

电力技术继续教育科目指南丛书

汽轮机调节及保护系统

四川省电力公司 编
四川电力教育协会



中国电力出版社

电力技术继续教育科目指南丛书

汽轮机调节及保护系统

四川省电力公司 编
四川电力教育协会

中国电力出版社

内 容 提 要

为了促进电力企业专业管理人员和专业技术人员的继续教育和岗位培训工作,四川省电力工业局、四川省电力教育协会组织编写了《电力技术继续教育科目指南丛书》。本书根据目前大容量汽轮发电机组广泛使用的调节系统 DEH 及保护的实际情况,介绍了主要调节系统和保护系统的组成和功能。全书共四章,着重介绍了 DEH 的组成及功能,汽轮机其他调节系统,汽轮机保护系统的要求、组成和调整试验。

本书可作为火力发电厂中从事热工及汽轮机专业的专业人员和管理人员的继续教育培训教材,也可作为大专院校的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

汽轮机调节及保护系统/四川省电力公司,四川电力教育协会编. —北京:中国电力出版社,2003

(电力技术继续教育科目指南丛书)

ISBN 7-5083-1369-0

I. 汽... II. ①四... ②四... III. ①蒸汽透平-调节系统②蒸汽透平-安全装置 IV. TK26

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 002690 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2003 年 6 月第一版 2003 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 3.5 印张 73 千字

印数 0001—3000 册 定价 8.00 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)

关于推荐使用 “电力技术继续教育丛书” 的通知

教成 [1998] 11 号

为了促进电力企业专业管理人员和专业
技术人员的继续教育和岗位培训工作，四川
省电力工业局、四川省电力教育协会组织编
写，并由中国电力出版社出版了《电力技术
继续教育丛书》（一套 15 册），谨向各单位推
荐使用。

中电联教育培训部

一九九八年三月十六日

《电力技术继续教育科目指南丛书》

编 委 会

主任委员：薛嘉璋

副主任委员：汪朝荣 凌廷亮

委 员：汪朝荣 朱国俊 侯太明 林文静

汤明俊 苏长华 贺含峰 张永领

王方强 陈绍彬 曹永兴 曾 宏

秦 刚 廖永纲 程树其 于康雄

总 编：汪朝荣

副 总 编：林文静

主 审：沈迪民 汤明俊 陈嵩铮

序

为贯彻《中国教育改革和发展纲要》中提出的职工教育要“把大力开展岗位培训和继续教育作为重点，重视从业人员的知识更新”的要求，使职工教育工作更好地为电力系统专业技术人员和管理人员拓展专业知识，提高专业技术水平和管理能力服务，为电力企业安全文明生产“双达标”、“创一流”服务，为促进电力事业的发展服务，在四川省电力公司的领导下，四川省电力教育协会与四川省电力公司人力资源部教育培训处组织一批专家、教授和工程技术人员，联系电力系统的实际，结合国内外电力技术现状及发展方向，贯彻继续教育面向现代化、面向世界、面向未来的方针，编写了第三批《电力技术继续教育科目指南丛书》，作为对电力系统专业技术人员进行继续教育的培训教材，也为电力系统的管理人员和生产人员提供一套学习资料。

第三批丛书共三册，分别是：《火电厂环境监测》、《汽轮机控制系统》、《高压带电作业》等，全部由中国电力出版社出版发行。

本批丛书在编写与审稿全过程中，得到了四川省电力公司领导 and 有关部门的大力支持与帮助。承担编写工作的四川电力试验研究院、内江发电总厂

等单位为丛书的编写提供了良好的工作条件，给予了极大的支持，在此一并表示感谢。

由于编者水平所限，错漏在所难免，诚望读者指正。

《电力技术继续教育科目指南丛书》

编 委 会

2003 年 4 月

前 言

为了搞好继续教育，提高专业人员、技术人员、管理人员的技术水平，保证汽轮发电机组运行的安全性，按四川电力公司教育处的要求，编写了《电力技术继续教育科目指南丛书 汽轮机调节及保护系统》一书，供有关人员学习。

本书详细的介绍了汽轮机几种调节系统与保护系统的组成及工作原理。本书共分四章，其中第二章第一节为内江发电总厂陈绍斌高工编写，其余为钟伯禹编写。这里要特别感谢汤明俊、彭正发两位高工为本书提出了不少宝贵意见。

