

火力发电机组过程控制工程师培训教材

电液调节 系统

第五册

江苏省电力科学研究所有限公司 组编
高爱民 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



教育部普通高等院校机电类专业工程训练课程教材

电液调节 系统

第2版

清华大学电机工程与应用电子技术系 编

高晋民 主编

清华大学出版社
Tsinghua University Press

火力发电机组过程控制工程师培训教材

电液调节系统

(第五册)

江苏省电力科学研究院有限公司 组编
高爱民 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是《火力发电机组过程控制工程师培训教材》丛书的第五分册。本书着重介绍了电液控制系统的组成、基本控制功能、标准接口及典型 ATC 控制流程,并结合工程实践,提出了电液控制系统常见的问题,有针对性地给出了处理方法。主要内容包括电液控制系统的基本构成、电液控制系统的控制装置及其控制原理、电液控制系统的基本控制功能及其软件组态、电液控制系统与其他系统的接口及注意事项、电液控制系统的超速保护功能、典型的 ATC 控制流程、电液控制系统的调试方法及流程、电液控制系统的常见故障及排除方法等。

本书可以作为生产控制过程工程师的培训教材,同时对从事热工自动控制系统现场运行的技术人员能起到交流经验、提高分析能力的作用,也可供大中专热工自动控制专业的师生参考

图书在版编目(CIP)数据

电液调节系统/江苏省电力科学研究院有限公司组编;
高爱民编. —北京:中国电力出版社, 2004

火力发电机组过程控制工程师培训教材

ISBN 7-5083-2553-2

I. 电... II. ①江...②高... III. 蒸汽透平-液
压调节系统 IV. TK263.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 085967 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 12 月第一版 2004 年 12 月北京第一次印刷

850 毫米 × 1168 毫米 32 开本 4.625 印张 118 千字

印数 0001—3000 册 定价 10.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

编审委员会

主任委员 王海林

副主任委员 蒯狄正

委 员 张红光 鲁松林 张 斌 陈 斌

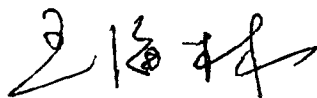
王 继

火力发电机组过程控制系统是随着现代大型工业生产自动化的不断兴起和过程控制要求的日益复杂应运而生的综合控制系统，它是计算机技术、系统控制技术、网络通信技术和多媒体技术相结合的产物，是完成过程控制、过程管理的现代化设备。现代化的电力企业已经大规模地使用集散控制系统作为企业生产过程的自动化控制。

先进的控制技术带来的好处是显而易见的，但也要求电力企业员工特别是过程控制工程师有很高的人力素质（包括专业技能），现在电力企业的经营，人力素质的提升成为企业竞争中最重要经营策略之一。提升人力素质就是提高电力企业各方面品质，就是提高生产力，就是提高竞争力。而提高人力素质最直接、最有效而成本最低的方法就是教育培训。

随着自动控制技术的发展，在发电企业中过程控制的重要性被逐渐体现出来，为了使发电机组安全、稳定的运行在电网中，发电企业需要一大批有相当专业技能和很高人力素质的过程控制技术及其过程控制技术管理人员。过程控制工程师培训就是针对火力发电机组生产过程的热工控制专业技能的一种提高方式。

因此，江苏省电力科学研究院有限公司（江苏省电力公司技术中心）在培训讲义基础上组织编写了本套培训教材，它得到了江苏省电力公司、东南大学动力系及有关发电企业的各位领导和同仁的指导和帮助，谨向他们表示诚挚的谢意。



2004年7月6日

前言

随着计算机控制系统的发展和日趋成熟,汽轮机控制系统从以往的纯液压调节系统逐步过渡到与计算机控制系统相结合的电液控制系统。其中经过电液并存的汽轮机控制系统,作为一种过渡性的控制系统,在早期也得到了运用。如今,电液控制系统作为汽轮机唯一的控制手段,在 50MW 以上汽轮发电机组得到了广泛的应用,因其灵活多样的控制功能、精确的调节品质而取得了较高的经济性和稳定性。因此,电液控制系统是电厂中一个非常重要的控制系统。

