

# 百万千瓦超超临界机组自启停控制系统

龙海云

(四川省江电建设监理有限责任公司 四川 成都 610021)

**摘要:**结合广东海门电厂百万机组自启停控制系统 APS 的案例,分析了实现百万机组自启停控制系统设计的目的和意义,提出了如何实施百万机组自启停控制系统的设计结构和设计方案,对做好百万机组自启停控制系统有着指导性的意义。

**关键词:**百万机组;超超临界;控制系统;APS

**Abstract:** Combining with the cases of automatic power plant start-up and shutdown system (APS) of 1000 MW unit in Guangdong Haimen Power Plant, the purpose and significance for realizing the design of 1000 MW automatic power plant start-up and shutdown system are analyzed, the design structure and design scheme of APS system for 1000 MW unit are put forward, which has a directive significance in making perfect automatic power plant start-up and shutdown system of 1000 MW unit.

**Key words:** 1 000 MW unit; ultra-supercritical; control system; automatic power plant startup and shutdown system (APS)

中图分类号: TM323 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2013)03-0086-05

## 0 引言

截至 2011 年,中国投运的 1 000 MW 超超临界机组已达 30 多台。超超临界机组尤其是百万千瓦超超临界机组的设备数量多、容量大,运行参数高和控制系统结构复杂,因此机组对运行人员的操作和管理水平提出了更高要求,在机组运行特别是机组启动和停运过程中,如果靠运行人员手动操作,不仅容易发生误操作事故,而且也极大地影响了机组运行的安全性和经济性。机组自启停控制系统(automatic power plant start up and shutdown system, APS)可以使机组按照规定的程序进行设备的启停操作,不仅大大简化了操作人员的工作,减少了出现误操作的可能,提高了机组运行的安全可靠性和同时缩短了机组启动时间,提高了机组的经济效益。因此对发电机组特别是大容量、超超临界机组自启停控制技术进行研究和应用,提高机组的运行效率和经济效益,成为近年电厂热工自动化和自动控制技术的研究热点。

## 1 自启停控制系统(APS)

机组自启停控制系统 APS (automatic power

plant startup and shutdown system) 是机组自动启动和停运的控制中心。APS 系统作为一个机组级的顺控系统,充分考虑机组启停运行特性、主辅设备运行状态和工艺系统过程参数,并通过相关的逻辑发出对其它顺控功能组 SCS、FSSS、MCS、汽机控制系统、旁路控制系统、给水全程控制系统、燃烧器负荷控制系统及其它控制系统(如电气控制系统 ECS、电压自动调节系统 AVR 等)等的控制指令来完成机组的自启停控制,以最终实现发电机组的自动启动或自动停运。

APS 对电厂的控制是应用在电厂常规控制系统与上层控制逻辑共同实现的。在没有投入 APS 的情况下,常规控制系统独立于 APS 实现对电厂的控制;在 APS 投入时,常规控制系统给 APS 提供支持,实现对电厂机组的自动启/停控制。在设计有 APS 功能的机组时, MCS、CCS、FSSS、MEH、DEH 等系统均要围绕 APS 进行设计,协调 APS 完成机组自启动和停止功能。APS 下面的功能组设计就不能是单纯的顺控,而是一个能自动完成一定功能的功能组,功能组具有很强的管理功能,作为中间的连接环节,向下协调有关的控制系统(如 MCS)按自启停系统的要求控制相关的设备,向上尽量减少和 APS 的接口,成为功能较为独立的一块,这样就减轻了上一级管理级 APS 的负担,同时也提高了机组自动化水

平。

APS功能包括机组自动启动与自动停止。其中自动启动有冷态、温态、热态和极热态4种启动方式,对于汽轮机来说,其区别主要在于汽轮机自动开始冲转时对主蒸汽参数的要求不同,因而汽轮机冲转前锅炉升压时间不同。对于锅炉来说,区分以上4种启动方式,主要由锅炉壁温、分离器压力和停炉时间等来决定。

## 2 APS系统设计的目的和意义

机组自启停控制系统的设计和应用是个复杂的课题,涉及范围比较广,启动过程从循环水泵开始运转到机组带到一定的负荷,停止过程从当前负荷减负荷到真空破坏、风烟系统停运。因此,真正实现机组自启停控制,对机组的控制和运行具有重要意义。

