

# 江苏电网输变电在线监测装置现状分析及应用建议

唐梦颖, 路永玲, 徐伟, 钟丹, 胡成博  
(国网江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏南京 211103)

**摘要:**文中以变压器油色谱、直流偏磁、绝缘子污秽度三类成熟度和数据有效性较高的在线监测装置为主,对其监测应用原理进行阐述,并结合实例对江苏电网输变电在线监测装置现状和应用情况展开分析。分析认为需提高在线监测装置的可靠性并加强在线监测数据与故障缺陷的关联性,推进在线监测装置智能化发展。

**关键词:**在线监测;油色谱;直流偏磁;绝缘子污秽度

**中图分类号:**TM63;TP277

**文献标志码:**A

**文章编号:**1009-0665(2016)06-0001-04

设备状态评价是电网主设备状态检修的重要依据,除了定期开展带电检测巡查对设备进行跟踪管理外,输变电设备在线监测技术的应用也为设备状态评价、状态检修提供辅助决策。通过对输变电在线监测现状和应用情况进行分析,指出在线监测技术在实际应用中尚需解决的问题,并提出应用建议,可促进在线监测实效性及装置可靠性的不断升级,为推进输变电设备状态检修工作提供参考。

输变电在线监测是指在运行情况下,对电力设备状况进行连续或周期性地自动监视检测。在线监测系统是指在运行情况下,实现一次设备在线监测数据连续或周期性地采集、处理、诊断分析及传输的设备状态监测系统<sup>[1]</sup>。

## 1 江苏电网输变电在线监测现状

### 1.1 变电设备在线监测

江苏电网已接入变电设备在线监测装置 1392 套,覆盖全省±500 kV 换流站 1 座、500 kV 变电站 44 座、220 kV 变电站 59 座。在线监测装置主要包括变压器/高抗油色谱、变压器直流偏磁、铁心电流、油温、金属氧化物避雷器泄漏电流、GIS 密度微水、变电站微气象等 15 种类型。其中 GIS 密度微水、变压器油色谱、避雷器泄漏电流在线监测装置比例较高,具体比例如图 1 所示。

### 1.2 输电设备在线监测

江苏电网已接入输电在线监测装置 300 套,主要安装在 3 条 1000 kV 特高压输电线路、2 条±800 kV 特高压输电线路、24 条 500 kV 输电线路和 14 条 220 kV 输电线路。在线监测装置主要类型有导线温度、导线弧垂、杆塔倾斜、线路微气象、视频监控、微风振动、绝缘子污秽度、绝缘子风偏。

其中导线温度、微气象、视频监控装置所占比例较高,具体比例如图 2 所示。

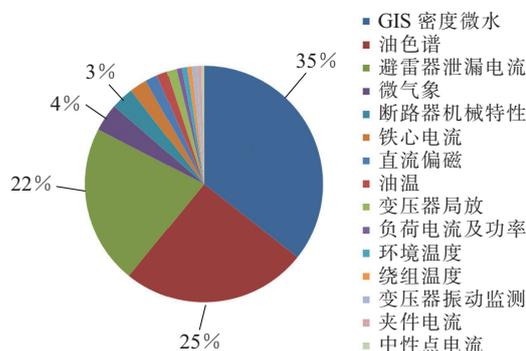


图1 变电设备在线监测装置占比情况

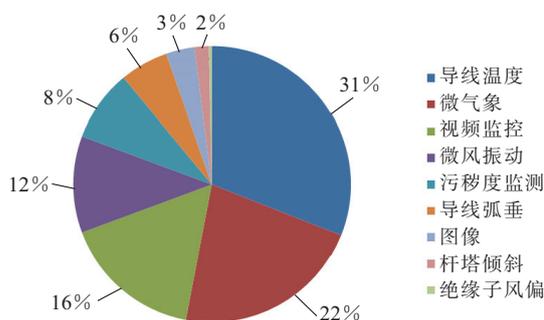


图2 输电设备在线监测装置占比情况

## 2 主要输变电在线监测技术原理及应用实例

目前,江苏电网输变电在线监测类型较多,以应用比较广泛的油色谱、直流偏磁及污秽度三类在线监测为例,对目前输变电在线监测应用实效进行分析。

### 2.1 变压器油色谱在线监测

#### 2.1.1 监测原理分析

油中溶解气体分析方法(DGA)因不受外界电场和磁场的影响,且能够在无需停电的情况下进行,已成为诊断油浸电力变压器早期故障及预防灾难性事故的最有效的方法之一<sup>[2]</sup>。目前,变压器油色谱在线监测装置占江苏电网变电在线监测装置总数的 1/4,基本覆盖所有 500 kV 及以上变电站。

