

调速系统

(1)进行机组的正常操作：机组的开停机、增减负荷，以及发电、调相等各种工况的相互切换。这些操作均应能自动或手动进行。

(3)实现机组的经济运行：按要求自动分配机组间的负荷，使机组运行于高效率区；根据需要按水头或按流量进行自动调节。

(1)由于单位水体携带能量较少，‘水轮机运转时，必须通过较大的流量。为了改变水轮机的过流量，就要求水轮机调速器具有较大的输出功率，因而水轮机调速器均有多级液压放大装置和外加能源。

(3)双调节水轮机具有两个按特定协联关系动作的调节机构。以提高机组效率，或适应机组的不同运行工况，或保证机组安全运行。这些水轮机要求调速器具有双重调节功能。

第二节 调速器的结构、性能和特点

一、调速器分类

2

1. 按调速器各部件的原理结构分

(1)机械液压调速器。其主要部件均为机械液压部件。

(2)电气液压调速器。电气液压调速器的测速环节，信号的综合、变换和放大，以及反馈环节等，均采用电气回路来实现，然后由电液转换部件将电气信号转换为机械液压信号，经过液压放大，推动执行机构。电气回路可由电子管、晶体管或集成电路等不同的元件所组成。

2. 按调节规律分

(1). 比例—积分调速器(PI调节规律) 。

(2)比例—积分—微分调速器(PID调节规律) 比例调节的输出与输入偏差信号成正比；积分调节输出的变化速度与输入偏差信号成正比；微分调节的输出与输入偏差信号的变化速度成正比。单纯的比例调节器具有很大的静差，不能用于水轮机调节。积分作用可以消除静差，但会使过渡过程的超调量增大，调节时间加长，如果调节系统的滞后过大，还可能引起系统振荡。微分调节的输出较偏差信号超前出现，因而可减小过渡过程的超调量，并缩短调节时间。

3. 按永态反馈和暂态反馈取出的位置分

(1)自主接力器取永态和暂态反馈的调节器。

(2)自中间接力器取永态和暂态反馈的调节器。

4. 按调速器执行机构的数目分

(1)单调节调速器。调速器只有一个执行机构。如用于混流式和定桨式机组的调速器。

3

(2)双调节调速器。调速器具有两个有一定协联关系的执行机构。如用于转桨式机组的调速器。

5. 按调速器的工作容量分

(1)大型调速器。主配压阀活塞直径大于80毫米。大型调速器所用的油压装置和主接力器均单独设置，有些大型电液调速器本身的电气柜也和机械柜分开设置。

(2)中型调速器。操作功在1800~3000公斤·米之间。中型调速器一

般和油压装置、主接力器做成一个整体，有的油压装置也单独设置。

二、调速器的基本环节

(一)测速环节

测速环节的作用是不断地测量机组的实际转速与给定转速的偏差，并根据偏差的大小和方向，输出相应的信号作用于下一个环节。这个信号在机械液压调速器中是飞摆的机械位移；在电气液压调速器中，则是测速回路的输出电压(或电流)。

调速器的测速环节有以下四种主要型式：

(1)永磁机—离心飞摆。机械液压调速器一般采用这种测速方式。离心飞摆由感应式电动机拖动旋转，电动机的电源来自自由机组带动的永磁机，所以飞摆的转速与机组的转速成正比。

(2)永磁机—LC测频回路。LC测频回路的电源来自永磁机，永磁机的频率反映了机组的频率。所以LC测频回路的输出电压与机组的频率成正比。

4

LC测频回路有串联、并联、双串联、双并联和串并联几种，它们的工作原理基本相同，都是利用LC回路的复阻抗与频率有关这一特性。电气液压调速器中实际采用的各种LC测频回路的典型线路、频率特性曲线和特点见表6-1。

这种测速方式，永磁机耗费贵重金属较多，加工制造较困难，且测频回路的输入信号为工频，测频环节时间常数较大。但永磁机可作为调速器的可靠电源，且其电压与转速成比例，用电压继电器作转速继电器比较方便，加之有较长H寸间的运行经验，所以目前我国电液调速器中仍普遍

