

DEH 调节系统与汽轮机启停

编写 孙建勋

河南电力工业学校

退伍军人培训教材
《汽轮机设备及运行》补充内容

DEH 调节系统与汽轮机启停

编写 孙建勋

河南电力工业学校

目 录

第六章 DEH 调节系统	(1)
§ 6-1 再热汽轮机调节的特点	(1)
§ 6-2 DEH 调节系统概述	(3)
§ 6-3 DEH 的液压伺服系统	(11)
§ 6-4 汽轮机的保护和危急遮断系统	(21)
§ 6-5 EH 抗燃油系统	(26)
第八章 汽轮机启动	(35)
§ 8-1 概述	(35)
§ 8-2 压力法冷态滑参数启动	(37)
§ 8-3 热态启动	(44)
§ 8-4 中压缸启动	(46)
第九章 汽轮机的停机	(50)
§ 9-1 滑参数停机	(50)
§ 9-2 事故(异常)停机	(53)

第六章 DEH 调节系统

§ 6-1 再热汽轮机调节的特点

一、再热汽轮机调节的特点

与非再热机组比较,再热机组调节系统有新的特点:

1、由于再热机组有再热器及其联接管道构成的庞大蒸汽容积,会导致机组总功率“滞后”。为了提高机组对外界负荷的适应性,调节系统应采取相应的校正方法,使机组消除动态过程中功率的滞后现象。

从图 6-1 (a) 看出,当机组负荷增加时,调节系统将把调节汽阀开大,高压缸的功率随着流量的增加而增加,而中低压缸的功率则随再热容积内蒸汽压力的逐渐升高而增加,然后,由于该压力的升高,高压缸前后的压差将逐渐减小,其功率有所下降,因此,机组的功率不能立即达到电网所要求的数值,而是经延迟后才达到,这种现象称为功率的滞后,滞后直到过渡过程结束,达到高压和中低压缸各自应承担功率的份额为止。

为了提高机组对外界负荷的适应性,调节系统应采取相应的校正方法,即在外界负荷增大时,先让高压调节汽阀动态过开,使高压缸功率有比静态更大的增加,以弥补中、低压缸功率增加之不足,然后随着中、低压缸功率的逐渐增加,高压缸功率也逐渐恢复到静态值,这样使机组功率的变化如图 6-1 (b) 所示,消除动态过程中功率的滞后现象。

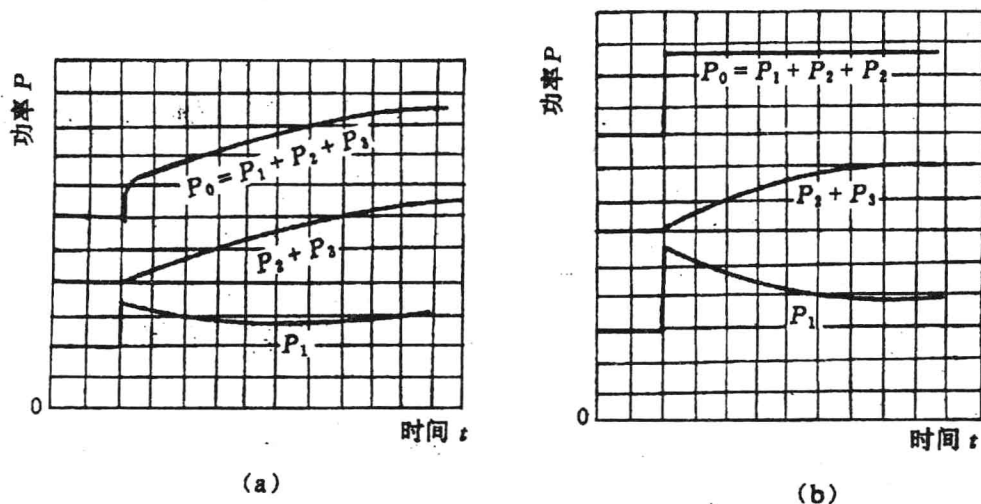


图 6-1 再热汽轮机功率的滞后和校正

(a) 无校正时 (b) 有校正时

2、由于中间再热容积内存在的大量蒸汽会引起超速,除高压缸调节汽阀外,还须增设中压缸调节汽阀。

这样做的目的是便于在机组甩负荷时,调节系统将把两种汽阀同时关闭,以确保机组的安全可靠。该设置会增加运行时中压缸的节流损失,为此,阀门的动作规律应设计成:

高压缸调节汽阀全程可调；中压缸调节汽阀 $1/3$ 额定负荷以下可调， $1/3$ 额定负荷以上全开。

3、必须设置旁路及其调节系统

从热力过程看，在主要负荷变化区域内，由于再热蒸汽压力有随着负荷的变化而变化的特点，使再热机组的主蒸汽和再热蒸汽管道都只能采用单元制。然而，汽轮机和锅炉的动态特性不同，这必然造成机炉的协同配合问题。从机组的启停和甩负荷情况看，再热汽轮机的空载汽耗量一般为 $3\% \sim 8\%$ 的额定汽耗量，不允许干烧的再热器的最小冷却蒸汽量为百分之十几，而维持锅炉稳定燃烧的蒸发量则高达 $30\% \sim 50\%$ 的额定汽耗量，要满足这些蒸汽量的要求，在锅炉不设启动旁路，再热器不允许干烧的情况下，高压缸应设置高压旁路。同样，机组甩负荷时，高压和中压缸的调节汽阀应同时关闭，为了保证环境条件和回收工质，冷却再热器后的蒸汽，也必须经设置的低压旁路排入凝汽器，所以必须设置旁路。与这些特殊工况有关，还要设置旁路调节系统，并解决它们与主机调节系统的协同配合问题。

二、各种调节系统的比较

我国汽轮机调节系统经历了机械系统、液压系统、功频模拟电调系统到数字电调系统的变化，其中功频模拟电调系统应用很少。日前在大型再热机组上数字电调系统已经得到广泛的应用，所以本章重点介绍数字电调系统。下面比较三种调节系统的特点。

