

基于厂级调度的发电厂优化控制

景乾明<sup>1</sup>, 郝 飞<sup>2</sup>, 刘吉臻<sup>3</sup>

(1. 甘肃电力公司, 甘肃 兰州 730050; 2. 南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211100;  
3. 华北电力大学, 北京 110000)

**摘 要:**为了实现发电厂单元机组有功的经济分配和保证区域电压质量,适应厂网分开和经济调度的要求,结合直调方式下的系统设计和设备配置,将厂级负荷分配模块集成到电厂的电气网络监控系统中,与系统中原有的电厂侧电压无功控制系统,构成火电厂综合优化控制系统,2 个模块在实现自身功能的同时,也可以互相交换信息,实现有功的经济调度和无功的优化分配;同时为了使调度端获取更多的电厂侧的信息,在监控系统中建立了基于 CIM 的励磁系统模型,更好地保证了电厂侧 AVC 控制的准确性和安全性。

**关键词:**厂级控制;负荷分配;电压无功控制;网络监控系统;励磁系统

**中图分类号:**TM621.6      **文献标志码:**A      **文章编号:**1009-0665(2012)01-0005-04

随着厂网分开、竞价上网等一系列改革措施的实施,发电端将拥有更大的自主权来实现全厂的优化控制。而实现全厂优化控制,首先必须改变电网对机组的调度方式,即由直调改为厂级调度。对于电厂而言,接收中调总的有功指令和电压目标值,根据各台机组的实际运行情况进行经济分配。厂级负荷分配是根据电网的负荷要求和全厂各机组的实际运行工况,在线拟合机组煤耗量与负荷的特性曲线,实施计算各机组的经济负荷,并将结果作为机组的目标负荷调节值直接送至协调控制系统,实现全厂总负荷在各机组之间的实时分配<sup>[1]</sup>;电厂侧电压无功控制系统则是接收中调实时下发的母线电压目标指令,结合本地实测母线及全厂各发电机组的运行情况,按照既定的分配策略将系统所需要的无功合理分配给相应机组,快速准确的跟踪中调的电压指令目标值,提高火电厂高压母线的电压水平,改善地区电网电能质量<sup>[2]</sup>。在以往的系统中这 2 个系统完全独立,分别安装在监控信息系统(SIS)和电气网络监控系统(NCS)中,这样的配置当电厂侧从直调改为厂级调度时,将加大施工的难度,而将这 2 个优化系统放在一起可以最大限度地实现两者的信息交互,更好地进行有功和无功的优化。

1 发电厂综合优化控制系统结构

厂级控制设计的重点与常规控制有很大的不同,它关注的重点是整个厂的整体控制结构、操作点和被控变量的选取、设计和实现。在设计中包含了 2 个设计理念,一是至上而下,一是自底而上<sup>[3,4]</sup>。发电厂综合优化控制系统的结构如图 1 所示。按照厂级控制的方法将其分为 4 个控制层次,分别为

