

基于调控一体的自动电压控制系统的应用与实践

北京电网是一个典型的大城市电网，随着用电负荷、受电比率的增长及网架结构的不断变化，电网电压质量和稳定问题将日益突出，驾驭电网电压的工作将更加艰巨。基于现代通信自动化技术的自动电压控制系统的出现为推动北京电网无功电压管理水平提供了新的契机，北京电网自动电压控制系统投运以来，系统一直保持稳定运行，北京电网无功电压更加趋于优化，220 kV层面网损大大减少，极大降低了电网控制中心值班人员的无功设备投切操作量，将北京电网无功电压管控水平提升了一个新台阶。

宋方方¹ 杨楠² 刘颖³ 董楠¹ 李立志¹ 王卫¹ 赵瑞¹ / 1.国网北京市电力公司调度控制中心 2.国网北京市电力公司电力科学研究院 3.国网北京市电力公司石景山供电公司

1 北京电网无功电压管理工作的目标

1.1 北京电网无功电压管理工作的理念

1.1.1 满足社会经济发展和人民生活水平不断提高的需求

20世纪90年代，社会生产和人民生活对电力供应的需求仅仅只满足于电力供应充足，不停电。但是进入21世纪以来，随着科技日新月异的发展和人民生活水平的提高，一方面空调等高档电器成为了普通消费品进入了千家万户，大量的空调(异步电动机)负荷在夏季高峰负荷时投入，使得电网负荷峰谷差提高和电压特性更加复杂多变，驾驭电网电压的难度空前艰巨；另一方面电力电子产品的生产厂家和使用人员越来越普遍，精密的电力电子器件的生产和使用对电压质量的要求极高，任何一个小的电压闪变可能引发一个批次产品的不合格抑或

运行中电器的损坏，将使社会生产和人民生活蒙受巨大的经济损失。

1.1.2 紧跟城市大电网发展的步伐

20世纪90年代初期，北京电网建设远远滞后于电源建设和网架结构异常薄弱，北京地区面临着严重缺电的尴尬局面，经常面临着夏季大负荷到来时，为保证电网安全稳定运行而不得已采取拉路限电措施。加强电网建设一直是北京市电力公司追求发展的战略重点，自上个世纪末以来，北京电网先后实施了“9511”扩容改造工程、“9950”工程、北京居民家庭一户一表改造工程、电力强网“0811”工程和“电网可靠性提升”工程。工程实施后，北京电网规模日益扩大、网架结构日渐复杂，实现了从多个供电通道接受外来电力，受电比率日益增长，电网运行方式更加灵活多变，电网无功电压控制异常艰巨问题日益突出。同时，用户电压质量优劣是关乎公司服务品质和公众形象的重要环节，是推动公司朝着“努力超越、追求卓越”目标发展的源泉。

1.1.3 不断朝着智能电网的目标迈进

智能化电网是当今世界电力系统发展变革的新方向，智能电网的特征是：网架坚强、平台支撑、自愈安全、兼容交互、协调高效及经济环保。其中与电网无功电压管理工作直接相关的几类特征的含义分别是：平台支撑是指建立以一体化统一信息模型为核心的智能化电网信息体系平台，实现信息高度共享和业务深度互动；自愈安全是指电网的稳定可靠及抗攻击性，指无需或仅需少量



宋方方/工程师

关键词/Keywords
电压控制·

人为干预,实现电力网络中存在问题元器件的隔离或使其恢复正常运行;经济环保是指在数字化、高科技占主导的经济模式下,电力用户的电能质量能够得到有效保障。因此智能电网之无功电压管理必须具备的条件是:一个高效的自动无功电压控制系统。该系统具有从全网视角观察无功电压信息,并通过对信息的深加工,满足电网安全、可靠及经济运行的条件,实现全网变压器分头和无功补偿设备的自动闭环控制。

1.2 北京电网无功电压管理工作的范围

1.2.1 电压中枢点电压管理

北京电网结构复杂,用电负荷多而分散,难以实施且无必要对每个用电负荷的监视和调整,通常系统中的负荷节点是通过一些主要供电母线供电,因此仅需对这些供电母线(简称中枢点)的电压进行监视和调整,即可满足各用电负荷的要求。北京电网设置的电压中枢点如下:

(1) 并入110 kV及以上电网发电厂(包括发电企业和用户自备发电厂)的高压母线。

(2) 市调调度的220 kV母线。

(3) 110 kV变电站带地区供电负荷变电站的35 kV、10 kV母线。

(4) 35 kV变电站带地区供电负荷变电站的10 kV母线。

电压管理的主要工作是编制中枢点电压曲线并下发,两级调度值班员按照电压曲线控制中枢点电压,使之满足中枢点供电的所有负荷点对电压的要求。

1.2.2 调压方式管理

电网的负荷特性是多种多样的,北京电网是一个典型的受端城市大电网,居民用电负荷比例大,夏季大负荷期间,空调负荷比例达35%,峰谷差最大高达79%。因此,北京电网采用逆调压方式,即高峰负荷时将电压升高(105%UN),低谷负荷时将电压降低(UN)。