### 2.1 提高机组的控制和自动化水平

机组自启停控制系统提高了机组的控制和自动化水平,机组自启停控制是一种先进的控制理念,它涉及到多种复杂控制策略。APS对电厂的控制是通过电厂底层控制系统与上层控制逻辑共同实现的。在没有投入APS的情况下,常规控制系统独立于APS实现对电厂的控制;在APS投入时,由常规控制系统执行APS的控制策略,实现对电厂的自动启/停控制。它将模拟量控制和顺序控制等各个控制系统整合起来,共同完成设备启停任务。

百万千瓦超超临界机组是典型的多输入多输出控制系统,参数之间耦合较强,而且控制对象动态特性的延迟时间和惯性时间比较大,非线性比较严重,这些都对自动控制系统提出了更高的要求。另外,为了实现机组自启停控制,就必须实现风烟系统的全程自动、全程给水自动、燃料的自动增减、燃烧器负荷全程控制、主蒸汽压力全程控制及主蒸汽温度的全程控制。这些控制策略的实施和应用,从本质上提高了机组整体的自动化控制水平和运行效率。

### 2.2 提高电厂的管理水平和经济效益

机组自启停控制系统实质上是对电厂运行规程的程序化,它的应用保证了机组主、辅机设备的启停过程严格遵守运行规程,减少运行人员的误操作,增强设备运行的安全性。

机组自启停控制系统的设计研发过程,既是对

主设备运行规范优化的过程,也是对控制系统优化的过程。APS系统的设计和应用不但要求自动控制策略要更加完善和成熟,机组运行参数及工艺准确详实,而且对设备的管理水平也提出了更高的要求。快速准确的机组启动缩短了机组启、停设备时间,优化的控制策略降低了启停过程中的煤耗和油耗,提高了机组运行经济效益。

### 2.3 具有广泛的推广和应用价值

百万千瓦超超临界机组是目前国内单机容量最大的火电机组,也是今后国内电力系统的主导机组。百万千瓦机组自启停控制系统的设计研究和应用提高了机组的自动控制水平,丰富了热工自动控制的内容,对热工控制先进理论的应用和研究起到了积极的推动作用。同时在百万千瓦超超临界机组自启停控制系统设计和调试中,积累的经验对其他同类型机组自启停控制系统的设计和调试具有重要的参考价值。

## 3 APS系统总体结构

### 3.1 APS系统的总体架构

APS系统的总体结构采用金字塔形的分层结构,其结构如图1所示。总体上是4层结构,即机组控制级、功能组控制级、功能子组控制级和设备控制级。

机组控制级执行最高级的控制任务,包括启动方式的预先选择和协调,可有冷态、温态、热态、极热态4种启动方式;运行整个电厂的“启动”和“停止”程序;基于CRT的操作;运行方式的切换。机组控制级是整个机组启停控制管理中心,它根据系统和设备运行情况及既定的控制策略,向底层功能组及功能子组发出启动和退出的指令,保证机组的安全运行。

功能控制级又可细分为功能组控制、功能子组控制两个层次,它和机组控制系统相连,接受上级或同级控制系统的指令自动启动或以手动方式启动。其中功能组接受机组控制级的激励信号,决定什么时间哪个功能子组需投运和进入备用状态,运行本功能组内设备的“启动”和“停止”程序。功能子组接受来自功能组的激励信号,决定什么时间哪个子回路需投入运行,运行本功能子组内所控设备的“启动”和“停止”程序。功能子回路接受功能子组

