

超（超）临界机组自启停 控制技术

中国自动化学会发电自动化专业委员会 组编
陈卫 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

超（超）临界机组自启停 控制技术

中国自动化学会发电自动化专业委员会 组编

陈卫 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是根据浙江省电力公司电力科学研究院历年来在电厂自启停控制领域的研究与应用积累,结合作者经验的总结和提炼,内容涵盖了机组自启停控制的设计、设备选型、调试、功能及接口设计、项目实施及管理等方面的内容。尤其在APS功能组及模拟量接口控制方面做了详细阐述,提出了新的设计思路和实现方案,解决了以往自启停控制系统控制过程的连续性问题,实现了真正意义上的一键启停机。

本书可供火力发电厂热工控制系统设计、优化、运行等专业技术人员使用,并可供高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

超(超)临界机组自启停控制技术/陈卫主编;中国自动化学会发电自动化专业委员会组编. —北京:中国电力出版社, 2016. 7

ISBN 978-7-5123-9499-5

I. ①超… II. ①陈…②中… III. ①火力发电-发电机组-超临界机组-自动控制系统-研究 IV. ①TM621. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 145917 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京天宇星印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 7 月第一版 2016 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.75 印张 331 千字

印数 0001—2000 册 定价 48.00 元



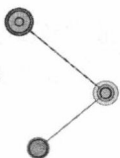
敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前言



在国家大力推进节能减排的新形势下，对机组运行的安全性及经济性要求日益提高，智能数字化电厂的建设已提上日程。机组自启停控制系统（automation power plant start-up and shutdown system, APS）作为其核心技术，近年来已成为电厂自动控制技术的研究热点。

APS 是一种基于顶层设计的自动控制系统，它建立在机组各主辅机设备的程控化操作的基础上，包含了子组设备的自动启停控制、相关系统的自启停控制和机组级的自动启停控制。APS 应用后，可以保证机组主、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。同时快速准确地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。所以 APS 必然是火力发电机组自动控制发展的一个重要方向。

目前国内设计生产的机组一般未考虑机组自启停功能，主要原因：一方面在于国产机组主要辅机的可控性长期以来无法满足机组自启停功能的控制要求；另一方面则是由于对 APS 功能的重视程度不够。随着国产设备性能的不不断提升，节能环保意识的增强和对 APS 功能重视程度的提升，近两年一些大容量的国产机组开始尝试应用机组自启停控制功能，同时也取得了部分成功。但真正意义上的大型火力发电机组一键启停机尚未完全实现，其最大症结在于锅炉点火、投油和投煤粉过程以及干湿态、旁路转换等过程的自动化过程控制，而这也正是 APS 功能对提高机组启动快速性、安全性和经济性的关键所在。

本书基于编者所参与的火力发电机组 APS 工程，介绍了 APS 框架结构的设计、APS 功能子组的分配与实现、APS 系统在常规分散控制系统（DCS）中的实现、APS 与模拟量自动调节控制系统（MCS）的接口和控制等内容，并结合工程实际介绍了 APS 项目的实施和管理流程。希望本书能给读者在火力发电机组 APS 功能实施过程中一些借鉴和帮助。

本书的第一章由陈卫、尹峰编写，第二章由刘兰平、陈卫、沈伟国、程声樱编写，第三章由王富有、瓦明达、张永军编写，第四章由陈卫、罗志浩、陈波、王达峰编写，

第五章由罗培全、王会、张建江编写。全书由陈卫统稿，陈波在编写过程中协助做了大量细致的资料整理工作。本书由孙长生主审。

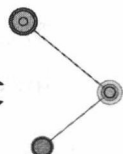
由于编者水平有限，书中难免出现不足之处，敬请读者批评指正。

编者

2016年6月



目 录



前言

第一章 APS 内容及框架	1
第一节 概述	1
第二节 APS 说明	15
第二章 典型系统级 APS 功能组设计技术	20
第一节 水补给及处理系统 APS 功能组设计	21
第二节 高、低压加热器 APS 功能组设计介绍	32
第三节 锅炉上水、冲洗及给水泵汽轮机冲车 APS 功能组	40
第四节 机侧汽水主要系统 APS 功能组设计	57
第五节 锅炉风粉灰渣系统 APS 功能组设计	72
第六节 发电机并网及机组级 APS 功能组设计介绍	96
第三章 APS 技术在 DCS 中的实现	116
第一节 DCS 设计	116
第二节 APS 逻辑整体框架设计	128
第四章 APS 与 MCS 全程控制接口设计	141
第一节 设计原则	141
第二节 给水系统全程控制	143
第三节 燃料系统全程控制	159
第四节 风烟系统全程控制	174
第五节 主蒸汽压力全程控制	182

