

风电与水电AGC联合精确调度控制系统研究

文/国家电网公司东北分部 李 群 郭希海 徐 峰 赵宇民 金 元

风电与水电AGC联合精确调度控制系统，能最大限度地消除风电功率预测偏差，依靠水电调节速度快的优势，与若干风电场进行组合，形成具有电力平衡叠加效果的发电单元组，实现快速调节风电功率预测偏差且提高预测精度的功能。

为了解决风电的可预测、可控制问题，东北电网近年大力发展了风功率预测系统，风电功率自动控制系统（风电AGC），这些系统在实际运行中都发挥了重要的作用。但限于现有技术水平限制，风功率预测的准确程度还不是很高，较大的预测偏差对电网调峰、调频的影响比较明显。另一方面，东北电网能够与风电进行快速协调互补运行的电源只有800多万kW容量的水电（含抽水蓄能）机组。风功率预测的偏差很大程度上反映在系统频率偏差波动上，由调频机组跟踪调整，其他非调频水电机组只承担调峰任务或根据水库调度流量安排发电，没有充分发挥利用全部水电机组出力快速调节的作用。将风电AGC系统与水电AGC系统整合联动，能最大限度地消除风电功率预测偏差，在部分未承担调频任务的水电机组正常出力控制的基础上叠加一个与风功率预测偏差互补的控制信号，达到一台稳定出力水电机组与一台出力可以在正负区间快速调节的平衡机组相叠加的效果，从而充分发挥东北全网水电机组的快速调节能力。

调节偏差

偏差预测主要包含两方面的内容：风电功率预测偏差和电网负荷偏差，通过控制各发电单元的有功出力达到电网的电力平衡。

目前系统在编制日前计划时采用的是短期时

间尺度的风电功率预测结果，即24 h预测结果，从而导致风电功率预测和日内实际情况之间存在偏差。同时由于预测存在一定时间的跨度，并考虑风气象条件本身的预测难度，风电功率的预测结果和实际情况相比偏差较大。

风电与水电AGC联合精确调度控制系统考虑在日内尺度对风电功率的预测采用持续修正的方法，通过不断对日前风功率结果与日内实际情况进行分析，得出偏差量，为风电波动的削减提供先决条件。通过在日内不断分析超短期（4 h内）的风电功率预测结果，并与风电实际发电情况结合进行综合比对，得出风电预测的偏差情况。

负荷偏差主要是由于日前编制发电计划采用的负荷预测结果时间尺度相对较长（24 h），与日内实际情况存在一定偏差，系统在考虑风电偏差量时也需要考虑该部分偏差，即对发电态势的分析。

优化调度环节需要监视当日发电计划的执行情况，在原计划与实际负荷发生严重偏离的情况下，及时完成该日剩余时段负荷的重新预测和发电计划调整。例如，某实际负荷和计划负荷曲线比对见图1，其中实线为某电网当日上午10:00观测到的系统实际负荷运行曲线图；虚线表示的计划负荷是前日上午11:00预测出来的。

在图1中，受气候等负荷敏感因素影响，该日负荷从9:00起实际负荷运行曲线开始偏离其计划曲线，而且其偏离有变大趋势。此时，若

不对该日负荷计划进行修正,将可能造成很大的负荷预测误差。通过对该日后半日负荷进行重新预测,调整后半日的计划曲线,则可以最大可能地挽回计划与实际的偏差,减少负荷预测误差。

