

# Development and Application of Smart Grid Examination and Evaluation System for Dispatched Generators

Huiling Zhang<sup>1</sup>, Peng Shao<sup>1</sup>, Shaoqing Guo<sup>2</sup>, Guofeng Zhu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ningxia Provincial Power Dispatch and Control Center, Yinchuan

<sup>2</sup>Beijing QTCT Limited Company, Beijing

Email: [zhugfmail@126.com](mailto:zhugfmail@126.com)

Received: Feb. 14<sup>th</sup>, 2014; revised: Mar. 10<sup>th</sup>, 2014; accepted: Mar. 18<sup>th</sup>, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Based on “Auxiliary service management rules for power plant integrated into Northwest Regional Power Grid” and “Integration and operation rules for power plant in Northwest Regional Power Grid”, this paper developed a novel “Smart Grid Examination and Evaluation System for Dispatched Generators” (SGEE) for Ningxia Provincial Power Grid. The SGEE system is designed with the target of rule-adaptive, achieving process interaction for on-line information transfer between the power plants and the power system operator. In this case, power plants in Ningxia Provincial Power Grid would be promoted to behave self-disciplinedly, and the efficiency and intelligence of examination and evaluation would be significantly enhanced. This paper included comprehensive descriptions of the SGEE system, including design principles, system framework, function modules, business process, model and algorithm, and data platform. Finally, application effects of the SGEE system were introduced.

## Keywords

Integration into Power Grid, Auxiliary Service, Examination and Evaluation System, Adaptive Rule, Smart Grid

---

# 智能电网发电机组调度运行考核评价系统的开发与应用

张慧玲<sup>1</sup>, 邵 鹏<sup>1</sup>, 郭少青<sup>2</sup>, 朱国锋<sup>2</sup>

<sup>1</sup>宁夏电力调度控制中心, 银川

<sup>2</sup>北京清大科越科技有限公司, 北京

Email: [zhugfmail@126.com](mailto:zhugfmail@126.com)

收稿日期: 2014年2月14日; 修回日期: 2014年3月10日; 录用日期: 2014年3月18日

## 摘要

基于《西北区域并网发电厂辅助服务管理实施细则(试行)》和《西北区域发电厂并网运行管理实施细则(试行)》, 结合宁夏电网的具体应用环境与调度运行方式, 开发机组调度运行考核评价系统, 实现了机组调度运行考核评价与跨区应用、考核与补偿规则的自适应、厂网在线信息的流程交互; 促进了宁夏电网发电机组的自律性, 提高了宁夏电网对于发电机组的管控能力, 全面提升了机组调度运行考核评价工作效率。本文从设计思想、总体框架、业务流程、功能模块、模型算法、数据平台等方面对系统进行全面分析, 并介绍了该系统在宁夏电网的应用效果。

## 关键词

并网运行, 辅助服务, 考核评价系统, 自适应规则, 智能电网

## 1. 引言

目前国内《辅助服务管理实施细则》和《发电厂并网运行管理实施细则》[1]规定的考核与补偿工作处于起始阶段, 现有各省(区)建设的并网运行管理及辅助服务管理系统[2]-[4]功能仅包含与调度运行相关的部分内容, 并且未能考虑到数据来源与系统用户跨区隔离问题, 也不能提供灵活的规则自定义和版本自适应功能, 缺乏针对计算数据来源和系统应用跨区分离条件下如何实现考核补偿中厂网在线交互业务的解决方案。

基于《西北区域发电厂并网运行管理实施细则》和《西北区域并网发电厂辅助服务管理实施细则》[5](以下简称“两个细则”), 本文结合宁夏电网的具体应用环境与调度运行方式, 开发了面向智能电网的机组调度运行考核评价系统, 对考核规则算法进行离线定义、维护、上载及在线解析、计算、执行, 对考核与补偿过程及结果进行多方位的指标分析, 实现了机组调度运行考核评价与跨区传输、考核与补偿规则的自适应, 能够快速响应考核补偿的细则变更; 该系统在发电调度计划、AGC、无功电压、一次调频等数据来源的生产控制区建设考核补偿计算主站系统, 在多数调控专业人员工作的管理信息区建设管理映射子系统, 两者之间通过跨区数据传输平台使用信息共享, 从而实现了电网公司对发电企业进行全面的发电调度考核和辅助服务管理, 提高了宁夏电网对于发电机组的管控能力, 为宁夏电网调度机组并网运行考核评价工作提供了科学高效的技术支撑平台。本文将从设计思想、总体框架、业务流程、功能模块、模型算法、数据平台等方面对系统全面的分析, 并介绍其在宁夏电网的应用效果。

