

火电厂汽轮机控制系统改造

贵州电力试验研究院

文贤馗 主编
康健 申自明 参编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

责任编辑：潘宏娟

CEPP

书中介绍了控制系统分类、改造原因及各种改造模式，对各种改造模式进行综合比较，对目前采用较多、改造幅度大的高压抗燃油DEH系统安装调试方法进行介绍，列举了丰富详实的改造实例。

本书适用于从事汽轮机控制系统改造的工程技术人员和管理人员

ISBN 7-5083-2425-0



9 787508 324258 >

定价：22.00 元

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

火电厂汽轮机控制系统改造

贵州电力试验研究院

文贤馗 主编

康健 申自明 参编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内容提要

全书主要包括：国内汽轮机控制系统情况，大型汽轮机调速系统改造模式，高压抗燃油纯电调系统改造安装调试，机组改造实例，汽轮机控制系统改造相关问题。其中，改造实例包括 100、125、200、300MW 机组的改造实例；汽轮机控制系统改造相关问题一章中内容包括高压抗燃油的性能、监督、管理维护，电液转换器和电液伺服阀，电液伺服阀故障、失效分析及维护，EH 油系统的运行维护及故障诊断，阀门管理功能，甩负荷试验等。

书中介绍了控制系统分类、改造原因及各种改造模式，对各种改造模式进行综合比较，对目前采用较多、改造幅度大的高压抗燃油 DEH 系统安装调试方法进行介绍，列举了丰富翔实的改造实例。

本书适用于从事汽轮机控制系统改造的工程技术人员和管理人员。

图书在版编目 (CIP) 数据

火电厂汽轮机控制系统改造/文贤旭主编；康健，申自明编. —北京：中国电力出版社，2004

ISBN 7-5083-2425-0

I. 火... II. ①文... ②康... ③申... III. 火电厂—蒸汽透平—技术改造 IV. TM621.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 059741 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

*

2004 年 11 月第一版 2004 年 11 月北京第一次印刷

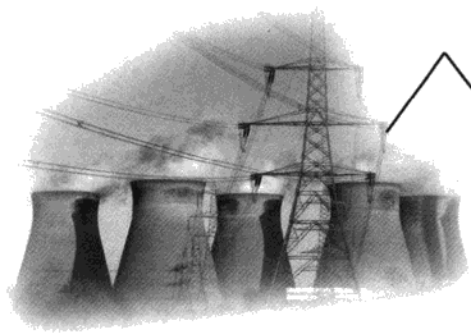
787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 13.5 印张 333 千字

印数 0001—3000 册 定价 22.00 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)

272070



前言

科学技术的发展,对电厂供电品质及发电成本提出了更高的要求。火电厂老机组原纯液压调节系统在可控性和控制功能方面已不能满足机组协调控制(CCS)和电网自动发电控制(AGC)等要求,且还存在着调节系统部套易卡涩、迟缓率大、调节品质差、不能实现阀门管理等缺点。先进的数字式电液调节系统(DEH)可灵活组态各种控制策略,可满足现代汽轮机控制系统的要求,在系统的安全性、可靠性方面也已经达到电厂的要求,所以近几年来国内越来越多的汽轮机组进行了控制系统改造。

为了总结目前我国汽轮机控制系统改造的经验,为以后更多的火电厂改造提供技术参考,特编写本书。本书介绍了国内汽轮机控制系统过去发展情况、现状及未来发展趋势,介绍了控制系统的分类、改造原因及各种改造模式,对各种改造模式进行综合比较,对目前采用较多、改造幅度较大的高压抗燃油 DEH 系统安装调试方法进行介绍,列举了丰富翔实的改造实例,对改造方案、改造中出现的问题及解决处理方法进行详细阐述,并就控制系统改造的一些相关问题进行了介绍。

本书是一本应用性的参考书,主要面向从事汽轮机控制系统改造的工程技术人员和管理人员。书中没有太多的基本原理介绍,而是从改造现场实际出发介绍相关知识,希望能对汽轮机控制系统改造事业有所帮助。

本书在收集资料和编写过程中,参阅了参考文献中列举的正式出版物以及国内有关制造厂、研究单位、设计院、安装单位和高等院校编制的技术资料、说明书、图纸,在此一并表示衷心感谢。

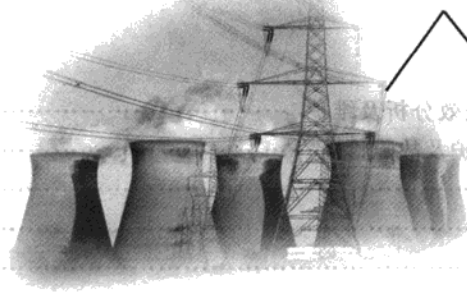
本书在编写过程中得到贵州电力试验研究院领导的大力支持和协助,得到东方汽轮机厂、哈尔滨汽轮机厂、上海新华控制公司、上海 FOXBORO 公司等单位的大力支持。由于这些支持与协助,本书才得以出版,在此表示衷心感谢。最后,在此要特别感谢原东北电力科学研究院总工程师赵常兴,他详细审阅了书稿,并提出了很多的宝贵建议,令编者获益匪浅。