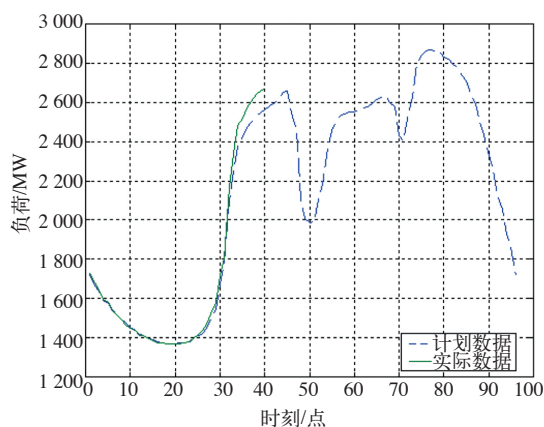


图1 实际负荷和计划负荷曲线对比图

超短期负荷预测(从几分钟到1 h)是实时有功调度的前提,保证其精度是实现优化调度的关键。超短期负荷预测的特点是预报周期短,关键是精度。在预报方法中要求能够尽可能地应用数据的统计信息。超短期负荷预测与短期乃至中长期的负荷预测相比,具有以下特点:①预测周期短,要求系统在线运行,对计算时间有较高的要求;②在“超短期”的范围内,天气变化、节假日、双休日的影响均不太明显;③超短期负荷曲线不如短期平稳,高次谐波分量相对较多,且幅值大。

风电与水电AGC联合精确调度控制系统采用基于负荷曲线区段形态相似性的超短期负荷预测方法。根据历史负荷出力数据,自动匹配相似时段来预测。该方法不同于传统的根据负荷曲线的值相似选取相似日的方法,而根据负荷曲线的形态相似性来动态选取相似日,能够较好地改善超短期负荷预测的精度特别是拐点处的预测精度。

风电与水电AGC联合精确调度控制系统在计算调节偏差总量后,需要对偏差量进行分配,主要是机组的优化调度问题。由于偏差是持续修正,因此需进行滚动的动态优化调节,需要研究如何通过动态优化模型进行时间维度和空间维度的协调得到适于优化调度环节在线应用的实用化的优化模型,对优化调度算法的高效性提出了要求;其次,由于日负荷波动带来的不确定性,算法及其优化模型还需要具有很好的鲁棒控制特性。

在优化调度的过程中,需要与AGC控制相协调,对AGC系统起到辅助调节的作用。优化调度负责规律性的幅度较大的负荷的功率分配,而AGC控制负责幅值较小的负荷快速随机变化。优化调度与AGC控制的协调模式主要包括以下两个方面:

(1) 要尽量运行在较为安全的运行点

AGC控制是出现偏差之后的校正,不考虑经济性。优化调度的超前控制应该尽量准确,不要出现较大的偏差,不让偏差校正控制出现大幅度的调整,因此从总体上比较经济,且通过提高负荷预测的准确性保证发电计划的准确性。

(2) 在优化调度中要给AGC控制保留足够的调整空间

由于电力系统总是在无序的动态变化之中,各种偏差校正控制功能实时监视电力系统的运行状态,对各种偏差进行校正和控制,优化调度应给AGC控制保留一定的调整空间,满足偏差校正的需要。优化调度的控制周期为一个时段(例如15 min),而AGC的控制周期在10 s左右。AGC机组受AGC软件控制,随着本区域的ACE的变化而调节,在优化调度中不能对其进行控制。因此需考虑为AGC保留调整空间的问题。

联合精确调度

1. 超短期负荷预测分析

风电与水电AGC联合精确调度控制系统采用基于负荷曲线区段形态相似性的超短期负荷预测方法,根据历史负荷出力数据,自动匹配相似时段来预测,较好地改善超短期负荷预测的精度特别是拐点处的预测精度。该系统每15 min预测下一时刻的负荷情况,可以选择日期进行信息的筛选,同时查询超短期负荷预测数据以及日前负荷预测数据。超短期负荷预测数据是编制实时调度计划的输入数据之一,每15 min一个预测值,每15 min计算下一个15 min的预测数据。

2. 机组调节控制

风电与水电AGC联合精确调度控制系统以超短期预测数据、滚动调度数据为基础,以各类约束条件及优化策略为前置条件,进行机组组合运算,以15 min为周期,实现未来15 min风场、单机机组的出力调整。机组调节控制曲线见图2。