从发展观点看，再热机组调节系统从液压系统、功频模拟电调系统到数字电调系统，是从低一级向高一级的调节系统发展，一般而言，后一种系统优于前一种系统。

1、功频模拟电调与液压调节系统比较

功频模拟电调突出的优点是：

(1) 模拟电调系统的电气部分具有快速、准确和灵敏度高的特点，系统的调节精确度高，迟缓率为 0.1% ，而一般的液压调节系统，迟缓率则高达 $0.3\% \sim 0.5\%$ 。

(2) 功频模拟电调为多回路多变量调节系统，PID 的综合运算能力强，具有较强的适应外界负荷变化和抗干扰能力，而液压系统仅为单变量的比例调节系统，调节性能较差。

(3) 功频模拟电调的转速或功率实际值，能准确地等于给定值，静态特性良好；在动态特性方面更为突出，机组甩负荷时，由于功率给定切除可以防止反调，转速稳定在 3000 r/min 上，系统的动态升速比液压调节系统减少一个速度变动率值 δ ，动态特性很好。

(4) 功频模拟电调可提供调频、带基本负荷和单向调频等不同的运行方式。在机组启动过程中，有大小范围测速可供选择，大范围测速从 $100 \sim 200 \text{ r/min}$ 起就能精确地对转速实行闭环控制，即使蒸汽参数波动，亦能保持给定转速，升速稳定，精确度可达 $\pm 2 \sim 3 \text{ r/min}$ ；速达到 2850 r/min 左右，改投小范围测速系统，调节精确度更有所提高，便于并网。而一般的液压调节系统，转速达到 2700 r/min 后才可投入闭环控制系统，调节精确度仅为 $\pm 7 \sim 15 \text{ r/min}$ 差距较大。

(5) 功频模拟电调中的电气部分，便于比较、综合各种信号，便于在线改变运行方式和调节参数，便于参数调整和运行检修，便于机炉协调控制，有利于机组的自动化，而未经改造的液压调节系统，这些方面几乎都受到局限，在实现机炉协调控制方面的难度较大。

(6) 无论是模拟电调或数字电调系统，目前都还没有电气元件取代推力大、动作迅速的液

压执行机构（油动机），都得继续保留使用，因而都有把电信号转换成液压信号的电液转换装置，所不同是对液压机构进行了许多重大的改进，例如采用高压抗燃油的液压伺服机构，把油压从过去的 $0.98 \sim 1.96 \text{ MPa}$ 。提高到 $12.42 \sim 14.49 \text{ MPa}$ ，提高了十倍之多，使结构紧凑，推力大，动作更加迅速。

2、数字电调和模拟电调的比较

数字电调和模拟电调比较，可以说模拟电调与液压调节系统比较的那些优点，数字电调系统也都具备，由于实施计算机控制，还增加了许多新的特点：

（1）用计算机取代模拟电调中的电子硬件，特别是采用微处理机和使功能分散到各处理单元后，显著提高了可靠性。

（2）计算机的运算、逻辑判断与处理功能特别强，除控制手段外，在数据处理、系统监控、可靠性分析、性能诊断和运行管理（参数与指标显示、制表打印、报警、事故追忆和人机对话）等方面，都可以得到充分的发挥。

（3）调节品质高，系统的静态和动态特性良好。例如，在蒸汽参数稳定的条件下， 300 MW 机组数字电调的调节精度：对功率调节在 $\pm 2 \text{ MW}$ ，对转速调节在 2 r/min 以内。此外，由于硬件采用积木式结构，系统扩展灵活，维修测试方便；在冗余控制手段，保护措施严密等方面，比模拟电调有明显的优势。

（4）利用计算机有利于实现机组协调控制、厂级控制以至优化控制，这是模拟电调无论如何也不能相比的。

由于大型机组转子相对较轻，超速的可能性大，对调节品质和安全措施方面都要求很高，液压或模拟电调系统都已很难适应，因此，随着计算机性能价格比的提高，运行经验的积累，特别是自控部分在大型电厂中应受重视已为人们所共识，所以，现在国内外 300 MW 以上的大机组，都较普遍地采用数字电液调节系统。

§ 6-2 DEH调节系统概述

汽轮机数字电液调节系统，习惯上按英文词首简称 DEH (Digital Electro-Hydraulic Control System) 调节系统，它体现当前汽轮机调节的新发展，集中了两大最新成果：固体电子学技术—数字计算机系统；液压新技术—高压抗燃油系统，成为尺寸小、结构紧凑、高质量的调节系统。

一、DEH调节系统的组成

引进型 300 MW 机组的 DEH 调节系统，是根据西屋公司 DEH—III 型的功能原理开发的，在系统配置方面，尽可能吸收分散系统可靠性高的优点，在硬件设备方面，主要部件都采用微处理机，从而简化硬件电路，提高系统的可靠性。

图 6-2 为该机组的 DEH 系统图，主要由五大部分组成。

1、电子控制器：主要包括数字计算机、混合数模插件、接口和电源设备等，均集中布置在 6 个（00 号到 05 号）控制柜内。主要用于给定、接受反馈信号、逻辑运算和发出指令进行控制等。