因液压控制系统的不同,电液控制系统又分为高压电调和低压电调。相对而言,高压电调应用的范围更为广泛。本书以高压电调为例,重点介绍了电液控制系统的组成、液压执行机构的原理、电液控制系统的主要功能等。力求深入剖析电液控制系统的功能及其实现的原理。

本书注重实用性和可操作性。为此,增加了电液控制系统的调试方法这一章的内容。从现场实际的调试工作中,介绍了一套完整的调试方法和调试流程。另外,结合现场的调试经验,还介绍了电液控制系统常见故障的分析及处理办法。

本书除了介绍电液控制系统的基本功能外,还选编了一些电液控制系统的相关论述,以此作为一种学习和提高的手段,力求对电液控制系统有更加深入的理解。

李玮同志为本书绘制了所有的插图,在此表示衷心感谢!

由于作者水平有限,加之编写时间仓促,谬误和不妥之处也在所难免,敬请各位批评指正。

高爱民

二〇〇三年十月

目 录

序

前言

第一章	概述	1
第一节	控制系统概况	2
第二节	汽轮发电机组的运行要求和控制特性	7
第三节	DEH 应具备的功能	12
第二章	DEH 的系统组成	15
第一节	DEH 控制装置的组成	15
第二节	分散控制器 (DPU)	17
第三节	DPU 的工作	19
第四节	DPU 的冗余切换	20
第五节	输入/输出卡件	22
第六节	阀门控制卡	23
第七节	手动操作盘	27
第三章	DEH 的基本控制系统	31
第一节	控制方式及其选择逻辑	31
第二节	DEH 控制框图	37
第三节	设定值处理功能	43
第四节	目标值有效性判断	46
第五节	高、低负荷限制值设定	48
第六节	自动控制系统	55
第七节	阀位限制功能	63

第八节	阀门管理功能	65
第九节	主汽压力限制 TPL	70
第四章	标准接口	75
第一节	DEH 与 DCS 协调控制系统的连接	75
第二节	DEH 与自动同期装置的接口	86
第三节	DEH 与旁路系统接口	88
第五章	超速保护控制系统	90
第一节	中压调节阀门的快关快开作用 (CIV)	90
第二节	负荷下跌预测功能	93
第三节	超速控制功能	94
第六章	ATC 功能	96
第一节	ATC 的基本任务	96
第二节	控制子程序	103
第七章	DEH 现场安装及调试	112
第一节	DEH 装置安装调试	112
第二节	DEH 现场仿真试验	116
第三节	联动试验	120
第八章	经验与交流	124
第一节	伺服系统故障与处理	124
第二节	转速通道故障与处理	125
第三节	基本控制回路系统故障与处理	125
第四节	DEH 顺序阀控制的参数整定	127
第五节	DEH 系统与旁路系统接口问题探讨	133

概 述

数字式电液控制系统 (Digital Electro-Hydraulic Control System) 是 20 世纪 70 年代后期发展起来的大型汽轮发电机组的自动控制装置。20 世纪 80 年代初, 我国引进的山东石横发电厂 300MW 机组和淮南电厂 600MW 机组上装配了美国 Westinghouse (西屋) 公司的 DEH 装置。在随后引进或国产的 300MW 以上机组都配置有各种形式的 DEH 系统。随着电液控制系统技术的日益成熟, 在 200MW 机组及以下容量机组上, 电液控制系统也得到了广泛应用。

传统的汽轮机控制装置采用液压调速器。它作为汽轮机本体的一个重要组成部分, 经过长期的使用和改进后具有很高的可靠性, 并积累了成熟的运行经验。随着单机容量的增大, 为了保证电网的稳定, 对汽轮发电机组的功率控制提出了新的要求。而液压调速器由于它固有的缺陷难以实现功率控制。因而 20 世纪 60 年代末期出现了在液压控制基础上增加机组功率控制功能的电液控制系统。