第六节 主蒸汽温度全程控制	185
第七节 协调控制	193
第八节 特殊控制	200
第五章 APS 项目实施与管理	207
第一节 新建机组 APS 项目管理与优化	207
第二节 改造机组的 APS 功能设计与实现	221
参考文献	227

APS 内容及框架

超（超）临界机组的设备数量多、容量大、运行参数高、控制系统结构复杂，对运行人员操作和管理水平提出了更高的要求，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，而且其操作熟练程度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（automation power plant startup and shutdown system, APS）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 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。

之前国内设计生产的机组一般均未考虑机组自启停功能，主要原因是国产机组主要辅机的可控性无法满足机组自启停功能的控制要求。随着国产设备性能的不不断提升，近两年一些大容量的国产机组开始尝试应用机组自启停功能，但均未能真正实现一键启停机的最大症结在于锅炉点火、投油和投煤粉过程以及干湿态、旁路转换等过程的自动化过程控制，而这也正是 APS 功能对提高机组启动快速性、安全性和经济性的关键所在。

鉴于以上技术背景，本书依据实际工程经验，系统性地总结了从主机交流润滑油泵开始至锅炉点火，再至机组并网带负荷，在主机部分少于或等于 7 点断点的前提下，实现全范围、全过程自启停控制实践，并通过对涉及系统的优化调整，提高各项的控制性能，形成高度自动化、智能化、可靠而完善的超（超）临界机组自启停控制系统，从而杜绝启停过程误操作，使电厂启停效率及经济性达到国内领先水平。

第一节 概述

APS 设计考虑在设备可用的情况下，按照机组操作流程，逐步投用各相关系统，从设备全停状态至机组并网带 60% 额定负荷，包括系统上水、辅助系统启动、锅炉点火准备、冷态水冲洗、锅炉点火升温升压、汽轮机冲转、机组并网、升负荷。过程中涉及全程自动给水、除氧器投用、干湿态转换、自动并泵、暖磨、暖管、加热器投用等重要操



作。程序中应具备自动判断功能，依据系统不同的投用状况，自动选择程序步，直至系统全部投入，系统启动完成后应检测系统运行状况。

一、实施内容

一套完备适用的 APS，除了包含全过程热力系统，以及与之配合的功能组之外，还应该包括系统投运检查清单及操作票制度，同时在逻辑组态的设计上，既要考虑到系统的适用性、合理性，还需要兼顾机组安全。最后，人性化的人机交互界面也是设计重点之一，具体实施内容阐述如下：

(1) 系统框架及实践范围。对包括主要 BOP 等系统在内的全范围、全过程相关控制系统进行优化调整，提高各项性能，形成高度自动化、智能化、可靠而完善的超（超）临界机组自动启停控制系统（APS）。

