

8904

水轮机调节

孙诗杰 编

小型水电站运行工人培训教材

水利电力出版社

0014029-2

TK73

小型水电站运行工人培训教材

水轮机调节

孙诗杰 编

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书是“小型水电站运行工人培训教材”的一个分册，主要介绍水电站用中、小型调速器的基本原理、结构、调试及故障分析处理。全书共分八章：概述；机械液压式调速器；电气液压调速器；调速系统稳定性；水轮发电机组甩负荷过渡过程；水轮机机械液压调速器的调整与试验；几种常用机械液压调速器；水轮机调速器选择及故障分析。

本书是小型水电站运行工人的培训教材，也可供从事水轮机调节的工作人员自学与培训参考。

小型水电站运行工人培训教材

水 轮 机 调 节

孙诗杰 编

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 11.125印张 295千字 3插页

1991年11月第一版 1991年11月北京第一次印刷

印数0001—3170册

ISBN 7-120-01335-1/TV·470

定价9.95元

前 言

近年来，我国小水电建设发展很快。为了提高小水电站、电网运行工人的技术和管理水平，充分发挥小水电的经济效益，巩固和扩大办电成果，迫切需要加强对职工进行技术培训。为此，我们组织成都科技大学的有关同志，编写了培训讲义。经过多次使用并广泛征求读者意见，现修改编写成这套“小型水电站运行工人培训教材”，供各地举办技术培训班使用。全套教材共十一册：《电工教学基础》、《电工原理》、《电子技术及应用》、《电机原理和运行》、《电工仪表和测量》、《水电站电气一次部分》、《水电站电气二次部分》、《地方电力系统》、《水轮机》、《水轮机调节》、《水轮发电机组辅助设备及自动化》。本教材内容丰富、针对性较强，理论联系实际，凡小型水电站和35kW及以下电网运行、维护、检修中应当掌握的主要知识，都作了较系统的讲述。对有关领域的新设备和新技术，也有简要的介绍。

本教材适用于培训具有初中毕业文化程度的小型水电站和电网的发、供电运行工人，也可作为具有同等文化程度的有关人员自学参考书。各地可根据实际需要，选用其中有关分册进行培训。培训班一般以半年为一期，总教学时数控制在500学时左右。

《水轮机调节》一书由孙诗杰同志编写，由水利水电科学研究院常兆堂同志及天津发电设备厂郭中枹同志审阅。全部立体图由涂崇璞同志绘制。

限于经验和水平，书中存在的缺点和问题，恳请读者批评指正。

编者

1990年4月

目 录

前 言

第一章 概论	1
第一节 水轮机调速器原理	4
第二节 调速器和调节系统特性	12
第二章 机械液压式调速器	20
第一节 测速元件	20
第二节 放大元件	34
第三节 反馈元件	55
第四节 控制元件	81
第五节 方架及杆件	94
第六节 油压装置	101
第七节 YT型调速器的启动、调节、停机	112
第三章 电气液压调速器	119
第一节 概述	119
第二节 测频回路	123
第三节 频率给定回路	129
第四节 永态转差和功率给定回路	132
第五节 软反馈回路	138
第六节 反馈综合回路	144
第七节 直流放大器及其电源	146
第八节 永磁机电源和开机电源回路	151
第九节 各电气调节参数刻度的校核	152
第十节 电液转换器	154
第十一节 液压放大及机械液压反馈元件	167
第十二节 双滤油器	178
第十三节 控制元件	181

第十四节	DT-1800型电液调速器	187
第四章	调节系统稳定性	191
第一节	研究稳定性的必要	191
第二节	影响调节系统稳定性的因素	191
第三节	调节稳定性的判断	193
第四节	调速器参数的选择	195
第五章	水轮发电机组甩负荷过渡过程	198
第一节	甩负荷过渡过程现象	198
第二节	甩负荷过渡过程计算	203
第三节	最大速率上升和最大水压上升计算实例	206
第六章	水轮机机械液压调速器的调整与试验	210
第一节	概述	210
第二节	静态初调	214
第三节	供油试动调整	218
第四节	离心飞摆试验	223
第五节	缓冲器试验	229
第六节	调速器静特性试验	234
第七节	调节系统动态试验	239
第七章	几种常用机械液压调速器	255
第一节	CT-40型调速器	255
第二节	CT-1500型机械液压调速器	275
第三节	TT-150、TT-300型机械液压调速器	287
第四节	YTT型调速器	293
第五节	TT-35型机械液压调速器	300
第八章	水轮机调速器选择及故障分析	307
第一节	调速器的选择	307
第二节	调速器常见故障分析	322

