

[控制系统]

无功优化系统在廊坊电网电压控制中的应用

文/国网冀北电力有限公司廊坊供电公司 王 玮

结合廊坊电网实际情况，分析了影响无功优化系统运行的技术问题和管理问题，并提出了解决措施。

随着用户对电压质量要求的不断提高，以及电网无人值班站的广泛推广，地区电网要实时调整电压无功，以保证电压稳定，提高全网电压合格率。因此，需要实现地区电网无功优化系统的自动调节。

电压质量是衡量电能的主要质量指标之一，它对电网稳定、电力设备运行以及工农业生产均有重大影响。为保证电压合格率，维护用户端电压水平，最大程度地降低网损，实现无功的分层、分区就地平衡，在变电站中采用有载调压开关和无功补偿（电容器投切）是主要原则和重要手段。

我公司正在全面实现集控站管理模式，大屯220 kV集控站、翟各庄220 kV集控站、广安220 kV集控站的投运使我公司的集控站比例达到了80%。集控站管理模式，每个集控站下平均设12个受控110 kV站，各受控变电站均为无人值守状态。为了适应公司变电站集控运行模式的要求，建立了无功优化控制系统（AVC），利用现有的软件和硬件实现无功电压的自动调节功能。

AVC系统的设计原理和工作方式

AVC是通过廊坊调度自动化SCADA系统采集全网各节点运行电压、无功功率、有功功率等实时数据，以地区电网电能损耗最少为目标，以各节点电压合格为约束条件，进行综合优化处理后，形成有载调压变压器分接开关调节和无功补

偿设备投切控制指令，然后利用调度自动化系统的“四遥”功能，实现地区电网无功电压优化运行。

AVC系统的工作流程如图1所示。首先从调度自动化系统采集实时数据，分别送入电压计算分析模块和无功计算分析模块，再送入综合优化模块处理后，形成有载调压变压器分接开关调节指令、无功补偿设备投切指令，最后通过调度控制中心执行，此后循环往复。

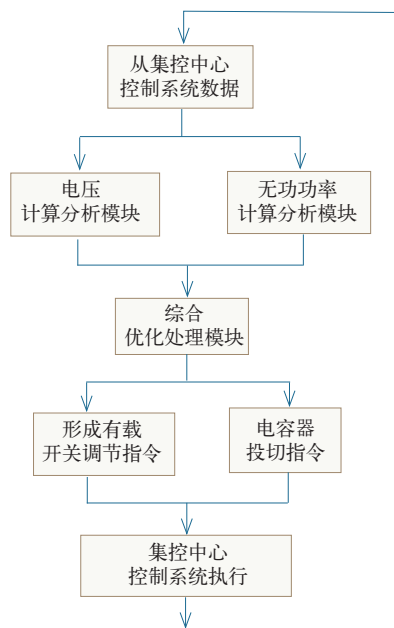


图1 控制系统构成方块图

AVC系统功能及实现

1. 全网优化补偿无功功能

当地区电网内各级变电所电压处在合格范围内，控制本级电网内无功功率流向合理，达到无功功率分层就地平衡，提高功率因数；同电压等级不同变电所电容器组根据计算决策谁优先投入；同变电所不同容量电容器组根据计算决策谁优先投入。

2. 全网优化调节电压功能

当无功功率流向合理，某变电所10 kV侧母线电压超上限或超下限运行，处在不合理范围时，分析同电源、同电压等级变电所和上级变电所电压情况，决定是调节本变电所有载主变分接开关还是调节上级电源变电所有载主变分接开关挡位。

实现全网调节电压，可以达到以尽可能少的有载调压变压器分接开关调节次数，达到最大范围地提高电压水平，同时避免了多变电所多主变同时调节主变分接开关引起的分接开关挡调节振荡。

电压合格范围内，高峰负荷提高运行电压，低谷负荷降低运行电压。根据电能损耗计算：空载损耗（ ΔP_0 ）与电压平方成正比，负载损耗与电流平方成正比。电网高峰负荷时，提高电压，可减少电流，降低负载损耗；反之，电网低谷负荷时，降低电压，减少空载损耗，这样可以获得明显的降损节电效果。