(2) APS 功能组态设计内容见表 1-1。

表 1-1 APS 功能组态设计内容

序号	设计内容	概 述
1	机组级控制	对运行工况全面监视，根据不同阶段的需要及既定控制策略，向各功能组或设备级及其他相关系统如数字电液控制（DEH）系统、电气监控系统（ECS）等发出控制指令
2	APS 管理逻辑	包括机组启动和停运方式的预先选择和协调、断点的选择与管理、机组四种启动状态的自动判定等
3	断点及功能组设计	APS 最终结果是从主要 BOP 开始至锅炉点火，再至机组并网带负荷，主机部分少于或等于 7 点断点。APS 系统下的功能组要求区别于一般意义上的顺序控制，除了实现设备的启动和停运，同时要保证相关系统安全稳定地投入运行，保证电动机不超流、不过载，保证管路不发生冲击、振动等现象。并实现功能组投入和退出的独立性
4	系统接口设计	实现 APS 与协调控制系统（CCS）、模拟量控制系统（MCS）、电池管理系统（BMS）、旁路控制系统（BPS）、给水泵汽轮机控制系统（MEH）、DEH 系统、ECS、顺序控制系统（SCS）的无缝衔接
5	特殊控制过程及策略	机组不同的燃烧方式和启动方式在机组启停过程中会有一些特殊要求，如启动过程中燃油管理策略、自动热态清洗、干湿态自动转换、煤水比控制策略等需针对其特殊要求完善响应控制策略
6	MCS 全程控制系统设计	为实现 APS 与 MCS 接口无缝衔接，MCS 采用全程控制策略，在设备正常和测点无故障的情况下，MCS 调节回路都能投入自动位置，等待工艺系统满足自动调节条件时，调节回路才进行 PID 运算，否则处于跟踪状态。另外调节系统的定值也随着启停过程自动改变，以满足 APS 要求

(3) 性能指标。APS 逻辑设计组态，软件性能指标达到设计要求，符合工艺流程，满足安全性指标。

(4) 检查清单及操作票。配合机组 APS 程序，制定详细实用的系统投运检查清单及操作票，在执行 APS 的每个断点程序前，按照检查清单逐个确认系统的投运条件是否满足要求，尤其对于手动设备的位置及冗余设备的首启选择进行确认，同时在程序执行过程中，确认若干设备及参数的状态是否正常。

(5) 人机界面。为了增加 APS 的实用性及可操作性,增加了大量的人机界面,以方便运行人员了解程序执行情况及流程,详实的操作步骤及提示有助于操作员加强对运行规程的熟悉,同时起到操作指导的作用。

二、关键技术设计

APS 实施的关键,首先须建立系统的总体框架,划分功能组控制界别,形成机组级 APS 控制骨架,以此串联所有功能子组。另外,总体框架下的关键设计元素还包括合理的断点设置、高效协调的管理逻辑、各系统间的接口设计、人性化的界面操作系统以及完备细致的工作票制度。所有元素应保证下述原则:

(1) 完整性。系统具有完整的控制过程;正常启动、停机;滑参数的启动、停机;机组带基本负荷的运行特性;机组带调峰负荷的运行特性;冷态、温态、热态及极热态启动运行;故障跳闸和各种操作以及其他扰动下的暂态特性;实现闭环系统手/自动自投撤等,且不限于此。

(2) 严格性。所有功能(子)组应符合热力系统实际运行要求,包括该系统内的仪表、测点投入;联锁及保护投入;过程中的子组投入/退出不引起系统冲击;各系统串/并联启动衔接合理省时;系统投撤过程符号电厂集控运行规程及运行人员操作习惯等。

(3) 精确性。所有子组串联的启停程序能良好地反映系统动态过程,具有较高的动态精确度,能够实现对热力系统及对象的连续、实时的控制,控制效果与实际机组手动启停工况一致,操作环境应保证简洁高效。

(一) APS 总体设计

1. APS 总体框架

依据超临界燃煤机组的运行方式,设置若干断点,实现全部辅助设备及主机的一键启停功能。APS 可划分为启动过程和停机过程两大主体,每个主体中又可细分为子组功能级和设备控制级功能组,APS 组织结构示意图见图 1-1。

APS 组织结构采用金字塔形分层,总体上为四层结构,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。

(1) 机组控制级。机组控制级执行最高控制任务,是 APS 的核心部分,包括启动方式预选和协调(冷态、温态、热态、极热态)、整厂启停程序管理、基于 CRT 的操作界面、运行方式切换等。

