

[风电并网]

风电输出功率对电力系统稳定的影响分析

文/山东省建设监理咨询有限公司 王 鹏

针对风电功率输出的不稳定性，利用Matlab建立了含风电场的两区域四机系统，分别分析了系统受发电机机端电压扰动和单相接地短路故障后，风电输出功率、风速、风电渗透率等对电力系统小干扰稳定的影响。

风电并网在一定程度上能够弥补电网的电力不足，其孤岛运行更增强了重要负荷区抵御外网故障影响的能力。然而，由于风力发电机将从电网中吸收无功功率，风电并网后将会给接入电网的电压稳定性带来影响。当风电渗透率较大时，传统电网的拓扑结构和运行方式将发生根本性变化，风电固有的随机性、不确定性等会影响电网的潮流分布、线路输送功率极限等，进而影响到电网的稳定性。因此，风电输出功率不确定性带来的稳定性问题是近年来研究的重点内容，其对电力系统稳定的影响受到了广泛关注。

为分析风电输出功率对电力系统小干扰稳定的影响，本文利用Matlab软件搭建了含风电场的两区域四机系统，模拟了发电机机端电压小扰动和区域联络线单相接地故障，分别分析了风电场输出功率及其渗透率的影响。

仿真系统及模型简介

两区域四机系统结构如图1所示，两区域间以双联络线进行连接。

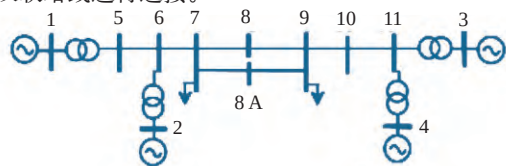


图1 两区域四机系统结构

风电场设在母线6上，风电场中的风力发电模型为双馈异步电动机，其等效模型如图2所示。

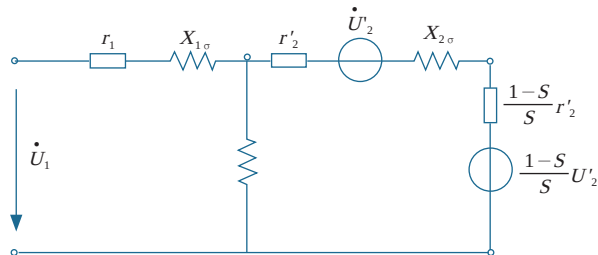


图2 双馈异步电动机等效模型

发电机机端电压扰动

设区域1发电机G2的参考电压在1 s时由1 p.u.变动到1.05 p.u.。区域1的负荷为MW，区域2的负荷为1 690 MW。

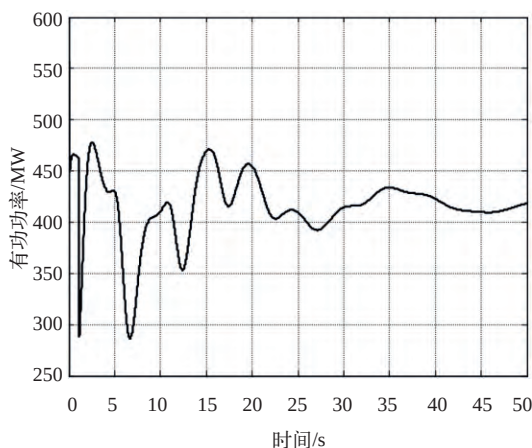


图3 不含风电场的联络线功率变化

图3为不含风电场时, 联络线上的有功功率变化情况。由图可推知, 在电力系统稳定器PSS的作用下, 系统虽然最终恢复了稳定, 但已处于临界失稳状态。

当母线6处加装兆瓦风电场时, 图4显示了风电输出功率对联络线有功功率变化的影响。其中, 风电场装机容量为30 MW。为考察阵风对系统稳定的影响, 假设1 s时, 风速由8 m/s阶跃至16 m/s。由图可知, 系统发生了失稳。