第一章 概 论

水轮机调节是调节技术在水轮机控制中的具体应用。调节技术就是根据调节理论，采用一定的机械或电气设备组成调速系统（调速器），对调节对象（引水系统、水轮机、发电机、电网）进行控制。

早期的水轮机通常是通过控制水轮机进口闸门进行调节。现在还有一些小型水电站的水轮机，采用手动控制导叶或喷嘴的方法调节水轮机。它们都没有自动调速设备。

随着生产的发展，对水电站自动化提出了更高的要求，水轮机调节开始采用自动调速器。最早的调速器是机械液压式调速器，30年代，这种调速器担负着提高水电站自动化程度的主要任务。现在小型自动调速器主要是机械液压式，这主要是因为机械元件比电气元件可靠性较高，但是机械元件结构往往较复杂、成本较高。

1940年，在瑞士及瑞典首先出现了电子管电液调速器，这是电子技术发展的必然结果，机调中一些精密而复杂的元件被电气元件代替了。这样，既降低了成本，又提高了灵敏度。当时很多大型机组广泛采用了电子管电液调速器。我国60年代也生产了电子管电调。

但是由于电子技术的不断发展，晶体管很快地代替了电子管，制造了晶体管电液调速器。晶体管与电子管相比，具有体积小、重量轻、坚固耐震、使用寿命长、省电、较可靠等优点。我国大中型电液调速器采用晶体管的品种也不少。

目前已发展为集成电路调速器。其特点是较多的主要元件采用了固体组件。由于固体组件输入通道增多，因此可根据需要设

置各种辅助电路，以提高调节品质。集成电路电调发展很快，国内外大中型调速器已普遍采用了集成电路。

近代大型水电站已应用电子计算机和微处理机控制机组。

目前国际上对小型调速器的普遍看法是：在电站单独运行且要求周波调整较精确的情况下，宜采用小型机械液压式调速器，也可采用由这种型式调速器派生的电子电动或电子液压式调速器。对于 500kW 以下的机组采用电子负荷调节器则是控制周波的一种较好的方法（但要研究这类控制方式带来的系统运行特性方面的问题）。另一方面，为了降低小水电站及其设备费用，应加紧研制可靠而廉价的调速或控制频率的装置和技术。

目前我国已能生产各种大、中、小及特小型机械液压式调速器及大、中、小型电气液压式调速器。在总结生产实践与吸收国外先进经验的基础上，我国将进一步修订调速器与油压装置技术条件，为进一步设计、制造高质量的调速器打下基础。我国也已成功地将微处理机控制技术应用于水轮机调节。预料不久的将来数字控制设备在我国重要的大型电站也会开始使用。

由于中小型水电站的自动化程度在不断提高，对运行人员提出了愈来愈高的要求。

各种动力、机械加工、冶金、化工、纺织、造纸等工业生产的产量、质量都与电网频率有关。电网供电频率不稳定或长期处于低周波，不仅影响设备的正常运行，还使产量下降、加工精度降低、产品质量不合格，造成经济损失；电网中的电钟走时不准、广播音质差，电视传真的映像失真等。因此，我国电力部门规定：我国电网频率应保证 50Hz，大电网允许偏差不得超过 $\pm 0.2\text{Hz}$ ($\pm 0.4\%$)，中小电网允许偏差不得超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ ($\pm 1\%$)。

由于电力用户的负荷是随时随地变化的，从而引起电网频率波动，使发电机的频率也随之变化，为使频率很快恢复正常，就必须使水轮发电机组的出力相应变化，这就是水轮机调速器的主要任务。

水轮机的出力 N_t 为:

$$N_t = 9.81QH\eta \quad (\text{kW}) \quad (1-1)$$

式中 Q ——通过水轮机的流量, m^3/s ;

H ——水轮机工作水头, m ;