2、操作系统：主要设置有操作盘，图像站的显示器（CRT）和打印机等，为运行人员提供

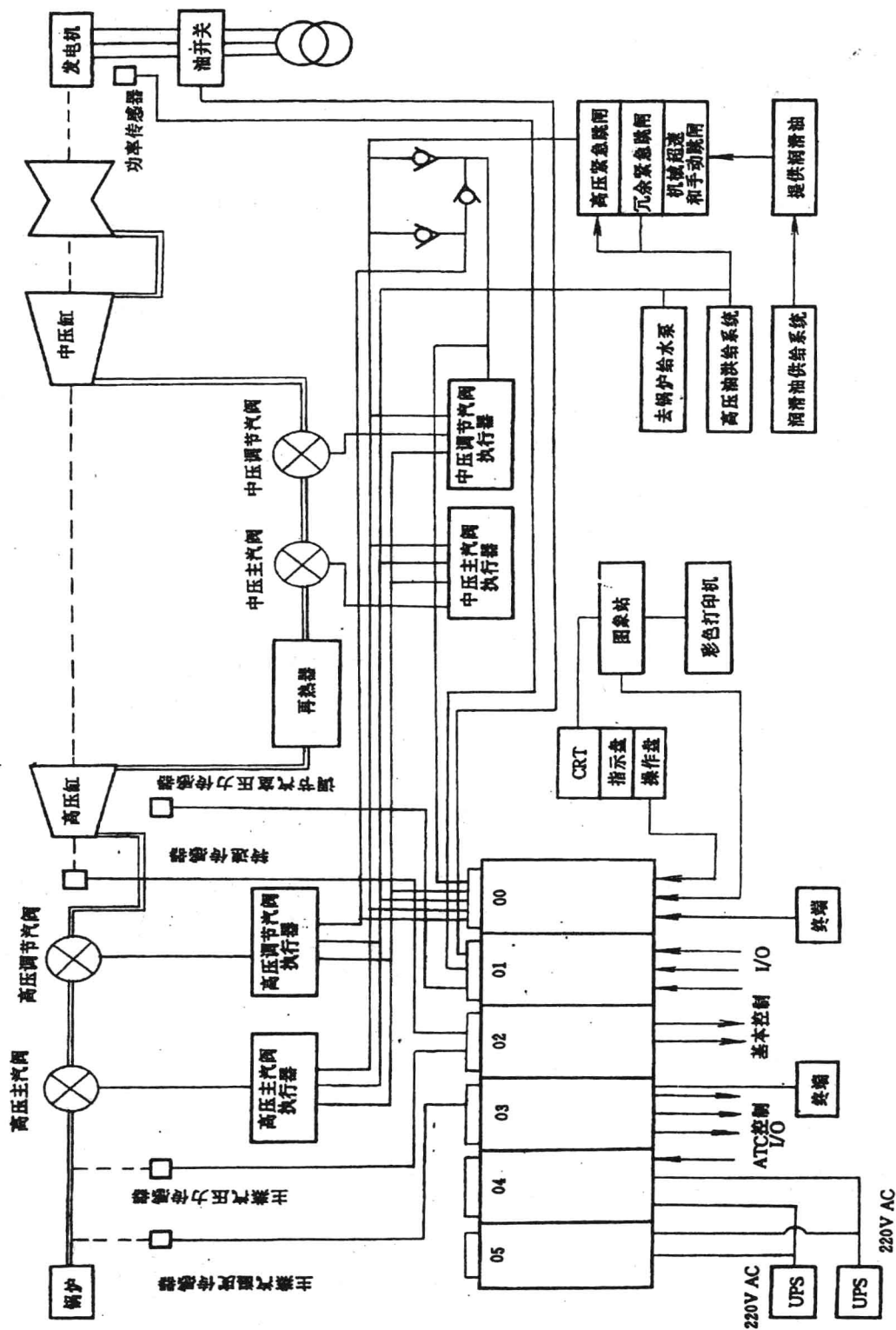


图 6-2 引进型 300MW 机组的 DEH 调节系统

运行监督、人机对话和操作等服务。

3、油系统：本机油系统分为高压抗燃油系统与润滑油系统两部分。高压抗燃油系统（EH系统，后面有专门介绍）采用三芳基磷酸酯抗燃油，为调节系统提供 12.42~14.47MPa 的控制与动力用油。它接受调节器或操作盘来的指令进行控制。润滑油系统的润滑油泵由主机拖动，为润滑系统提供 1.44~1.69 MPa 的汽轮机油。

4、执行机构：即汽阀执行器，每个汽阀配一套，主要由伺服放大器、电液转换器和具有快关、隔离和逆止装置的单侧油动机组成，负责带动高压主汽阀、高压调节汽阀和中压主汽阀、中压调节汽阀。

5、保护系统：即紧急跳闸系统，设有 6 个电磁阀，其中 2 个用于超速时关闭高、中压调节汽阀，其余用于严重超速（110% n.）、轴承油压低、EH 油压低、推力轴承磨损过大、凝汽器真空过低等情况下危急遮断和手动停机之用。

此外，为控制和监督服务用的测量元件是必不可少的，例如，机组转速、调节级汽室压力、发电机功率、主汽压力传感器以及汽轮机自动程序控制（ATC）所需要的测量装置等。

二、DEH 调节系统的功能

从整体看，DEH 调节系统有四大功能，这里先指出功能的表现形式，实现的手段则在后面相应部分中介绍。

1、汽轮机自动程序控制（ATC）功能

DEH 调节系统的汽轮机自动程序控制的功能是通过状态监测计算转子的应力，并在机组应力允许的范围内，优化启动程序，用最大的速率与最短的时间实现机组启动过程的全部自动化。

ATC 允许机组有冷态启动和热态启动两种方式。冷态启动过程包括从盘车、升速、并网到带负荷，其间各种启动的操作、阀门的切换等全过程均由计算机自动进行控制。

在非启停过程中，还可以实现 ATC 监督。

2、汽轮机的负荷自动调节功能

汽轮机的负荷自动调节有两种情况。冷态启动时，机组并网带初负荷（5% 额定负荷）后，负荷由高压调节汽阀进行控制；热态启动时，在机组负荷未达到 35% 额定负荷以前，由高、中压调节汽阀控制，以后，中压调节汽阀全开，负荷只由高压调节汽阀进行控制。处于负荷控制阶段，DEH 调节系统具有下述功能：

（1）具有操作员自动、远方控制和电厂计算机控制方式，以及它们分别与 ATC 组成的联合控制方式；

（2）具有自动控制（A 和 B 机双机容错）、一级手动和二级手动冗余控制方式；

（3）可采用单级或单级 PI 控制方式。当负荷大于 10% 额定负荷以后，可由运行人员选择是否采用调节级汽室压力和发电机功率反馈回路，从而也就决定了采用何种 PI 控制方式；

（4）可采用定压运行或滑压运行方式。当采用定压运行时，系统有阀门管理功能，以保证汽轮机能获得最大的效率；

（5）根据电网的要求，可选择调频运行方式或基本负荷运行方式；设置负荷的上下限及其

变化速率等。

此外，还有主汽压力控制（TPC）和外部负荷返回（RUNBACK）等保护主要设备和辅设备的控制方式，运行控制十分灵活。

3、汽轮机的自动保护功能

为了避免机组因超速或其他原因遭受破坏，DEH的保护系统有如下三种保护功能：

（1）超速保护（OPC）。该保护只涉及调节汽阀，即转速达到 $103\% n$ 。时快关中压调节汽阀；在 $103\% n. < n < 110\% n$ 。时，超速控制系统通过OPC电磁阀快关高、中压调节汽阀，实现对机组的超速保护。