3. 无功电压综合优化功能

当变电所10 kV母线电压超上限时，先降低主变分接开关挡位，如达不到要求，再切除电容器；当变电所10 kV母线电压超下限时，先投入电容器，达不到要求时，再提高主变分接开关挡位，尽可能做到电容器投入量达到最合理。

系统预算10 kV母线电压，防止无功补偿设备投切振荡。根据电网的历史电压数据，对10 kV母线电压进行预测，当无功需求增多，电压下降，先投入电容器，这样使无功达到平衡之后，如果电压不合格，再调节变压器分接头，来控制电压。这种顺序防止了无功补偿设备投切振荡，同时减少了设备动作次数。

系统应用中的问题及解决办法

1. 监控数据修正

系统的计算分析及控制策略是建立在仿真计

算数据基础上，而对电压的监视考核则是基于SCADA的采集值，二者之间存在差异是必然的。这种差异可通过如下措施缩小：提高测量设备精确度；提高传输环节误差；采用先进的状态估计算法对SCADA数据进行处理；建立合适的网络等值模型；提高参数准确度等。即使采取以上措施，从实际应用看，差异仍然很大。

如果纯粹以SCADA数据为基准，则给分析计算造成诸多困难，控制策略也会陷入经验性而缺乏理论分析基础；如果纯粹以等值模型为基准，则计算结果与监控数据的差异会造成对系统状态的误判断（正常的状态可能计算结果存在个别监测点电压越限），并且难于投入实用。

为了解决分析计算数据与监测数据差异问题，采用了以SCADA数据为基准的变化量修正方法。采用这种方法的合理性表现在：实现了计算数据和监测数据统一；实现了控制量与考核量的统一；减小了表计误差带来的不利影响。将理论分析数据与实际监测到的调整数据进行对比，可以确定计算分析结果与实际相吻合。数据如下表所示。

表 理论分析与实际监测结果对比表（路南站 单位：kV）

母线	调节前电压 (SCADA)	调节后电压 (SCADA)	调节后电压 (计算)
110 kV#4	113.3	113.6	113.59
35 kV#4	36.7	37.2	37.20
10 kV#4	10.3	10.5	10.51

2. 设备常见缺陷

结合我公司的运行实践，无功电压优化系统在运行中出现的缺陷有如下几种。

(1) 系统间数据传输错误

110 kV站端的综自系统与集控站系统之间的通信数据错误，主变挡位与现场不一致，母线电压和无功潮流与集控站系统不一致。在运行规程中要明确值班员巡视时，核对无功电压优化系统与集控站监控系统之间的盘面数据是否一致，如发现异常现象，立刻将其封锁并上报缺陷。

(2) 数据传输慢

110 kV站端综自系统至集控站集控系统间的传输速度慢。旧版南瑞继保公司生产的RCS-9000综自监控系统，除按照设定时间定上传遥测数据外，还根据系统采集量的越线干扰方式上传遥测数据，但是由于系统只能设置一个公共的越线干扰值，所以考虑到系统能够接受的数据采集量，

这个值不能设置得太小，而主变分接头的变化量仅为1，达不到越线干扰值，所以不能及时上送主变分接头的变位信息，只能按照设定的时间，按时上报遥测数据。这种情况下，该站的遥测数据更新速度为5 min，所以不能满足AVC系统的运算要求，这种站不具备条件，应该在系统中进行封锁，使其退出运行，该站的无功电压运行工作只能由值班员通过集控站的监控机进行操作。

(3) 上下级管理错误

部分变电站的上下级关系设置错误。此环节在系统建设调试初期便要确保无误，出现设置错误后，会导致系统运算结果错误，出现“张冠李戴”的现象，使分接头调整和电容器投切错误。