采用永磁机作为一种测速方式。

(3) 齿盘与磁头—脉冲频率测

量回路(简称齿盘测速)。齿盘和磁头的作用是产生频率与机组转速 n 成正比的电脉冲信号 V ，工作原理如图 6—1 所示。

齿盘与机组同轴转动，磁头的磁路不断地被齿盘上的齿闭合、断开。磁头上线圈中的磁通相应地发生变化，机组转速越高，单位时间内磁通变化次数就越多，线圈两端感应出的信号 V_F 的脉冲频率就愈高。其值由下式决定：

式中 F ——脉冲频率，

Z ——齿盘上的齿数；

N ——机组的转速。

脉冲频率测量电路由脉冲整形，功率放大，频率—电压变换和转速整定回路四部分组成。图 6—2 是该电路原理方框图。

磁头的脉冲信号电压经过整形、功率放大，同时送入频率电压变换回路和转速整定回路。频率电压变换回路输出与机组转速成正比的电压 V_o ，转速整定回路则输出一个与整定转速成正比的电压 V_z ，比较后即得到与转速偏差 Δn 成比例的输出电压 $V_{\Delta n}$ 。

这种测速方式耗费贵重金属很少，加工制造简单，而且测频环节时间常数很小，但这种测速方式还需要给调速器提供可靠的电源和设置转速继电器。

(4) 发电机残压—脉冲频率测量回路(简称残压测速)。这种测

速方法的频率信号直接从发电机的电压互感器和电流互感器上取出。

当发电机失去励磁的情况下，电子脉冲频率测量回路利用发电机的残压仍能正常工作。

残压测速的原理方框图如图 6—3 所示，当机组调频运行时，

该测速装置的 1, 2 两个通道投入工作，通道 2 是由频率稳定度较高的音叉振荡器(或石英晶体振荡器)作为信号源。通道 1 是以机组电压互感器和电流互感器来的信号为信号源，前者为给定通道(或称基准通道)，后者是被测信号通道。这两个通道的输出电压比较后，得到频率偏差的输出信号。

为了缩短机组并网时间，在残压测频装置中还增设了频率跟踪回

路。开机以后，为使机组的频率跟踪电网的频率，只要将以音叉振荡器为信号源的给定通道切除，将以电网电压为信号源的通道 3 作为给定通道接入，1, 3 两通道的输出电压相比较，其差值作用于放大器。调速器调节的終了，使其差值为零，便保证了机组的频率与电网频率相等。这种测速方式的主要特点是：机组的频率信号取自电流互感器 6

和电压互感器，通用性强。与齿盘测速相比，不需要专门的测速头，但仍需要给电液调速器提供可靠的电源和设置转速继电器。由于转速信号的频率是工频，测速回路的时间常数与永磁机—LC测频回路大致相同。

(二)测加速环节

测加速环节的作用是测量机组的加速度，根据加速度的大小与方向，输出相应的信号，与测速环节的输出信号共同作用于下一个环节。因为机组的加速度与机组承受的动刀矩与阻力矩之差成正比，当作用于机组的力矩发生变化的瞬间，机组便立即具有相当数量的加速度，而机组的转速偏

差则等于机组加速度对时间的积分，因而测加速环节可以“预见”到机组转速偏差出现的方向和大小。所以，具有测加速环节的调速器与仅有测速环节的调速器相比，调节作用更加及时，调节品质可以改善，转速偏差也可减小。从调速器的调节规律来看，在比例积分调速器中引入测加速环节，是使之成为比例积分微分调节规律调速器的方法之一。

(三)信号综合及放大环节

在水轮机调速器中参与调节作用的信号一般有转速偏差信号、永态反馈信号、暂态反馈信号、指令信号等。这些信号需要进行综合和放大，才能控制执行机构。

1. 信号综合方式

在机械液压调速器或电液调速器的机械液压系统中，位移信号的综合方式有两种：一种是经机械杆件系统直接进行综合，这时，自某 7

一位移信号到信号综合点的杠杆比即为该位移信号的传递系数。这种综合方式是位移信号的主要综合方式，其优点是传递系数准确稳定，缺点是杆件系统布置不够灵活，铰接处易产生死区。另一种方式是在力平衡的基础上进行位移信号综合。