1.2.3 无功管理

(1) 电网无功补偿

北京电网无功电力遵循“分层分区、就地平衡”的原则,在变压器低压侧配置电容器,以补偿站内变压器无功损耗;在变压器高压侧配置电抗器,以补偿电缆线路的充电功率。

(2) 变电站和电厂功率因数

变电站功率因数在高峰负荷时段,调整无功使主变高压侧功率因数达到0.98至1。在低谷负荷时段,调整无功使主变高压侧功率因数在0.95以下,不允许向系统反送无功。

发电厂在高峰负荷时段,将母线电压调至电压曲线的上限或无功出力达到最大;低谷负荷时段,尽量降低无功出力,功率因数达到0.98以上,必要时进相运行

1.3 北京电网无功电压管理工作的指标体系

(1) 电压合格率的目标值100%。

(2) 无功补偿设备投运率适当(最优投运率数值随电网网架结构、运行方式等因素而变化)。

(3) 电网网损率的减小。

(4) 控制人员无功设备投切操作量的降低。

2 北京电网无功电压管理工作的具体做法

一方面,随着北京电网结构的日益复杂,无功电压管理人员无法也不可能实时获取全网无功补偿设备的动作信息,更别提对其控制策略合理性分析;另一方面,北京电网是国内首个实现调控一体化的公司,在夏季大负荷期间,大量的变电站各类信息纷沓而至,调控人员无法在众多的海量信息中挑选出有用信息,迅速做出正确的调压反应。北京电网无功电压控制系统架构在EMS系统之上,能够利用电网实时运行的数据,从整个系统的角度科学决策出最佳的无功电压调整方案,自动下发给各个EMS子站装置,以电压安全和优质为约束,以系统运行经济性为目标,连续闭环的进行电压的实时优化控制。因此,借助于高效发达的通信自动化网络的北京电网无功电压控制系统无疑是推进无功电压管理工作水平的一剂良药。

2.1 北京电网自动无功电压控制系统工作流程

北京电网自动无功电压控制系统工作流程(如图1所示)

2.2 主要工作流程说明

2.2.1 网络模型和实时数据

北京电网EMS系统采用了“调控一体”的调度运行方式,这为AVC系统的实施带来了便利。

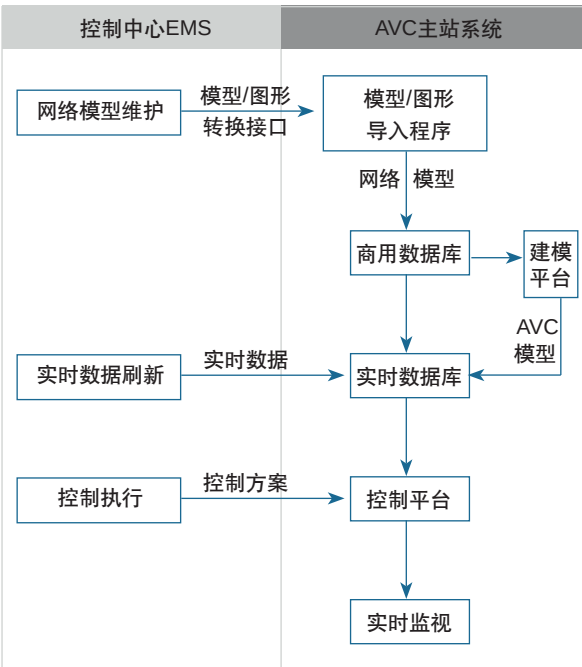


图1 北京电网自动无功电压控制系统运行管理工作流程

AVC系统直接从EMS系统获取设备参数、静态拓扑关系、电气图形及实时数据等基础数据和图形、电网实时运行电压、有功、无功及开关刀闸状态等电气量，还可以直接获取AVC控制所需要的各种保护信号、闭锁信号及把手位置等等。这些信息直接从EMS系统中获得，不需要对变电站端系统做任何附加工作，而系统自动生成的控制策略通过EMS的遥控、遥调接口下发。这种方式大大简化了变电站接入AVC系统的工作量，保证了系统在短期内大量变电站的成功接入。

2.2.2控制方案

传统的变电站的无功电压控制只能考虑站内母线电压和无功的情况，不能综合考虑全网的无功优化。北京电网的调度运行具备一定的特殊性，需要通过控制220 kV变电站内的无功设备，来控制220 kV主网的电压和无功。这种运行控制的要求既不同于已有的省调电网的控制要求、也不同于一般的地调电网的控制要求，在这种情况下，北京AVC系统采用了基于全网无功优化的变电站无功电压控制方式，即综合考虑各个变电站、电厂的无功资源，进行全局无功优化。全局无功优化的目标是网损最低，约束条件为各种电压和潮流的安全约束，优化的结果给出220 kV变

电站或电厂母线的优化控制电压目标值，从而保证全网无功的合理分布，并在电压合格的条件下降低网损。优化控制的目标是220 kV母线的电压，即以220 kV母线的电压为控制的主要目标，体现了针对主网进行优化控制的思路。优化控制的目标是经过全局无功电压优化计算给出的，这种目标既能体现不同变电站电压控制的协调性，又能体现变电站和电厂控制的协调性。优化控制要求保证10 kV、110 kV母线的电压合格，对北京电网来说，大量的220 kV变电站的10 kV母线带有用户负荷，因此保证10 kV母线的电压合格是一切控制的前提。系统为了保证优化控制过程中的电压合格，实现了复杂的连续控制逻辑，保证了优化目标的实现。

北京电网AVC系统采用面向220 kV电网优化的变电站电压控制，因此需要在严格保证220kV变电站10 kV和110 kV电压合格的基础上，进行优化控制。相比传统的变电站无功电压控制，这种控制模式更加精细化，需要对控制结果进行准确的预估，才能避免出现投切震荡等不合理的控制结果。这需要对系统的无功/电压灵敏度进行准确的计算。

传统计算灵敏度的方式多采用潮流方程的线性化的方式，由于这种方式对于电网模型依赖程度较高，对高压环网的计算比较准确，对于计算10 kV等低压辐射电网的无功电压灵敏度则精度比较差。本系统采用基于数据挖掘的灵敏度计算方法，系统自动记录每次控制前后母线电压的变化，并存入数据库中。通过一段时间的数据积累，系统采用数据挖掘的方式，自动统计和定期更新无功电压灵敏度。这种方式可以弥补自动计算的精度缺陷，同时自动进行的数据挖掘使系统具备了“自学习”的能力，随着控制时间的累计，系统的控制能够更加准确和合理。

2.2.3控制执行方案

北京电网承担着为首都供电的重要责任，在AVC系统建设过程中，为了确保系统控制万无一失，采取了开环、半闭环和闭环三个阶段控制方案，即，开环：系统根据全网实际运行情况，自动生成控制策略但仅供浏览不能执行；半闭环：系统自动生成控制策略，但策略需经过调控