由于时间仓促、水平有限,错误或不妥之处在所难免,望读者批评指正。

编者

2004年6月

2A013/10



目 录

燎文著

前言

第一章 国内汽轮机控制系统情况	1
第一节 概述	1
第二节 汽轮机控制系统分类	3
第三节 汽轮机控制系统现状	11
第四节 汽轮机控制系统的发展	13
第五节 小结	13
第二章 汽轮机控制系统改造模式	14
第一节 汽轮机控制系统的改造	14
第二节 同步器控制改造模式	16
第三节 电液并存改造模式	18
第四节 低压透平油数字电调改造模式	27
第五节 抗燃油纯电调控制改造模式	35
第六节 各种改造方案综合比较	69
第三章 高压抗燃油纯电调系统改造安装调试	72
第一节 系统安装	72
第二节 抗燃油油系统冲洗	76
第三节 系统调试	79
第四节 再生装置	86
第四章 改造实例	88
第一节 目前国内改造情况	88
第二节 100MW 机组	92
第三节 125MW 机组	98
第四节 200MW 机组	107
第五节 300MW 机组	141
第五章 汽轮机控制系统改造相关问题	161
第一节 调节油油源的选择	161
第二节 关于 DEH 功能应用的探讨	162
第三节 高压抗燃油的性能、监督、管理维护	164
第四节 电液转换器和电液伺服阀	176

第五节 电液伺服阀故障、失效分析及维护	183
第六节 EH 油系统的运行维护及故障诊断	186
第七节 阀门管理功能	190
第八节 阀门重叠度	192
第九节 甩负荷试验	195
附录 常用缩写词的英文和中文对照	204
参考文献	206

第一章

国内汽轮机控制系统情况

第一节 概述

汽轮机在高压蒸汽的作用下高速旋转，控制系统保证了电压和频率稳定，保证了在电网出现故障或机组出现故障时机组自身的安全。

在没有解决控制手段之前，汽轮机是不能作为工业应用的，只有在配备了控制系统之后，汽轮机才具有真正的实用价值。因此，汽轮机的控制系统是汽轮机的重要组成部分。为了保证控制系统和汽轮机其他部件之间的协调工作，汽轮机的控制系统都是由汽轮机制造厂负责设计和配套的。

从 20 世纪初汽轮机开始用于发电，就配备了机械液压式控制系统，并一直沿用至今。

20 世纪 50 年代初，我国汽轮机全部依靠进口，由外国专家调试相应的调节系统，中国工程师、技术员无权改动外国专家整定的调节参数。

1956 年，我国从捷克引进技术生产第一台 6MW 汽轮机，调节系统由外国专家指导及调试。

1958 年，上海汽轮机厂按旧中国留下的美国西屋公司资料生产 12MW 汽轮机及 25MW 汽轮机。当时的液压调节系统完全按西屋图纸生产，由于资料不全及没有计算资料，机组投运后负荷大幅度摆动。与此同时，在原苏联援助下建立了哈尔滨汽轮机厂，按苏联图纸生产 25MW、50MW 及 100MW 汽轮机，当时该类机组调节系统是在苏联专家指导下生产及调试的。

20 世纪 60 年代初，中国人开始自行研究汽轮机调节系统。

1963 年中国开始自行设计 125MW 及 200MW、300MW 汽轮机。汽轮机容量的增大、蒸汽参数的增高、蒸汽再热技术的采用，使汽轮机的结构与机组系统复杂，机组对安全性和经济性的要求不断提高。电网容量增大，电网对自动化的要求越来越高，传统的机械液压式控制系统已经难以适应，必须开发出性能更好、功能更强的新型汽轮机控制系统。在这一形势下，电气液压式汽轮机控制系统于 20 世纪中进入了火电厂。为了赶上世界先进水平，当时一机部七、八局科技处组织了以汽锅所为中心，由哈尔滨汽轮机厂、上海汽轮机厂、天津电气传动设计研究所、上海电气综合研究所等有关专家及技术人员组成的电液调节系统攻关小组，当时研制了专用的晶体管 PID 调节器、低压电液转换器、霍耳功率变送器、测转速的磁阻变送器，并在功—频电液调节系统稳定性方面进行了大量研究。1966 年初，我国第一套功—频电液调节系统在长春第一汽车厂动力厂 12MW 汽轮机上投入运行，并进行了各种试验。1966 年下半年所有研究工作全部停止。在动力厂关心下，这套功—频电调运行了三年半，此间，我国工程师积累了汽轮机调节系统设计的宝贵经验。这表明了 60 年代我国已掌

握了汽轮机电液调节系统的设计技术，这套系统的投运，也表明 20 世纪 60 年代我国汽轮机调节的技术已接近国际先进水平。1966 年日本刚刚起步研究电液调节系统。

在电气液压式调节系统的应用初期，电气元器件的可靠性还不能完全满足工业应用的要求，致使调节系统的可靠性不够高。汽轮机在配备了电气液压式调节系统的同时，还保留了原来的机械液压式调节系统作为后备手段。这种调节系统就是通常说的电液并存式控制系统或电液切换式控制系统。