结束语

东北电网风电AGC和水电AGC整合联动,实

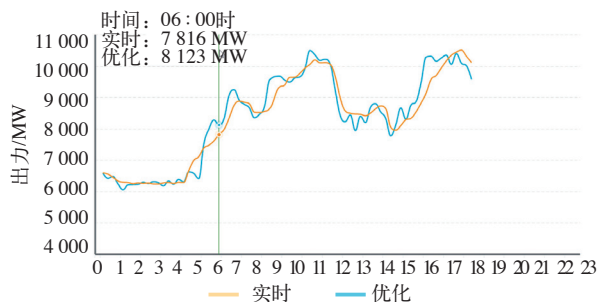


图2 机组调节控制曲线图

现大范围闭环控制，将众多分散的小风场等值成若干虚拟的大风机，利用一部分非调频水电机组的快速调节能力部分补偿虚拟大风机的功率预测偏差，相当于在某个风电集群中引入一台小容量平衡机，从而等效于大幅度提高了某个风电集群的风功率预测精度，部分实现风电准确预测、能准确控制的理想目标，也将为未来风电作为可控电源参与市场交易创造一定基础条件。**EA**

(上接第28页)

由图4可得隧道入口、中间、出口能安装的风力发电机个数 n_1 、 n_2 、 n_3 分别为42、508、42。计算隧道内单位时间产生的总功率

$$\begin{aligned} P &= n_1 P_{\text{入}} + n_2 P_{\text{中}} + n_3 P_{\text{出}} \\ &= (42 \times 5.9238 + 508 \times 1.0812 + 42 \times 3.9712) \text{ W} \\ &= 964.8396 \text{ W} \end{aligned}$$

其中 n_1 、 n_2 、 n_3 分别代表隧道入口、中间、出口处所安装风力发电机的数目。一天内隧道风力发电机能产生的总能量

$$Q = PT = 964.8396 \times 60 \times 60 \times 24 \text{ J} = 83\,362\,141.4 \text{ J}$$

额定功率为10 W的LED灯在额定工作环境下一天所消耗的电能为

$$Q_a = 10 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ J} = 864\,000 \text{ J}$$

所产生的电能能驱动额定功率为10 W的LED灯在额定工作环境下24 h照明的数量为

可得产生的电能可驱动96盏10 W的LED灯工

$$N = \frac{Q}{Q_a} = \frac{83\,362\,141.4 \text{ J}}{864\,000 \text{ J}} \approx 96$$

作24 h，综合以上分析结果，我们初步得出隧道风能有一定的利用价值。

应用前景及进一步研究方向

1. 应用前景

在能源紧缺的当今，利用风能发电已经逐渐成为代替能源方式的其中一种。而隧道因车辆运动产生活塞效应，其风力相对外界大很多，由我们实际采集的数据以及对数据进行的分析可以明显看出利用隧道风力发电可节省的电能也十分的

可观。根据交通运输部综合规划司2015年4月30日发布的2014年交通运输行业发展统计公报，我国已经是世界上公路隧道最多发展最快的国家，近十年来，公路隧道年均增长率达24%，公路隧道的重要性日益凸现。截止到2014年，全国公路隧道为12 404处，全长达1 075.67万m。按年嘉湖隧道数据进行能量的初步计算出是一个较为可观的能量数值。并且我国地形复杂，在较多偏远山区修建隧道保证道路畅通已实属不易，安装电力系统则更加困难。但往往这些地区的风力要远远大于城市，可利用的风能也就更多。既可以节约资源，又可以降低隧道修建难度，所以此项研究有十分可观的发展前景。

存在的不足

由于本次试验时间、资源方面都受到限制，有些没有考虑到的因素还没有进行进一步研究，所以这次试验还可以从以下几个方面进行改进。

将车辆的类型分类，估算车辆的速度。因为两者对风速都会有影响。

天气情况是否会对隧道风产生影响，因数据采集过少，无法做出判断。

由于年嘉湖隧道入口不远处有一红绿灯，会从很大程度上影响单位时间内车流量的数量，可以从隧道另一侧进行相应测量。

可以考虑隧道的走向，选择多组不同走向的隧道进行相同测量，看二者是否有关。**EA**