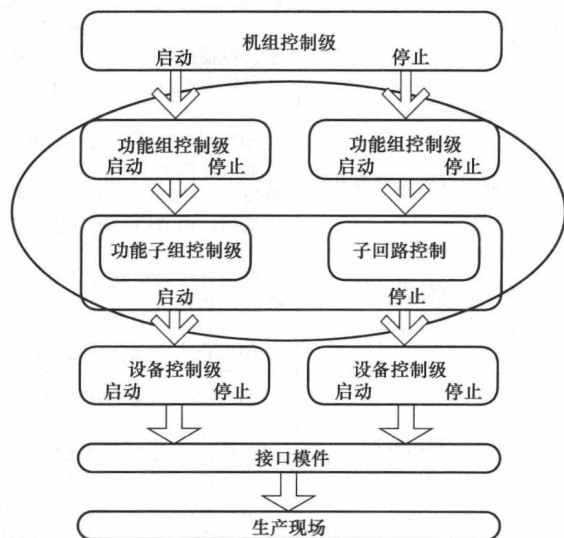


图 1-1 APS 组织结构示意图

(2) 功能组控制级。功能组控制级是 APS 的基础，其主要任务为管理子系统的启停，控制对象为子系统的具体设备或子环。每个系统间互相独立，可由运行人员手动激活，执行子系统的单独运行或停运。该级控制只负责系统的启停，设备的条件闭锁、联锁及保护功能由设备控制级完成，其又可细分为功能组控制、功能子组控制和子回路控制三个层次，与机组控制级相连，接受上级控制或同级控制系统指令自动启动或以手动方式启动。其中功能组接受机组级控制决定子组投入时间、投入哪个功能子组和是否进入备用状态。功能子组接受功能组指令，决定子回路投入及时间。功能子回路接受子组来的命令，将子回路控制设定为要求的运行方式。

(3) 设备控制级。设备控制级接受功能组或子组命令，同时接受生产过程各种信号，进行处理分配、监视、报警、计算、保护和联锁，以及所有执行机构以及控制操作信号的产生和转化，包含开环和闭环控制。

2. 断点设计

限于目前火电机组整体控制和运行管理水平，真正意义上的一键启停尚未有实际应用，而采用断点控制的方式较为理想。所谓断点方式，就是将 APS 启停过程分为若干个顺控子功能来完成，每个断点的执行均需要人为确认才开始。另外，各个断点既相互联系又相互独立，只要条件满足，各个断点均可独立执行，如机组启动定速后，有时候需要打闸再冲转，有时候要进行超速试验等，采用断点方式时，只需要从汽轮机升速断点开始执行即可用 APS 继续执行下去而无需从头开始。

APS 启停过程的断点设置见表 1-2。

表 1-2

APS 启停过程的断点设置

序号	设计内容	概 述
启 动 过 程		
1	启动准备	APS 投入凝结水补给水、闭式循环冷却水、循环水启动功能组；磨煤机及旁路油站、汽轮机油系统启动功能组、辅助蒸汽系统、炉底水封及水渣系统。 APS 启动凝结水系统、进行凝结水冲洗，水质合格后，除氧器上水、炉水泵注水、投辅助蒸汽系统、锅炉疏水排汽、管道静态注水、投汽轮机轴封抽真空、第一台给水泵汽轮机冲转升速暖机、除氧器加热、锅炉上水冷态循环清洗
2	锅炉点火及升温升压	APS 投入风烟系统，启动火检冷却风机，给水自动（25%BMCR，BMCR 为锅炉最大连续蒸发量），进行燃油泄漏试验，炉膛吹扫，高压缸预暖；油枪点火，旁路投运，抗燃油系统启动，投运定子冷水系统，热态清洗，锅炉升温升压，高压主汽门、调节门预暖，主蒸汽达到冲转参数
3	汽轮机冲转	采用自动启动方式自动汽轮机控制（ATC）冲转，转速大于 1500r/min 后投入低压加热器
4	机组并网升负荷	APS 投入电气同期装置，并网带初负荷 APS 以一定速率升负荷，完成旁路切换； 负荷升至 15%，投入第二套制粉系统； 负荷升至 20%，给水主副路切换； 负荷升至 30%，完成干湿态转换，投入第三套制粉系统； 负荷升至 35%，投入机炉协调控制、高压加热器，第二台给水泵汽轮机冲转； 负荷升至 40%，第二台给水泵汽轮机并入给水控制；退油枪或点火装置； 负荷升至 50%，启动第四套制粉系统，目标负荷 60%完成启动