20 世纪 70 年代初，我国准备自己设计生产 600MW 汽轮发电机组，当时机械部、电力部两部六十万领导小组专门设立了 600MW 汽轮机电调攻关课题及长叶片攻关课题。600MW 汽轮机电调攻关课题由上海汽轮机研究所、上海汽轮机厂、北京石油化工研究院、上海仪表厂、上海橡胶制品研究所、上海蓄压器厂等有关专家攻关，解决了采用高压抗燃油电液调节系统中一系列技术难题，在全部自力更生，采用国产电子元器件的基础上，研制成功了我国第一套采用高压抗燃油的电液调节系统（AEH）。1976 年 3 月在上海闵行电厂 6 号机（12MW）投运成功并运行了五年半，完成了两部六十万办公室下达的研制 600MW 汽轮机高压抗燃油电液调节系统的中间试验任务。

这套系统应用运算放大器作为电液调节系统电气部分的主要器件，采用当时组装组件式结构，液压部分采用国产磷酸酯抗燃油，工作油压 14MPa。第一次应用电液伺服阀作为电液转换的伺服执行机构驱动汽轮机调节阀。

这是我国第一套高压抗燃油模拟式电液调节系统（AEH），这套系统的投运成功，不但积累了 AEH 及 EH 的设计经验和运行经验，攻克了调节系统容差技术、大流量电液伺服阀、抗燃油、采用抗燃油高压液压件、高压密封等技术难关，为我国 300MW、600MW 大功率汽轮机采用数字式电液调节系统提供了设计依据和关键技术。该系统于 1978 年获全国科学大会和全国机械工业部科学大会奖励。这套系统也体现了我国 20 世纪 70 年代汽轮机调节的技术水平，表明了我国已完全能自己设计生产大功率汽轮机的调节系统。

1981 年 9 月，两部召开闵行电厂 6 号机我国第一套高压抗燃油电液调节系统连续运行五年总结大会，五年的运行实践证明：这套系统已经达到国外 20 世纪 70 年代同类产品的水平。

从 1966 年低压透平油的电液调节系统（电液并存型）到 1976 年高压抗燃油的电液调节系统（纯电调系统）投入运行，在此期间我国的汽轮机调节技术在 70 年代比国际先进技术落后了。美国西屋公司的第一套 AEH 系统于 1967 年投入运行，并在 1969 年开始设计数字式电液控制系统 DEH-I。

在汽轮机电气液压式控制系统的开发上，俄罗斯等国处于相对落后状态。因此近年来我国从俄罗斯等国进口的大容量汽轮机仍配备传统的机械液压式控制系统。

20 世纪 80 年代初，我国引进 300MW、600MW 汽轮机制造技术，于 1980 年 9 月，中国机械对外经济技术合作总公司（CMIC）、中国电工设备总公司（CNEC）与美国西屋公司签订了大型汽轮机发电机组制造技术转让合同。但合同中只转让了 DEH 系统设计技术，没有转让 DEH 制造技术。

在 300MW、600MW 火电机组引进合同生效后，为了尽快地消化吸收引进的 300MW、600MW 机组 DEH 设计技术，制造国产化的 DEH 控制系统，为引进技术生产的 300MW、600MW 汽轮机配套，原机械部对“开发优化 300MW、600MW 汽轮机发电机组 DEH 数字式电液控制的可行性报告”提出的“引进、消化、创新”的技术路线及有关的技术问题下达了明确的批示。

为了促进大型汽轮机调节系统国产化，根据西屋公司有关的 DEH 资料、国内 1963 年开始

研制电液并存的 AEH 电液调节系统及 1973 年开始研制的采用高压抗燃油的 AEH 系统投运鉴定的经验, 1983 年 9 月, 我国将研制 300MW、600MW 汽轮机发电机组数字式电液控制系统课题列入国家科技攻关项目: 300~600MW 火电考核机组攻关项目分课题合同——300MW、600MW 汽轮机电液调节系统的研制。1985 年在原机械部电工总局、上海市机电一局的直接领导下, 成立了由中国电工设备总公司、中国机械设备进出口总公司、哈尔滨电站设备成套集团公司、上海发电设备成套设计研究所、上海汽轮机厂、哈尔滨汽轮机厂、东方汽轮机厂、杭州汽轮机厂、上海闵行工业公司组成的新华控制技术联合开发中心(以下简称“中心”)。

“中心”采用先进的微处理机技术, 开发电站专用控制设备, 研制生产电站汽轮机数字式电液控制系统 DEH、电站给水泵汽轮机数字式控制系统 MEH 及其他电站自动控制设备。

分课题合同生效后, 课题组全体成员在“引进、消化、创新”的技术路线指导下, 攻克了一个又一个技术难关, 实现了可行性报告及分课题合同的攻关目标。第一套引进技术国产化的全功能 DEH-Ⅲ系统与上海汽轮机厂引进技术生产的 300MW 机组配套, 于 1990 年 1 月在汉川电厂投入使用。

这套系统采用 INTEL8086 计算机冗余配置, 比当时引进的石横、平圩考核机组使用的西屋公司 W2500 小型计算机单机配置的 DEH-Ⅱ前进了一大步, 达到西屋公司 DEH-Ⅲ的水平。