## 2. 系统建设的理念、架构、业务流程与关键技术

### 2.1. 设计理念

智能电网机组调度运行考核评价系统面向并网电厂的调度考核与补偿需求, 提供包括调度管理、安全管理、技术指导, 到发电计划、一次调频、AGC、无功、风电场有功功率调节、风电功率预测、调峰、非计划停运、检修等并网电厂发电调度相关业务的全面的考核功能; 提供一次调频、调峰、AGC、无功

和黑启动全面补偿功能，建立完整的考核补偿结算机制；并能适应电厂考核补偿业务流程、数据需求和考核规则的变化与调整。

系统建设采用先进开放的软件架构和计算机技术，以省(区)级电力调度控制中心为主站，对各并网运行的发电机组或电厂进行指标考核与补偿的信息支持系统。利用计算机网络，提供开放的数据接口模块，可实现与调度自动化系统、发电计划、SCADA/EMS、WAMS、OMS等相关系统的数据通信，高效真实地采集(或读取)相关考核信息；通过对各项考核、补偿指标的计算分析和统计，为发电调度运行评价提供科学依据。

## 2.2. 系统架构

### (1) 网络架构

根据并网运行考核及辅助服务补偿数据来源及应用需求，智能电网机组调度运行考核评价系统主体部署在安全 II 区，方便采集 SCADA/EMS、WAMS、OPS 等实时性较强的考核与补偿计算底层数据。同时考虑到调度控制中心实际情况(各专业用户大部分办公环境在安全 III 区)，为此在 III 区建立映射系统。III 区与 II 区应用系统之间利用数据传输平台通过隔离装置进行正、反双向数据交互。如图 1 所示。

### (2) 数据传输平台

根据考核、补偿数据来源将机组并网运行考核评估系统主体部署在安全 II 区，同时考虑到调度控制中心大部分用户办公环境在安全 III 区。为此在 III 区建立映射管理子系统。利用 II 区与 III 系统之间的正、反向隔离装置开发建设数据传输平台，完成 II 区主系统与 III 区映射子系统之间数据同步。如图 2 所示。