EMS 的调度层控制、NCS 的监控层控制、包含厂级负荷分配和电压无功控制优化控制层以及处于底层的常规控制层。

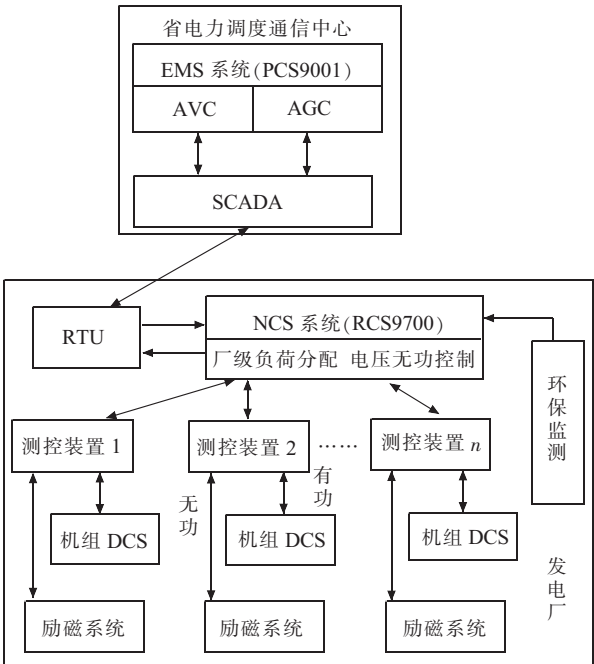


图 1 发电厂综合优化控制系统结构

调度层中安装了自动发电控制系统(AGC)和自动电压控制系统(AVC),负责电网的有功和无功的自动调节;NCS 监控层负责接收中调下发的有功指令和电压目标指令,同时采集发电厂电气控制需要的数据,以及厂级负荷分配进行优化计算的必需数据和电厂侧电压无功控制系统所需要的数据,并将优化结果下发给下位机,实现闭环控制,NCS 系统采用 RCS-9700 系统,它是基于 SCADA/EMS 一体化平台开发而成;厂级负荷分配和电压无功控制系统都作为高级应用模块嵌入在 NCS 系统中;下位机的测控装置可同时满足 NCS 系统对有功和无功

的调节,实现常规控制层的控制要求。励磁系统是电厂侧 AVC 的最终执行端,在 NCS 中建立励磁控制系统的结构。励磁系统是电厂侧 AVC 的系统模型,将有助于提高 AVC 控制的准确性和安全性,将更多的励磁系统的信息上送给调度端。同时系统还可将环保监测数据接入到 NCS 系统中,作为厂级负荷分配评价各台机组的环境保护指标的一个因素。

## 2 厂级负荷分配与电压无功优化控制

### 2.1 厂级负荷分配

厂级负荷优化分配的研究大部分都建立在机组煤耗特性曲线的基础上,煤耗曲线的准确性直接影响厂级负荷优化分配的实用化,因此需要根据机组的运行情况实时更新各台机组的煤耗曲线。采用反平衡法计算机组的发电标准煤耗率  $b_i$  和标准煤耗量  $B_i$  的公式如下所示<sup>[5]</sup>:

$$b_i = \frac{q_i}{Q_0 \eta_i} \quad (1)$$

$$B_i = p_i b_i = \frac{p_i q_i}{Q_0 \eta_i} \quad (2)$$

式中: $q_i$ 为第  $i$  台机组的热耗率; $Q_0$ 为标准煤的低位发热量; $\eta_i$ 为第  $i$  台机组的锅炉效率; $p_i$ 为第  $i$  台机组的输出功率。 $p_i$ 可以从发电机采集接入 NCS 系统中, $q_i, Q_0, \eta_i$ 则可以通过 DCS 取得;此外,各台机组的实时燃煤量也需要送到 NCS 系统中。根据这些数据就可以完成各机组煤耗量与负荷特性曲线的在线拟合和实时修正。由于各台机组的环保监测数据接入到 NCS 系统,在制定分配策略时可以适当考虑机组烟气中二氧化硫、氮氧化物的浓度以及排烟量等信息,形成更加全面的机组功率分配策略。

在直调方式下,发电厂各机组的有功指令是中调通过 RTU 发送给各台机组的 AGC 测控装置,测控装置再将其转换成 4~20 mA 模拟信号输出给机组的 DCS。当发电厂由机组的直调方式改为厂级负荷分配时,而负荷分配软件采用嵌入 NCS 系统的方案,那么原来直调方式下的 AGC 配置可以完全保持不变,只需将中调下发的总厂级负荷指令通过 RTU 送给 NCS 系统,然后厂级负荷分配软件再根据各个机组的实际运行情况将负荷指令分配给各台运行机组的协调控制系统。这样既可节省改造成本,又可实现发电厂机组负荷的厂级分配。

### 2.2 电压无功优化控制

发电厂电压无功优化控制是保证区域电网电压质量和无功平衡,提高电网可靠性与经济性必不可少的措施。基于 RCS-9700 发电厂网络监控系统实

现发电厂电压无功控制系统,可最大限度利用 NCS 的数据和信息采集,利用现有 NCS 的设备进行监视和控制。系统具体的实现过程为:省调 AVC 系统将电厂的优化电压值以命令的方式下发到电厂的 AVC 系统中,AVC 决策单元通过在线辨识获取整个电厂的系统阻抗,结合电厂本地实测母线电压和省调下发的电压命令值,计算出电厂端所要增加或减少的无功总量。根据当前机组的运行情况,考虑机组的各种约束限制,得到可控机组的运行信息,然后根据既定的分配策略,在各机组间进行无功的合理分配。可以选择采用等功率因数控制、相似视在功率、等无功备用、相似调整裕度 4 种控制分配策略。