人员确认后执行；闭环：系统自动完成控制策略的生成、下发和执行。

在系统开环运行期间，为了充分验证AVC系统控制的可行性、合理性和正确性，组织了充分完备的策略分析和验证工作。另外，还基于新开发的实时潮流的AVC控制仿真软件进行理论验证，该仿真软件能够模拟AVC系统对实际电网的连续控制，为AVC控制策略分析提供科学准确的结果。

在系统半闭环运行期间，AVC系统投入在线运行，所有控制策略在执行前，在网控中心的值班员工作站上自动弹出显示，由值班员审核确认。半闭环测试时间长达一个月，每个220 kV变电站都完成了3~5日的半闭环控制测试。通过测试发现并解决了AVC主站、变电站综合自动化等系统的一些问题，为后续各站投入闭环奠定了基础。

在系统闭环调试期间，每日投入5~6站在线运行，测试系统自动控制环节是否顺畅，若出现问题立即退出控制，问题解决后重新投运，直至每站均投入运行。

经过三个阶段的测试运行后，将系统投入正

式闭环运行。

2.3 北京电网自动无功电压控制系统运行管理工作流程

北京电网自动无功电压控制系统运行管理工作流程（如图2所示）。

2.4 主要管理流程说明

2.4.1 监视系统流程

运行方式处无功电压管理专工负责监视系统控制参数的正确性和控制策略的合理性。每季度根据调度通信中心下达的电压曲线文件及时更新系统电压限值。每日通过历史日志查询在连续时段内系统控制策略生成情况，对于控制策略生成不合理的站及时通知电网控制中心值班员将其退出运行并记录。

调度处值班员负责监视全网电压运行和变压器分头调整情况。根据全网无功和电压情况，进行变压器分头策略的监视，若发现分头不合理动作，则立即取消控制策略的执行，并通知方式处备案。

电网控制中心值班员负责监视全网电压运行和设备动作情况。根据全网无功和电压情况，进行调压和无功补偿设备策略监视，经初步判断策

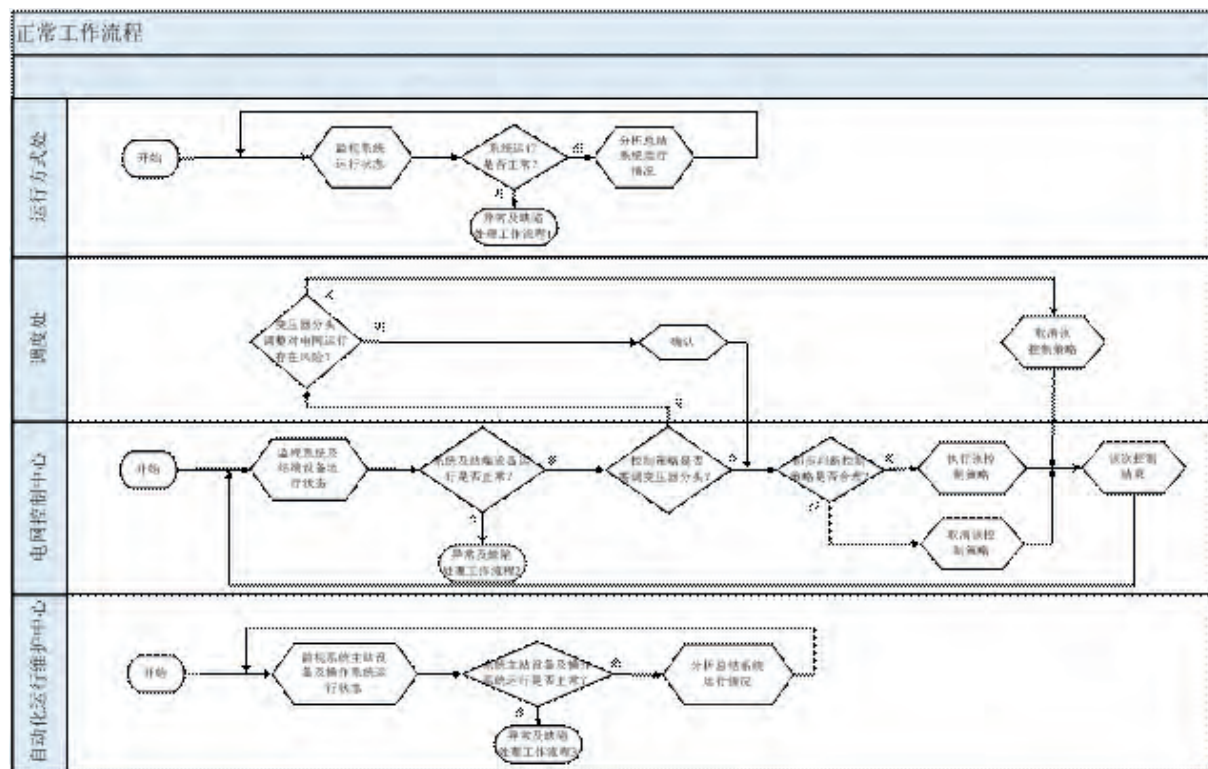


图2 北京电网自动无功电压控制系统运行管理工作流程

略不合理,则立即取消控制策略执行,并通知方式处备案。

自动化运维中心值班员负责监视系统各工作站投退、操作系统和网络情况。每日关注系统各客户端运行报警信息,发现问题及时通知。

2.4.2 分析总结流程

运行方式处无功电压管理专工每周汇总各处室发送的周总结,并根据系统运行情况,对系统控制策略进行效果分析,通过系统的电压越限报表统计功能,分析系统所反映的电网无功电压问题,并提出应对措施,调整系统的控制策略,例如采用协调控制方式优化电压。每周向领导小组汇报系统总体运行情况和需要协调解决的问题。