### (3) 功能架构

系统主体功能如图 3 所示，主要划分为模型管理、流程管理、数据准备、免考管理、发电运行考核、

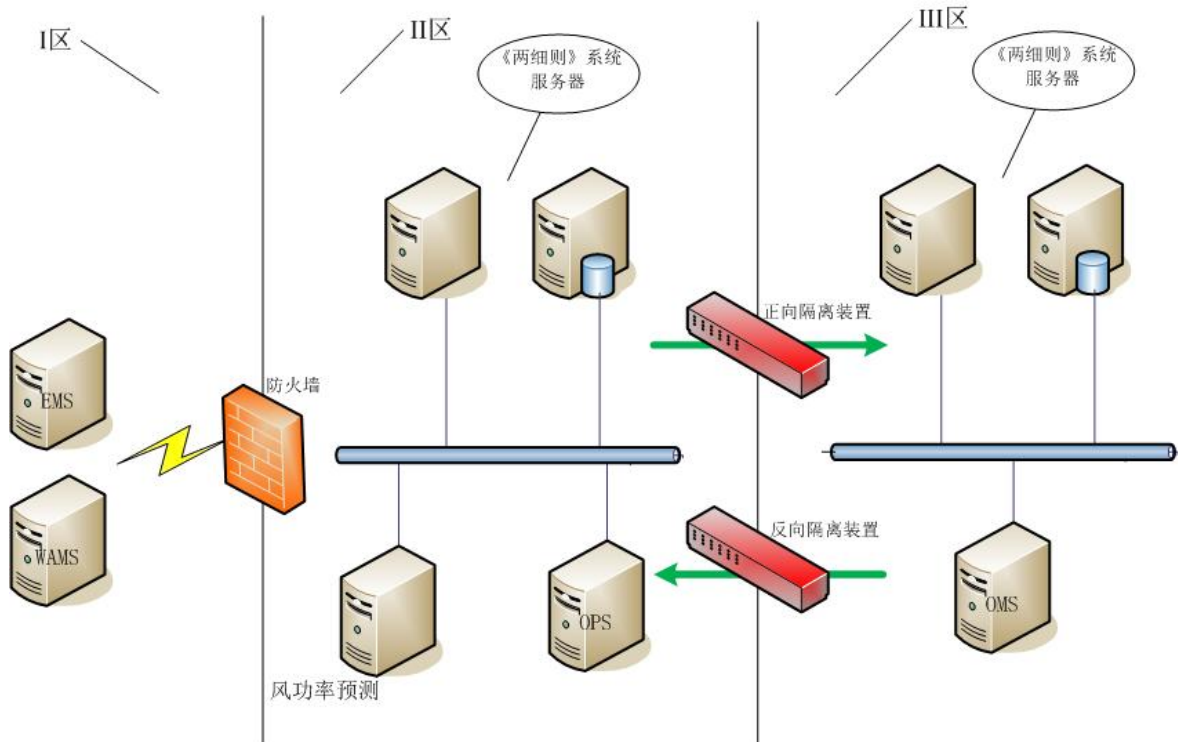


Figure 1. System framework for SGEE system  
图 1. 机组并网运行考核评估系统网络架构

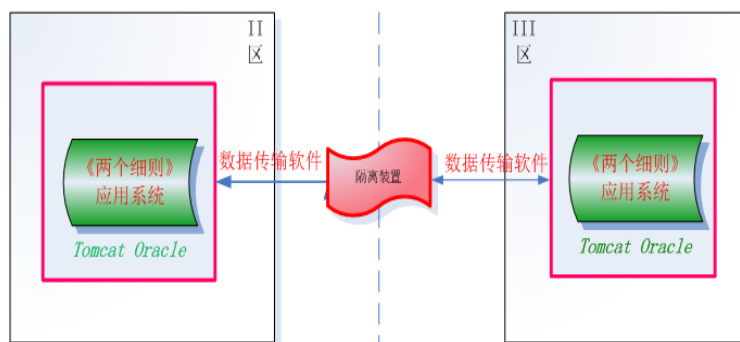


Figure 2. Data transfer between security control area II and III  
图 2. 安全 II 区与安全 III 区传输平台