按监测对象,可分为单组分监测和多组分监测。单组分监测主要指对某一特征气体组分含量或以它为主

的混合气体浓度进行监测,不进行气体组分的分离而直接测量气体混合浓度<sup>[3]</sup>;多组分监测需对变压器油中溶解气体进行油气分离,再对利于诊断和判别变压器故障的多种气体<sup>[4]</sup>进行组分分离和测量。

按监测方法,可分为气相色谱法、光声光谱法、红外光谱法和传感器阵列法。其中气相色谱法是目前使用最广泛及有效的气体分离、分析方法,通过将实验室检测技术现场小型化,利用色谱柱实现对气体成分的分。光声光谱法是基于气体的光声效应,通过检测气体分子吸收电磁辐射后产生的压力波检测气体浓度。红外光谱法主要基于光的干涉原理,利用光的干涉波经傅里叶变化得到红外光谱图,结合图谱对变压器油中多种气体进行分析<sup>[5]</sup>。传感器阵列法主要基于多传感器信息融合技术,将气体传感器组合形成传感器阵列,结合模式识别技术,形成气体判别系统。多组分在线监测方法的比较如表1所示。

表1 多组分在线监测方法的比较

方法	性能				
	通用性	灵敏度	气路	样气量	维护量
气相色谱	很好	好	复杂	很小	较大
光声光谱	好	好	一般	小	较小
红外光谱	H <sub>2</sub> 无吸收	较好	一般	较多	较小
传感器阵列	特定气体	一般	简单	小	一般

按油气分离技术,可分为薄膜法、真空脱气法和顶空法。薄膜法是基于气体的扩散原理,使用只渗透气体分子而不能渗透油的高分子膜,利用膜两侧气体压力的不平衡性,使气体自动从油中向气室扩散而实现油气分离<sup>[6]</sup>。真空脱气法主要有2种方式:波纹管法和真空泵脱气法,前者利用小型电机带动波纹管反复压缩,多次抽真空而将油中溶解气体抽出来;后者利用离线色谱分析中的抽真空脱气原理,用真空泵抽空气来抽取油中溶解气体<sup>[7]</sup>。顶空法是通过一定的手段(搅拌)使得油中溶解气体在气液两相达到分配平衡,通过测试气相中的各组分浓度,并根据奥特瓦尔德系数计算出油中溶解气体各组分的浓度<sup>[8]</sup>。

江苏地区采用多组分监测,监测装置多为气相色谱法和光声光谱法,油气分离技术以真空脱气法和顶空法为主。具体比例如表2所示。

表2 不同监测原理油色谱装置占比 %

监测原理	真空脱气法	顶空法
气相色谱法	53.85	39.88
光声光谱法	2.85	3.42

通过监测变压器油中溶解气体含量和绝对产气速率的变化,可以及时反映变压器内部局部过热、火花放电、电弧放电等危害变压器安全稳定运行的潜伏性缺陷。常见变压器故障产生的气体组分<sup>[9]</sup>如表3所示。

表3 常见故障产生的气体组分

故障类型	主要气体组分	次要气体组分
油过热	CH <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
油和纸过热	CH <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> CO	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> CO <sub>2</sub>
油纸绝缘中局部放电	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> CO	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
油中火花放电	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	—
油中电弧	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
油和纸中电弧	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> CO	CH <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> CO <sub>2</sub>

目前,江苏电网输变电状态监测系统主要运用三比值法和大卫三角法作为评价方法,对变压器油色谱在线监测数据开展实时分析工作。三比值法是指利用5种气体(CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>)的三对比值(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)的编码组合来进行故障类型判断的方法<sup>[10]</sup>。大卫三角法是利用CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>3种气体进行故障类型判断<sup>[11]</sup>。

### 2.1.2 应用实例分析

某500 kV变电站1号主变A相为日本日立公司生产,设备型号为AFLOC-AMNYCCP,1992年2月投运,2011年10月该主变油色谱在线监测装置接入主站平台。自接入后,该主变的总烃含量一直超过150 μL/L。图3为该主变近1年油色谱在线监测数据与现场定期油化试验数据的对比,2组数据总烃含量差异不大。