调控人员每日记录全网无功电压运行情况,整理缺陷处理情况,详细描述缺陷发生现象和处理过程,并发送至方式处。

自动化运维中心每周总结系统主站硬件、操作系统和网络运行情况,并汇总发送至运行方式处。

自动化处每周总结系统各子站信息传输情况,将对发生返校超时的设备进行排查的情况汇总并发送至方式处。

2.4.3 异常处理流程

电网控制中心运行人员应监视主站系统及站端设备的运行情况,发现问题应立即通知运行方式处,运行方式处根据系统发生的现象进行初步判断,若系统软件问题,通知厂家处理;若系统硬件、网络或操作系统问题,通知运维中心处理;若站端自动化系统问题,通知自动化处处理。由运行方式处整体协调各部门在规定时间内处理。

运维中心值班人员若发现服务器操作系统或网络问题,应立即通知电网控制中心退出AVC运行并报方式处备案;若发现工作站无故退出,通知工作站的管理人员及时查找问题并督促其尽快重新投入运行,并报方式处备案。

变电公司值班人员发现系统子站自动化系统或无功设备出现异常,应立即通知网控中心值班员及时将该站或设备退出运行,网控中心值班员

应在值班日志上记录详细情况。

系统其他使用人员发现系统运行异常,应立即通知运行方式处,由运行方式处判断后协调处理。

2.5 确保流程正常运行的人力资源保证

为了确保北京电网AVC系统稳定、高效的运行,其组织机构主要包括以下三方面的人员:

(1) AVC系统运行监视层:调控人员

调控人员是整个人员体系中的核心环节,因为整套体系的运转监视,绝大部分靠调控人员来完成。因此,调控员的工作能力和工作态度将直接影响到系统运行的实际效果。这就要求调控人员全面掌握北京电网的运行特点,对全网电压、无功潮流总体情况、各变电站调压和无功设备运行特性均有清楚的认识,其主要职责如下:电网电压实时运行监控;实时确认报警信息;运用相关自动化系统进行缺陷初步分析判断;系统运行风险预控措施的执行;系统运行信息记录。

(2) AVC系统硬件、操作系统和网络维护层:自动化运维中心系统维护人员

AVC系统和EMS系统互相配合构成了北京电网无功电压自动控制的技术支持手段。技术支持手段的高效、稳定运行是AVC系统可靠运转的前提。因此,这就要求系统维护人员不仅有较强的计算机水平和网络维护水平,其主要职责如下:系统运行管理和设备维护;及时更新系统图形、参数,保证状态估计的完整性、实时性和准确性;及时处理系统运行过程中出现的各种问题,保证系统长期稳定运行。

(3) AVC系统管理和协调处理层:方式处无功电压管理人员

AVC系统基于全网角度进行无功电压控制,为管理人员提供了全网监测和分析无功电压的可能。另外系统的稳定运行将直接影响电网电压合格率等指标,系统运转流畅要求具备强有力的管理人员支撑,因此管理人员主要职责如下:根据系统提供全网电压运行情况的视角,开展无功电压管理工作;执行系统应用目标,并督促各处室按照目标执行;整体协调处理系统运行中的各类

缺陷和异常。

负责整个系统运转的绩效考核,及体系指标的设计调整。

2.6 保证流程正常运行的专业管理的绩效考核与控制

为确保AVC系统运转顺畅,明确了方式处是系统的应用管理部门,从系统使用和维护两个方面,制定了该系统的应用目标、检查方法、考核标准、标准分值和责任部门等,并挂在OA系统中。每月在OA系统上,由应用管理部门根据系统应用目标完成情况逐条逐项进行打分,并提供相应的实证材料。在每月召开的信息化会议上,相关处室对应用目标打分情况进行讨论通过,最终将打分结果报领导小组,由领导小组最终打分,将分值和专业管理绩效考核、奖惩制度挂钩,促使系统健康高效的运行。

AVC系统控制的对象是电网中调压和无功补偿设备,只有保证了这些设备健康运行,出现缺陷及时处理并投运,才能发挥系统最大效能,因此对设备缺陷的考核和控制尤为重要,具体处缺要求和考核管理如下:

(1) AVC系统对设备处缺级别划分:

无功设备缺陷分级为特级、一级、二级缺陷。特级缺陷是指设备缺陷导致设备不可控,将危及电网运行安全,影响电网电压合格率完成。一级缺陷指设备缺陷导致设备不可控,将影响电网经济运行,减弱AVC控制效果或影响电网A类电压合格率的完成。二级缺陷指设备缺陷导致设备不可控,暂时不影响电网运行,不影响AVC控制效果,但长期对电网运行产生影响。已经接入AVC系统控制的变电站,AVC系统控制失败设备闭锁后,根据缺陷等级进行考核。特级缺陷24 h未处理列入考核时期;一级缺陷72 h未处理列入考核时期;二级缺陷7天未处理列入考核时期。

(2) 缺陷处理要求:特级缺陷要求马上处理,8 h内明确答复并有解决措施或临时措施,一般24 h内需处理完毕;一级缺陷要求及时安排处理,24 h内明确答复并有解决措施或临时措施,一般72 h内需处理完毕;二级缺陷抓紧安排处理,48 h内明确答复并有解决措施,一般7天内需处理完毕。

(3) 考核形式:以月度为单位通过OMS系统进行无功设备可投入率统计考核,无功设备可投入率=闭锁的无功设备容量×闭锁时间/全部无功设备容量×720 h。

3 评估与改进

3.1 系统运行的典型效果

在AVC系统控制前,北京电网各站均采用VQC控制,VQC从原理上只能从本站无功资源出发,按照一定规则对设备进行控制,无法实现区域电网电压协调控制,易造成电网同一区域内出现电容器和电抗器两种作用相反的设备同时运行,增大了无功功率在网内流动。

AVC系统可监测全网各站电压、无功等数据,其控制策略基于全网优化计算结果,可实现区域电网内电压协调控制。典型案例如下。

在八里庄、昆玉河和东升片区电网中,一方面奥运村送东升充电无功比较大,另一方面八里庄分头不可调(网调调度),因此该片区的无功调节主要依靠昆玉河和东升的电容器、电抗器的配合。以前使用VQC调节,由于没有考虑电压调节的协调性,导致低谷时段昆玉河、东升的电抗器不能投入,片区220 kV电压偏高,而高峰时段中枢点八里庄受10 kV电压的约束,不能过多投入电容器,片区电压又偏低。整体电压不合理。在AVC系统中实现了对东升、昆玉河站协调控制,使得该问题得到了缓解。

