω_i, a_i, η 使 $\mathbf{H}\boldsymbol{\eta} = \mathbf{Y}$,这时需要重新寻找一组赋值使误差最小。常用方法是寻找SLFN最小范数的最小二乘解:

$$\begin{aligned} \|\mathbf{H}(\omega_1, \dots, \omega_l, a_1, \dots, a_l) \hat{\boldsymbol{\eta}} - \mathbf{Y}\| \\ = \min_{\boldsymbol{\eta}} \|(\omega_1, \dots, \omega_l, a_1, \dots, a_l) \boldsymbol{\eta} - \mathbf{Y}\| \end{aligned} \quad (6)$$

其解 $\hat{\boldsymbol{\eta}} = \mathbf{H}^{-1}\mathbf{Y}$ 式中 \mathbf{H}^{-1} 为广义逆矩阵。

对于给定的N个训练样本,隐含层神经元数目为l,激活函数为 $g(x)$ 。其基本算法步骤如下:

- 1) 随机选取一组输入权重系数 ω_i 和偏差 $a_i, i=1, \dots, l$ 。
- 2) 计算隐含层输出矩阵 \mathbf{H} 。
- 3) 计算输出权重系数 $\boldsymbol{\eta}: \boldsymbol{\eta} = \mathbf{H}^{-1}\mathbf{Y}$ 。

系统正常运行时,若考虑自备电厂全处于自平衡状态,电网的公用有功与负荷始终处于动态平衡状态,则有式(7)成立^[6-7]:

$$P_L + P_w + P_s - \sum_{i=1}^n P_{Gi} = P_{\text{wind}} \quad (7)$$

式中: P_L 为经营口径负荷; P_w 为疆电外送功率,包括直流联变下网及交流外送; P_s 为系统损耗;

P_{Gi} 为公用机组出力; P_{wind} 为风电出力。

从上述公式中可以看出,若负荷、损耗、外送保持不变,随着公用机组出力的增加,风电理论出力将随之减小。若想要接纳更多的风电,则需公用机组降低至最小出力。同时,为保证疆电外送能够有效保证,需保证在风电出力最低时,公用机组上备用容量充足。

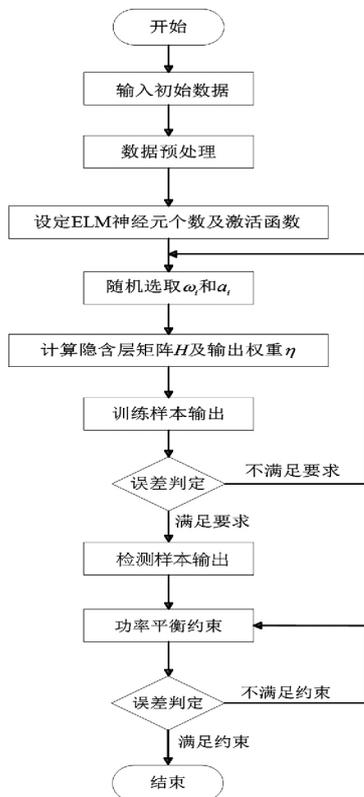


图5 基于ELM的计算流程

如图5所示,选取近3年观测到的风电日最大出力及当日最大功率波动数据、经营口径日最大负荷作为训练输入样本,将预测值作为功率平衡约束条件的初值,进行最小开机方式与新能源出力间的平衡迭代,最终找出两者之间的最优开机比例。

2 新疆电网公用电厂最小开机方式

考虑到新疆电网各断面能力及冬季供热机组开机限制,在确保各断面满足安全稳定约束的前提下,结合各厂前几年的实际运行数据,对非采暖期、采暖期公用机组的最小运行方式进行安排,原则如下: 1) 非供暖期主要考虑各断面能力限制安全稳定约束及系统出现大幅功率波动后的稳定性; 2) 供暖期供热机组最小运行方式原则是以热定电,非供热机

组以锅炉低负荷稳燃作为最小运行方式核定依据。将式(7)中的 P_{Gi} 分为夏季和冬季分别进行计算。

3 新疆电网风电最大出力空间

根据新疆电网运行实际情况,2017年±800kV天中直流特高压最大输送功率将继续维持在5000MW,其中联络变压器下网最大能力为3200MW,交流通道最大外送能力为3000MW,预计疆内组织外送最大功率将在5000MW。计算表明,冬季由于供热影响,新疆电网调峰缺额较大,风电因调峰受限较大。按照不同季节机组开机方式及最小出力情况,为避免风电波动造成较大功率缺额,按照风电日功率波动量5000MW考虑。

表1 丰水期风电最大出力空间预测 单位: MW

月份	公用 电厂	疆电 外送	经营口径 负荷	发电 出力	风电 出力
1月	8740	5000	8082	13082	4342
2月	8781	5000	7312	12312	3531
3月	7452	5000	8087	13087	5635
4月	5791	5000	8601	13601	7810
5月	6233	5000	9587	14587	8354
6月	7258	5000	10777	15777	8519
7月	7757	5000	10709	15709	7952
8月	7346	5000	10116	15116	7770
9月	6834	5000	8873	13873	7039
10月	8537	5000	9488	14488	5951
11月	8869	5000	9789	14789	5920
12月	8754	5000	8036	13036	4282