来的命令,将子回路控制设定为要求的运行方式,运行设备的“启动”和“停止”程序。功能组控制的操作方式可以手动操作,也可以接受自动指令。

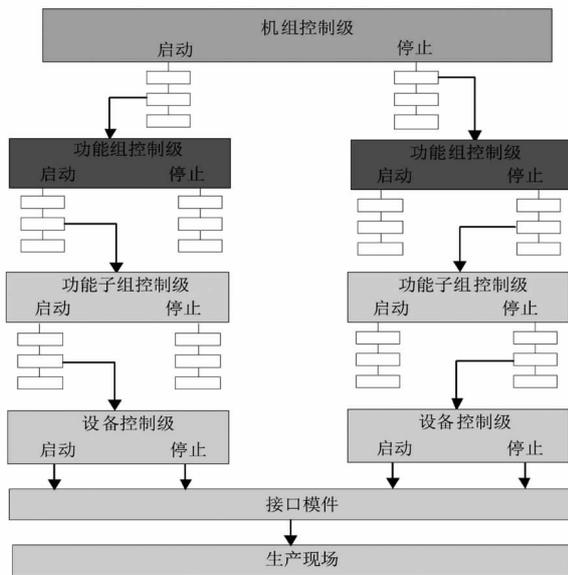


图1 机组自启停系统的层次结构

### 3.2 机组自启停控制系统功能组设计

功能组和机组控制级以及常规控制系统的关系,机组控制级不直接发指令到常规控制系统驱动设备,更多地是通过对功能组管理实现对设备的调用,因此底层功能组安全顺利地运行,是实现机组自启停控制系统的根本保证。

### 3.3 断点的设计思想

对于火电机组来说,设计机组自启停时,根据机组的运行方式采用断点控制方式较为理想,根据国外成功的例子,火电机组都是采用断点控制方式的。

断点方式,就是将APS启动这个大顺控分为若干个顺控功能来完成,每个断点的执行均需要人为确认才开始执行。采用断点方式也符合火电机组的运行工艺要求,对于火电机组的点火、冲转、并网等均要人为的确认才能进行。另外,采用断点控制方式,各个断点既相互联系,又相互独立,只要条件满足,均可独立执行,这样适合火电机组多种多样的运行方式,符合电厂生产过程的工艺要求。

APS系统使用断点方式进行机组自启停控制,可实现从机组启动准备到带50%MRC负荷,以及由减负荷至停炉的自动控制。APS分启动模式和停止模式,其中自动启动模式有冷态、温态、热态和极热态4种启动方式,有关APS断点的设置,应根据现场设备的实际情况,满足各常规控制系统运行要求,即可

给APS提供支持,实现机组自动启/停控制,亦可满足操作员对各单独运行工况及过程的操作要求。

## 4 自启停控制系统APS设计

### 4.1 APS系统设计范围

百万千瓦机组自启停控制系统APS启动过程起点从凝补水系统启动开始,终点至机组带500MW负荷(高压加热器投入完成、第2台汽动给水泵并泵完成、至少3台磨煤机投入,协调投入),投入给煤机自动管理系统,设定1036MW负荷,退出自启停控制启动模式。APS系统停止过程从机组当前负荷开始减负荷至投汽轮机盘车结束、风烟系统停运。

### 4.2 APS启动过程设计

依据目前百万千瓦机组的实际情况,APS系统启动过程设置6个断点,停止过程设置3个断点。只有在上一断点启动完成后,运行人员才能通过所提供的按钮确认启动下一断点,在每一断点的执行过程中,均设计“GO/HOLD”逻辑。启动过程包括6个断点,分别是机组启动准备断点、冷态冲洗和真空建立断点、锅炉点火及升温断点、汽轮机冲转断点、并网及初负荷控制断点、升负荷断点。

投入APS前,必须投入相关的外围系统,包括工业水系统、化学凝补水系统等,且灰处理系统具备投入条件,发电机充氢等已准备好。

机组启动准备断点,APS投入凝补水系统启动功能组、闭冷水系统启动功能组、循环水系统启动功能组、磨煤机油站和旁路油站、汽轮机油系统启动功能组(主机润滑油、顶轴油系统、密封油系统及盘车)、机组辅汽系统、炉底水封及渣水系统。

冷态冲洗及真空建立断点,APS启动凝结水系统,用凝结水上水功能组进行凝结水系统清洗,凝结水水质合格后,除氧器上水,炉水泵注水、投辅汽系统、锅炉疏水排气、管道静态注水、启动投轴封、抽真空、除氧器加热、锅炉上水、冷态循环清洗。

锅炉点火及升温断点,APS投入锅炉风烟系统,启动火检冷却风机、给水投自动维持省煤器入口给水流量25%BMCr,等离子点火装置点火准备,进行燃油泄漏试验、炉膛吹扫、开始高压缸预暖、等离子点火装置点火或采用油枪点火、投汽轮机旁路系统、启动EH油,投定子冷却水系统,当启动分离器进口