由于时间有限，加之本人实际水平及经验有限，文中可能有不少错误，望读者提出宝贵意见，不胜感谢。

编 者

2001 年 10 月

目 录

序

前言

第一章	概述	1
第二章	汽轮机调节系统	5
第一节	液压调节系统	5
第二节	电液并存型调节系统	11
第三节	汽轮机纯电调系统	19
第四节	数控电液控制系统功能	36
第三章	汽轮机其他调节系统	58
第一节	旁路控制系统	58
第二节	供热机组的抽汽压力调节系统	72
第三节	其他调节系统	76
第四章	汽轮机保护系统及定期试验	80
第一节	汽轮机保护系统功能及定值要求	80
第二节	汽轮机保护监测系统	84
第三节	汽轮机保护控制系统	90
第四节	汽轮机保护系统调试	95
第五节	汽轮机保护系统定期试验	98



概 述

火力发电厂是利用热能转变成机械能，再由机械能转变成电能并向用户提供电能的。产生热能的形式很多，可以用煤产生热能，也可以通过核反应堆产生热能，或者通过地热等其他形式产生热能。

肩负着将热能转变成机械能的设备之一就是汽轮机，国外称作透平（Turbine）。汽轮机主要由静叶（喷嘴）和紧连着轴转动的动叶组成。具有一定温度和压力的蒸汽通过喷嘴，在喷嘴中膨胀（具有一定反动度的汽轮机，蒸汽在叶片中也要膨胀），将其热能释放出来冲动动叶片，动叶带动转轴转动变成机械能。汽轮机的转轴连接着发电机转轴，使发电机的轴转动带动磁场转动，切割磁力线，从而产生工农业和其他各行各业所需要的电能。由此可见，在火力发电厂中，要想获得大量的电能，汽轮机是必不可少的设备之一，当然有的场合也不需要汽轮机，如磁流体发电，仍是由热能变成电能，当中就没有使用汽轮机，不过当今世界上绝大多数火力发电厂还是使用汽轮机，尤其是要想获得大量电能。因此到目前为止，汽轮机仍是不可缺少的发电设备。

汽轮机在发电厂中除了带动发电机向用户源源不绝地送出质量合格的电能外，有的电厂还向热用户送出一定数量和

质量（温度和压力）的蒸汽，以保证热用户的用热需要。

发电厂的产品主要是电能，但电能的特性有别于其他行业的产品，它是根据用户的需要而生产的，即用户要多少，发电厂就生产多少，不能够大容量地储存和保管，总之每时每刻都应适合外界负荷的需要而生产电能。从广义上讲发电厂的调节就是适应外界负荷的需要，而具体的执行者就是汽轮机。

汽轮机的输出功率在近 20 年来也有了相当大的变化，小的只有几百千瓦，世界上最大的则超过百万千瓦，汽缸个数也由单缸发展到多缸，因此对它的控制也越来越复杂。

汽轮机的控制系统过去通常由汽轮机制造厂设计并提供成套设备。20 世纪 80 年代以前，国产汽轮机都使用液机械式控制系统，而到了 20 世纪 90 年代，随着电子技术和自动化技术的发展，汽轮机的控制也取得了突破性的进展。它是以微处理器为核心，以电液转换器为接口的电液控制系统，简称电调系统（DEH）。和全液压的调节系统相比，电调系统具有很多方面的优越性。由于电子调节器便于信号的综合和分析，所以可以实现许多液压调节系统不能实现的功能。传统的液压系统从根本上讲只具有单一的调速功能，这种系统能够满足电厂发电这一最根本的要求，但是，面对电力用户对供电品质提出的越来越高的要求，提高机组运行的综合自动化水平已经成为当务之急。目前数字电子技术的应用日趋成熟可靠，在提高自动化水平的同时保证电厂长期稳定的运行不再是一件可望而不可及的事情，电调系统具有精度高、运行稳定、操作灵活方便等多种优越性，并且可以和 DCS（分散控制系统）接口，实现整个系统的综合控制功能，同时在操作频繁的启动阶段，能够减轻运行人员的操作

强度。

电调系统在我国经历的时间大致有 10 多年，而在西方世界早在 20 世纪 70 年代就开始研制，20 世纪 80 年代广泛使用。早期的调节系统多半为模拟调节系统，比如 ALSTHON 公司的 REC-70 型、GE 公司的 MARK-II A 和 MARK-III A 型都是由模拟电路组成，这些系统在综合信号能力和实现一些特殊控制功能方面比机械液压式调节系统已经有了比较大的突破，但和其他设备的通信联系方面显得比较困难一些。近期的，如三菱公司的 MIDAS-8000 型、BBC 公司的 Procontrol-p 型以及我国新华公司的 DEH-III A 与和利时公司的 HS2000 型等都是由微机元件作为核心部分组成的分散控制系统，无论是调节功能还是保护功能都比较齐全，为汽轮发电机组的安全、经济运行提供了可靠的保证。