（2）危急遮断控制（ETS）。该保护是在ETS系统检测到机组超速达到 $110\% n$ 。或其它安全指标达到安全界限后，通过AST电磁阀关闭所有的主汽阀和调节汽阀，实行紧急停机。

（3）机械超速保护和手动脱扣。前者属于超速的多重保护，即当转速高于 $110\% n$ 。时，实行紧急停机；后者为保护系统不起作用时进行手动停机，以保障人身和设备的安全。

4、机组和DEH系统的监控功能

该监控系统在启停和运行过程中对机组和DEH装置两部分运行状况进行监督。内容包括操作状态按钮指示、状态指示和CRT画面，其中对DEH监控的内容包括重要通道、电源和内部程序的运行情况等；CRT画面包括机组和系统的重要参数、运行曲线、潮流趋势和内部故障显示等。

三、DEH调节系统的运行方式

为了确保控制的可靠，DEH调节系统设有四种运行方式，机组可在其中任何一种方式下运行，其顺序和关系是：

二级手动、一级手动、操作员自动、汽轮机自动ATC，紧邻两种运行方式相互跟踪，并可做到无扰切换。此外，居于二级手动以下还有一种硬手操，作为二级手动的备用，但两者无跟踪，需对位操作后才能切换。

二级手动运行方式是跟踪系统中最低级的运行方式，仅作为备用运行方式。该级全部由成熟的常规模拟元件组成，以便数字系统故障时，自动转入模拟系统控制，确保机组的安全可靠。

一级手动是一种开环运行方式，运行人员在操作盘上按键就可以控制各阀门的开度，各按钮之间逻辑互锁，同时具有操作超速保护控制器（OPC）、主汽阀压力控制器（TPC）、外部触点返回（RUNBACK）和脱扣等保护功能，该方式作为汽轮机自动方式的备用。

操作员自动方式是DEH调节系统最基本的运行方式，用这种方式可实现汽轮机转速和负荷的闭环控制，并具有各种保护功能。该方式设有完全相同的A和B双机系统，两机容错，具有跟踪和自动切换功能，也可以强迫切换。在该方式下，目标转速和目标负荷及其速率，均由操作员给定。

汽轮机自动ATC是最高一级的运行方式，此时转速和目标负荷及其速率，均不由操作员给定，而是由计算机程序或外部设备进行控制。

四、DEH调节系统的阀门控制模式

(一) 主汽阀(TV)控制模式

主汽阀控制有两种控制方式:

- 1、主汽阀自动(AUTO)方式。亦称数字系统控制方式。当计算机发出指令进行控制时称汽轮机主汽阀自动控制(ATC);当由运行人员自操作盘通过计算机进行控制时,称汽轮机主汽阀操作员自动控制。
- 2、主汽阀手动方式。此时数字系统不参与,而通过模拟系统对机组进行控制。

主汽阀控制系统用于启动升速和机组跳闸时进行紧急停机。在冷态启动开始阶段,是由主汽阀调控制汽轮机的转速,调节汽阀处于全开状态;当转速达到96%额定转速时,转速控制由主汽阀切至调节汽阀,然后主汽阀全开,一直到并网带负荷运行,在这期间,只要不出现汽轮机跳闸,机组就始终由调节汽阀进行控制。

(二) 调节汽阀(GV)控制模式

1、调节汽阀自动(AUTO)方式

调节汽阀自动方式即计算机参与的控制方式,为数字系统运行。在负荷控制阶段,GV以下五种运行方式。

- (1) 操作员自动控制方式(OA)。在该方式下,系统接受操作员输入的目标负荷及其速率,并进行控制。
- (2) 遥控方式(REMOTE)。在该方式下,系统接受协调控制(CCS)或负荷调度中心(ADS)输入的目标负荷及其速率,并进行控制。
- (3) 电厂计算机控制方式(PLANT COMP)。在该方式下,系统接受厂级计算机输入的目标负荷及其速率,并进行控制。
- (4) 自动汽轮机控制方式(ATC)。这是一种联合控制方式,其组合形式有OA—ATC、CCS—ATC、ADS—ATC和REMOTE—ATC等几种。此时,由前者给定目标负荷和速率ATC负责监控,并从下面的速率中选取一个最小的速率作为当前执行速率。

- ①由ATC软件计算转子应力所确定的负荷速率;
- ②电机限制的负荷速率;
- ③外部输入负荷速率,包括OA、REMOTE和PLANT COMP等;
- ④电厂内部允许的负荷速率,如TPC和RUNBACK限制等。

(5) 电厂限制控制方式采用此方式时,DEH系统受电厂内部运行条件所制约,其具体形式有:

- ①主汽压力控制方式(TPC)该方式在主汽压力下降时限制汽轮机的负荷,避免锅炉汽压急剧下降;
- ②外部负荷返回控制方式(RUNBACK)该方式主要是考虑辅机故障,例如,在给水泵和风机等跳闸的情况下,系统将以一定的速率去关小调节汽阀,直到故障消除为止。

2、调节汽阀手动方式

在调节汽阀手动控制方式下,计算机不参与控制,而是由运行人员发出指令,通过模拟系统输出的信号进行控制。

由此可见,无论是TV还是GV,都有数字控制和模拟控制两种方式,它们之间应设

有数模转换和跟踪系统，以便在系统或运行方式变更时，实现无扰动切换。

五、DEH调节系统的阀门控制原理

和液压调节系统一样，DEH调节系统无论是改变转速还是改变功率，都要通过改变阀门位置（开度）来实现。因此，DEH调节系统的基本控制原理就是如何进行阀门控制（通常称为阀位控制）。

在DEH调节系统中，除了中压主汽阀为开关型汽阀外，其他均为控制型汽阀，不同程度地参与汽轮机的调节。而在汽轮机的运行中，调节汽阀GV自动控制是主要的控制方式，为此，下面将重点介绍其控制的基本原理。