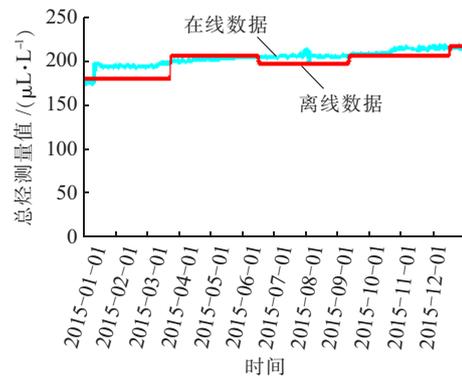


图3 在线监测数据与离线试验数据对比

通过三比值法和大卫三角法对在线监测数据进行评价诊断,该主变总烃含量超过注意值,与其定期状态评价报告中的结论一致,说明在线监测数据与现场试验数据较为吻合,其数据可靠性较高。

## 2.2 直流偏磁在线监测的应用

### 2.2.1 监测原理分析

直流偏磁是指在变压器绕组中出现直流分量,使变压器的磁通曲线发生偏移。当直流输电采用单极大地回线方式或双极不平衡运行时,大地回流使两接地极之间产生直流电位差,在直流电位差的作用下,直流电流会部分流入中性点接地的变压器绕组中导致直流偏磁的产生<sup>[12]</sup>。

直流偏磁在线监测装置是采用霍尔效应测试直流

电流,安装在变压器中性点引下线上,通过屏蔽信号电缆将数据提供给采集单元<sup>[13]</sup>。可对直流输电系统单极大地运行所引起的变压器中性点直流电流的变化进行实时监测,研究一个地区的交直流混合电网直流偏磁的分布规律,避免直流偏磁对电网造成危害。

特高压入苏后,江苏地区目前在运的换流站5座,都为双极两端中性点接地运行方式。当换流站运行方式变为单极运行或双极不平衡运行时,换流站接地极附近的变压器不同程度的受到直流偏磁影响,引起本体振动和噪声加剧、无功损耗和励磁电流谐波含量增加等问题,严重时可能造成变压器绝缘老化甚至损坏,严重危及交流电网的安全运行。针对这一情况,目前江苏电网在苏州和无锡地区的17台500 kV重要变压器、6台220 kV重要变压器上安装直流偏磁在线监测装置,实时跟踪变压器中性点电流、振动和噪声的变化情况。

### 2.2.2 应用实例分析

苏州地区某500 kV变电站主变压器于2012年6月安装直流偏磁在线监测装置。于2016年5月26日23:40,某换流站开展直流换流器额定功率考核试验,期间极I进行额定功率运行,极I、极II成双极不平衡运行。受换流站双极不平衡运行影响,该变电站主变直流偏磁在线监测数据所测的中性点电流出现明显增长。图4为2016年5月26日该换流站极I与极II直流电流实测变化曲线,图5为2016年5月26日该主变直流偏磁在线监测数据变化曲线。