(1) 协调控制后的效果分析

通过修改东升站电抗器投入限值,实现了昆玉河站和东升站的协调控制(避免昆玉河电容器和东升电抗器同期投入)。协调控制后,两站的电容器和电抗器投退统计如表1所示。

从图4、5中可以看到,两站实现协调控制后,昆玉河和东升的220 kV母线电压有了明显改善,主要体现在:

1) 在低谷时段(23:00~6:00),控制后的电压明显降低,并且能够保持在电压上限以下,而控制前低谷时段电压基本在电压上限以上。

2) 在高峰时段(8:00~12:00和14:00~22:00),控制后的电压在有迎峰升压的趋

表1 2009年7月02日昆玉河站电容器和东升站电抗器投退时间统计

时间	信息内容
2009年07月02日 9:00:15	东升:东升267电抗器.控制成功, 由[运行]转为[热备用]
2009年07月02日 9:25:15	东升:东升267电抗器.控制成功, 由[热备用]转为[运行]
2009年07月02日 10:35:16	东升:东升267电抗器.控制成功, 由[运行]转为[热备用]
2009年07月02日 10:45:16	昆玉河:昆玉河314电容器.控制成功, 由[热备用]转为[运行]
2009年07月02日 18:05:15	昆玉河:昆玉河314电容器.控制成功, 由[运行]转为[热备用]
2009年07月02日 18:10:16	东升:东升267电抗器.控制成功, 由[热备用]转为[运行]
2009年07月02日 23:40:00	东升:东升267电抗器.控制成功, 由[运行]转为[热备用]
2009年07月02日 23:50:16	昆玉河:昆玉河315电容器.控制成功, 由[热备用]转为[运行]