温度达到 190 °C 开始热态清洗直至  $Fe \leq 100 \mu\text{g/L}$  锅炉继续升温升压,当主蒸汽温度高于 271 °C,调节阀(CV)蒸汽室内壁或外壁温度低于 150 °C 时,高压主汽门、调门室预暖,直至调门室预暖完成,主蒸汽参数达到冲转参数。

汽轮机冲转阶段,汽轮机冲转采用 ATC 冲转,在冲转过程中汽轮机转速  $> 1\,500 \text{ r/min}$  将低压加热器随机投入。

机组并网断点,APS 投入电气同期装置,并网及带初始负荷暖机。

升负荷断点,APS 以一定的速率升负荷,旁路调节主蒸汽压力,逐渐退出运行;机组负荷升至 150 MW 时投入第二套制粉系统;负荷到 180 MW 时将给水上水旁路调门切到主路运行,维持给水流量稳定;升负荷至 200 MW 第 1 台汽动给水泵开始冲转升速暖机(若临炉供汽,开始升负荷时第 1 台汽动给水泵就开始冲转升速暖机);升负荷到 230 MW 并入第一台汽动给水泵,退出电动给水泵并维持电动给水泵回水循环运行;由湿态转为干态升负荷到 300 MW 投第 3 台磨煤机;升负荷到 350 MW 冲转第 2 台小机进行暖机,投入高压加热器;升负荷到 400 MW 启第 2 台变频凝结水泵运行,将第 2 台小机并入运行,停电动给水泵、退油枪、退等离子点火装置;升负荷至 500 MW 启动第 4 套制粉系统,投入磨煤机管理自动,设定目标负荷 1 036 MW,完成 APS 启动过程。

#### 4.3 APS 停机过程设计

机组停运前的各项试验及操作由运行人员进行,此部分可作为机组投入 APS 前的断点内容,停运过程的 APS 设计包括 3 个断点。分别是降负荷断点、机组解列断点、机组停运断点。

降负荷断点,设定目标负荷 450 MW,以一定的速率减负荷,机组负荷到 450 MW 时第 1 台汽动给水泵 SERVICE OUT 并停运,降负荷至 400 MW;若 A 磨煤机运行,将等离子点火装置投入运行,否则投入两层油枪助燃;停运第 3 台磨煤机;降负荷至 350 MW 退出 CCS 模式,降负荷至 250 MW 由于干态转湿态,启动电动给水泵将第 2 台汽动给水泵退出,停运 1 台凝结水泵,停运倒数第 2 台制粉系统,减少最后 1 台给煤机出力,将最后 1 台制粉系统退出运行。

机组解列断点:汽机跳闸、发电机解列。

机组停运断点,停运燃烧器,锅炉风烟系统停

运,停运底渣系统,关闭高中压主汽门前疏水,启动真空停运功能组子组,破坏真空,启动轴封停运功能组,停运 1 台循环水泵。

#### 4.4 APS 系统机组控制级框架

从 APS 系统的软件逻辑上分析,机组自启停系统机组控制级的框架可分为 3 层。

第 1 层为操作管理逻辑。其作用为选择和判断 APS 系统是否投入,选择启动模式还是停止模式;选择哪个断点及判断该断点允许进行条件是否成立。如果条件成立则使断点进行。从断点的选择逻辑上分析,可以直接选择最后 1 个断点(如升负荷断点),其产生的指令会判断前面的 6 个断点是否已完成,如没有完成则先启动最前面的未完成断点,即具有判断选择断点功能,从而实现机组的整机启动。

显示启动的状态,是冷态启动、温态启动、热态启动还是极热态启动。

第 2 层为步进程序。是 APS 机组控制级构成的核心内容,每个断点都具有逻辑结构大致相同的步进程序(STEP SEQUENCE)。

第 3 层为各步进行时产生的指令,即产生送至各个控制系统的功能组命令。当该功能组启动完毕,则由锅炉顺序控制系统返回该步完毕信号到 APS。

## 5 APS 系统与其他系统接口

APS 系统与 MCS、FSSS、SCS、DEH、MEH、ECS 等系统的接口信号全部采用通信的方式实现。APS 系统作为基于 MCS、FSSS、SCS、DEH、MEH、ECS、BPS 之上的机组级指管理、调度系统,实现 APS 系统与这些底层系统的无缝连接是实现 APS 系统自启停的关键。这些系统与 APS 系统接口功能设计的好坏将直接影响 APS 系统功能的实现。