这套系统运行实践表明 300MW 机组 DEH-Ⅲ国产化优化设计成功, 完全可以代替进口, 并于 1990 年 12 月原机械能源两部召开了技术评审会。专家们一致认为 DEH-Ⅲ系统是采用微处理机和高压抗燃油的纯电液调节系统, 在我国属首次使用, 研制是成功的, 标志着我国汽轮机控制技术达到了新的水平。

第二节 汽轮机控制系统分类

目前我国火电厂中汽轮机配套的控制系统主要有: 机械液压式控制系统、电液并存式控制系统、模拟电路构成的电液系统(AEH)、专用型数字式控制系统和通用型数字式控制系统(DEH)。

一、机械液压式控制系统

国内汽轮机厂生产的 200MW 以下容量(含 200MW)及早期 300MW 的汽轮机绝大多数配用机械液压式控制系统。液压工质为 2.0MPa 的透平油, 高灵敏度的高速弹性调速器或调速泵作为转速敏感元件; 启动阀、同步器用来危急遮断油门的挂闸、机组冲转、升速、并网和加减负荷; 调速器错油门组的分配错油门和中间错油门作为放大机构, 油动机作为最后放大机构和执行机构; 功率限制器可以在任意负荷下限制机组的功率; 微分器可防止机组甩负荷时汽轮机超速, 限制汽轮机动态超速。额定转速 110%~112%时, 保安系统的危急遮断器工作, 额定转速 113%~114%时, 附加保安工作, 主汽门和调节汽门关闭。

机械液压调节系统响应速度较慢, 机械间隙引起的迟滞率较大, 静态特性固定, 无法根据需要而任意变动。但是由于它的可靠性在相当长一段时间内比电子元件高, 其特性也能基本满足汽轮机运行的要求, 所以普遍采用, 主要有高速弹性调速器调速系统、径向泵液动调速系统、旋转阻尼液动调速系统几种类型。

1. 高速弹性调速器调速系统

图 1-1 为高速弹性调速器调速系统原理图, 它以高速弹性调速器作为转速感受元件, 将转速变化信号转变为调速器挡油板的位移信号。当机组转速升高时, 调速器弹簧片因重块离心力的增加而向外伸张, 使挡油板向右移动, 喷嘴泄油间隙 y 增大, 泄油量增加, 差

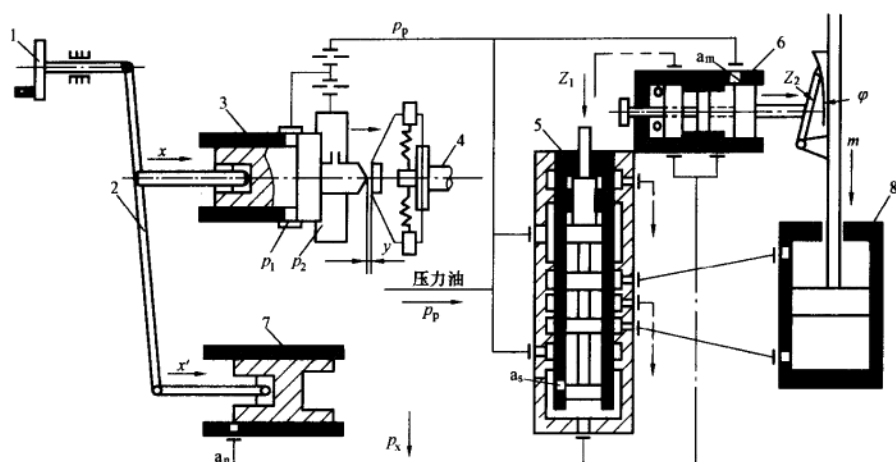


图 1-1 高速弹性调速器调速系统原理图

1—同步器；2—传动杠杆；3—差动活塞；4—调速器；5—滑阀；6—反馈滑阀；7—调速器滑阀；8—油动机

动活塞右侧油室中的压力 p_2 下降，从而破坏了差动活塞力的平衡。在 p_1 的推动下，差动活塞跟随挡油板向右移动，直至恢复原泄油间隙为止。机组转速降低时则动作相反。

该系统的控制油有两路来源：一路是压力油从错油门滑阀下端凸肩所控制的油口 a_s 进入，另一路是压力油从反馈滑阀所控制的油口 a_m 进入，控制油从调速器滑阀所控制的泄油窗口 a_n 泄去。当差动活塞通过杠杆带动调速器滑阀一道向右移动时，泄油窗口 a_n 的面积加大，控制油压 p_x 下降，错油门滑阀上、下两端面作用力失去平衡，使滑阀离开中间位置向下移动，压力油经滑阀通至油动机活塞上侧，其下侧通泄油，因而油动机活塞向下移动，关小调节阀。油动机活塞下移的同时，活塞杆上的反馈斜板亦下移，使反馈滑阀右移，压力油进油窗口 a_m 开度加大，使控制油恢复到稳定值，错油门滑阀重新回到中间位置，此时调速系统稳定在一个新的工况。