在电液调速器中，当采用交流调节信号时，诸调节信号通过变压器进行串联综合，如图 6-4 所示。

当采用直流调节信号时，信号综合方式有串联和并联两种，图 6-5 是串联综合的典型线路。

利用运算放大器进行并联综合的典型线路见图 6-6，它不仅有综合信号的作用，同时还对信号进行放大。

用运算放大器综合信号,较串联综合方式灵活方便、备用信号通道多、放大系数比较稳定。各信号间互相影响小,抗干扰能力强。因此,目前新设计的电液调速器多采用这种信号综合方式。

2. 放大环节

放大环节被认为是由一个无限大的能源引入能量,该能量受到放大环节输入信号的控制,使放大器的强大输出信号与输入信号成比例。

控制信号与输出信号可以是同一种物理量,也可以是不同的物理量。例如:晶体管放大器,输入与输出均是电压,而电液转换器则是输入电量,输出机械位移或压力油的流量。

(1)电气放大器

在电液调速器中,电气放大器的作用是将微弱的综合信号,放大8到足以推动电液转换器工作。

目前我国生产的电液调速器中,电气放大器有电子管差动放大器、晶体管差动放大器、晶体管运算放大器和集成电路运算放大器四种,其典型线路及特点见表6—2。采用电子管差动放大器的电液调速器为早期产品,近年来大多采用晶体管差动放大器和晶体管运算放大器。并已开始采用集成电路的运算放大器(又称线性组件)

(2)液压放大器

液压放大器,一般由配压阀、继电器及其反馈部件组成。液压放大器具有结构简单,功率大,重量和惯性较机电式功率放大器小,润滑良好及运动平稳可靠等优点。因而,各类调速器均采用液压放大器进行功率放大。

具有中间继电器的调速器,一般具有三到四级液压放大:引导阀、中

间接力器及其反馈部件组成了一级液压放大；引导阀、辅助接力器及其反馈部件组成了二级液压放大；主配压阀、主接力器及其反馈部件组成了三级液压放大。对于没有中间接力器的调速器，一般只有两级液压放大。

调速器的主配压阀按其组成可分为三类：一类是由辅助接力器和主配压阀组成，一类是由引导阀、辅助接力器和主配压阀组成，还有一类是由开度限制针塞、辅助接力器和主配压阀组成。

主配压阀活塞有等压式和差压式两种。等压式主配压阀的辅助接力器活塞与配压阀活塞通常为一个零件，结构比较简单(如 JST型调速器)。差压式主配压阀的辅助接力器活塞是通过半球面铰与配压阀

活塞连接在一起的，这种结构加工尺寸较小，并允许有一定的加工、安装误差(如 DT型调速器)。

调整开、关机时间的方式有配压阀限位式和油压节流式两种。前者通过限制主配压阀活塞最大行程来限制主配压阀的最大开口，达到调整开、关机时间的目的(如 ST型调速器)。后者通过调整主配压阀排油孔处节流阀的开口大小来调整开、关机时间(如 JST型调速器)。前者结构简单；后者结构较复杂，但便于设置分段关闭装置，实现导叶的分段关闭。对于限位式，为了实现分段关闭，必须在主接力器关机时的排油管路上设置受主接力器位置及其他条件控制的分段关闭节流装置。

3. 电气液压转换部件

电气液压转换部件的作用是将电气部分输出的综合电气信号转换成具有一定操作力和位移量的机械位移信号，或转换为具有一定压力的流量信号。

目前采用较多的是差压式(亦称差动式)电液转换器和等压式电液转换器(见图6—7至图6—9)。它们都是由动圈式电气一位移转换部分和控制套式液压放大部分所组成,都是位移输出。与差压式相比,等压式电液转换器的灵敏度稍高,机械零位漂移也较小,但耗油量较大。