随着单机容量的继续增大, 尤其是大型机组采用单元制运行方式, 对汽轮发电机组的控制要求也提高了, 原有的液压调速器和在此基础上形成的电液调节系统已无法满足大型汽轮发电机组的控制要求。同时, 由于计算机技术的迅速发展, 电力生产过程中计算机应用的日益广泛, 应用技术日趋成熟, 所有这些都为汽轮发电机组这一控制要求较高的生产过程实现计算机控制提供了可能, 数字式电液控制系统, 即通常简称的 DEH 系统就应运而生。

DEH 系统具有数字系统的灵活性、模拟系统的快速性和液

压系统的可靠性。功能较原有的汽轮机控制系统大大地扩展了,集自动控制、过程监控和保护于一体。不仅具有机组正常运行时的控制功能,还实现了机组的自动启动。DEH 系统通过 I/O 通道或数据通信能方便地与外部系统相连接,成为电厂集散控制系统中的一个重要的过程控制站。

在我国的大型发电机组中大多采用美国西屋公司的 DEH 系统。该系统采用的计算机从最初的 W2500 小型机,后改为 W2500 微机,到目前配置分散控制系统的电液控制系统。其硬件系统的变化是比较大的,但软件功能基本相同。随着国内对电液控制系统深入地理解和研究,许多单位也自行研发了数字式电液控制系统。如上海汽轮机厂、哈尔滨汽轮机厂、新华控制工程有限公司等均自行研制了基于不同的分散控制系统的电液控制系统。电液控制系统从油系统的配置上可以分为高压抗燃油系统和低压润滑油系统,相对而言,高压抗燃油系统得到了更为广泛的应用,特别在 300MW 以上大型机组的控制中,一般都选用高压抗燃油电液控制系统。低压润滑油系统因为油系统结构简单,投资小,在 135MW 以下容量的机组的控制中应用较多。

DEH 系统是针对电厂汽轮机运行要求和特点研制的专用控制装置。因此,要了解和熟悉 DEH 系统首先必须熟悉电厂热工生产过程,特别是汽轮发电机组的运行。

第一节 控制系统概况

DEH 控制装置与被控的汽轮发电机组构成的控制系统如图 1-1 所示。

图上部的汽轮发电机组是被控对象,由锅炉产生的主蒸汽通过主汽门(TV)和高压调节阀门(GV)进入汽轮机的高压缸。在高压缸内做功后排出的蒸汽又送回到锅炉的再热器,经再热后通过中压主汽门(RV)和中压调节阀门(IV)先后进入中压缸