2. 径向泵液动调速系统

径向泵液动调速系统的主油泵为径向泵，其原理如图 1-2 所示。由于这种泵工作时的进、出口压差只与转速有关，几乎不受用油量的影响，因此它不仅可作为主油泵供压力油，而且还可用来产生转速脉冲信号（由于径向泵效率较差，故大机组仅用其单独产生转速信号，另用一般离心泵作主油泵）。径向泵出口一路压力油通至压力变换器滑阀下腔室，作为转速变化的脉冲信号，压力变换器滑阀上腔室通至径向泵进口，因此压力变换器滑阀的上下存在一个压差（该压差等于径向泵进出口的油压差），这个压差产生的向上作用力和滑阀上部弹簧的向下作用力相平衡。径向泵出口压力油另一路经一个节流孔 a 减压后作为控制油，通至错油门滑阀的下部腔室，错油门滑阀上部与油泵进口相通。控制油从压力变换器滑阀控制的泄油窗口 a_n 和由油动机活塞下部套筒控制的反馈泄油窗口 a_m 泄去。稳定运行时，错油门滑阀上下油压差形成的向上作用力和上部弹簧的向下作用力相平衡，滑阀处于中间位置。当外界负荷变小时，汽轮机转速升高，径向泵进、出口压差增大，压力变换器滑阀上移，使控制油的泄油口 a_n 变小，控制油压 p_x 升高，使错油门滑阀上移，压力油进入油动机

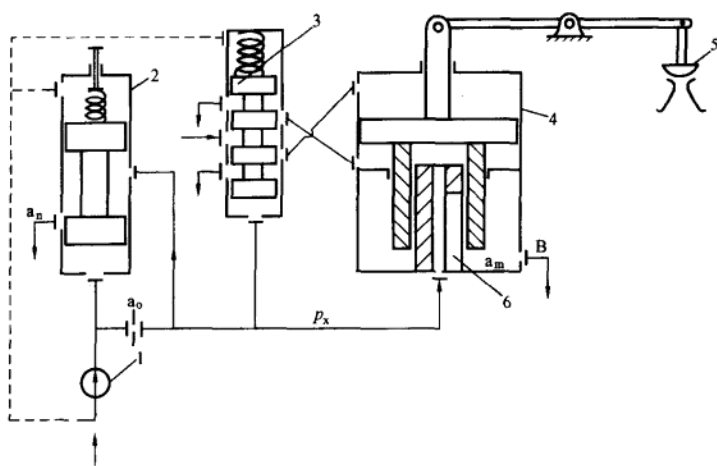


图 1-2 径向泵液动调速系统原理图

1—径向泵；2—压力变换器；3—滑阀；4—油动机；5—调节阀；6—反馈油口

活塞下部，油动机活塞上移，关小调节阀，使汽轮机发出的功率变小。在油动机活塞上移的同时，活塞下部套筒亦上移，开大了控制油的反馈泄油窗口 a_m ，使控制油压降低，当控制油压恢复到原来数值时，错油门滑阀又回到中间位置。

3. 旋转阻尼液动调速系统

图 1-3 为旋转阻尼调速系统原理图，主油泵出口的液压油除供调速系统作动力油外，还通往另外三处。一路经可调针形阀通往旋转阻尼。旋转阻尼实为一径向泵，所不同的只是

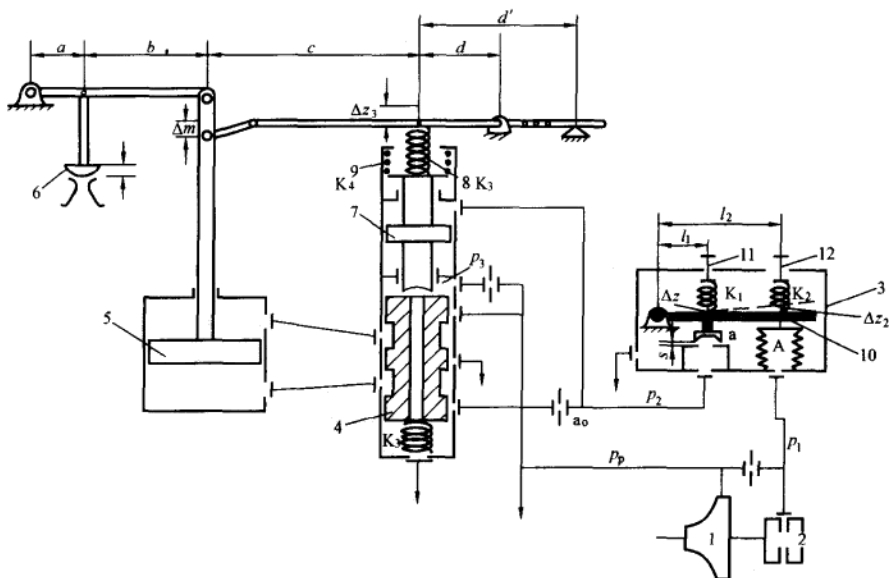


图 1-3 旋转阻尼调速系统原理图

1—主油泵；2—旋转阻尼；3—放大器；4—滑阀；5—油动机；6—调节阀；7—继电器；8—反馈弹簧；
9—动反馈弹簧；10—放大器平衡板；11—主同步器；12—辅助同步器

针形阀后的一次油压 p_1 高于旋转阻尼内阻尼管中油柱因离心力产生的压力, 因此一次油通过旋转阻尼流出。另一路压力油经过一个固定的节流孔 a 后作为二次油, 二次油从放大器中碟阀所控制的泄油间隙 s 流出, 形成二次油压 p_2 。第三路压力油经过一个固定的节流孔供油至错油门滑阀上部, 然后从继动器活塞控制的碟阀和错油门滑阀之间的间隙泄出, 形成三次油压 p_3 。