续表

序号	设计内容	概 述
停 机 过 程		
1	降负荷	设定目标负荷 45%，以一定速率降负荷至 45%，第一台汽动给水泵退出；至 40%停运第三套制粉系统；至 35%退出协调控制；至 25%干湿态转换；停运倒数第二套制粉系统，第一套制粉系统处理至最小，非等离子模式下退出最后一套制粉系统
2	机组解列	汽轮机跳闸，发电机解列
3	机组停运	停运燃烧器、风烟系统、底渣系统、关闭高中压主汽门前疏水，启动真空停运功能组，破坏真空，启动轴封停运功能组，停运一台循环水泵

(1) 依据上述断点设计完成系统启动的过程。机组启动前，启动准备断点确认项目(不限于以下项目)见表 1-3，机组启动准备断点完成条件见表 1-4。

表 1-3 启动准备断点确认项目

序号	项 目	序号	项 目
1	磨煤机油站、给水泵汽轮机油站、旁路油站检查	6	凝结水精处理系统检查
2	润滑油系统、密封油系统及顶轴油系统检查	7	高压加热器水侧检查
3	氢气系统检查	8	轴封与真空系统检查
4	锅炉汽水系统、炉底水封及渣水系统检查	9	汽动给水泵、炉水泵检查
5	除氧器加热检查	10	进行设备预选，确认 APS 模式选择正确

表 1-4 启动准备断点完成条件

序号	条 件
1	任意一台凝结水输送泵运行并连锁投入，延时 15s
2	任意一台闭式水泵运行并连锁投入，延时 15s
3	汽轮机辅助系统顺序控制完成
4	空气压缩机已启动并锅炉、汽轮机已用空气压力正常
5	六大风机(送风机、一次风机、引风机、增压风机、密封风机、稀释风机)及 AB 磨煤机油站启动
6	凝汽器补水调节阀自动投入
7	任意一台循环水泵运行，延时 5min
8	运行手动确认炉底水封及渣水系统投入且状态良好
9	任意一台凝给水泵已运行且出口门开，延时 5min
10	凝结水冲洗及除氧器上水顺控执行完毕或被旁路
11	运行手动确认锅炉循环水泵注水完成
12	疏水扩容器(为两位式气动门)已开，辅助蒸汽疏水扩容器至机组排水槽电动门全开
13	辅助蒸汽满足要求，或辅助蒸汽顺控执行完毕
14	除氧器加热顺控执行完毕，或除氧器温度大于 100℃ & 辅助蒸汽至除氧器，加热电动门开，延时 5min
15	任意一台给水泵汽轮机在盘车，延时 3min；或被旁路
16	任意一台真空泵在运行并轴封供气门未关且真空大于 50kPa，延时 10min
17	运行确认汽动给水泵已启动且运行正常
18	分离器水位大于 5m，延时 10min
19	运行确认炉水水质合格

(2) 点火及升温。该断点启动前需要确认的项目（不限于以下项目）见表 1-5，锅炉点火升温断点完成项目见表 1-6，锅炉点火升温断点主要任务见表 1-7。

表 1-5 锅炉点火升温断点确认项目

序号	确 认 的 项 目	序号	确 认 的 项 目
1	锅炉风烟系统检查	7	脱硝、脱硫系统检查
2	除灰系统检查机操作票确认	8	抗燃油系统、定子冷却水系统检查
3	六大风机及油站检查	9	制粉系统启动前检查
4	汽轮机疏水系统检查	10	电除尘投运情况确认
5	炉前油系统检查	11	汽水取样系统检查
6	等离子系统检查		

表 1-6 锅炉点火升温断点完成项目

序号	完 成 的 项 目
1	送引风机运行，延时 15s，脱硝系统（SCR）稀释风机及声波吹灰器启动
2	泄漏试验成功，或泄漏试验被旁路
3	炉膛吹扫结束
4	等离子系统恢复功能程序执行完毕
5	跳闸阀及回油阀打开并且燃油压力合适，延时 30s
6	任意一次风机已启动且出口门全开
7	汽轮机（SGC）已启动正常
8	空气预热器吹灰管道疏水已完成
9	空气预热器吹灰顺控已执行
10	运行点火已释放
11	点火顺控已执行完毕，油火检及煤火检存在（区分点火模式），且分离器温度大于 105℃
12	旁路温度、压力自动投入，凝汽器喷水阀打开
13	确认锅炉疏水门已关闭
14	主蒸汽压力参数达到汽轮机冲转条件（冷态、温态、热态、极热态）