汽轮机的控制系统包括本体自身的控制系统和其他辅助设备的控制系统。本体控制系统通常包括调节系统、保护系统、监视系统、顺控系统、热应力计算系统和液压伺服系统等。

调节系统的基本功能是汽轮机的转速调节和功率调节，对于特定的机组还可以包括其他参数的调节。当汽轮机采用中压缸启动和滑压运行时，调节系统的功能则应包括再热器压力调节及旁路控制功能。

保护功能是在发电机解列或汽轮机本身以及辅机发生故障时，将汽轮机退出工作状态以避免故障的扩大或设备的损坏，也称保安系统或事故跳闸系统，简称 AST 或 ETS。

汽轮机监视系统 (Turbine supervisory instruments 或 Turbine supervisory equipment) 简称 TSI 或 TSE。它的功能是连续监视汽轮机运行过程中的重要机械参数，包括转速、

轴振动、轴承振动、轴位移、热膨胀、轴挠度、油温、油压及真空等。它的测量结果送往调节系统作为工况限制，送往保护系统作为跳闸条件，送往顺控系统作为控制条件。

热应力计算系统的功能是在汽轮机运行过程中连续监视汽轮机转子关键部位的热应力，以确保汽轮机的安全。由于汽轮机结构条件及工作条件的限制，它的动叶和静叶之间的距离一般只有几毫米，所以转子热应力的无法直接测量，通常是根据汽轮机运行参数，通过物理模型或数学模型进行计算的。计算结果除了用作监视外，还可以送往调节系统对升速率和变负荷率进行修正以及送往保护系统作为跳闸条件。

汽轮机自启停控制系统 (Automatic turbine start shut-down control system 或 Turbine automatic control) 简称 ATC 或 TAC。它的功能随设计不同而有较大的差异，通常可以包括汽轮机运行工况下的数据采集、汽轮机各辅机的启停控制、汽轮机控制系统内各子系统功能的使用以及热应力计算功能等。目前国内的 ATC 系统尚处于研制、完善阶段，因此成功使用的不多。

液压伺服子系统包括油源以及液压执行机构两大部分。油源是用来向液压执行机构提供压力油的，它具有稳压、过滤、冷却等功能。液压执行机构由电液伺服阀、油压油缸、位移传感器及定位反馈机构等部件组成，它的功能是根据电调电气部分的指令去操作相应的阀门。

此外，为了让各保护系统准确无误地动作，除了控制系统完善、控制器件可靠之外，还必须对它进行定期试验，检查其动作情况，以便发现问题时可及时处理。

汽轮机调节系统

第一节 液 压 调 节 系 统

一、概述

调节系统的作用是使汽轮发电机组的被调量（如转速、抽汽压力等）按一定的规律变化，以适应外界负荷的需要。

从部件分，调节系统包括转速感应元件、传动放大机构、配汽机构和反馈机构四部分。

从型式分，液压调节系统包括机械液压调节系统和纯液压调节系统两种，这两种调节系统的区别在于转速感应元件有所不同。

二、调节系统主要部件

1. 转速感应元件

机械液压调节系统的转速感应元件有离心飞锤调速器和高速离心弹性调速器；纯液压调节系统的转速感应元件有旋转阻尼器和径向钻孔式脉冲泵。

离心飞锤式调速器多用于小机组，高速离心调速器用于北京重型机械厂生产的 100MW 机组和哈尔滨汽轮机厂以前生产的 200MW 机组，旋转阻尼器用于上海汽轮机厂生产的

125MW 机组和以前生产的 300MW 机组。目前，200MW 以上的机组都使用径向钻孔式脉冲泵。

径向钻孔式脉冲泵是离心泵的一种，它包括泵轮、泵壳和稳流网几部分。径向钻孔泵和主油泵一起固定在一根挠性轴上，由汽轮机主轴直接带动。这种泵的特点是特性曲线较为平坦，在同一转速下，当调节系统用油量在工作油量范围内改变时，其压头与用油量的关系曲线几乎是一水平直线，即可认为压头只是转速的函数，与用油量无关，所以调节信号的准确性较高。