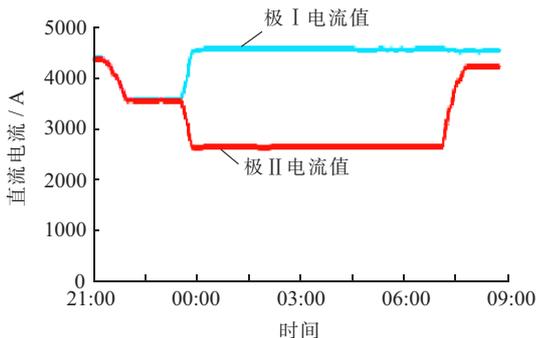


图4 2016年5月26日某换流站极I与极II直流电流实测值

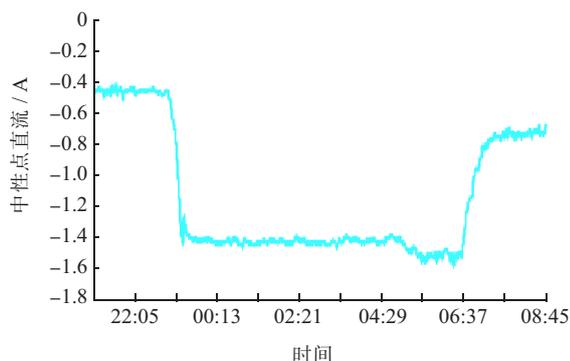


图5 2016年5月26日某主变直流偏磁在线监测数据变化曲线

对比图4和图5可见,23:40额定功率考核试验开始,极I电流值上升,极II电流值下降,换流站处于双极不平衡运行。23:40至次日07:00期间,极I最大电流值达到4545 A,最大入地电流达到1970 A。受到换流站运行方式改变及入地电流增大的影响,该500 kV主变压器中性点直流在23:40左右由-0.42 A陡增至-1.42 A,期间该主变最大中性点直流达到-1.58 A,最大增幅1.16 A。

当换流站处于双极不平衡运行时,直流偏磁对换流站接地极附近变电站变压器中性点电流有明显影响,而安装的直流偏磁在线监测装置所测数据也较为可靠并且及时地反应了此类情况。

## 2.3 绝缘子污秽度在线监测的应用

### 2.3.1 监测原理分析

绝缘子污秽度在线监测是通过绝缘子表面电导率进行实时监测,并依据专家系统中的评估模型对绝缘子污秽度进行实时评估,预测恶劣气候条件下的闪络电压,实现污秽度在线预警。

自2012年开始,逐步对江苏省内部分重要线路安装绝缘子污秽度在线监测装置,主要集中在徐州、连云港等苏北少雨及沿海地区和南京、镇江、苏州等沿江工业地区的电力通道。结合江苏电网污秽预警系统,建立污闪风险综合评估模型,定时对各类监测数据进行分析 and 风险核查,实现污秽度预警,科学指导江苏电网防污闪工作的开展。

### 2.3.2 应用实例分析

2015年1月23日至25日,污秽在线监测系统数据显示仪征地区某500 kV输电杆塔泄漏电流异常增大,如图6所示。

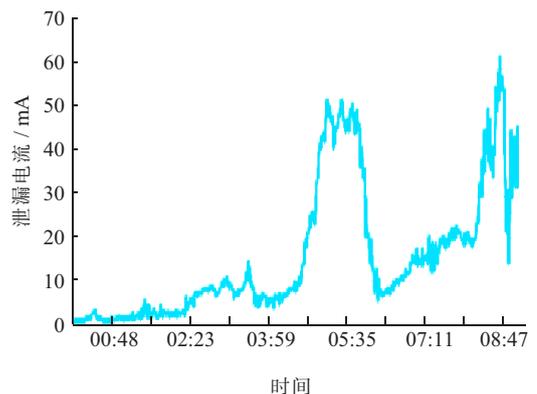


图6 2015年1月25日泄漏电流值监测曲线

泄漏电流值从夜间的2 mA快速上升至清晨的31.2 mA,升高幅度达到29.2 mA,1月25日09:23泄漏电流达到63.7 mA。经现场紫外特巡发现该线路杆塔上各相运行绝缘子表面放电已十分严重,如图7所示。建议运行维护部门尽快停电清扫,并适时开展喷涂RTV的工作。

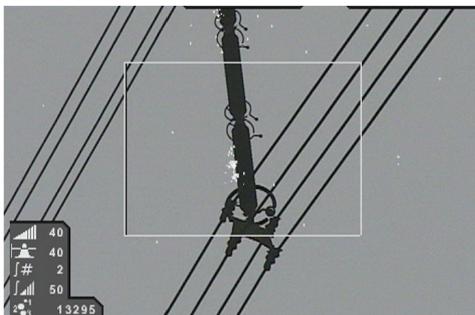


图7 绝缘子表面放电紫外成像图

### 3 输变电在线监测存在问题与应用建议

#### 3.1 存在问题

(1) 在线监测数据的有效性与主设备缺陷或故障时的关联度不够。如南通某 500 kV 变电站 5 号主变 A 相于 2014 年中的例行油色谱检测中发现油中含有乙炔,并呈持续增长趋势。2015 年 2 月该主变加装油色谱在线监测装置,并将采样周期设置为四小时一次。通过跟踪比较该主变在线监测数据,发现在线监测数据与离线试验数据有较大的偏差。如 2015 年 2 月 16 日,该主变在线监测数据测得乙炔含量为  $0 \mu\text{L/L}$ ,并初步判断主变为正常状态,无过热或放电现象。而当日在现场开展的离线试验所测得该主变的乙炔含量为  $0.7 \mu\text{L/L}$ ,通过后期对主变开展的各项电气试验显示,该主变由于油箱内的磁屏蔽接地线螺栓松动,产生悬浮放电导致油色谱中乙炔产生。因在线数据与离线数据差异较大,其有效性与设备缺陷关联度不够,使在线监测数据目前还不能成为判断主设备运行情况的依据。