表2 枯水期风电最大出力空间预测 单位: MW

月份	公用 电厂	疆电 外送	经营口径 负荷	发电 出力	风电 出力
1月	7932	5000	8082	13082	5150
2月	7816	5000	7312	12312	4496
3月	6366	5000	8087	13087	6721
4月	5750	5000	8601	12601	7851
5月	5146	5000	9587	14587	9441
6月	5624	5000	10777	15777	10153
7月	7757	5000	10709	15709	9255
8月	7346	5000	10116	15116	9088
9月	6834	5000	8873	13873	8460
10月	8537	5000	9488	14488	7276
11月	8869	5000	9789	14789	6108
12月	8754	5000	8036	13036	4487

根据表1、表2对比可知,新疆电网丰水期和枯水期风电理论最大出力在8500~10000MW之间,新疆电网风电总装机为20000MW,由于调峰受限出力约为50%~60%。通过风功率日系统调节备用容量满足需求可以得到新疆公用电厂最小开机出力为5146MW。

(下转第21页)

枢绕组是星型连接,故 3 次及 3 的整数倍谐波不存在,而对于六相励磁系统则是 6 次及 6 的整数倍谐波不存在。但是总体的故障特征并没有改变,例如:正常运行时奇次谐波含量较多;一臂开路时直流分量、基波和 2 次、4 次谐波含量较多;一臂短路时直流分量、基波和 2 次谐波含量较多。

因此,根据励磁机转子侧出现不对称电流可以在励磁机定子侧感应出相应的谐波电流的原理,可在定子侧进行谐波电流的成分检测(例如正常运行时 6 次谐波含量最大、一臂开路时基波含量最大、一臂短路时 2 次谐波含量最大)达到故障诊断目的,或者检测定子侧电流基波含量与 6 次谐波含量的比值、基波含量与 2 次谐波含量的比值作为故障类型的判断。

5 结 语

针对六相无刷励磁系统励磁机在正常运行、一臂开路和一臂短路 3 种情况下对电枢电流进行谐波理论分析和仿真计算,得出仿真结果与理论分析一致;与三相无刷励磁系统进行了比较,得出六相无刷励磁系统的故障特征与三相相似,三相无刷励磁系统故障检测方法可以用于六相无刷励磁系统。

参考文献

[1] 赵昌宗. 岭澳核电发电机用无刷励磁机的技术特点 (上接第 16 页)

4 结 语

以新疆电网实际运行中遇到的调峰与新能源出力之间的矛盾为出发点,通过基于极端学习机的预测方法,以调峰能力和电力平衡约束为主要手段,确定新疆电网满足调峰要求的最小开机方式与最大新能源出力的最优解,为新疆电网明确开机方式,实现经济调度奠定基础。

参考文献

[1] 魏磊,张琳,姜宁,等. 包含风电的电力系统调峰能力计算方法探讨[J]. 电网与清洁能源,2010,26(8):59-63.
[2] 闫广新,施海,刘新刚,等. 电网在调峰能力约束下接纳风电能力的估算[J]. 电力与能源,2012,33(3):260

[C]. 中国电机工程学会大电机专业委员会学术年会,2009.

- [2] 鲁勇勤. 广东岭澳二期 1 150 MW 核电发电机无刷励磁系统[J]. 东方电机,2009,15(5):42-47.
- [3] 刘念,曾德纯,谢应璞,等. 交流励磁机旋转整流器故障的微机识别快速报警装置研究[J]. 电气应用,1993,10(1):11-13.
- [4] 刘念. 无刷励磁旋转整流器电流波形分析及其故障的微机识别[J]. 电力系统自动化,1994,18(4):19-26.
- [5] Zouaghi T, Poloujadoff M. Modeling of Polyphase Brushless Exciter Behavior for Failing Diode Operation [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion,1998,13(3):214-220.
- [6] Xiao C J, Li Q F, Lai J S, et al. Analysis of Polyphase Brushless Exciter [J]. IEEE Transactions on Industry Applications,2001,37(6):1720-1726.
- [7] 郝亮亮,王善铭,邱阿瑞,等. 多相无刷励磁系统励磁机定子电流谐波特性[J]. 清华大学学报(自然科学版),2011,51(1):58-62.
- [8] 郝亮亮,王善铭,邱阿瑞,等. 多相无刷励磁系统旋转整流器故障的仿真与识别[J]. 电工技术学报,2012,21(4):138-144.

作者简介:

刘念(1956),博士、教授,主要从事高电压技术及电力设备状态监测与故障诊断等方面的教学与研究;

王贺新(1989),硕士研究生,研究方向为电力设备故障与诊断;

赵欣(1992),硕士研究生,主要从事大电机安全分析与运行监控技术研究。

(收稿日期:2017-10-18)

-263.

- [3] 张学清,梁军,张熙,等. 基于样本熵和极端学习机的超短期风电功率组合预测模型[J]. 中国电机工程学报,2013,33(25):33-39.
- [4] 武峰雨,乐秀璠,南东亮. 相空间重构的极端学习机短期风速预测模型[J]. 电力系统及其自动化学报,2013,25(1):136-141.
- [5] 刘士荣,李松峰,宁康红,等. 基于极端学习机的光伏发电功率短期预测[J]. 控制工程,2013,20(2):372-376.
- [6] 刘德伟,黄越辉,王伟胜,等. 考虑调峰和电网输送约束的省级系统风电消纳能力分析[J]. 电力系统自动化,2011,35(22):77-81.
- [7] 李子寿,许梁,徐箭,等. 以调峰能力为约束的湖北电网接纳风电能力研究[J]. 机电工程,2016,33(5):625-628.

作者简介:

宋鹏飞(1987),硕士研究生,主要从事电力系统控制与分析。
(收稿日期:2017-09-08)