脉冲泵的主要缺点是它的油压有时发生低频周期性波动，从而会引起整个调节系统的波动，致使所设置的稳流网可大大减小出口油压的波动。

2. 传递放大机构

传递放大机构包括调速器滑阀、中间滑阀和油动机。调速器滑阀为一级放大机构，中间滑阀为二级放大机构，油动机滑阀为三级放大机构。

错油门滑阀有断流式和继流式两种。断流式滑阀的特点是：当汽轮机处于稳定工况运行时，滑阀处于中间位置，即滑阀的凸肩盖住油口，截断油的通路。滑阀上的凸肩比油口稍高，这个高出的数字叫盖度。

继流式滑阀的凸肩只封住油口的一部分而不是全封闭，运行中始终有油通过油口。因此，又叫节流式滑阀。油动机的特点是力量大、动作迅速、体积小、启动快。它是汽轮机调节系统中带动调节汽门的执行机构。根据结构原理分，油动机可分为断流式和继流式，根据结构型式分，又可分为往复式和旋转式；我国的汽轮机几乎都使用断流往复式油动机。断流式油动机有单侧进油和双侧进油，单侧进油油动机

和双侧进油油动机相比，单侧进油油动机有以下两个优点：

(1) 由于关闭汽门是依靠弹簧力，因此在压力油管破裂的情况下，油动机仍然能自动关闭调节汽门。

(2) 汽轮机加负荷依靠增加油压，因此加负荷速度不会过快。

单侧进油油动机的缺点是：开启调节汽门时，不但要克服弹簧力，还要克服提升力，关汽门时，为了保证关闭速度，弹簧要做得很大。因此，单侧进油油动机比双侧进油油动机的体积和质量都要大得多。

3. 配汽机构

配汽机构包括调节汽门和带动调节汽门的传动机构。汽轮机采用喷嘴调节时，调节汽门是依次启闭的。当前一个调节汽门还未全开时，后一个调节汽门就开始开启。前后两个阀门同时开启部分叫汽门的重叠度。重叠度太小，调节系统的特性线很差，而重叠度过大，损失将会增加。

4. 负反馈机构

负反馈机构是调节系统的重要组成部分，它包括机械反馈机构和液压反馈机构两部分。

应用旋转阻尼作转速感应元件的调节系统采用的是杠杆弹簧反馈机构，而高速离心调速器和脉冲泵的调节系统中的控制油路都是液压反馈机构，它们的区别是：前者改变的是进油窗口面积，后者改变的是排油窗口面积。其结果都是使控制油压恢复到原稳定值。

三、调节系统调频

图 2-1 是东方 200MW 机组调节系统原理图。脉冲油泵的出油到达调速器滑阀底部，形成一次脉动油。主油泵出口的压力油到中间滑阀，经节流后变为二次油，二次油到调速

器滑阀，经节流后从调速器滑阀中泄掉。压力油到油动机后分两路分别到油动机活塞上部和下部。压力油到反馈滑阀经节流后形成三次油。

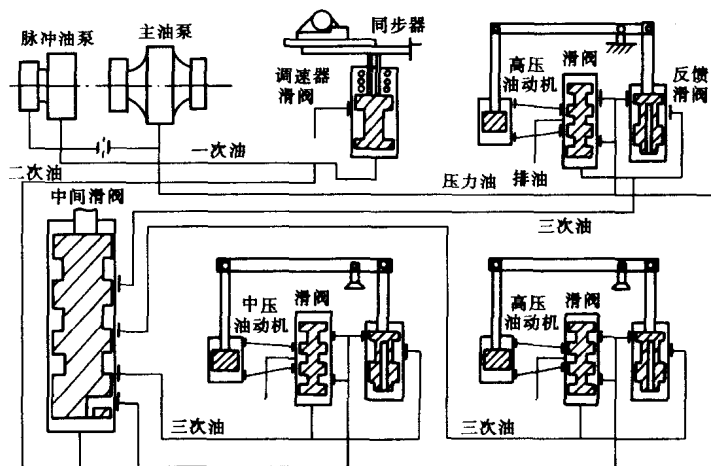


图 2-1 东方 200MW 机组调节系统原理图

当用户的用电量减小，频率有微小的升高时，一次油压升高，使调速器滑阀的活塞上行，开大中间滑阀的二次油在调速器滑阀上的排油窗口，使二次油压降低。由于二次油压降低，中间滑阀的活塞下移，开大中间滑阀上三次油的排油口，使三次油压降低。由于三次油压降低，油动机滑阀的活塞下行，压力油进入油动机活塞上部，油动机活塞下部与排油口接通，排掉油动机活塞下部的油，使活塞下移，关小调节汽门，使负荷减少到与用户的用电量相同。虽然负荷与用电量相同，但转速却不能恢复到原有值，不过，频率还在规定的范围内。

反之，如果外界负荷增加，频率有微小的降低时，则一