表 1-7 锅炉点火升温断点主要任务

序号	主 要 任 务
1	完成送风、引风、空气预热器及其辅助设备的风烟系统的启动
2	完成火检冷却风系统启动
3	完成炉膛吹扫
4	完成锅炉油系统检漏
5	复位主燃料跳闸（MFT），为锅炉点火做好准备
6	启动等离子系统恢复功能
7	建立炉前燃油循环
8	按启动方式启动一次风机
9	投入空气预热器吹灰
10	按照选择的点火方式进行锅炉点火，投入第一套制粉系统

续表

序号	主 要 任 务
11	投入旁路压力及温度自动, 开凝汽器喷水阀, 煤量至 30t
12	投入锅炉疏水系统连锁
13	投入第二套制粉系统
14	进行第二台汽动给水泵暖机
15	按照启动曲线进行升温升压至冲转参数

锅炉点火完成后进入升温升压。升温升压的主要任务是完成锅炉升温升压直到汽轮机具备冲转条件。升温升压主要由第一套制粉系统完成, MCS 根据升温升压曲线调节锅炉负压、一次风压、送风量等, FSSS 根据锅炉负荷要求自动完成油枪投入工作, 旁路系统适时参与调节主蒸汽、再热蒸汽压力、流量, 根据冷热态各自启动曲线配合锅炉完成升温升压。期间适时完成抽真空、汽轮机轴封供汽, 直到主蒸汽达到汽轮机冲转条件。

(3) 冲转及并网。汽轮机冲转部分具体步序见表 1-8。

表 1-8 汽 轮 机 冲 转 步 序

序号	步 序
1	投入汽轮机各阀门组的子环
2	投入汽轮机限制控制器
3	投入汽轮机本体疏水子环
4	开启汽轮机调节门前疏水门
5	启动汽轮机润滑油泵检查顺控子组
6	检查汽轮机主汽门打开前的各项条件合格
7	检查蒸汽参数
8	设置初始负荷
9	确认高压缸排气通风阀关闭状态, 监视时间 30s
10	手动释放蒸汽品质选择
11	开调节门, 汽轮机冲转至暖机转速
12	退出蒸汽品质合格确认子环
13	准备升至额定转速前, 设定汽轮机调节门阀限, 检查汽轮机暖机效果
14	汽轮机升至额定转速
15	所有主汽门前疏水阀、电磁阀关闭, 所有调节门前疏水阀、电磁阀关闭
16	退出额定转速释放子环
17	保持汽轮机在额定转速运行, 以便暖透汽轮机中压缸部分
18	向分散控制系统 (DCS) 发送允许发电机并网信号
19	放开汽轮机调节门的开度限制, 汽轮机调节门参与负荷控制
20	压力控制方式切换至初压方式

锅炉升温升压完成, 蒸汽达到汽轮机冲转条件, APS 进入汽轮机冲转断点。汽轮机冲转断点完成汽轮机冲动、低速暖机与检查、中速暖机直到 3000r/min 定速为止。汽轮机冲转主要由 DEH 完成, 由 APS 发出汽轮机复位、挂闸、冲转、暖机、阀切换、



3000r/min 定速等指令。汽轮机完成冲转达到 3000r/min 定速，具备机组并网条件，APS 可以进入机组并网断点。并网断点主要完成发电机的起励、自动同期、汽轮机带初始负荷。断点任务主要由电气的自动同期功能组和 DEH 的汽轮机自动初始负荷控制完成。