(2) 在线监测装置类型较多,所涉及的装置生产厂家较多,产品质量及售后服务参差不齐。站端装置后台软件故障、电子元件老化、耗材不足、传输信道异常均影响在线监测装置使用。以油色谱在线监测装置为例,2016 年第一季度共发生油色谱在线监测数据异常中断事件 34 起,主要故障原因为传输信道异常、站端装置后台软件故障、耗材不足和场装置配件老化,其占比分别为 50%、23.5%、14.7%和 11.8%。而完成相应装置现场消缺周期一般需要 3 到 5 个工作日,较为影响在线监测的日常巡检。

(3) 装置投运后存在数据传输不稳定、可靠性较差、波动异常等。如常州地区某 500 kV 变电站 3 号主变 A 相,该主变乙炔含量一直超出注意值  $1 \mu\text{L/L}$ ,其离线试验数据在  $7\sim 8 \mu\text{L/L}$  小范围波动,而在线监测乙炔含量在  $0\sim 8 \mu\text{L/L}$  跳变,上传数据较为不稳定,波动较为异常。

#### 3.2 应用建议

(1) 加强在线监测数据与主设备的关联度、细化装置告警阈值设定,提高在线监测数据对主设备状态

评价分析能力。

(2) 建议运行维护单位定期开展现场装置的校验对比工作,提高在线监测数据的准确性。

(3) 加强在线监测装置入网检测力度,提升在线监测装置质量监督管理水平,从源头上确保在线监测装置本身的可靠性。

### 4 结束语

通过对江苏电网输变电在线监测装置的现状及应用情况进行分析,得出目前变压器油色谱、直流偏磁及绝缘子污秽在线监测技术在输变电设备状态监测方面相对成熟,在线监测数据较为可靠,并且已覆盖江苏地区重要变电站及输电通道,可对主设备的运行状态起辅助监测及诊断分析作用。随着各类在线监测装置在电网生产中的应用面不断扩大、安装数量不断增加,必须继续加强在线监测数据与电网设备缺陷与故障的关联度、提高在线监测装置的可靠性、推进在线监测装置智能化水平的发展。

#### 参考文献:

- [1] DL/T 1430—2015 变电设备在线监测系统技术导则[S].
- [2] 赵笑笑, 云玉新, 陈伟根. 变压器油中溶解气体的在线监测技术评述[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(23): 187-191.
- [3] 许坤. 基于动态顶空脱气技术的变压器油中多组分气体在线监测系统研究[D]. 南京: 东南大学, 2006.
- [4] DL/T 722—2014 变压器油中溶解气体分析和判断导则[S].
- [5] 许坤, 周建华, 茹秋实, 等. 变压器油中溶解气体在线监测技术发展及展望[J]. 高电压技术, 2005, 31(8): 30-35.
- [6] 贾瑞君. 高分子薄膜在变压器油中溶解气体在线监测中的应用[J]. 变压器, 2001, 38(10): 37-40.
- [7] 贾瑞君. 关于变压器油中溶解气体在线监测的综述[J]. 电网技术, 1998, 22(5): 49-55.
- [8] 黄剑斌, 谭建敏, 梁湛原, 等. 变压器油顶空脱气法[J]. 电力科学与技术报, 2013, 28(2): 89-93.
- [9] DL/T 722—2014 变压器油中溶解气体分析和判断导则[S].
- [10] 吴瑾, 谢康健. 变压器油中溶解气体三比值法应用问题的讨论[J]. 技术交流与应用, 1997, 11(2): 11-15.
- [11] 苑津莎, 秦英, 何亚军. 变压器大卫三角形法故障诊断结果的基本信任分配函数研究[J]. 电测与仪表, 2015, 52(1): 13-18.
- [12] 董霞. 变压器直流偏磁研究[D]. 济南: 山东大学, 2013.
- [13] 吴鹏, 田猛, 陆云才, 等. 锦—苏特高压直流对江苏电网变压器直流偏磁的影响[J]. 江苏电机工程, 2014, 33(1): 5-8.