（一）DEH自动控制系统接受的信号

在DEH系统中，高压调节汽阀（GV）接受6种信号，它们是：

- （1）转速或负荷的给定信号（包括转速或负荷变化速率）；
- （2）转速反馈信号：鉴于转速的重要性，系统接受两个数字信号和一个模拟系统经A/D转换来的数字信号，经比较后选择一个最可靠的转速作为转速的反馈信号；
- （3）调节级汽室压力信号：用以代表汽轮机功率的反馈信号；
- （4）发电机功率信号：用以代表发电机功率的反馈信号；
- （5）主汽阀前的主蒸汽压力信号：用以保证汽轮机的进汽压力不低于某一限定值，因而实际上就是负荷限制信号；
- （6）模拟系统的手动信号：用于模拟控制。当手动操作时，数字系统也对模拟系统进行跟踪，以保证手动/自动变换过程中的无扰动切换。

（二）DEH调节系统的阀门控制原理

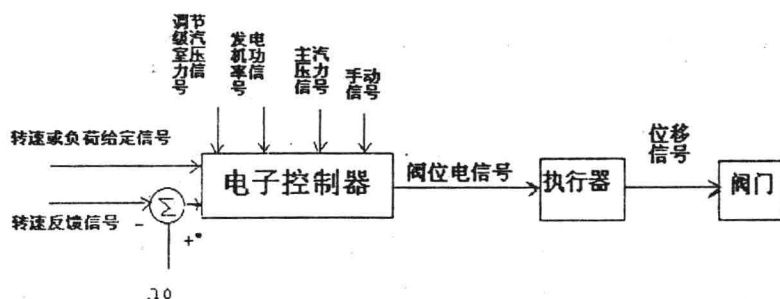


图 6-3 DEH调节系统的阀门控制原理

如图 6-3 所示，当DEH调节系统接受到功率（由调节级汽室压力代表）和转速反馈信号后，通过控制器（调节器）的逻辑运算（包括与给定值的比较），输出一个与功率偏差和转速偏差相应的阀位调节信号（包括调节位置和调节速率），然后通过执行器（主要包括电液转换器和油动机）去控制阀位，从而调节汽轮机的功率和转速。当然，DEH调节系统接受的其他信号，也可以改变阀位。

注意，由于当系统受到外扰时，调节级汽室压力首先变化，而且该压力正比于汽轮机的功率，故DEH调节系统由调节级汽室压力代表功率可使系统在功率变化时作出较快的响应，加快调节速度。

六、汽轮机自动程序控制 (ATC)

大容量机组系统复杂, 监控内容和操作项目繁多, 特别是在启动过程中, 温差、膨胀、位移、应力和振动等因素对机组的安全有重大的影响, 若为手操启动, 需要思想高度集中的进行大量的操作和监视。为了减少人为的失误, 使机组在安全的前提下, 以最大的速率和最短的时间进行启动, 就有了汽轮机自动程序控制汽轮机启停。机组的自启停的实现, 对提高机组的可靠性和减少启停损失, 具有重要的意义。

汽轮机自动程序控制, 包括自启动 ATC 和带负荷 ATC, 共由两个任务级程序和 16 个基本子程序组成, 统称 ATC 软件包。两个任务级程序是 ATC 周期性控制任务和 ATC 信息记录任务。DEH 采用 ATC 运行方式时, 这两个任务是由辅助同步器定时唤醒, 并由监控系统的调度程序按优先级别调度运行。

运行程序包括计算、监督和控制等内容, 它与周期性任务之间有数字量和逻辑量形式的信息交换, 有些子程序可独立计算, 有些子程序则依赖别的子程序的数值进行计算, 并以一定的逻辑状态作为运行的依据。

(一) 子程序的项目和内容

- 1、高压缸转子应力计算 (P01) 该计算是根据转子的结构、温度和温差条件, 运用传热学和力学理论去计算转子的应力, 并以此来确定允许或禁止下一步启动或运行。该计算在 DEH 系统中, 每 5 s 进行一次, 即同期 $T=5\text{ s}$ 。
- 2、汽缸温度监视 (P02) 该部分包括汽缸、蒸汽室在内金属温度预测的计算值和监视值, 经确认后进行比较, 并计算金属部件的温差, 其周期 $T=10\text{ s}$ 。
- 3、盘车运行方式监视 (P03) 该部分仅在机组处于盘车状态时使用, 以确定是否允许机组脱离盘车状态, 其周期 $T=60\text{ s}$ 。
- 4、转子应力控制 (P04) 它是根据第 1 项和 16 项计算得到转子的应力和有关值来确定转子控制的逻辑状态的, 用以确定是否保持原有转速或功率, 减小或增加其升(降)速率, 其周期 $T=30\text{ s}$ 。
- 5、偏心率和振动监视 (P05) 监视的目的是使转子的偏心率和振动值在允许范围之内, 超过限定值时要依次报警、采取保持方式, 严重时还要紧急停机, 其周期 $T=6\text{ s}$ 。
- 6、汽缸疏水检测及控制 (P06) 它是根据汽缸上部和下部的温差条件来判断下汽缸是否积水, 并对疏水阀进行控制, 其周期 $T=10\text{ s}$ 。
- 7、速度控制 (P07) 该控制包括转速、负荷的请求值及其速率, 它是通过对振动、疏水、轴承金属温度、轴向推力、差胀和应力等因素的综合比较后, 确定对转速或负荷是保持还是继续增加, 其周期 $T=1\text{ s}$ 。
- 8、轴承温度和油温监控 (P08) 这些温度与转速、轴承工作情况和油冷却器运行等因素有关, 最终结果是使升速率或升荷率的数值, 在该两项温度允许范围之内, 其周期 $T=60\text{ s}$ 。
- 9、发电机监视 (P09) 除了与第 8 项相同外, 还对发电机的振动、氢冷却系统故障、励磁电路故障、超越功—频特性曲线范围、发电机过载和功率信号故障等因素进行监视或报警, 以便确定负荷的保持或升降, 其周期 $T=60\text{ s}$ 。
- 10、汽封、汽轮机排汽和凝汽器真空监视 (P10) 该部分监控用以保证汽封温度不超过高

限或低限，凝汽器压力 and 不同区段之间的压差不超过高限，以及汽轮机排汽温度过高时喷水等，并设立故障状态标志，以供A T C主机的判断和处理，其周期 $T=50\text{ s}$ 。

11、轴向位移和差胀及其趋势监视（P 11） 通过监控和预估计算它们的数值，经比较分析用以确定转速或负荷是否增减或保持，提供超限报警甚至停机的状态标志，其周期 $T=60\text{ s}$ 。