外界负荷减小, 机组转速升高, 旋转阻尼中油柱所产生的离心力相应增大, 一次油压 p_1 也跟着增大, 一次油压 p_1 经波纹筒作用在平衡板上。 p_1 升高破坏了平衡板力矩的平衡, 使其逆时针方向旋转, 放大器碟阀的间隙 s 增大, 二次油的泄油量增大, 二次油压 p_2 下降。由于 p_2 的下降, 破坏了继动器活塞上二次油压作用力和反馈弹簧作用力的平衡, 继动器活塞上移, 三次油的泄油间隙增大, p_3 下降。滑阀在其下部压弹簧的作用下向上移动, 压力油供到油动机活塞上部, 使油动机活塞下移, 关小调节阀, 汽轮机发出的功率减小, 直至与外界负荷相适应。在油动机活塞下移的同时, 通过反馈杠杆使反馈弹簧的拉力减小, 继动器活塞下移, 三次油压 p_3 恢复到原来的数值, 错油门滑阀亦回到中间位置。

二、电液并存控制系统

电液并存控制系统是近几年针对机械液压系统存在的问题而采用的解决方法。汽轮机电液并存控制系统, 大多用于对原机械液压式调节系统进行改进。DEH 的控制信号通过电液转换器, 转换成液压控制信号, 取代液压调节系统中的脉冲油压信号去控制油动机, 原液压控制系统可以作为备用, 使电调和液调之间能相互无扰动切换, 相互跟踪。

电调系统运行时, 液压调节系统自动跟踪; 液压调节系统运行时, 电调系统自动跟踪。两系统无扰切换, 而且都可以独立完成汽轮机启动、升速、并网、带负荷以及负荷调节全过程控制。

电调和液调都是通过电液切换去控制油动机的, 电调与液调的分界点是电液切换阀, 切换阀的工作位置由直流电磁阀控制, 一般其上限位是电调位, 下限位是液调位 (确保在电调故障时电液切换阀靠滑阀自身重力落下, 切至液调位置, 保证机组安全运行)。当处于液调位时, 操作人员通过控制同步器来控制调速错油门滑阀的油压, 然后再经过切换阀来控制中间错油门; 当处于电调位时, 电调控制系统通过控制电液转换器直接控制二次脉冲油压、继而控制油动机。电液并存控制系统的保安系统和机械液压式控制系统基本相同。

三、模拟式电液控制系统 (AEH)

模拟电液控制系统 (AEH) 是随着电子元件可靠性的提高而出现的, 它由模拟电路组成。模拟电调系统的调速器部分 (即运算部分) 由电子元件组成而执行部件仍采用液压执行器, 电调的电子部分很容易实现信号的综合处理, 控制精度高, 能适合各种不同运行工况的要求, 而且操作、调整和修改都比较方便; 电调的液压部分 (液压执行器) 输出推动力大, 响应速度快。

模拟电液控制系统一般由调节系统、监视系统、保护系统和液压伺服系统组成。调节系统的功能主要包括全程转速和功率调节; 监视汽轮机在运行过程中的机械参数变化情况, 包括转速、轴承振动、轴向位移、转子和汽轮机的热膨胀和大轴晃度; 在汽轮机组故障情况下停止汽轮机运行以避免故障的扩大或设备的损坏。

汽轮机模拟电液控制系统主要有美国 GE 公司的 MARK - II A 型、法国阿尔斯通公司的 REC - 70 型、意大利 ANSALDO 公司的 ESACON 型等。

下面以美国 GE 公司的 MARK - II A 型为例进行简单介绍。



MARK - II A 型模拟电液控制系统于 1998 年首次在我国投入运行, 配套在华能上安发电厂、南通发电厂等引进美国 GE 公司的 350MW 汽轮机上。

MARK - II A 的控制功能:

- (1) 高压转子及调速汽门的预热;
- (2) 转速控制;
- (3) 负荷控制;
- (4) 全周进汽与部分进汽转换;
- (5) 主蒸汽压力速率型负荷限制;
- (6) 级压力反馈;
- (7) 阀门试验;
- (8) 转速匹配与摆频控制;
- (9) 人工负荷限制;
- (10) 中压缸启动;
- (11) 汽轮机保护。

除具有上述控制功能外, 为满足机组运行的需要, 系统有手动控制、备用控制、远方控制、远方自动四种工作方式。

在 MARK - II A 的控制功能中, 摆频控制功能比较有点, 它是指当机组选定的暖机转速在汽轮机转子的临界转速附近时, 为防止汽轮机在该转速长时间停留而引起过大的振动。所以在暖机过程中加入摆频信号, 使机组在暖机转速做 $\pm 100\text{r/min}$ 的摆动。

四、数字式电液控制系统 (DEH)

随着计算机技术及网络技术的迅速发展, 出现了以计算机为基础的数字式电液控制系统 (简称数字电调)。目前我国火力发电厂中的大多数 300MW、600MW 级汽轮机采用数字电调, 特别是近十年以来, 几乎所有新建的大容量汽轮机组均采用数字电调。