汽轮机冲转断点启动允许条件及完成条件见表 1-9。

表 1-9 汽轮机冲转断点启动允许及完成条件

序号	条 件
汽轮机冲转断点启动允许条件	
1	锅炉点火升温断点启动完成，至少两套制粉系统投入
2	锅炉升温升压完成，主蒸汽压力达到汽轮机冲转条件（分冷、温、热、极热态）
3	汽轮机辅助油泵运行，润滑油压力正常
4	抗燃油泵运行，抗燃油母管压力正常
5	空、氢侧密封油泵运行
6	定子冷却水泵运行
7	汽轮机盘车运行
8	汽轮机转速大于 20r/min
9	汽轮机轴封压力正常
汽轮机冲转断点完成条件	
1	汽轮机转速大于 2970r/min
2	DEH 汽轮机冲转完成
3	压力控制方式切换至初压方式

（4）机组升负荷。机组升负荷断点主要任务见表 1-10；机组升负荷断点完成条件见表 1-11。

表 1-10 机组升负荷断点主要任务

序号	主 要 任 务
1	根据机组负荷要求，BMS 完成第三、四套制粉系统的投入
2	完成并泵控制，2 台汽动给水泵投入
3	完成送风、燃烧、给水、蒸汽温度等相关调节系统的自动投入，直到投入协调控制系统
4	完成除氧器、汽轮机轴封供汽汽源的自动切换
5	完成厂用电切换等

表 1-11 机组升负荷断点完成条件

序号	完 成 条 件	序号	完 成 条 件
1	厂用电切换完成	4	自动并泵已完成，两台汽动给水泵运行
2	高压加热器投入	5	协调控制方式已投入
3	给水旁路调节门退出，主给水切换完成		

升负荷断点从机组并网带上初始负荷开始到两台汽动给水泵投入。这个过程为 APS 任务最大、最多、最繁重的断点。汽轮机投高压加热器，锅炉启动第三、四套制粉系统，

燃烧、主蒸汽温度、再热蒸汽温度等调节系统的自动投入，协调系统的投入，电气厂用电的切换都是在这个断点完成。升负荷断点过程控制的关键点包括：辅助蒸汽及管道的暖管、给水泵汽轮机的暖机及冲转、除氧器的投用、锅炉上水及建立水循环、磨煤机的预暖及点火控制、无电动给水泵全程给水控制，自动并泵及给水控制方式的切换、汽轮机的冲转等。

(5) 降负荷。降负荷断点执行前，应确认 APS 停机方式选择正确，相关系统就地检查完成，相关闭环回路及设备备用选择正常。

在执行降负荷操作时，需要确认的条件包括：①高压加热器汽侧系统检查完毕；②机组处于协调控制模式，负荷大于 40%；③燃油跳闸阀打开；④高旁压力调节门、温控阀、给水旁路调节门、360/361 阀自动备用状态；⑤凝结水补给水调节门、闭式冷却水箱凝补水调节门、凝汽器水位主副调节门、除氧器水位主副调节门、汽动给水泵控制、引风机导叶控制、送风机动叶控制、轴封溢流站调节门、辅助蒸汽至轴封减温水调节门、辅助蒸汽至轴封压力调节门、低压轴封喷水调节门、发电机定冷水温控阀、发电机定子冷却水压力调节门、一次风机动叶、低压加热器水位调节及危急疏水、润滑油冷却器温控阀均在自动位。

(6) 停机过程的确认项目及完成条件。机组从额定负荷执行停机程序，机组开始按照预定速率减负荷，在设定负荷点进行停运制粉系统及汽动给水泵，包括干湿态转换，至低负荷区域投入油枪或等离子点火装置，继续降低机组出力至停机点汽轮机打闸、发电机解列，之前汽轮机油系统投入运行。最后停运全部制粉系统及燃油系统，锅炉 MFT。锅炉熄火后，逐步停运风烟系统、给水系统、凝结水系统、真空及轴封系统、循环水系统直至所有辅助系统停运。