12、低压缸排汽压力和再热蒸汽温度监视（P 12） 低压缸末级叶片在低流量时可能出现过热度，它受再热汽温和排汽压力的影响，为了消除过热度，应当降低再热汽温和改善机组真空，使末级汽温在允许范围之内，若超过限定值，应向A T C提供状态标志，其周期 $T=60\text{ s}$ 。

13、传感器故障监视（P 13） 传感器的输出是机组监控的耳目，是计算和控制的依据，通过对它们的监视，判别其工作是否正常，当不准确或无输出时，向A T C提供状态标志，以便采取替代措施，或至少明确与故障元件有关部分的监视或计算是不可靠的，这一点对于基本控制的那些传感器特别重要，该部分的监视周期 $T=5\text{ s}$ 。

14、暖机监控（P 14） 暖机的目的是使机组的静止或转动部分受热均匀，应力在允许范围之内。该项目是根据机组各部分的温度条件，确定暖机的速度、时间和进程，设置暖机请求和暖机完成的状态标志，其周期 $T=60\text{ s}$ 。

15、升速顺序控制（P 15） 该部分是把机组从盘车到并网的转速分成四个阶段：第一阶段转速、暖机转速、TV至GV切换转速和同步转速，以供A T C根据机组的启动条件，顺序调用相应的计算，给出转速的设定值和速率，依次达到目标转速。该程序至带初负荷后即退出，其周期 $T=60\text{ s}$ 。

16、中压缸转子应力计算（P 16） 该部分的任务计算中压缸转子实际应力和预估应力，由转子控制程序结合高压缸转子应力计算，综合确定机组的升速率或升负荷率。中压缸转子应力对负荷率或负荷加速率（F A S T）影响特别大，其计算周期应较小， $T=5\text{ s}$ 。

此外，还有一个A T C模拟转换程序，它先于上述周期性子程序运行，保证各子程序计算所需要的模拟数据能得到及时的转换。

以上内容构成了汽轮机自动程序控制A T C的总程序，是由D E H系统的辅助同步器任务唤醒运行的，而其中各个子程序的调用，又是由周期性控制任务程序执行，从而实现汽轮机自启停的控制。

（二）汽轮机自动程序控制的功能

1、A T C启动

在汽轮机脱离盘车装置之前，首先核对汽轮发电机组的参数，在这些参数未达到要求时，将不脱离盘车装置。

在升速过程中，如遇有关转速保持的任一输入值超过报警极限，应立即保持转速。在确认不存在报警或遮断状态后，机组将按启动建议的导则一直加热到暖机转速。

在暖机过程中，A T C将根据计算的暖机时间自动暖机，一旦暖机完成，A T C将在机组启动建议导则的指导下，自动加速到TV向GV转换的转速。在加速过程中，升速率将根据实际转子应力 and 预计转子应力的比较值来控制，并自动加速到同步转速 and 进行并网。

2、A T C加负荷

汽轮机A T C的负荷控制有A T C管理和A T C控制两种方式。

在ATC管理方式中，ATC进行监视，运行人员完成机组的控制。这个过程ATC将通过监视参数并进行限值比较，把结果通知运行人员，用以指导正确操作。除监控参数外，运行人员还可随时调用中间计算值，如转子应力、预计应力、差胀，以及当前的加负荷率等，以供运行操作时参考。

在ATC控制方式中，由ATC程序根据蒸汽参数、胀差、转子应力和机组振动等情况，自动增减或保持机组的负荷变化率。当参数越限时，报警信息将全部打印输出；当进行负荷率的调整，纠正不了系统参数的不正常变化时，表明该值已超过极限，ATC自动地切换至操作员自动方式，并发出遮断状态的报警，在该情况下，ATC管理方式中的所有监控功能仍予以保留，继续指导操作员的操作。

严格的ATC控制方式中，负荷控制方式和转速控制方式是不同的，转速控制的升速值，严格地受到汽轮发电机组自身条件的限制，而ATC负荷控制中，除机组自身条件外，ATC的负荷变化率，还用来协调单元机组以致全厂间的合理运行。此外，负荷升降率还可来自遥控，但此时ATC仅进行监视，如果参数越限报警，仍需进行负荷的保持，以确保任何情况下机组的安全。

§6-3 DEH的液压伺服系统

一、DEH调节的液压伺服系统

在DEH调节系统中，数字部分的输出，进入液压伺服系统，该系统由伺服放大器、电液伺服阀（即电液转换器）、油动机及其位移反馈装置（LVDT）组成，是DEH的末级放大与执行机构。

引进型300MW机组的调节油和润滑油为分开的独立系统。本章介绍的为调节油即EH油系统，如图6-4所示，它由四大部分组成：图的右下方为保护和遮断系统，用于机组保护；右上方为遮断试验系统，用于系统的试验；左上方为中压主汽阀（2个）和调节汽阀（2个）控制系统；左下方为高压主汽阀（2个）和调节汽阀（6个）控制系统。各油动机及其相应的汽阀称为DEH系统的执行机构，整个调节系统有12个这种机构，由于其调节对象和任务的不同，其结构型式和调节规律也不相同，但从整体看，它们具有以下相同的特点：

- 1、所有的控制系统都有一套独立的汽阀、油动机、电液伺服阀（开关型汽阀例外）、隔绝阀、止回阀、快速卸载阀和滤油器等，各自独立执行任务。
- 2、所有的油动机都是单侧油动机，其开启依靠高压动力油，关闭靠弹簧力，这是一种安全型机构，例如在系统漏“油”时，油动机向关闭方向时动作。
- 3、执行机构是一种组合阀门机构，在油动机的油缸上有一个控制块的接口，在该块上装有隔绝阀、快速卸载阀和止回阀，并加上相应的附加组件构成一个整体，成为具有控制和快关功能的组合阀门机构。