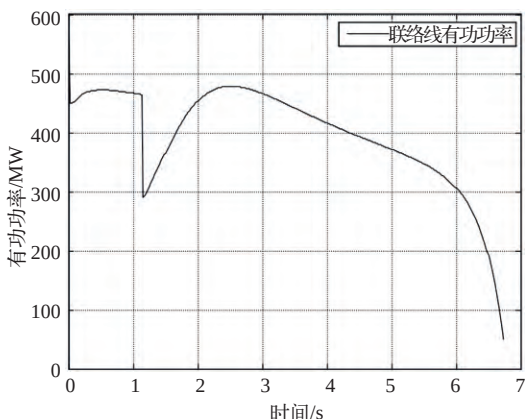


图4 风速为[8,16] m/s时联络线功率变化

假设1 s时, 阵风风速由6 m/s阶跃至10 m/s, 其余参数维持不变。图5显示了区域联络线上的有功功率变化。

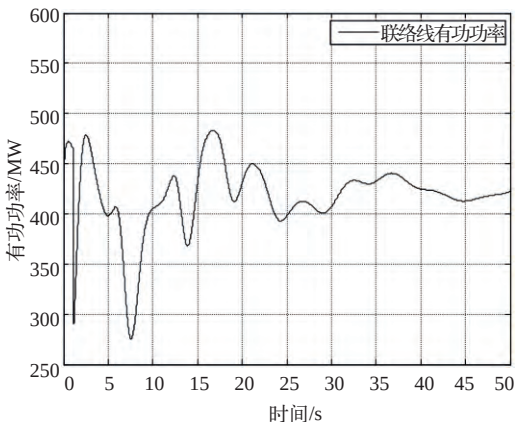


图5 风速为[6,10] m/s时联络线功率变化

IEC 61400-25风力发电机标准中提到, 一旦发生极端阵风变化, 阵风的变化将可能导致系统失稳。从仿真分析中也可以看出, 当阵风风速降低时, 系统可保持稳定; 而当阵风风速增大, 且阵风风速的变化范围增大时, 阵风带来的风电输出功率的变化将大大增加系统失稳的可能性。

单相接地故障

设1秒时, 母线7-母线9的联络线上发生单相

接地短路故障, 故障持续时间为0.2 s。其中, 区域1负荷为750 MW, 区域2负荷为1 567 MW。图6显示系统不含风电场时, 系统保持稳定。

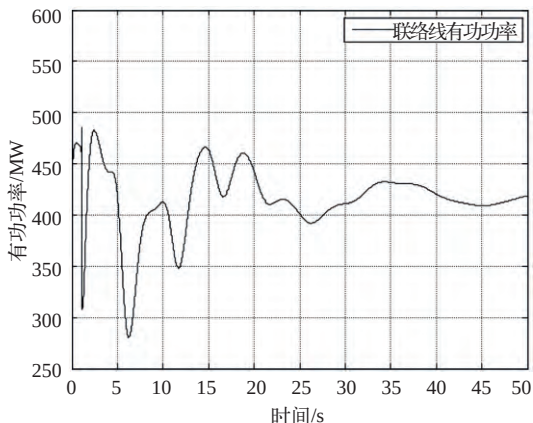


图6 不含风电场时联络线的功率变化

图7为风电场装机容量分别为9 MW、15 MW、30 MW和45 MW时, 联络线上有功功率的变化情况。随着风电装机容量的增大, 联络线上的有功功率幅值振荡增大。当风电装机容量进一步增大为60 MW时, 系统失去稳定, 如图8所示。

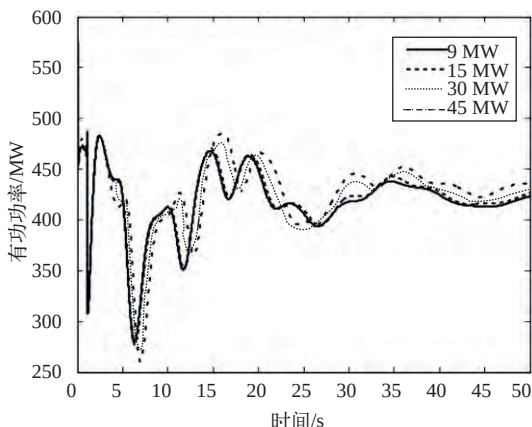


图7 风电场装机容量变化时联络线的功率变化

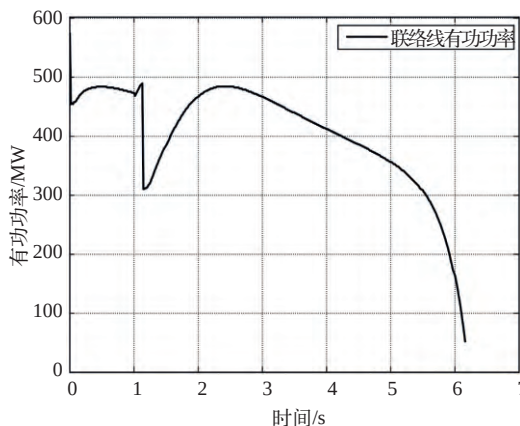


图8 风电场装机容量为60 MW时的联络线功率

(下转第77页)