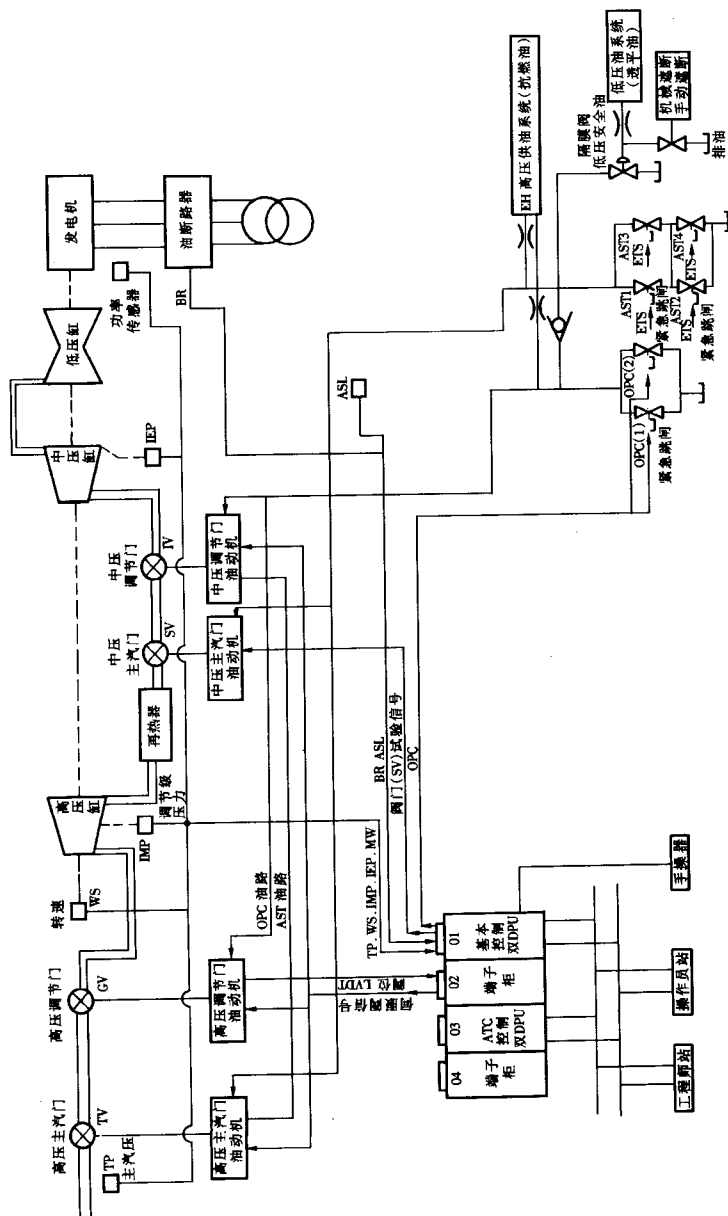


图 1-1 DEH 系统图

和低压缸再做功，然后排入凝汽器。由汽轮机带动的发电机产生电能通过电气主开关送至电网。改变高压调节阀门、中压调节阀门的开度可调整送入汽轮机的蒸汽量，从而改变发电机的发电量。

图 1-1 的左下方是 DEH 控制器。它通过 I/O 通道接收被控对象的运行状态信息，这些信息包括汽轮机转速 WS、汽轮机调节级汽室压力 IMP、发电机输出电功率 MW 和中压缸进口的再热蒸汽压力 IEP。另外还有电气主开关的状态信息 BR。DEH 控制器还通过 I/O 通道对汽轮机的高压主汽门、高压调节阀门、中压主汽门（截止阀）和中压调节阀门输出阀位控制指令，这些控制信号通过电液转换器去控制各个阀门的油动机使之开启或关闭。DEH 控制器还可通过 I/O 通道与远方控制系统相连接。这些远方控制系统包括自动调度系统（ADS）、锅炉控制系统、自动同步器（AUTO SYNC）和电厂计算机系统等。它也可接受外部要求机组减负荷的 Runback 信号。与 DEH 控制器相配的还有操作员站、工程师站和手操盘等。

图 1-1 的右下方是为阀门油动机提供高压驱动油的供油系统和危急遮断系统。

高压供油系统出来的高压油经电液转换器后进入阀门油动机以驱动阀门。一路经节流后与危急遮断系统的自动脱扣母管相连接，该脱扣母管与阀门油动机的泄油阀相通。

图 1-2 为阀门液动执行器结构示意图。

DEH 控制器通过阀门控制卡（MVP）输出阀门控制信号至电液转换器的两个绕组，使挡板发生偏移，造成左右两喷管内的油压变化，滑阀就向左或向右偏移。在滑阀移动的同时，反馈弹簧片产生一个与挡板偏移力相平衡的反馈力。滑阀的偏移引起输出油量的变化。

电液转换器呈比例环节特性。当阀门开度达到阀位控制信号所要求的值时，电液转换器控制信号为零，滑阀恢复平衡位置，电液转换器的输出油路被截断，阀门油动机处于保持状态，阀位