数字电调系统由以计算机为基础的数字控制系统、ETS 汽轮机紧急跳闸系统和 EH 液压控制系统等组成。DEH 系统包括转速和负荷控制、超速保护、负荷限制、阀门控制和管理、热应力计算、汽门快关及 CCS 协调控制等, DEH 控制系统可以满足汽轮机安全运行和启停的所有要求。

汽轮机数字式电液控制系统可以分为专用型和通用型两种。

专用型数字式电液控制系统有美国西屋 (WESTING HOUSE) 公司的 DEH - II 型、法国阿尔斯通公司的 MICRO - REC 型、英国 GEC 公司的 MICRO - GOVERNOR 型、新华电站控制工程公司的 DEH - III 型等。

通用型数字式电调系统采用分散控制系统 (DCS) 构成, 有瑞士 ABB 公司的 PROCONTROL - P 型、三菱公司的 MIDAS - 8000 型、东芝公司的 TOSMAP 型、新华电站控制工程公司的 DEH - III A 型、美国西屋 (WESTING HOUSE) 用 WDPF 组成的 DEH - III 型、日立公司的 HIACS - 3000 型、美国 ETSI 公司的 INFI - 90 (贝利公司产品) 和美国 MCS 公司的 MAX1000 等。

1. 专用型数字式电液控制系统

下面以美国西屋 (WESTING HOUSE) 公司的 DEH - II 型为例对专用型数字式电液控制系统进行简单介绍。

DEH - II 型专用型数字式电液控制系统如图 1 - 4 所示, 它接受汽轮机转速、发电机功



率和汽轮机调节级压力三个反馈信号及其他一些反映汽轮机组状态的信号，用来实现汽轮发电机组转速和负荷的控制。

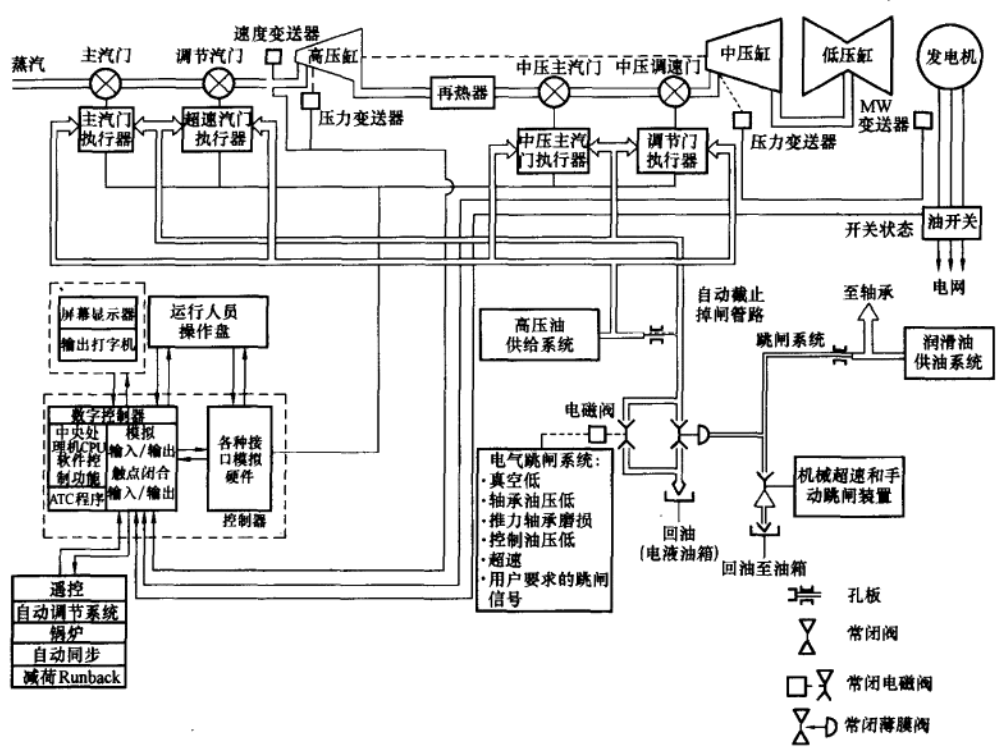


图 1-4 DEH-II 型专用型数字式电液控制系统图

(1) 本控制系统的主要组成部分为：

- 1) 电气控制器，包括数字部分和模拟部分；
- 2) 运行人员控制面板，显示屏幕和打印机；
- 3) 阀门控制系统；
- 4) EH 供油系统；
- 5) 紧急跳闸系统。

其电气控制器部分给出阀位控制信号，经电液转换后送至主汽门和调节汽门的液压执行机构，由依靠高压油驱动的液压执行机构操作阀门动作。

(2) 本控制系统的主要控制功能有：

- 1) 汽轮机转速控制（包括一次调频）；
- 2) 汽轮机负荷控制（包括二次调频）；
- 3) 汽轮机超速保护控制；
- 4) 自动同期、并网带初始负荷；
- 5) 汽轮机自启停 ATC 控制；
- 6) 主汽压力控制；
- 7) 阀门管理；