备件信息搜集工作始于第二阶段，目的是建立生产与库存的有机联系，采用集团公司15位码物资编码替代原公司的物资流水码。维修部先后进行了到货备件的信息整理、已提报备件的信息整理、系统备件需求整理等标准化编码工作，编码管理体系的集团统一化管理使得山东核电仓储管理更趋于标准、规范，实现了粗放到精细化管理的转变。遇到的主要问题是实物与资料的不对应、实物附带的信息与集团公司主数据系统要求不一致，在备件信息梳理期间，与供货商、生产厂家进行了大量的沟通交流，维修部付出了大量劳动。

结束语

设备信息搜集是电站运行、生产的基础要求，AP1000核电项目当前没有成熟经验可以参考，在设备信息搜集的探索过程中，我们与国内、外的同行们进行了大量的技术交流，不同电站的设备信息搜集工作的进程基本相似，遇到的问题也相同或相似，且随着时间的积累，设备信息缺陷所带来问题将日益突出，最终将迫使电站花费更加巨大的代价来弥补。根据山东核电的设备信息工作过程，体会如下：

1) 尽早规划设备信息搜集的方案、成立相应的组织机构、开发相应电子平台，制定相应的搜集模板、发布相关管理程序。目前主流MIS系统默认“设备信息已经完好”来进行开发、应用的，不具有设备信息的搜集、甄别、生效功能模块，建议开发单独的设备信息搜集平台负责设备相关信息搜集过程管理，将批准生效的数据通过接口方式同步到生产信息系统，以便于提高工作效率、灵活性和稳定性。

2) 电站初期应规划扩展性强、编码规范、分

类合理的电子文件体系，对于收集到的资料进行合理的编码，引用的文件编码字符串可以保证可以检索到生效文件。构建文档系统的初期，建议将技术类文件与设备的关联作为文档的一个属性。核电站海量的文件资料，如果分类不清、不合理、不完善，将会导致对文件的查询、使用效率极低。

3) 物资采购过程中，制定统一的设备信息清单、模板，重视随货资料的搜集、电子化归档。对于备件的提报、采购、到货验收、入库、使用等环节，以统一编码（如CPI集团公司统一的15位编码）进行流转和管理，约束承包商按照统一的格式提供符合国际、国家、行业标准的物资规格型号，公司物资编码应与使用的设备资产进行关联，以便于汇总电站需要的备件、库存的备件、需要购买的备件、备件在现场设备上分布等影响电站维修、库存、计划等关键活动的报表。

4) 设备信息搜集工作应有专门人员/组织负责，工作应具有延续性、唯一性、权威性，定期发布全厂唯一的功能位置编码表，各部门按照分工补充完善所辖信息，以功能位置码为中心开展核电生产相关工作，应用与电站安装、调试、运行、维修工作中，通过设备信息实际应用快速验证这些信息的正确、完整性，从而进行修正，消除信息错误带来的隐患。

设备信息收集工作是一项长期而艰巨的任务，将伴随着核电站的运行寿期。随着AP1000核电站的逐步商运，其设备管理工作的成熟，设备信息工作必将更加规范、高效和完善，山东核电前期的探索、尝试和努力付出将为AP1000核电机组设备管理工作提供良好实践。EA

(收稿日期：2015.04.10)

(编辑：白文亭)

(上接第73页)

从上述仿真中可以看出，随着风电功率的渗透率增加，风机所需的无功功率将增大。也就是说，在没有无功补偿装置时，风力发电机将从系统吸收无功功率，这会导致母线电压幅值下降。如果电网不能向风电场提供足够的无功功率，则母线电压将持续降低，最终会导致系统失稳。

结束语

本文在Matlab下搭建了含风电场的两区域四机系统，分析了风速、风电输出功率及其渗透率

等对电力系统稳定的影响。具体表现在，阵风的风速及变化幅度对系统稳定性有较大影响；风电渗透率越高，其对系统带来的不稳定隐患将大大增加。当风电渗透率到一定程度时，系统处于稳定的临界状态，此时如果没有有效的补偿、控制措施，遇小扰动后，系统将失去稳定。该仿真分析对风电并网下电力系统动态行为分析及相应控制措施的制订具有借鉴意义。EA

(收稿日期：2015.04.10)

(编辑：白文亭)