二、高压主汽阀和调节汽阀的组合结构

高压主汽阀（TV）和高压调节汽阀（GV）是一种控制型的阀门机构，运行时可以根据需要将汽阀控制在任意的中间位置上，其调节规律是蒸汽流量与阀门的开度成正比。

(一) 控制型汽阀的工作原理；

图 6-5 为控制型汽阀的工作原理图，图中给出了组合阀门的各种主要功能构件，T V 和 G V 两种汽阀的结构相同。

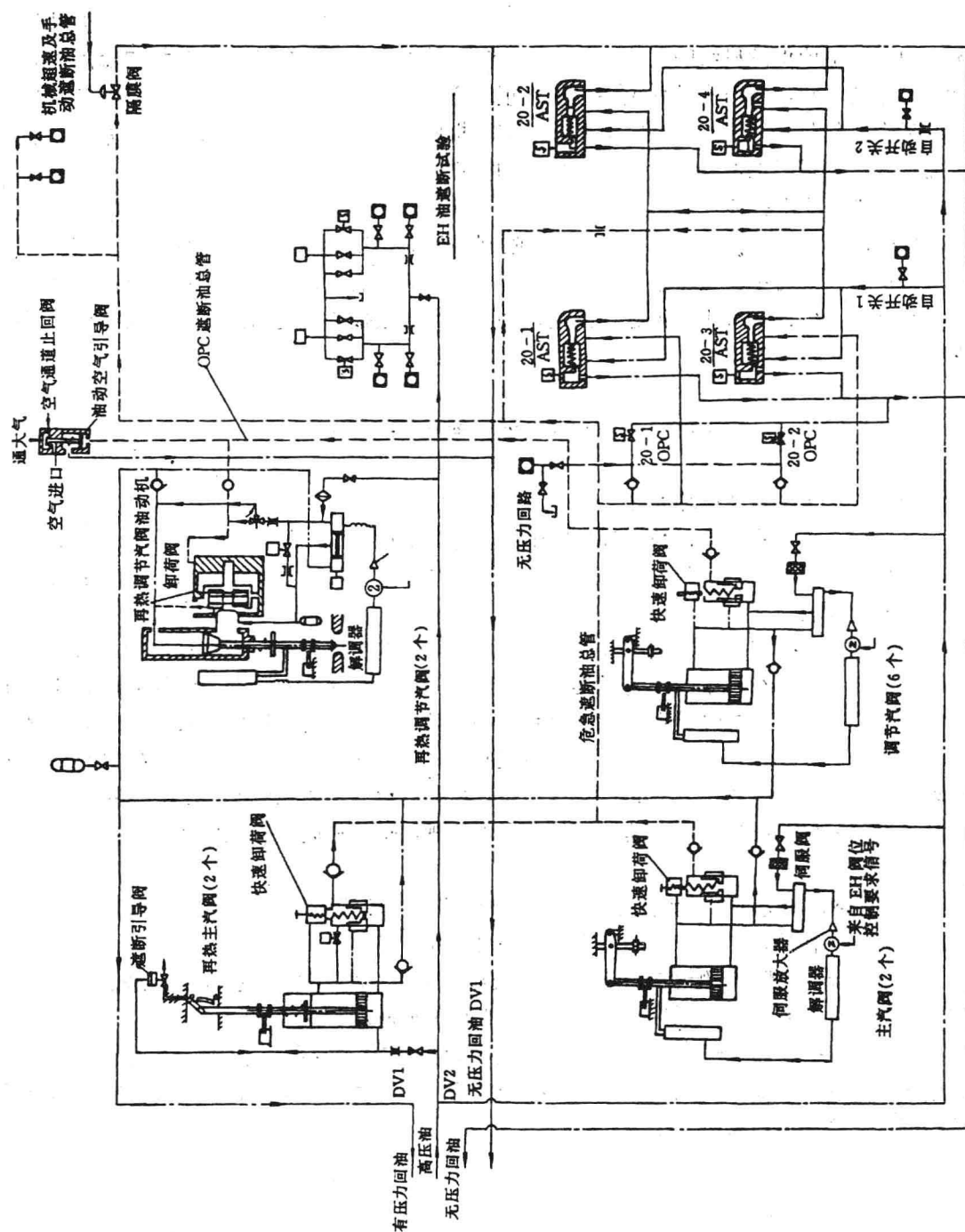


图 6-4 DEH 调节的液压伺服系统

当给定或外界负荷变化时，计算机输出开大或关小汽阀的电压信号，经伺服放大器转换成电流信号并进行功率放大，在电液伺服阀将电信号转换成弹簧片的位移信号，经喷嘴控制使伺服阀活塞产生位移，输出高压油对油动机进行控制。增加负荷时，高压油使油动机活塞向上运动，通过连杆带动，使汽阀开启；当负荷降低时，弹簧力的作用使压力油自油动机活塞的下腔泄出，油动机活塞向下运动而关小汽阀。

当油动机活塞移动时，用于反馈的线性位移变送器（LVDT），将油动机活塞的机械位移转换成电信号，该信号经解调器与计算机输入的信号比较，伺服放大器的输入偏差为零时，电液伺服阀的活塞回到中间位置，从而切断油动机的进油通道，油动机停止运动，系统在新的工作位置上达到平衡。

主汽阀和调节汽阀的油动机旁，各设有一个快速卸载阀，用于汽轮机故障需要停机时，通过安全油系统使遮断油总管失压，快速泄去油动机下腔的高压油，依靠弹簧力的作用，使汽阀迅速关闭，以实现对机组的保护。在快速卸载阀动作的同时，工作油还可排入油动机的上腔室。从而避免回油旁路的过载，这是一种巧妙的设计。