### 2.3 厂级负荷分配与电压无功控制的协调

该系统设计的一个优势就在于厂级负荷分配系统与电厂侧 AVC 系统的数据交互,由于 2 个应用模块都集成在 NCS 平台上,因此可以共享网络上的所有数据,两者的计算和分析结果被对方直接使用。除此之外,由于将环保监测的数据接入到 NCS 系统中,系统可以实时获取各台机组排烟量、二氧化硫以及氮氧化物的信息,通过在线辨识得到各台机组有功、无功与这些环保监测数据的简单模型,从而可以实现对其的预测,预测值可只作为参考值,也可参与到 2 个应用模块的策略计算,形成约束条件。励磁系统是电厂 AVC 控制中的最终执行端,而调度系统的模型都是按照公共信息模型(CIM)标准建立,为了保证 AVC 控制的准确性和安全性,方便与调度端系统进行信息交互,有必要在 NCS 系统中建立基于 CIM 的励磁系统模型。

## 3 基于 CIM 的励磁系统控制

IEC61970-301 标准定义了能量管理系统的应用程序接口(API),CIM 作为此标准中的重要组成部分之一,规定了 API 的语义。在 CIM 中同步电机模型与其他模型的简化关系如图 2 所示。从图中可以看到与同步电机紧密相关的励磁系统,并没有包含在 CIM 中。为了在电厂侧 AVC 控制系统中更多地获取励磁系统的信息,方便调度端获取励磁系统模型信息,同时也能更好地保证 AVC 控制的安全性,有必要在 CIM 中建立励磁系统的模型。

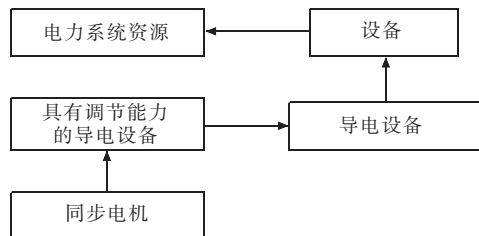


图 2 CIM 中的同步电机模型

3.1 基于 CIM 的励磁系统模型

在现有的 CIM 中,包含的控制和调节信息的类都从调节设备类中派生而来,每个调节设备类和 1 个控制类相关联,控制类包括了和控制相关的所有描述;此外,1 个设定的调节计划也是调节设备类不可缺少的部分,如图 3 所示。因此,可以将励磁系统模型与原有 CIM 的关系表述如下:励磁系统类从调节设备类派生出来,这样就可以继承有关控制信息的描述,同时在模型中加入了调节计划的描述。