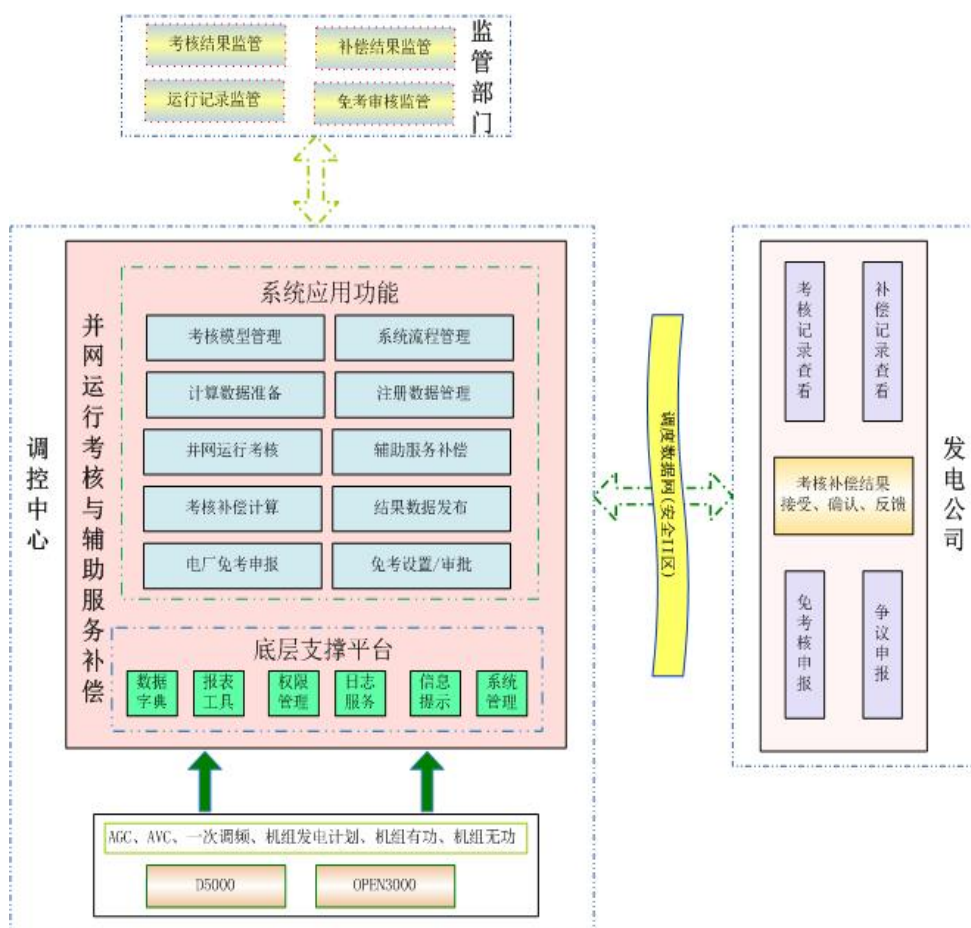


Figure 3. Framework of function module of SGEE system  
图 3. 机组并网运行考核评估系统功能构成

辅助服务补偿、统计分析、信息发布、支撑平台等主要功能模块。包括 12 个子系统和近 60 个功能模块，以实现“两个细则”规定的功能需求。

### 2.3. 业务流程

发电厂并网运行与辅助服务管理以月份为考核补偿周期，定时或者人工触发获取考核、补偿所需的各类原始数据，根据各电厂和机组考核与补偿设置以及免考核时间范围设置，启动考核补偿管理流程。

其主要工作流程描述如下：

(1) 系统自动从 SCADA/EMS、TMR、WAMS、调度计划管理、检修计划管理、调度运行管理等系统中，读取并准备好并网运行考核及补偿计算所需要的各类基础数据(包括：电网与机组的运行数据、调度计划、检修计划、调度命令、调度日志等)和电厂上报的免考核申请数据。

(2) 各专业人员登录系统，进行相应考核及补偿项目的数据维护、免考处理和考核补偿计算，确认考核补偿数据正确和计算结果合理正确后，保存考核补偿结果，并提交审核。

(3) 审核人员查看相应业务流程是否已经完成，并对考核补偿记录和计算结果进行校核。校核中发现数据异常，则可以提请相关业务人员重新进行计算。

(4) 各分项考核补偿结果校核通过后，进入考核和补偿汇总统计，汇总校核人员登录系统对汇总结果进行校核，确认无误后提交相关领导审批。如果发现异常，则根据校核结果，将有异常的考核计算分项重新回退到考核统计环节。

(5) 考核、补偿统计汇总审批人员登录系统后，能够查看各项考核、补偿统计结果，并对考核、补偿基础数据和考核、补偿计算结果进行校核，确认无误后，批准考核统计结果。如果发现数据异常，则提请校核人员重新进行计算，并将流程状态置为校核状态。

(6) 考核、补偿结果经过审核、批准后，由责任专工向电厂发布。

## 2.4. 关键技术

智能电网发电机组调度运行考核评价系统，对发电企业进行了全面的发电调度考核和辅助服务管理。系统从各层面的数据采集、统计汇总、指标分析、科学决策等环节实现了并网运行考核与补偿工作的规范化、科学化、高效化。其所应用的关键技术包括：

(1) 页面技术采用导航引擎与流程驱动引擎结合，使得考核、补偿申报、审核流程操作方便、快捷，提高人员业务处理效率。

(2) 系统提供灵活的考核、补偿规则内容自定义和规则版本管理功能，完成对考核规则和考核参数的定义、解释、执行，实现考核版本的升级管理，支持应用功能扩展和针对具体考核补偿规则的系统快速组装，延长了软件生命周期。