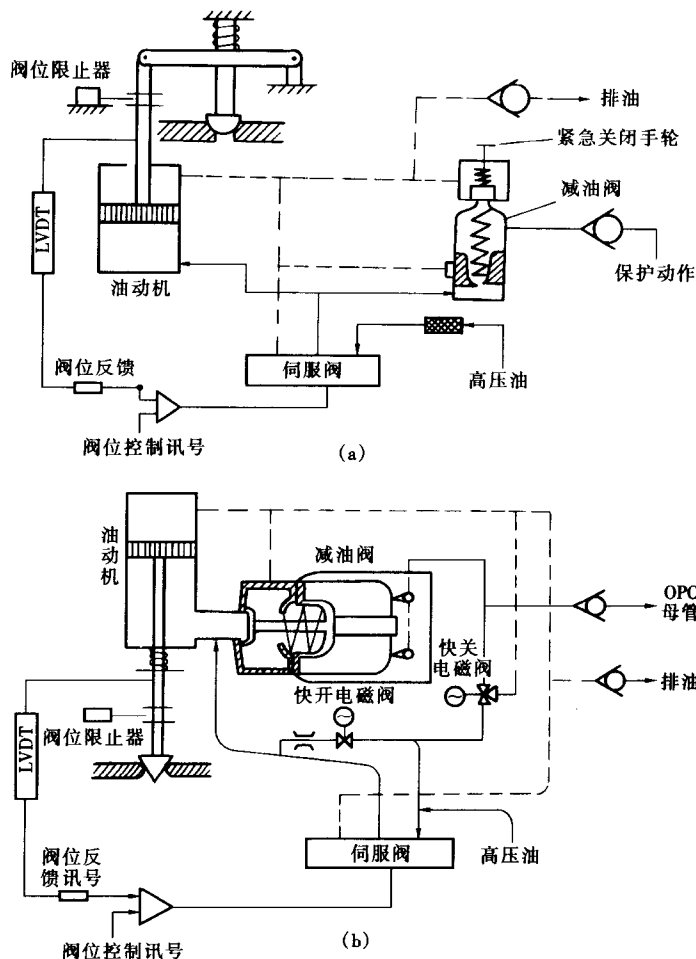


图 1-2 阀门液动执行器结构示意图

(a) 主汽门、高压调节阀门的液动执行器；(b) 中压调节阀门的液动执行器

保持不变。

在正常运行情况下，阀门执行机构的油动机内活塞移动速度（即阀门的开关速度）取决于电液转换器输出油压的大小。其动

态特性是一个积分环节。装在油动机上的线性可变差动变压器 (LVDT - Linear Variable Differential Transformer) 根据油动机活塞的位置产生阀位反馈讯号。在危急情况下, 危急遮断系统的脱扣母管油压下跌时, 使液动执行机构的泄油阀打开, 将高压控制油泄去, 油动机活塞在弹簧力的作用下立即将阀门关闭。机组启动前必须首先使危急遮断系统复位及汽轮机挂闸 (ASL - AutoStopLatch), 使危急遮断系统的脱扣母管油压恢复, 各个阀门液压执行机构的泄油阀关闭, 才能开启阀门。在中压调节阀门的液动执行机构上还有两个由电磁阀控制的泄油管路和进油管路, 用于 OPC 保护动作时快关、快开中压调节阀门。

通过节流阀与高压供油系统相连接的自动停机跳闸母管上装有危急遮断电磁阀 (AST 电磁阀), 可接受危急遮断系统 (ETS) 发出的停机信号而遮断汽轮机。引起汽轮机跳闸信号主要有:

- (1) 凝汽器真空低;
- (2) 轴承润滑油压低;
- (3) 轴向位移大;
- (4) 汽轮机差胀大;
- (5) 抗燃油压力低;
- (6) 汽轮机超速 110%;
- (7) 锅炉 MFT;
- (8) 发电机主保护动作;
- (9) 手动停机。

其中任一跳闸信号出现均可使汽轮机停机。

自动停机跳闸母管又通过一个常闭隔膜阀与机械超速和手动跳闸母管相连接, 后者的油压是由高压润滑油系统经节流后建立的, 一旦出现机械超速或手动跳闸时, 该母管压力就降低, 使常闭隔离阀开启, 释放自动脱扣母管的压力, 使汽轮机停机。

自动停机跳闸母管还通过一个逆止门与 OPC 脱扣母管相连接, 见图 1-3, 高压主汽门 TV 和中压主汽门 RSV 的泄油阀是连在自动停机跳闸母管上, 而高压调门 GV 和中压调门 IV 的泄

油阀是连在 OPC 脱扣母管上。当自动脱扣母管油压降低时，OPC 脱扣母管油压也随之降低，使 GV、IV 和 TV、RV 同时关闭；反之为 OPC 保护动作使 OPC 脱扣母管压力降低时，由于逆止门的缘故，自动停机跳闸母管的油压不受影响，这时只关闭 GV 和 IV。