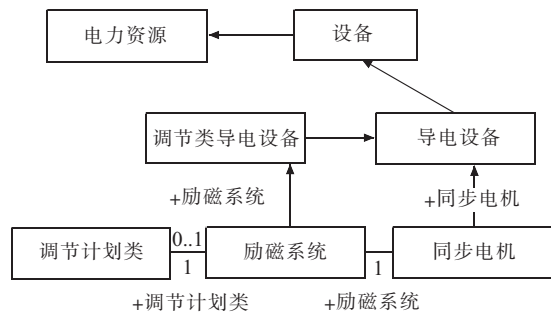


图 3 励磁系统模型在 CIM 中的描述

根据 CIM 面向对象的建模方法和建模准则,结合励磁系统的结构及系统特点,建立励磁系统的详细模型<sup>[6]</sup>,其关系图表述如图 4 所示。励磁系统根据励磁方式不同分为他励励磁系统和自励励磁系统,前者需要交流副励磁机来提供励磁电流,因此要建立 1 个励磁机类;后者除了通过变压器从发电机端或厂用母线取得励磁电流外,还通过变流器从发电机中性点侧或出线侧获得励磁电流,借用 CIM 中的变压器类类,并专门建立 1 个变流器类。此外,无论是他励系统,还是自励系统,都有整流器,因此需要建 1 个整流器类;对于励磁系统的控制调节,电力系统中普遍采用 AVR+PSS 的控制模式,自动电压调节器实现了励磁电压的自动调节,电力系统稳定器借助于励磁调节器控制励磁机的输出,来阻尼同步电机的功率振荡,因此需要建立自动电压调节器类和 1 个电力系统稳定器类。至此完整的励磁系统模型就建立完毕,可以将其应用到电厂侧 AVC 控制系统中。

3.2 基于 CIM 励磁模型的电压无功控制

在发电厂综合优化控制系统中,厂级负荷优化分配模块进行 10 多年的发展和研究,无论从算法还是模型都已经相当完善;而电厂侧 AVC 控制系统还有很多方面值得深入研究。在电厂 AVC 控制中,执行机构是发电机的励磁系统,励磁系统是由一些典型的控制环节组成,其中还存在一些非线性环节,如限幅环节、励磁机的饱和等,控制器采用简单的 PI 控制<sup>[7]</sup>,在 AVC 软件中建立励磁系统动态模型的模型库,模型库包含了主要励磁系统的动态模型,

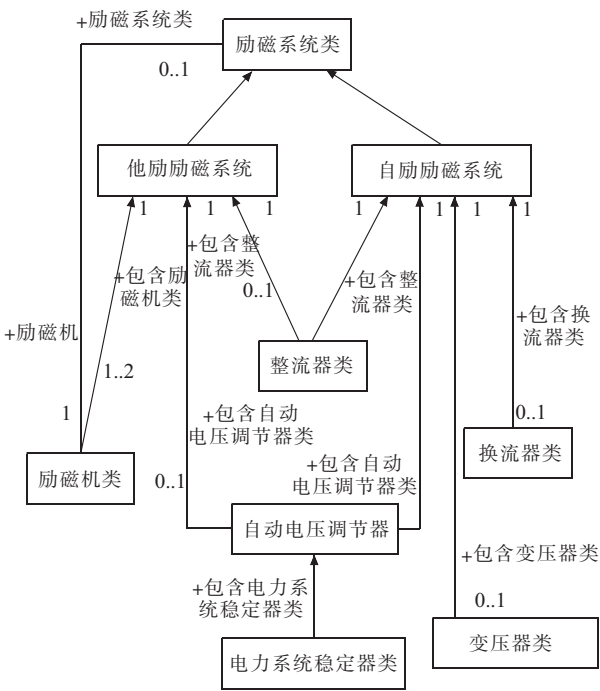


图 4 励磁系统模型的详细描述

对于不同电厂的励磁系统,可以通过选择相匹配的模型来确定 AVC 系统的动态模型,结合 CIM 的励磁系统模型,通过对模型的离线学习和在线辨识获取模型各个环节的参数。然后再根据参数来确定 AVC 模型控制系统的关键参数,如系统反馈系数、发电机反馈系数、系统阻抗、无功调节量等<sup>[8]</sup>,这样就可以获得励磁系统完整的数学模型。基于 CIM 的励磁系统模型为整个过程提供了运算和存储的载体。利用励磁系统的模型,进一步开发电厂 AVC 的仿真系统,使运行人员通过这样的系统更加了解电厂 AVC 的控制方式和执行情况,建立起电厂电压无功控制的培训仿真环境。

4 结束语

发电厂综合优化控制系统是将原来 SIS 中的厂级负荷分配和 NCS 中的电厂侧 AVC 控制系统,统一放在 NCS 监控系统平台上,作为 NCS 系统的 2 个高级应用模块。该设计的优点体现在:(1) 当发电厂由中调直调方式改为厂级负荷分配时,该设计方式可以最大限度地节省改造费用和成本,更好地利用原来的设备,同时也降低了改造的难度。(2) 2 个模块在完成各自功能的同时,还可以相互交换信息,从而提高各自的控制和优化水平。采用一体化的设计思想,使得信息的获取和命令的执行更加顺畅。(3) 在电厂 AVC 中嵌入励磁系统的控制模型,通过辨识方法获取更加准确的模型参数,为 AVC 系统关键参数的设置提供依据;在励磁系统模型的基础上,开展电厂 AVC 的仿真培训功能,使运行人员