#### 作者简介:

唐梦颖(1988), 女, 江苏南京人, 助理工程师, 从事电网主设备在线监测数据巡视和分析工作;

路永玲(1988), 女, 甘肃白银人, 工程师, 从事设备状态监测评价、故障分析及技术监督工作;

徐伟(1987), 男, 江苏南京人, 助理工程师, 从事电网主设备在线监测数据巡视和分析工作;

(下转第 8 页)

- [4] 周念成,付鹏武,王强钢,等. 基于模型预测控制的两区域互联电网 AGC 系统研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012,40(22): 46-50.
- [5] 周红英. AGC 新模式下协调控制系统的分析及改进[J]. 华北电力技术, 2010(4):32-36.
- [6] 王 芳. AGC 系统控制策略优化分析[J]. 河北电力技术, 2012(31):46-48.
- [7] 杨 平,庞佳玲,张志雄. 互联电网 AGC 控制模式研究[J]. 上海电力学院学报, 2011, 27(2):139-142.
- [8] 巴 宇,吕 泉,常焯骥,等. 基于频差预期控制性能标准下的自动发电控制策略[J]. 电力系统自动化, 2015,39(8): 74-79.
- [9] 滕贤亮,高宗和,朱 斌,等. 智能电网调度控制系统 AGC 需求分析及关键技术[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1):81-87.
- [10] 赵 川,朱 涛,叶 华,等. 多控制区协调自动发电控制的研究与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2014(16):46-51.
- [11] 夏天宇,李 辰,柳 进,等. 基于超短期负荷预测的 Non-AGC 与 AGC 协调控制策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(18):38-43.

作者简介:

齐浩宇(1990),男,吉林长春人,硕士研究生,从事电力系统稳定控制研究工作;

张俊芳(1965),女,陕西武功人,副教授,从事电力系统运行研究工作。

## AGC Strategy Considering Communication Outage for Interconnected Power Grids

QI Haoyu, ZHANG Junfang

(School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** The conventional automatic generation control (AGC) strategy only takes the economic factors into consideration. However, for interconnected power grids, the hidden failure of communication outage may cause AGC control signal blocks followed by control units' inability of power adjustment with the load fluctuation. In this paper, a novel AGC strategy was proposed to improve the conventional one by taking both strategy of economic dispatch (ED) and load frequency control (LFC) into consideration. The novel AGC strategy has considered the communication outage probability and was prophylactic, so that it could let the impact of communication outage down. The ED control of the novel AGC strategy was designed against the long-term substantial load fluctuation by adjusting the power of those AGC units with high communication outage probability according to the load forecasting as much as possible. While the LFC strategy of the novel AGC strategy was designed against short-term and unpredictable slight load fluctuation by adjusting the power of those AGC units with low communication outage risk. The IEEE-118 system is employed to verify the effectiveness of the novel AGC strategy. The simulation results indicate that the novel control strategy has the ability of improving the dynamic stability of power system, excellent economy and engineering application value.

**Key words:** automatic generation control; economic dispatch; load frequency control; communication outage probability; risk assessment

(上接第 4 页)

钟 丹(1988),男,江苏南京人,助理工程师,从事电网主设备在线监测数据巡视和分析工作;

胡成博(1984),男,江西赣榆人,工程师,从事开关类设备状态评价、设备状态监测系统分析管理及专业信息系统设计工作。

## Status Analysis and Application Suggestions of Online Monitoring Device on Power Transmission and Transformation Equipment in Jiangsu Power Grid

TANG Mengying, LU Yongling, XU Wei, ZHONG Dan, HU Chengbo

(State Grid Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** This paper pays attention to three mature types of online monitoring devices, namely transformer oil chromatography, dc magnetic bias and insulator pollution degree, which have high data availability. The principles of monitoring devices are illustrated in the paper. By practical application cases, the status of online monitoring devices utilized in Jiangsu power grid transmission and distribution system are analyzed. The result of analysis shows it is necessary to improve the reliability of online monitoring device and to strengthen the relationship between online monitoring data and fault defects detection which will promotes the intelligent development of online monitoring devices.

**Key words:** online monitoring; oil chromatographic; dc magnetic bias; insulator pollution degree