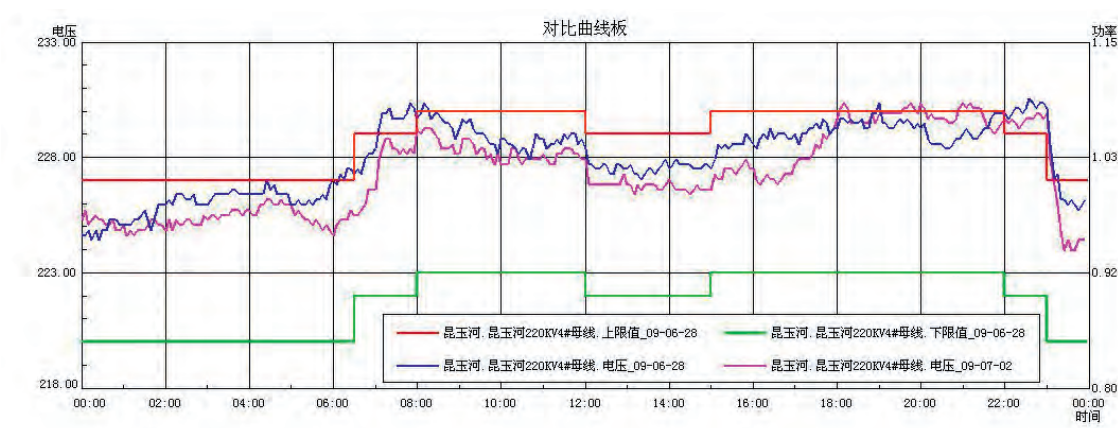


图4 昆玉河电压曲线

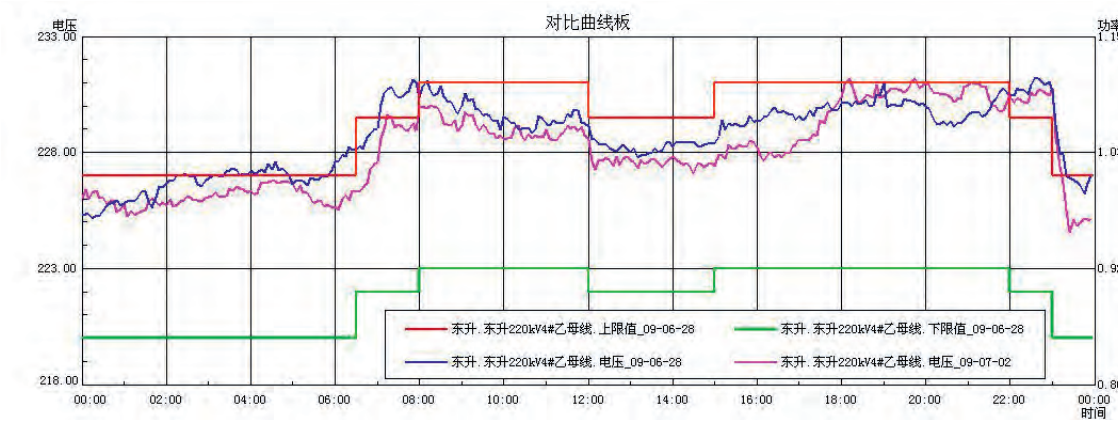


图5 东升电压曲线

注：6月28日东升站和昆玉河站未实现协调控制，7月2日两站实现了协调控制。

势，体现了随着负荷变化调整电压的趋势；

3) 在中午平峰时段（12:00~14:00），控制后电压明显降低，消除了午间电压的小尖峰。

4) 在早晚平峰时段（6:30~8:00和22:00~23:00），控制后的电压基本保证不越限。

可见在协调控制后，昆玉河和东升的电压有了明显的改善，如下是典型日电压云图对比，如图6、7所示。

AVC系统投运前，八里庄、东升和昆玉和全天母线电压越限优化限值时间为5 715 min（约95 h），AVC投入后，共计减少了2 700 min（约

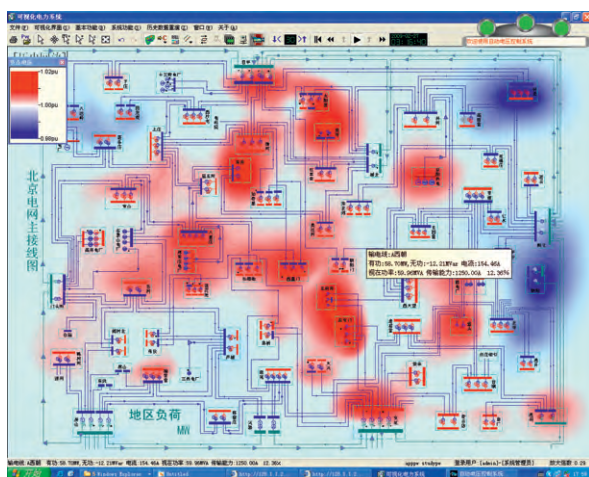


图6 6月28日主网电压云图

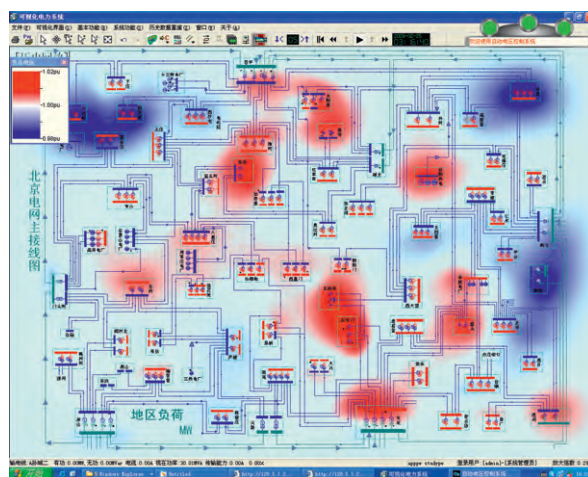


图7 7月2日主网电压云图

45 h)，减幅高达50%。

3.2 专业管理的评估方法

为了确保AVC系统稳定运行，发挥系统最大效能，北京电力调度通信中心参考其他省市公司的先进经验，结合北京电网AVC系统特点，制定了《北京电网自动电压控制系统运行管理规定（试行）》，明确了系统权限、日常工作、异常及缺陷、新站接入、传动工作、控制策略管理工作要求，为规范北京电网AVC系统建设、运行、日常维护和缺陷处理等工作提供了依据。

针对AVC系统投入运行初期，针对北京电网两级级调度运行人员、电网控制中心和各变电站运行操作人员对系统运行情况不熟悉，特修订了《北京电网无功电压管理规定（试行）》，明确了两级调度无功管理职责和厂站运行人员无功电压调整原则，规范了变电站和发电厂接入管理工作和AVC系统考核体系。

3.3 专业管理存在的问题

3.3.1 无功设备管理与运行脱节

无功设备是电压管理的对象和工具，无功设备管理到位是实现电压管理的基础。目前，公司无功电压管理主要在生产技术部和调度通信中心两大部门，生产技术部负责管理一次设备，调度通信中心负责无功电压调整的技术管理和二次设备。两个部门之间协作常常出现脱节，生技虽然具有一次设备管理权，但由于其并不从电网角度定量分析无功电压情况，因此无法提出细化的无功设备管理措施。调度通信中心虽然可全面了解

全网无功电压情况，并可据此提出将无功设备置于合理运行状态的方案和举措，但是受限于不具备无功设备的直接管理权，造成了大量无功设备缺陷处理不及时，导致设备无法正常投入AVC控制或站内VQC控制，易造成母线电压越限；无功设备正常安排清扫工作的时间不合理，在高峰负荷时退出电容器，在低谷负荷时退出电抗器，也导致了母线电压越限。

3.3.2 电压指标模式单一

目前北京电网电压质量管理仅局限于变电站母线电压合格率一项指标的统计和分析。母线电压合格率指标的上下限值相对较大，无法反映电压波动和闪变等其他电压问题，而计算机系统和基于微电子技术控制的自动化生产流水线以及新兴的IT产业、微电子芯片制造等企业，对电压质量的要求和敏感程度比一般电力设备要高得多，任何暂态和瞬态的电压质量问题都可能造成设备的运行异常或损坏，影响正常的生产，给电力用户造成经济损失。随着科技发展和北京的政治经济地位的增强，纯粹依靠电压合格率一项指标衡量北京电网电压质量是远远不够的。

3.4 今后的改进方向或对策

3.4.1 理顺无功设备管理与电压管理之间的关系

既然无功设备管理与电压管理关系巨大，必须研究建立二者之间的管理链条，一方面设备管理必须与电压质量管理关联，一方面电压调控必须保证可靠的设备投入率。从某种角度而言，无功设备就是电压调控的手段，虽然二者的管理可

以分属不同的部门,但信息必须实现共享,设备管理部门必须时刻了解电网电压情况,特别是电压合格率及越限情况,了解全网电压的薄弱环节及调控难点;电压管理部门也必须清楚无功设备的健康状况,对于影响电压调控的缺陷设备有权督促相关部门及时处理,以确保电压调控手段充足。

因此,可以考虑建立一种信息共享平台,该平台为设备管理部门和电压管理部门提供实时的电压信息和无功设备信息,并在此基础上建立一种连带考核管理机制,即当因为无功设备健康状况而影响了电压质量,电压管理部门和设备管理部门将同时对设备运行单位进行考核,从而实现二者管理的统一。

3.4.2 指标和精益化分析相结合

电压是电能质量的重要指标,电压质量对电力系统的安全与经济运行,对保证用户安全生产和产品质量以及电器设备的安全与寿命有重要的影响,电网变电站母线电压质量的优劣是衡量无功电压管理工作标准。电压质量主要包括供电电压允许偏差、电压合格率、三相电压不平衡度、电压波动和闪变、电压谐波、电压瞬变、电压暂降和电压上升以及暂态和动态电压质量等内容。每个具体内容下均有衡量该项合格与否的指标和上下限值,只有电网电压所有指标均合格,才能界定此时电压质量满足要求。因此无功电压管理工作应加强对电压质量的各类指标的统计,针对电网运行情况对指标完成情况进行分析,找出薄弱环节,提出解决措施并督促落实,才能保证电网电压达到真正意义上的合格。