(3) 在调度安全 III 区建立映射系统，与调度安全 II 区主系统相互配合，实现管理类、实时数据采集类考核与补偿业务系统分离、数据统一的考核与补偿管理系统。同时利用隔离装置开发建设调度安全 II 区与安全 III 区之间数据传输服务平台。

(4) 采用先进的工作流技术实现电网公司对发电企业进行全面的并网发电调度考核与辅助服务补偿管理，为宁夏电力调度控制中心的调度考核工作提供了科学高效的技术支撑平台，实现了调度考核各项工作的自动化、流程化、制度化，大大提高了调度工作人员的效率。

## 3. 考核评价的模型与算法

智能电网发电机组调度运行考核评价系统从其他调度应用系统获取的原始数据，包括机组有功、机组无功、机组 AGC 指令、母线电压指令、系统频率、96 点发电计划等，利用原始数据，根据考核补偿规则[5]建立所有的考核和补偿模型算法。其中较为核心的算法是日发电计划考核、机组 AGC 调节性能的实时评测、一次调频性能的实时评价、无功调节考核、风电有功功率调节考核、风功率预测考核、调峰考核、一次调频补偿、有偿调峰服务补偿、有偿无功服务补偿、AGC 服务补偿等。

### 3.1. 日发电计划考核

火电发电企业应严格执行调度机构下达的 96 点日发电计划曲线(或实时调度曲线)。当 EMS 系统采

样的电厂实际发电出力与计划曲线值的偏差超出±2%时，视为不合格，计入月度偏差绝对值积分电量；偏差超出±5%时，超出的部分将取绝对值后乘以 3 后计入月度偏差绝对值积分电量。考核以月度偏差绝对值积分电量为依据，按 2 分/万千瓦时考核。

### 3.2. AGC 考核

AGC 考核以 PLC 为考核对象，发电厂投 AGC 需要满足三个标准的基本要求，即调节范围、调节速率和调节精度。调度机构对电厂和机组的 AGC 的可用率、调节速率、响应时间[5]-[9]进行相应考核。

### 3.3. 一次调频考核

一次调频考核算法以并网发电机组为考核对象，分别对机组一次调频投运率和动作正确率进行评价。一次调频动作方向必须与电网频率需求方向一致，并且达到理论值的一定比例；机组一次调频的性能评价需区别考虑不同类型机组的固有性能，在计算机组实际动作积分电量时设置合理的死区，同时要考虑到因满负荷运行等原因造成的调节能力不足时自动免考。

### 3.4. 无功调节考核

发电企业考核点母线电压值在相应电压曲线上下限范围内为合格点，母线电压超出允许范围的点记为不合格点。相应调度机构 EMS 系统每 15 分钟采集发电厂母线电压，以判定该考核点电压是否合格。

### 3.5. 风电有功功率调节

风电场应具备有功功率调节能力，需配置有功功率控制系统，接收并自动执行电力调度机构远方发送的有功功率控制信号，确保风电场最大有功功率值不超过电力调度机构的给定值。要求有功功率变化值月均 10 min 最大功率变化不超过装机容量的 33%，月均 1 min 最大功率变化不超过装机容量的 10%，否则按照超出额度每个百分点 9 分/月考核，功率变化仅考核风电功率上升阶段的变化，因风速变化导致的风电功率下降速率过快不予考核。

### 3.6. 风电功率预测

日前风功率预测月均方根误差应小于 20%，若未达标，每增加一个百分点按全场装机容量 × 6 分/10 万千瓦考核；若达标，每降低一个百分点按全场装机容量 × 2 分/10 万千瓦奖励。

超短期风功率预测月均方根误差应小于 15%，若未达标，每增加一个百分点按全场容量 × 6 分/10 万千瓦考核；若达标，每降低一个百分点按全场装机容量 × 2 分/10 万千瓦奖励。

均方根误差的计算公式为：

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{Mi} - P_{pi})^2}}{Cap \cdot \sqrt{n}} \quad (1)$$

其中： $P_{Mi}$  为第  $i$  时刻的实际功率， $P_{pi}$  为第  $i$  时刻的预测功率， $Cap$  为平均开机容量， $n$  为预测遍历的时刻数。