(4) 电压曲线定值不合理

各站的负荷随季节和电网运行方式的变化而变化，所以在AVC系统中，要随负荷变化情况及时调整电压曲线定值，才能实现最优调整策略。

3. 管理缺失问题

无功电压优化系统虽能从技术上解决变电站集控模式无功电压运行问题，但它的出现需要一种新的管理模式随之而生，并围绕该管理模式形成专业的管理规定、职责分工、运行规程等管理资料。我公司大屯和翟各庄的无功优化系统在建设初期基本处于半瘫痪状态，失控率达到了50%以上，调控效果很差；广安变电站的无功优化系统运行状况稍好，失控率在20%以下，但是存在电容器投切频繁和分接头调整频繁的问题。经过仔细分析，发现了存在的一些管理问题。

- 1) AVC系统身份不明——“非运行设备”。
- 2) AVC系统的运行维护没有明确的职责分工——“无人运行维护”。
- 3) 没有AVC系统管理规定——“无法可依”。
- 4) AVC系统没有运行规程——“无章可循”。

相关部门编写了《电网电压无功优化自动控制系统(AVC)管理规定》和《廊坊供电公司无功优化运行规程》，运行规程和管理规定的最核心思想就是实现“无功优化系统”的“闭环”管理：管理规定中明确指出AVC系统为“运行设备”；管理规定明确职责分工，变电一、二工区是AVC系统的运行管理单位，调度所负责系统的日常运行与维护；管理规定指出系统出现缺陷时，应及时从生产管理信息系统中上报缺陷，缺

陷定性为“一般缺陷”；制定了运行规程，并作为集控站运行规程的一个章节发布实施，使变电运行人员有章可循。AVC管理系统结构图如图2所示。

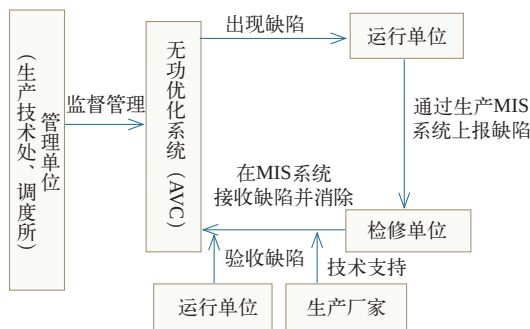


图2 AVC系统闭环管理系统结构图

运行情况及效果

该AVC系统自2008年6月完成系统架构重组后，运行稳定，圆满完成了无功电压优化控制的工作，实现了设计的功能。

1) 克服了单个无功电压综合自动控制（又称VQC）装置局限于“无功—电压就地最优”，而不能做到“无功—电压全网最优”的弊端。

2) 减轻集控中心值班人员劳动强度，避免人为误差，真正实现全网无功电压实时控制，完善并提高无人值班变电站的自动化水平。

按照常规有人值守站，220 kV变电站每日无功电压运行工作需要主变分接头操作2步，电容器操作6步；110 kV变电站每日无功电压运行工作需要主变分接头操作2步，电容器操作6步。大电站下辖2个220 kV变电站，13个110 kV变电站，AVC系统投入运行后，每天可以替代值班员完成 $(13 \times 8 + 3 \times 8)$ 步操作。

同时，AVC系统可以在5 min内，完成大屯集控站范围内16个变电站的电压调整工作（调节一次分接头和投切一组电容器）；值班员完成一次分接头和电容器操作共需5 min，在忽略值班员的推屏时间和逻辑判断时间的情况下，完成16个变电站的调整共需80 min，AVC系统运行后可以节省94%的无功电压运行操作时间。

3) 信息管理功能完善，AVC系统可以记录分接头和电容器设备的动作时刻与动作原因；设备动作失败或不正常动作情况表；主变分接开关与电容器设备开关动作次数汇总表；电压曲线分析表；有功功率、无功功率、功率因数分析表；变

(下转第109页)

$$K_q = \Delta q / \Delta C_2$$

式中： Δq 为轧制力 q 的变化量； ΔC_2 为辊缝二次凸度 C_2 对应 Δq 的变化量。

(3) 保持辊缝控制策略

保持辊缝控制策略即通过初始辊型设计（如VCL支承辊技术）或轴向横移（如工作辊长行程WSR技术和ASR技术），是轧辊在经历了服役期的表面磨损后，其辊廓形状与其初始辊形保持大致相似，进而保证轧机原具有的辊缝凸度调控域和辊缝形状刚度保持基本不变。使轧辊的表面磨损量沿其轴向均匀分布是保持辊形的有效办法。