4 补充说明

除上述提升了局部地区电压质量外,北京电网AVC系统投运后,还取得如下几个方面显著效果。

4.1 提升了无功电压管控水平

AVC系统可监测全网无功电压以及无功设备运行情况,为无功电压管理者提供了清晰的全网整体情况的快照,给无功电压管理工作带来了新的契机。北京电网无功电压管理者每日动态跟

踪AVC系统运行和控制策略生成情况,形成了日分析、周分析和阶段性总结报告,报告从全网角度,对各电压层面、各站的无功功率和电压进行分析,查找薄弱环节并制定相应解决措施,极大地提高了北京电网无功电压管控能力,典型案例分析如下:薄弱环节:220 kV平谷站110 kV侧电压长期贴下限运行。原因分析:该站110 kV李平一线和平滨线所带110 kV站高压侧无功功率不足,电压偏低且需要从主网吸收大量无功功率,而站内10 kV电容器因10kV母线电压高未能投入运行。解决措施:方式处要求平谷地区110 kV云峰寺和滨河站合理下调变压器分头,降低10 kV侧电压后投入电容器。

相应调整措施实施后,110kV层面电压情况得到明显改观,调整前后效果分析如下:

(1) 李平一线所带云峰寺2#变

云峰寺站2#变除10 kV负荷外,35kV侧通过云赛线带赛门特用户站,该用户是水泥厂,为异步电动机负荷特性。云峰寺站于6月9日调整了变压器分头,将10 kV电容器投入,该站电容器投入前后平谷站李平一线无功功率曲线、云峰寺站10 kV侧无功功率曲线、35 kV5#母线电压曲线

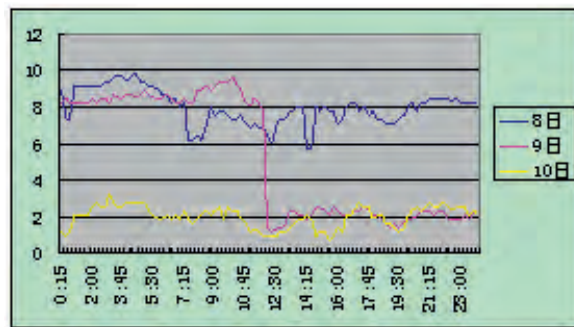


图8 李平一线无功功率曲线



图9 云峰寺站10kV侧无功功率曲线

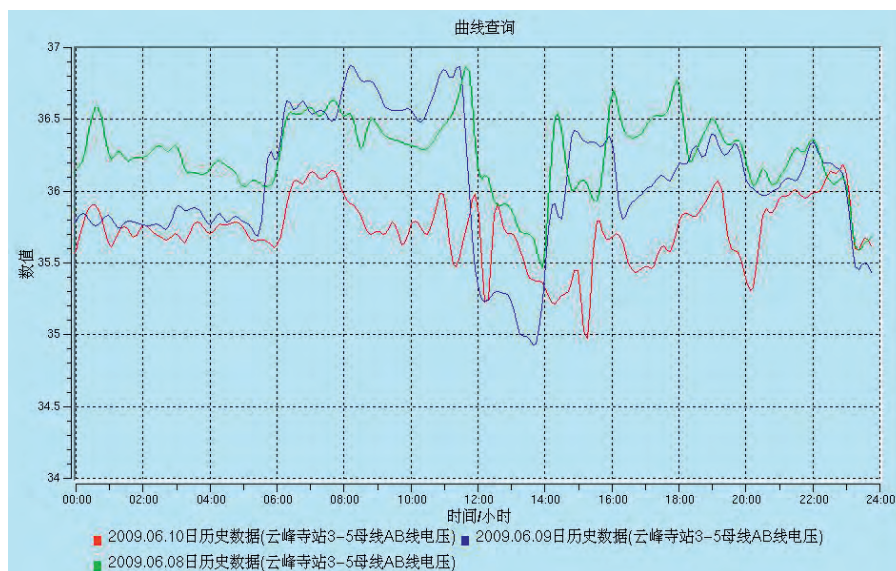


图10 云峰寺站35 kV5#母线电压曲线

分别如图8、9、10所示。

图中可见，云峰寺站电容器未投入前（6月8日），该站10 kV侧从系统吸收无功2Mvar（如图9所示），其35 kV侧从系统吸收无功约4.5 Mvar，这些无功功率缺额均从其上级电源平谷站获取，李平一线上流动的无功功率一直维持在6 Mvar以上。

云峰寺站电容器投入后，电容器产生的无功功率使得云峰寺站10 kV侧向系统倒送无功约4.5 Mvar（如图9：6.9~6.10日曲线），补偿了该站35 kV侧从系统吸收的无功，实现该站无功功率就地平衡，李平一线无功功率降低至2Mvar左右波动（如图8：6.9~6.10日曲线），无功潮流趋于优化。

(2) 平滨二线所带滨河1#变

滨河站电容器未投入前（6月8日），该站10 kV侧从系统吸收无功6 Mvar（如图11：6月8日曲

线），这些无功功率缺额均从其上级电源平谷站获取，平滨二线的无功功率维持在6 Mvar以上。

滨河站电容器投入以后，电容器产生的无功功率补偿了本站10 kV侧的无功缺额（如图12：6.9~6.10日曲线），实现了地区无功功率基本平衡，电容器投入较合理。

(3) 平谷变压器高压侧功率因数分析

选取采取管理措施前后典型日平谷站1#变压器高压侧功率因数曲线如图13、14所示。

图中可见，采取措施前，在负荷高峰时，平谷1#变高压侧功率因数在0.95左右上下波动，未能达到国家电网公司电力系统电压质量和无功电力管理规定的要求，采取措施后，负荷高峰时，平谷1#变高压侧功率因数已超过0.97，降低了该站有功损耗。