- 8) 高压缸/中压缸启动;
- 9) 高、低负荷控制;
- 10) 监视、报警、显示、打印功能;
- 11) 计算机之间数据传输;
- 12) 危急保安功能;
- 13) 连续监测机组的机械运行参数。

机组启动过程的开始阶段,由主汽门控制汽轮机的转速,调节阀门处于全开状态。当升速接近 90% 额定转速时,速度控制权转至调节汽门,主汽门全开,直至并网,升负荷,负荷控制。

2. 通用型数字式电液控制系统

下面以新华电站控制工程公司的 DEH - III A 型为例对通用型数字式电液控制系统进行简单介绍。

(1) DEH - III A 系统功能。

- 1) 汽轮机挂闸:可以在控制室内,实现远方挂闸。
- 2) 转速控制:操作员可调目标转速与升速率。
- 3) 转速反馈回路:转速全程大范围闭环控制,可以精确地控制转速。
- 4) 负荷控制:操作员可调目标负荷、升负荷率、高低负荷限制。
- 5) 功率反馈回路。
- 6) 调节级压力回路。
- 7) 主汽压控制 TPC。
- 8) 主汽门转速控制。
- 9) 调节汽门转速控制和负荷控制。
- 10) 高压主汽门/高压调节汽门切换。
- 11) 中压调门/高压主汽门切换。
- 12) 阀门管理、阀门线性化、单阀与顺序阀转换。
- 13) 阀门试验。
- 14) 超速试验。
- 15) 阀门位置控制。
- 16) 阀门位置限制:操作员可调与遥控阀位限制。
- 17) 快速阀门控制。
- 18) 油开关闭合时带初始负荷与主汽压力补偿。
- 19) 手操控制器。
- 20) 自动与手动切换。
- 21) 辅机故障减负荷 (RUNBACK)。
- 22) 转速、功率、主蒸汽压力、第一级蒸汽压力、挂闸状态、油开状态采用三选二。
- 23) 超速控制及保护 (103%、110%)。
- 24) 快速通过叶片共振区。
- 25) 彩色 CRT 显示。
- 26) 报警打印与屏幕打印。
- 27) 追忆打印。

- 28) ATC 应力监视。
- 29) ATC 应力控制。
- 30) 中压缸启动控制。
- 31) 接口：自动同步、锅炉控制、自动调度。
- 32) 通信接口：与 DCS 系统通信的标准接口。
- 33) 可选功能：汽轮发电机组转子扭振监视。

(2) DEH - III A 系统技术性能。

1) 转速控制：

范围：冲转 $\sim 3300\text{r/min}$ (110% 额定转速)。

精度： $\pm 1\text{r/min}$ 。

2) 负荷控制。

范围：初始负荷 $\sim 110\%$ 额定负荷；

精度：0.5%。

3) 不等率：5% (3% $\sim$ 6% 可调)，局部不等率无级可调，范围从 3% $\sim$ 100%。

4) 迟缓率： $\leq 0.06\%$ 。

5) 转速超调量：甩额定负荷转速超调量小于 7%。

6) 可靠性：计算机平均无故障工作时间 MTBF $> 150000\text{h}$ ；

EH 平均无故障工作时间 MTBF $> 50000\text{h}$ 。

7) 可利用率：99.9%。

(3) DEH - III A 的特点。

1) DEH - III A 系统是采用高压抗燃油的数字电液控制系统，其计算机部分采用分散型控制系统 DEH - III A，液压部分采用高压抗燃油电液伺服控制系统 EH。

2) DEH - III A 可以扩展，构成电厂汽轮机岛控制系统。功能覆盖汽轮机控制系统 DEH、给水泵汽轮机控制系统 MEH、旁路控制系统 BPC、汽轮机紧急跳闸系统 ETS、汽轮机辅机顺序控制系统 SCS、汽轮机及给水泵汽轮机监视仪表 TSI。

3) DEH - III A 测速六通道，其中三块测速卡，三选二用于基本控制；三块高速采样测速卡三选二用于 OPC。

4) DEH - III A 的超速保护控制 (OPC)，包括 103% OPC 超速控制、110% OPC 超速保护及 110% ETS 超速保护。OPC 与基本控制分开，是一套独立的硬件及软件，OPC 的测速通道是独立的三选二，此外还有 110% ETS 超速保护。

5) 基本控制冗余分布式处理单元 DPU，包括转速控制、功率控制、汽压控制、ATC 及应力控制冗余 DPU。

6) 阀门伺服执行机构的位置反馈信号 (LVDT) 采用双通道配置，消除了由于 LVDT 单通道配置故障时引起调节阀全开的不安全隐患。

7) 智能阀门伺服驱动卡，阀门伺服执行机构及阀门一对一构成计算机伺服控制回路。

8) 汽轮机阀门试验同时具有全行程试验及松动试验两种方式。

9) DEH - III A 设计了一种新的运行方式：甩负荷动态过程中，高低压旁路都可以打开，待再热器压力下降到一定值时 (300MW 机组 0.2MPa 左右)，转速接近 3000r/min，旁路关闭，满足稳定旁路关闭的要求，这种方式甩负荷可使主蒸汽安全门不启座。

10) DEH - III A 具有带旁路，高中压缸联合启动方式，或者不带旁路，10% 负荷后自动