(四)反馈环节

反馈环节是将调速器主接力器或中间接力器等的输出量经过一定规律的变换并引向综合放大环节输入端的装置。这里所说的反馈环

节,是指形成调速器调节规律的那些反馈环节,不包括前面提到的放大环节本身具有的那些局部反馈。

将输出量按比例规律引向输入端的负反馈叫永态反馈(或硬反馈),由于这个反馈信号的作用,将形成机组转速随导叶开度的增加而下降,表征这个反馈信号参数是永态转差系数 b_p 。它的大小决定了调速器静态特性曲线的斜率。永态转差系数定义为:在某一工况点,相对转速的增量与相应的接力器相对行程的增量之比的负数。

1. 永态反馈

机械液压调速器中,永态反馈是由调差机构来实现的。调差机构一般为框形结构,由位移输入点、输出点和支点组成,改变输出点或支点的位置即可改变其变比,从而改变永态转差系数。

电液调速器中,往往把功率给定回路和永态反馈回路放在一起。有些电液调速器,在永态反馈回路中还设有

人工失灵区回路,使

2. 暂态反馈

馈臂连接销钉的位置，即可改变暂态转差系数。缓冲时间常数的整定值，通常是通过调整缓冲器相应节流孔的大小来实现的。

电液调速器中暂态反馈均由RC微分回路来实现。暂态转差系数是由微分回路的输入或输出电压衰减回路来整定，缓冲时间常数一般是用改变电阻R的方法整定。为了使机组并入电网以后增减负荷快，在机组并网以后可将调速器的暂态转差系数减小或切除。根据改变暂态转差系数的方法不同，分为按导叶位置改变暂态转差系数和按断路器位置切换暂态转差系数两种方法。机械液压调速器一般是按断路器位置切换暂态反馈，断路器闭合后即切除暂态反馈；在电液调速器中，两种方法都有采用。

按导叶位置改变暂态转差系数的方式与按断路器位置切换暂态转差系数的方式相比，具有电路简单可靠、甩负荷时超速值小和稳定快的优点。近来新设计的电液调速器中多采用这种方式。

3. 接力器位移的传递及位移—电压变换器

(1) 接力器位移的传递。接力器位移的传递方式有：刚性回复杆；重锤拉紧的钢丝绳；液压拉紧的钢丝绳。国外某些调速器还有用薄钢带来传递接力器位移的。

刚性回复杆，多用于导叶接力器的位移传递。其优点是位移传递比较准确，死区及弹性变形、温度变形均较小。它所传递的接力器位移信号，可作为液压放大器的局部反馈和反馈环节的输入信号。也可用于带动位移—电压变换器，得到足够准确的电压信号。缺点是安装调整不方便，而且，调速器在厂房内的布置也受到刚性回复杆的限制。

制。其缺点是在传递距离较远时，具有一定的弹性变形和温度变形。故其传递的位移一般只用作液压放大器的局部反馈。

液压拉紧钢丝绳的优缺点与重锤拉紧钢丝绳类似，但其结构比较紧凑，在接力器运动过程中，弹性变形较小。

薄钢带兼有刚性回复杆和钢丝绳的优点，但对材料和制造工艺要求较高。

(2)位移—电压变换器。在电液调速器中，将接力器位移变换成电压信号，一般采用下述三种型式的位移—电压变换器。

1)WXJ-3型精密线绕电位器。。这种电位器系直流供电，时间常数为零，有利于提高调速器的灵敏度，直流电源易于稳压；故反馈电压受电源电压波动的影响很小。该电位器还具有线性度好、使用寿命长、工作可靠等优点。

2)CWZ型差动变压器式直线位移变换器。差动变压器式直线位移变换器是属于无触点的位移—电压变换器，变换器的铁芯工作范围不大，一般在15~20毫米，输出电压和功率也有限，在电液调速器中往往需要与适当的放大器配套使用，使反馈环节的电路复杂化。

3)XZB系列旋转变压器式位移~电压变换器。旋转变压器的工作电压频率有工频和音频两种。工频线性旋转变压器由永磁机供电，音频线性旋转变压器的电源是专门为它设置的音频逆变器。

线性旋转变压器具有线性度好，输出电压大，工作可靠等优点，但工频线性旋转变压器的时间常数较大，使调速器开环增益受到限制。由音频

新设计的电液调速器中，都采用这种变压器。

三、调速器的控制机构和成组调节

(一)开、停机机构

1. 机械液压调速器的开、停机机构 **T**型和 **ST**型调速器的开、停机机构由电磁双滑阀、开、停机把手和起动装置所组成。**CT-40**型等中型调速器没有专门的开、停机机构，而是利用开度限制机构进行开、停机操作。