### 3.7. 调峰考核

(1) 机组达不到调峰能力要求的发电企业应提前向相应调度机构提出书面申请。经调度机构许可后，可按其申请调整发电计划曲线，并按减少的调峰电量考核 12 分/10 万千瓦时。

$$W_1 = (P_0 - P_1) \times T \quad (2)$$

其中： $W_1$ 为减少的调峰电量； $P_1$ 为实际调峰容量； $P_0$ 为基本调峰容量； $T$ 为时间常数(每天6小时)。

(2) 提供有偿调峰的机组如无法达到核定技术出力的，发电企业应提前向相应调度机构提出书面申请。经调度机构许可后，可按其申请减少或者取消调用有偿调峰，并按减少的有偿调峰电量考核9分/10万千瓦时。

$$W_2 = (P'_0 - P'_1) \times T \quad (3)$$

其中： $W_2$ 为减少的有偿调峰电量； $P'_1$ 为实际有偿调峰容量； $P'_0$ 为核定的有偿调峰容量； $T$ 为时间常数(按每天6小时计)。

### 3.8. 一次调频补偿

各电厂按照月度一次调频动作积分电量进行补偿，一次调频电量是电网频率超出 $50 \pm 0.033$  Hz时起至恢复至 $50 \pm 0.033$  Hz时止，实际发电出力与起始实际发电出力之差的积分电量，积分时间最长为2分钟，高频少发或低频多发电量为正值，反之，高频多发或低频少发电量为负值。机组当月一次调频电量为当月每一次电网频率超出 $50 \pm 0.033$  Hz时一次调频电量的代数和，对负的一次调频电量乘以2参加计算。月度累计一次调频正积分电量，每万千瓦时补偿5分。

### 3.9. 有偿调峰补偿

提供有偿调峰服务的火电机组，按照比基本调峰少发的电量，每万千瓦时补偿1分。少发电量的具体计算公式为：

$$W = \int_{K_B P_N > P} K_B P_N - P \quad (4)$$

其中 $K_B$ 为基本调峰系数70%， $P_N$ 为机组额定容量， $P$ 为机组实际有功出力，发电计划曲线按全厂下发的，按全厂统一折算。

### 3.10. AGC 服务补偿 s

AGC 补偿以 PLC 为补偿对象，对发电厂 AGC 两项辅助服务提供补偿，即调节容量和调节电量[5]-[9]。

自动发电控制(AGC)服务原则上按 AGC 贡献量进行补偿。具体补偿分数按 AGC 调整的积分电量计算，火电机组每万千瓦时补偿2分，水电机组每万千瓦时补偿0.5分。

AGC 调整的积分电量定义如下：设连续两次 AGC 调整指令下发时间为 $t_1$ ， $t_2$ ， $t_1$ 时刻对应实际出力 $P_1$ ，下发指令目标出力为 $P_A$ ，则 $t_1 \sim t_2$ 之间的 AGC 调整积分电量为

$$\begin{cases} \int_{t_1}^{t_2} P_A - P_1 & P_A > P_1 \\ \int_{t_1}^{t_2} P_1 - P_A & P_A < P_1 \end{cases} \quad (5)$$

### 3.11. 有偿无功补偿

发电机组通过提供必要的有偿无功服务保证电厂母线电压满足要求，按发电机组比迟相功率因数0.85多发出的无功电量或比进相功率因数0.97多吸收的无功电量，以及机组调相运行时发出的无功电量补偿，无功电量的具体计算公式为：

$$\begin{cases} \int_{t_1}^{t_2} (|Q| - P \tan(\cos^{-1}(0.85))) dt & \cos(\varphi) < 0.85; Q > 0 \\ \int_{t_1}^{t_2} (|Q| - P \tan(\cos^{-1}(0.97))) dt & \cos(\varphi) < 0.97; Q < 0 \\ \int_{t_1}^{t_2} (|Q|) dt & P = 0 \end{cases} \quad (6)$$