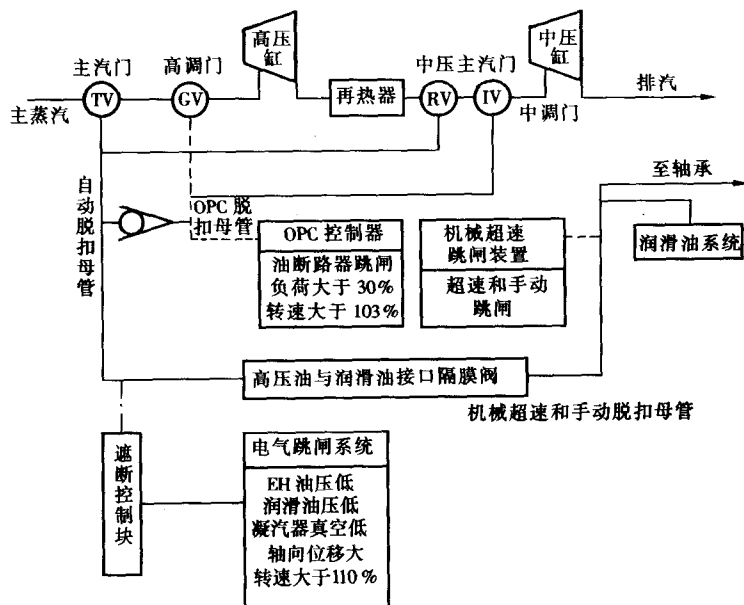


图 1-3 OPC 油母管与停机母管连接示意图

第二节 汽轮发电机组的运行 要求和控制特性

在正常运行时，并网的汽轮发电机组，其输出电功率是由运行人员根据要求设置的，也可以根据中调所的指令进行调整，以满足电网负荷的要求。其转速是与电网频率相一致的，保持与 50Hz 频率相对应的 3000r/min。当电网负荷变化时，电网的频率

会发生波动，这时挂在电网上的汽轮机的转速也会发生变化。为了满足电网负荷变化的要求，所有挂网机组应快速地通过汽轮机的高压调节阀门来调整汽轮机的进汽量，使机组的功率做相应地改变，以完成一次调频任务。对于承担调频任务的机组来说，一次调频时机组功率的变化量相对比较大，而带基本负荷的机组，功率的变化相对比较小。

无论稳定工况下还是变动负荷，汽轮机进口的蒸汽压力必须保持在要求范围内，以保证汽轮机运行的安全。在通常情况下，主蒸汽压力升高时，汽轮机调门关小；主蒸汽压力降低时，汽轮机调门开大。如果锅炉机组发生异常情况无法保证蒸汽量要求，使主蒸汽压力下跌过多，而影响机组安全运行时，汽轮机必须关小调节阀门，以减小汽轮机负荷来抬高主蒸汽压力至要求范围内。当电厂某些重要辅机出现异常情况或故障需要降低负荷时，汽轮机也应及时按一定速率关小高压调节阀门，减低负荷至相应数值。

当电网部分甩负荷时，电网频率会发生很大波动，使并网机组与电网失步，严重失步会造成电网解裂，因此要求并网机组在电网部分甩负荷期间暂时减少向电网输送电功率，以帮助电网快速达到稳定。通常是瞬间关闭中压调节阀门，暂时减少机组出力，然后快速开启。中压调门关闭时间取决于电网的稳定性。

当电气故障引起发电机主断路器突然跳闸时，这会引起汽轮发电机组的超速。此时应立即关闭高压调节阀门和中压调节阀门，以避免机组过分超速而引起机械超速保护系统动作，造成机组停机。通常只要机组转速不超过额定转速的10%，自动停机跳闸母管就不动作，应通过调整高压调节阀门和中压调节阀门来维持汽轮机在额定转速下空载运行。一旦电气故障消除，允许并网时，可立即并网带负荷运行。

在机组运行过程中，需随时监视各项参数和安全性指标，如主蒸汽温度、压力、汽缸内外壁温差、转子与汽缸的差胀、