2. 电液调速器的开、停机操作回路

由于实现开、停机的方法不同，操作回路区别很大。目前各类调速器中，实现开、停机的方法可归纳为两大类：

(1)在开机过程中，将开度限制机构置于启动开度，同时电液转换器开机线圈通电，使导水叶开启到启动开度，待机组转速升高到某整定值时，操作回路将调速器自动切换到自动状态运行，完成开机过程。例如 **DT**型和 **BDT**型调速器即属于这一类。

过程中导水叶完全受调速器的控制，而不受开度限制机构的约束。限制开度可置于全开位置，也可以置于启动开度。机组升速过程接近于给定的指数规律，即开始时升速快，接近额定转速时升速缓慢，便于机组同期并网。此外，这种开、停机方式还具有操作回路简单、与机组自动操作回路联系少、独立性强等优点。**JST-100**型集成电路调速器即属于这一类。

图 6-10 为 **JST-100**型调速器闭环开、停机工作原理框图。

二) 开度限制机构

机械开度限制机构的作用：一是在调速器自动调节时，根据要求限制

作包括开机、停机、增减负荷等)。控制导叶部分的机械开度限制机构，一般可在机旁手动操作或在中控室远距离操作。

机械开度限制机构在机械液压调速器中，一般为机械液压限位式；在电气液压调速器中，一般为机械限位式。

在 JST-100 调速器中，由于采用了电气协联，因而其桨叶调整部分具有与导叶调整部分结构相同的开度限制机构，但前者没有开度限制电机。

在电液调速器中，还可以借助于电气回路实现限制导叶的开度。由于限制开度是电量，故便于与水头信号和电气操作回路相联系，实现按水头限制出力，提高调速器的自动化水平。但是，电气开度限制的可靠性受到电液转换器的限制，在电液转换器还不十分可靠的情况下，电气开度限制就不能完全代替机械开度限制的机械的作用。 15

（三）紧急停机装置

紧急停机装置是调速器的一个重要安全装置。它的作用是在机组发生事故，二次回路发出紧急停机信号或按下紧急停机按钮后，使机组迅速停机，以避免事故扩大，因而要求动作十分可靠。紧急停机装置有以下四种类型：

(1) T型和 ST型调速器，由其开、停机机构中，的电磁双滑阀兼作紧急停机装置。

(2) DT型、JDST型和 CT-40型调速器；设置单独的紧急停机电磁阀，串接到引导阀和辅助接力器之间的油管路上，当紧急停机电磁阀动作时，直接将辅助接力器上腔与排油（对 CT-40型调速器）或压力油（对 DT, JDST

(3) JST-100型、SBT--125型调速器，设置带有小型接力器的紧急停机电磁阀，紧急停机电磁阀动作时，小型接力器通过调节杆件或者直接将引导阀压向关机方向实现紧急停机。

(4) BDT-100型调速器的紧急停机电磁阀接于引导阀与中间接力器的油管路上，紧急停机电磁阀动作时，使中间接力器上腔接通排油，实现紧急停机。

(四) 成组调节

为了提高电站运行水平，有时要求把一个电站的全部或部分机组联系起来，进行有功功率成组调节。成组调节一般由与电调配套的有功功率成组调节回路（或装置）实现。

有功功率成组调节装置应具备下述功能：

16

(1)能给定参加成组调节的所有机组的总功率，并能按等导叶开度或等功率原则，进行有功功率分配。

(2)应使所有参加成组调节的机组在同一永态转差系数下运行，并能进行调频。

(3)有功功率成组调节装置通过调速器控制机组，它是按与调速器联合工作设计的。成组调节装置和调速器各自的功能应具有独立性。即成组装置切除时，调速器仍能正常工作。成组调节装置能随时增加或减少参与成组调节的机组数。

目前，国内与电调配套生产的有功功率成组调节回路均为交流信号制，

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/258016043132006124>