其中,  $P$  为机组有功出力,  $Q$  为无功出力。积分开始及结束时间  $t_1, t_2$  以电网调度机构 EMS 系统数据及相关运行记录为准。

#### 4. 应用效果

智能电网发电机组调度运行考核评价系统于 2012 年 8 月份建设完成并在宁夏电网投入运行, 2012 年 11 月份西北电监局组织有关专家对该系统进行了验收。

该系统应用以来, 使用技术手段使宁夏电网并网机组发电运行及辅助服务工作严格按照“两个细则”各项条款执行。有效规范了并网机组有序发电, 减少机组非计划停运的开停机成本, 减少了机组计划曲线跟踪的偏差, 同时提高了机组的 AGC、AVC 投运率和调节性能指标; 规范了宁夏电网辅助服务管理, 促进电网经营企业和并网发电厂的协调发展, 实现了兼顾社会效益、发电企业经济效益、电网公司安全效益的三赢局面。主要应用效果总结如下:

(1) 提高了发电厂的计划跟踪能力, 减少了电厂计划出力与实际出力之间的偏差, 增加了电网的安全裕度, 减少了调度员的工作量。

(2) 减少电厂单位机组非计划停运次数, 保障电网安全稳定运行。

(3) 发电厂的 AGC 考核功能的投入使用, 加快了电厂 AGC 装置(具备机炉协调装置并能够接受省调的遥调)的安装投运, 增加了 AGC 机组的运行容量, 保障了电网的安全稳定运行。

(4) AVC 投运率有明显提高, 电压稳定有助减少系统网损。

(5) 电网调峰一直是困扰电网调度的难题, 系统的投运, 使得这个难题得到极大的缓解。按照“两个细则”规定, 并网发电厂应参与电力系统调峰, 基本调峰能力必须达到机组技术参数要求的指标。

(6) 可促进发电调度管理工作, 有利于网厂间的协调运行, 建立更为和谐的网厂调度关系。

#### 5. 结语

本文从设计思想、总体框架、业务流程、功能模块、模型算法、数据平台等方面对智能电网机组调度运行考核评价系统进行全面的介绍, 并分析了系统在宁夏电网的应用效果。

根据实际运行情况表明, 该系统实现了机组调度运行考核评价与跨区传输、考核与补偿规则的自适应, 能够快速响应考核补偿的细则变更。通过考核和补偿的经济杠杆作用, 促进了宁夏电网发电机组的自律性, 提高发电厂提供的辅助服务质量和发电计划执行力, 使得电网运行质量及电厂机组运行性能显著提高, 从而有力保障了宁夏电力系统的安全、优质、经济运行。

#### 参考文献 (References)

- [1] 国家电力监管委员会 (2008) 国家电监会印发各区域发电厂辅助服务管理及并网运行管理实施细则. <http://www.cec.org.cn/zhengcefagui/2010-11-27/12692.html>
- [2] 左定勇, 万均强 (2010) 浅析华中区域发电厂辅助服务管理及并网运行管理实施细则的应用与完善. *四川水力发电*, **5**, 196-199.
- [3] 田雄, 姚建刚, 龚陈雄, 等 (2011) 电厂并网运行管理及辅助服务管理系统的研发. *电力系统保护与控制*, **1**, 118-122.
- [4] 龙云, 周华锋, 杨林 (2011) 南方区域发电厂并网运行及相关辅助服务管理系统. *南方电网技术*, **3**, 90-93.
- [5] 国家电力监管委员会西北电监局 (2011) 关于修订西北区域并网运行管理及发电厂辅助服务管理实施细则的通知. [http://202.100.20.109/jggg/content\\_4\\_14\\_0\\_0\\_2721.html](http://202.100.20.109/jggg/content_4_14_0_0_2721.html)
- [6] 李丹, 梁吉, 孙荣富, 等 (2010) 并网电厂管理考核系统中 AGC 调节性能补偿措施. *电力系统自动化*, **4**, 107-111.
- [7] 贾德香, 程浩忠, 熊虎岗, 等 (2007) 考虑控制性能标准的 AGC 机组经济补偿研究. *中国电机工程学报*, **31**,



62-66.

- [8] 冯玉昌, 滕贤亮, 涂力群 (2004) AGC 机组调节速率和精度的实时计算方法. *电力系统自动化*, **4**, 75-77.
- [9] 邹斌, 许卫洪, 丁峰 (2005) 一种新的 AGC 机组绩效考评方法. *电力系统自动化*, **11**, 23-28.