综上所述，平谷地区采取的无功电压调整措

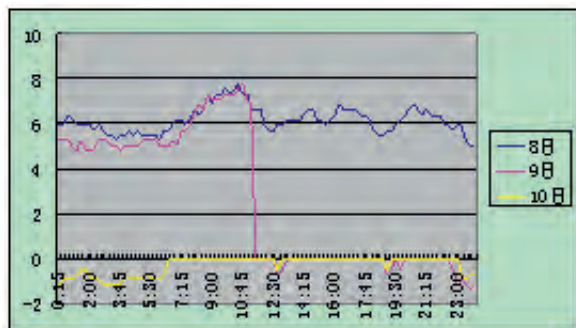


图11 平滨二线功率曲线

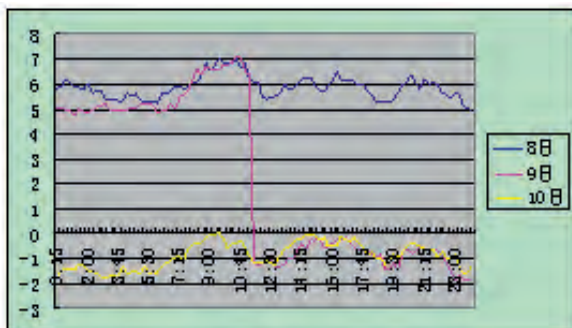


图12 滨河站10 kV侧无功功率曲线

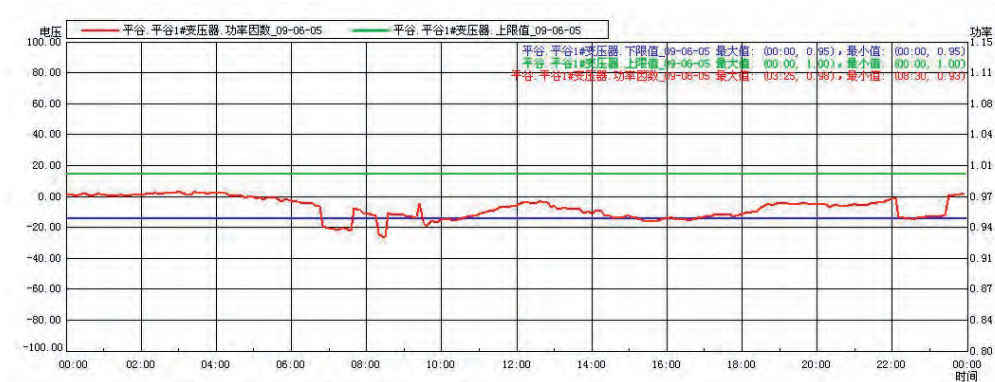


图13 采取管控措施前

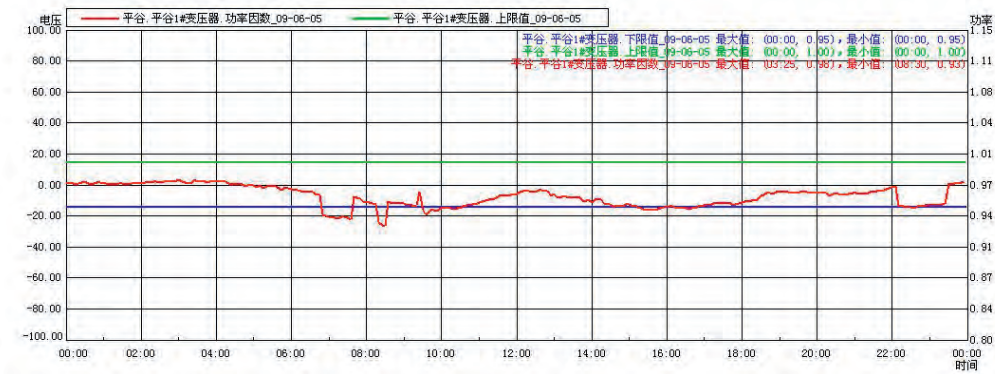


图14 采取管理措施后

施使平谷站110 kV母线电压越限时间有效降低，变压器高压侧功率因数提高，平谷地区110kV电压偏低的问题趋于缓解。

4.2 提升了全网电容器投入率

一方面以前的VQC控制无法从全网无功和电压视角，对站内无功设备和变压器分头进行合理投切；另一方面由于在VQC控制时，未形成良好监督管理和设备处缺机制，使得VQC装置或无功设备在高峰负荷时难以大量投入。AVC系统从自身运行特点和管理模式上有效解决了两个方面的问题，因此保证了全网无功设备的合理投切，以8月14日高峰负荷时段（12：36）为例，当日最大负荷水平相对较高（14 236.86 MW），网内无功功率相对较小，各站母线电压运行于较低水平，奥运村等11站有电容器未投入，其余15座均有电容器投运，其中东北郊、黄寺、昆玉河、南苑和太阳宫五站电容器投入率超过50%，太阳宫站电容器设置全部投运，北京电网电容器投入率达25.42%。

4.3 降低了网损

AVC系统基于全网网损最小约束条件进行优化无功电压调整，使得北京电网220 kV层面网损

大大降低。选取AVC投入前后的上网电量基本相当（差异未超过10%）两天分析为例，AVC投入控制后，系统网损和网损率有明显降低，且网损电量和网损率的降低比率高于上网电量减少的比率，220 kV网损率约降低0.03%。

4.4 降低了网控人员操作量

传统的VQC装置仅以本站无功电压优化为目标，因此不可避免会出现电压越限而无控制策略的情况，使得在大负荷来临时，网控中心值班员操作量急剧上升，随着接入网控中心控制站数目的增多，无功和调压设备操作量之巨将无法想象。AVC投入闭环控制后，以2014年5月为例，最大人工日控制次数为1次，平均每日每站控制次数仅为0.001次，与去年同期相比，今年的日最大负荷和日负荷峰谷差显著增大，电压控制更难控制，但是最大人工控制次数减少97%，平均每日每站控制次数减少了99%。

（收稿日期：2015-5-25） EA

作者简介

宋方方（1977-）女，国网北京市电力公司电力调度控制中心高级工程师。