停机过程有两种模式供运行选择：不保留凝结水停机模式和保留凝结水停机模式。

1) 不保留凝结水停机模式用于长时间停机，包含减负荷、滑参数、汽轮机停机、停辅助系统、破坏真空、停轴封，最终将所有设备停运。

2) 保留凝结水停机模式用于暂时性停机，保留凝结水系统、真空及轴封系统、油系统运行，其余设备停运，等待机组再次投运。

(7) 机组解列及停运。机组解列断点中将进行汽轮机打闸，检测内容有发电机出口开关断开，相应汽门及抽汽门关闭，汽轮机打闸后由旁路接管蒸汽压力控制。

机组停运断点的启动允许条件包括：①发电机出口开关断开，汽轮机跳闸；②高压旁路压力调节门、温度调节门、凝结水补给水箱补水调节门、闭式冷却水箱凝结补水调节门、凝汽器水位主副调节门、除氧器水位主副调节门、给水旁路调节门、360/361 阀、引风机导叶控制、送风机动叶控制均在自动。

(二) APS 设计

1. APS 管理逻辑设计

自启停控制系统上层公用管理逻辑包括了：

(1) APS 投入允许条件：手动确认 APS 启动前外围相关系统已经正常。

(2) APS 投入：当 APS 已撤出且投入允许条件已满足的情况下可手动投入。

(3) APS 退出: 满足下列条件之一时退出 APS:

- 1) 手动退出。
 - 2) APS 启动模式下升负荷断点完成, 延时 5s。
 - 3) APS 停止模式下机组停运断点完成, 延时 5s。
 - 4) 非机组停运断点执行时发生 MFT。
 - 5) 非机组解列断点执行时发生汽轮机跳闸。
 - 6) 发生辅机故障减负荷 (Run Back, 简称 RB)。
- (4) APS 启停模式选择: 相互闭环复位。

(5) 机组启动状态判断: 当启动模式选择后, APS 根据汽轮机的调节级金属温度判断汽轮机的四种启动状态。当锅炉点火时, APS 根据汽水分离器温度判断锅炉的启动状态。

(6) APS 启停目标断点选择: 当启停模式被选择后, 可手动对未完成的断点选择执行, 并复位原被选中的断点。

(7) APS 断点执行相互闭锁。

2. APS 与其他系统接口

APS 是机组自启停的信息控制中心, 它按规定好的程序发出各个设备/系统的启动或停运命令, 并由以下系统协调完成: MCS、CCS、炉膛安全监视系统 (FSSS)、DEH 系统、SCS、给水全程控制系统、燃烧器负荷程控系统及其他控制系统, 以最终实现发电机组的自动启动或自动停运。

APS 是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他顺控功能组、FSSS、MCS、汽轮机控制系统、旁路控制系统等的控制指令来完成机组的自启停控制。作为基于 MCS、BMS、SCS、DEH、MEH、ECS、BPS 之上的机组级管理、调度系统, 实现 APS 与这些底层控制系统的无缝连接是实现机组自启停功能的关键。因此, APS 的接口设计要求规范统一, 方便系统间的信息交互及调用, 以实现这些底层系统之间的相互响应, 这些接口设计的好坏将直接影响 APS 执行的可靠性和有效性。

(1) APS 与 MCS 接口。MCS 将根据机组各工况、各系统设备的投切情况、运行状态与取自工艺系统的温度、压力、流量、负荷等过程参数做综合判断, 实现自动调节系统的自举 (手自动切换) 功能。根据各启动方式按主设备厂商提供的参数、曲线和以往的经验曲线、参数实现模拟量调节系统的定值自动给定、自动调节。

在启机、暖炉阶段, 主要调节轻油流量来控制锅炉的升温升压, 汽轮机旁路系统起辅助调节作用。暖炉完成, 开始投入制粉系统。制粉系统超过两层后, 燃料主控和锅炉主控投入自动, 然后 APS 发出 DEH 投遥控指令。DEH 投入遥控后汽轮机主控投入自动, 机组进入 CCS 协调控制方式。机组将根据预先设定的目标负荷与升负荷率自动升负荷。

在 CCS 协调控制方式下, 燃料主控根据锅炉负荷请求指令自动调节给煤机的转速, 增加给煤量, 满足机组对燃料的用量请求。通过 CCS 来的负荷请求, 燃烧系统依照锅炉煤量与机组负荷曲线; 计算锅炉燃料需求量, 然后向 BMS 发出煤层增减请求信号, BMS