（二）组合汽阀的机构

高压主汽阀和调节汽阀的结构相同，该机构包括了油动机、电液伺服阀、隔绝阀、溢

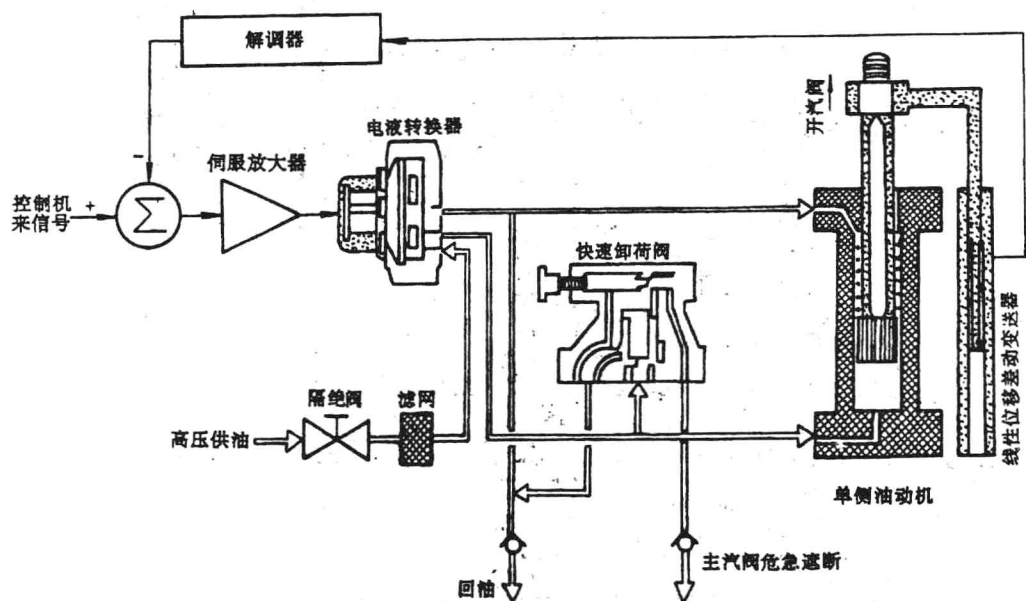


图 6-5 高压主汽阀和高压调节汽阀的工作原理图

流阀、逆止阀、过滤器和线性位移差动变送器等所有的功能部件，并且组合成一体，由于减少了各部件单独布置时的大量连接管件，从而提高了运行的可靠性。位置控制的信号、伺服放大器、LVDT及其解调器，也是组合机构的工作部件，它们安装在调节器的组合控制柜内。

油动机是单侧油动机结构，布置在每个蒸汽室的侧面，其活塞杆通过一对连杆与调节汽阀连杆相连，杠杆的支点布置成油动机向上运动是调节汽阀的开启方向。

(三) 电液伺服阀（电液转换器）

电液伺服阀的任务，是把电气量转换为液压量去控制油动机。图 6-6 是该阀的工作原理图，它是由一个力矩马达、两级液压放大和机械反馈系统等组成。力矩马达是由一个两侧绕有线圈的永久磁铁组成，当两侧的线圈产生不平衡电流时，由于电磁力的作用，使衔铁及挡板发生偏转，把电量转换成位移量。第一级放大是由 1 个双喷嘴和 1 个单挡板组成，此挡板固定在衔铁的中点，并在 2 个喷嘴之间穿过，使在喷嘴的端部与挡板之间形成 2 个可变的节流孔，由挡板和喷嘴控制的油压通往第二级滑阀两端的端面上。第二级滑阀是四通滑阀结构，当两侧产生压差时，滑阀输出的流量与其油口的开度成正比。1 个悬臂的反馈杆固定在挡板上，并嵌入滑阀中心的 1 个槽内，当衔铁处于中间位置时，挡板对流过两个喷嘴的油流的节流作用相同，滑阀的两端无差压，相反，衔铁不在中间位置时，滑阀将因出现差压而位移，从而改变通往油动机的油量，使油动机产生位移，最终控制调节汽阀。

电液伺服阀的工作原理如下：

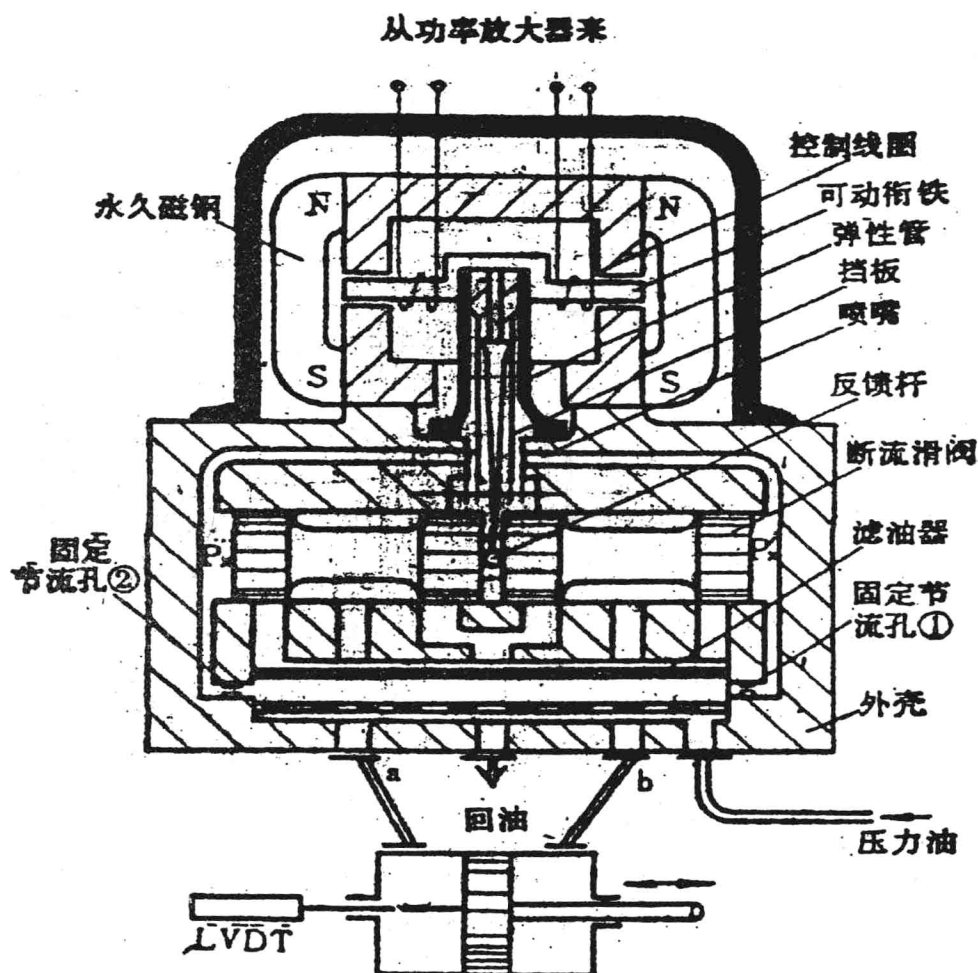


图 6-6 电液伺服阀的工作原理图