能更好地理解认识和认识系统的运行和事故处理。

参考文献：

[1] 曹文亮,王兵树,高建强,等.火电厂厂级负荷优化分配软件设计[J].电力系统自动化,2004,28(5):80-83.  
[2] 郝 飞,黄 凯,刘吉臻,等.电厂侧自动电压控制系统研究及应用[J].现代电力,2009,26(6):62-65.  
[3] 郝 飞,刘吉臻,谭 文.厂级控制的研究及在发电厂中的应用[J].江苏电机工程,2010,29(1):16-20.  
[4] TRUS L.Studies on Plant wide Control [D].Department of Chemical Engineering Norwegian University of Scinence and Technology,2000.  
[5] 李政林,张根保,吴 鸿.基于 SIS 的火电厂实时负荷优化分配的研究[J].现代电力,2004,21(1):6-10.  
[6] 徐剑峰,王康元.基于 CIM 的励磁系统建模[J].机电工程,

2007,24(8):76-79.

[7] 陆春良,竺士章,陈新琪.发电机励磁系统实测建模与应用[J].电力系统自动化,2004,28(2):73-77.  
[8] 郝 飞,黄 凯,刘吉臻,等.电厂侧电压无功控制系统分析研究[C].电网电能质量控制与检测学术交流会,2009.

作者简介：

景乾明(1965),男,甘肃通渭人,高级工程师,从事电力生产技术管理工作;  
郝 飞(1980),男,辽宁丹东人,硕士研究生,从事调度自动化及 AVC 优化控制研究工作;  
刘吉臻(1951),男,山西岚县人,教授,从事大机组智能优化控制、火电厂综合自动化研究工作。

Optimal Control of Power Plant Based on Plant Level Dispatching

JING Qian-ming<sup>1</sup>, HAO Fei<sup>2</sup>, LIU Ji-zhen<sup>3</sup>

(1.Gansu Electric Company, Lanzhou 730050,China; 2. Nanjing Nari-relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211100,China;  
3.North China Electric Power University, Beijing 110000,China)

**Abstract:** In order to achieve the economic distribution of the plant's power and ensure area voltage quality, and meet the requirements of deregulation and economic dispatch, a collaborative optimization control system is proposed in this paper. Combining the system design of direct transfer mode and equipment configuration, this system is constructed with electrical network monitoring system integrated of plant level load distribution module and original plant's voltage reactive control system. The system can not only realize the function of itself, but also exchanges information with each other to achieves active power economic dispatch and reactive power optimization distribution. In order to obtain more information from power plant side, excitation system model based on CIM is built in network monitoring & control system, which guarantees the accuracy and security of AVC control on the power plant side.

**Key words:** plant wide control;load dispatch;voltage and reactive power control;network monitoring & control system; excitation system

下 期 要 目

- 600 MW 超临界机组真空下降诊断分析
- 分母线保护在智能变电站中的应用
- 江苏电网中长期机组组合问题研究
- 江苏分区电网低频低压减载方案适应性分析
- 南京热电厂 600 MW 超临界供热汽轮机及供热系统设计特点
- PMU 数据在控制中心的集成应用
- 无锡 220 kV 西泾智能变电站关键技术
- 智能变电站光纤差动保护同步性能测试方法研究
- IEC 61850 在高压直流输电系统中的应用
- 智能变电站状态监测技术及应用

广 告 索 引

泰州供电公司	封面	《江苏电机工程》协办单位	前插 6、7
宿迁电力设计院有限公司	封二	《江苏电机工程》协办单位	前插 8、9
南京南瑞继保电气有限公司	前插 1	扬州浩晨电力设计有限公司	(黑白) 文前 1
江苏省电力公司、江苏省电机工程学会	前插 2、3	国网电科院江苏南瑞淮胜电缆有限公司	封三
江苏省电力公司电力科学研究院	前插 4、5	南京南瑞集团有限公司	封底