如果轧辊表面磨损均匀，则轧辊具有最优的辊形自保持性，辊形自保持性参数 $R_w = 1.0$ 。

辊缝凸度调控域表明了辊缝的调节柔性，辊缝形状刚度表明了辊缝形状在轧制力变动时的稳定性。建立将二者结合组成的 C_2-C_4-q （轧制力）坐标系，轧制宽度 B 为参变量。可以得到描述轧机板形控制性能的三维图。如果轧辊自保持性良好，则这一板形控制性能的三维图在整个轧辊服役期内保持恒定。

2. 板形控制的基本方法

板形受大量非线性因素的影响，如轧辊原始凸度、弯辊力、轧制速度、温度分布及来料缺陷等。而且，轧制过程的动态特性使控制时难以考虑所有影响因素，因此板形控制十分复杂。板形控制通常建立在基于数学模型的现代控制理论上，但其具有的复杂非线性特点，使其难以建立精确的控制模型。当模型不能很好地完成控制工作时，操作者必须手工干预。操作者的经验对于板形控制的稳定进行及精度提高具有重要意义。

一个完整的板形控制系统中，预设定控制模块和反馈控制模块必同时存在，且相互不可替代。在每一根带钢来到轧机入口前时，轧机的各板形调节机构都需要一个正确的板形预设定值，由程序自动给出这一组预设定值就是预设定控制的任务。而且从带钢头部进入辊缝到建立稳定轧制的一段较长时间内，反馈控制模块不能投入，需要预设定值保证这一段带钢的板形。此外，当反馈控制模块投入运行时，当时的预设定值就是反馈控制的起始点、初始值，它的正确与否将影响反馈控制模块调整实际板形达到目标值的时间。

结束语

随着工业技术的不断发展，冷轧板的产品规格越来越薄，轧制速度越来越快，用户对板材纵、横向的厚度精确度和板形的要求也越来越高。因此必须对板形进行精确控制，而要控制带钢的板形，首要的问题是对带钢的板形进行测量。ABB板形控制系统，检测精确度高，适应较恶劣的工作环境且工作稳定，日常维护也比较容易，因此被许多板带企业所使用。EA

（收稿日期：2014.12.12）

（责任编辑：杨得润）

（上接第99页）

电所电容器单组及多组容量最优配置值分析表。完善的报表功能可以使供电公司准确掌握设备情况，为分接头和电容器开关的检修提供数据依据。

4) 电压波动幅度小，投入AVC系统之前（见图3曲线）大电站220 kV 4#母线电压波动约为4 kV，投入AVC系统后（见图3上曲线）大电站220 kV 4#母线电压波动明显减小，仅为1.5 kV，电压波动幅值减小62.5%，母线电压波动的频率也明显减小，改善了电压波形。2008年，公司220 kV电网电压合格率达到100%，A类电压合格率为99.87%，稳居冀北5个供电公司之首。

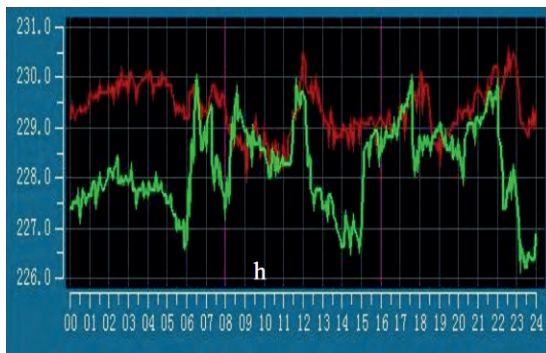


图3 AVC投入前后电压曲线对比时域图

结束语

无功电压运行管理新模式适应了集控站模式下无功电压运行工作的要求，提升了无功电压管理水平和电压运行工作效率，减少值班人员的劳动强度，避免人为误差，全面改善和提高了电网电压质量。EA

（收稿日期：2014.06.07）

（责任编辑：杨得润）