## 6 APS 系统调试和试验要求

APS 实现从机组启动准备到带满负荷全过程的自动控制,或从满负荷减到零以至机组完全停止的全过程自动控制。实现机组级自启/停要通过一个渐进的过程来实现。如何在较短时间内高水平实现 APS 功能且不影响 DCS 其他功能的实现,对 APS 的调试和投运工作提出了较高的要求。

### 6.1 APS 调试的环境和特殊要求

实现机组级自启/停要通过一个渐进的过程来实现。如何在较短时间内既能较高水平地完成 DCS 各个功能,又能实现 APS 功能且不影响 DCS 其它功能的实现,APS 的结构方案成了关键。机组级自启停(APS)采用多层次功能组结构,最高层为机组级自启停功能组。这样做不但使 APS 对下层 DCS 功能的影响较小,而且还可以把 APS 拆开分步试投。

APS 的调试要尽早进入,在 APS 设计阶段应对 APS 的方案进行审查,对 APS 逻辑进行深入分析研究,不断优化逻辑,在 DCS 系统复原后,满足 DCS 具备启动条件即可逐渐开始 APS 的静态试验调试。

### 6.2 自启停控制系统仿真试验和测试

自启停控制系统逻辑和画面组态完成后要进行系统仿真试验和测试,仿真试验的目的是检查逻辑设计的合理性和画面组态及连接的正确性。

### 6.3 自启停控制系统静态调试

机组断点的静态调试是和仿真试验同时进行的,功能的静态调试是把相关设备(泵和风机等)打到试验位置,电动门、调节门尽量实际开关,不能实际开关的要做好隔离措施,保证能实际开关电动门和调节门,强制不满足的条件,启动功能组,模拟功能组的启动过程,试验每一步是否能正常进行下去。

### 6.4 自启停控制系统动态调试及投运

动态调试阶段是控制系统的实际投运过程,在调试工程中必须密切关注设备的动作和系统的状态,根据实际情况对 APS 系统进行了进一步的修改和完善,确保了机组的安全运行。

在动态调试时,机组断点投运前必须保证断点中的相关设备的传动正确,联锁保护试验完成,设备能够正常启停和投运,断点中所涉及的功能组完成静态试验并可实际投运或已经实际投运过,才能确保 APS 系统控制动作的正确性和整个机组的可靠运行。在动态调试过程中还对投入和使用的控制策略进行了进一步优化和调整,确保了控制的稳定性和准确性。

## 7 结 语

广东海门 2 × 1 000 MW 机组电厂自启停控制系统的成功应用,推进了国内其他电厂技术进步和技术改造的步伐,目前国内其他一部分 1 000 MW 机组电厂等技术改造项目也提出了实施机组自启停控制系统的要求。相信自启停控制技术还将在全国范围内进行推广,机组自启停控制技术在高参数、大容量火力发电站具有广泛的应用前景和发展空间。

(收稿日期:2013-02-22)

(上接第 41 页)

[4] 李振兴,尹项根,张哲,等.基于多 Agent 的广域保护系统体系研究[J].电力系统保护与控制,2012,40(4):71-75

[5] 丛伟,潘贞存,赵建国.基于纵联比较原理的广域继电保护算法研究[J].中国电机工程学报,2006,26(21):8-14

[6] 田聪聪,文明浩.具有高信息冗余的广域后备保护系统[J].电网技术,2011,35(10):214-219

[7] 杨增力,石东源,段献忠.基于方向比较原理的广域继电保护系统[J].中国电机工程学报,2008,28(22):97-93

[8] 汪华,张哲,尹项根,等.基于故障电压分布的广域后备保护算法[J].电力系统自动化,2011,35(7):48-52

[9] 汪晔,尹项根,赵逸君.基于遗传算法的区域电网智能保护[J].电力系统自动化,2008,32(17):40-44

[10] 汪晔,尹项根,张哲,等.基于遗传信息融合技术的广域继电保护[J].电工技术学报,2010,25(8):174-179

[11] 尹项根,李振兴,刘颖彤,等.广域继电保护及其故障元件判别问题的探讨[J].电力系统保护与控制,2012,40(5):1-9

作者简介:

李运坤(1987),男,硕士,从事变电检修工作;

江登莹(1985),男,本科,从事变电检修工作;

周文越(1989),男,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护。

(收稿日期:2013-02-26)