η ——水轮机效率, %。

从式(1-1)可以看出:水轮机的出力是由 Q 、 H 和 η 决定的,要使水轮发电机组的出力随用户负荷的变化而相应变化,最方便的是改变流量 Q ,也就是改变水轮机导叶(喷嘴)的开度。

水轮机带动发电机转动的力矩以 M_t 表示,称为水轮机动力矩。发电机的阻力矩以 M_g 表示。 M_t 和 M_g 的关系有三种可能:当 $M_t = M_g$ 时,机组处于稳定运行状态,机组转速不变;若 $M_t > M_g$,则多余的动力矩将会使机组转速上升;而 $M_t < M_g$ 时,水轮机的动力矩不足,带动发电机困难,因而机组转速就会下降。根据机组转速变化,调速器对水轮机的流量进行调节,改变 M_t ,使 $M_t = M_g$,机组转速保持额定转速。这样,调速器就完成了它的预定的任务。

水电站的检修和运行人员,主要是使电站的调速器发挥其作用。正确地操纵、控制、维护、检修及调整试验调速器。

手动或自动启动机组时,水轮机导叶(喷嘴)被打开,水流推动机组开始转动,但此时水流并不做功。此后,开度逐渐加大,转速不断上升,直到机组达到额定转速,水流仍未做功,其能量完全用来克服水轮机空载时的水力损失、机械损失和容积损失,这个开度称为水轮机的空载开度。

并网或带负荷前机组以空载开度运行,当机组带上负荷后,发电机会给水轮机一个阻力矩。如果不开大导叶(喷嘴)开度,增加水轮机的动力矩,转速将会下降。所以,要继续开大导叶(喷嘴)开度,直到水轮机的动力矩与发电机阻力矩相等时,机组才能保持额定转速。

第一节 水轮机调速器原理

水轮机调速器是由许多复杂的元件和机构组成，它主要是用来检测机组的转速偏差，并把这种偏差按一定特性转换成继电器行程偏差的一些环节的组合，借此改变导叶（喷嘴）的开度，调整机组出力，使之与用户负荷相适应，保证频率稳定在规定范围之内。

一、调速器原理简图

为了简单明了地说明调速器工作原理，下面用原理简图表示调速器各主要元件和附属机构的动作原理及其相互关系。图1-1为一简单的水轮机调速器原理简图，它由测速、放大、反馈、控制、综合等元件组成。

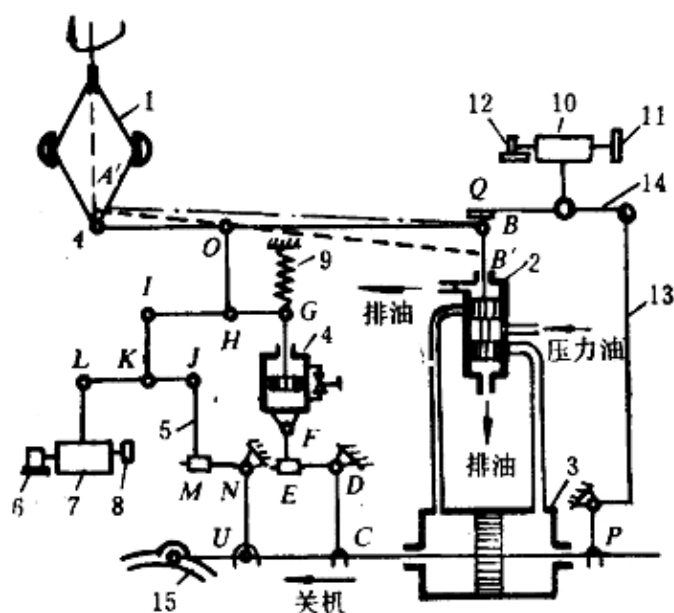


图 1-1 调速器原理简图

- 1—离心飞摆；2—配压阀；3—接力器；4—缓冲器；5、13、14—连杆；
6—变速机构电动机；7—变速机构变速箱；8—变速手轮；9—弹簧；
10—开度限制机构变速箱；11—开限手轮；12—开度限制机构电动机；15—调速环

1. 测速元件

测速元件又称测速装置，机调中常用离心飞摆。当水轮发电机组处于稳定工况运行时，离心飞摆 1 的转速与机组转速成正比关系。额定转速时，与滑块 A 相连的连杆 AOB 处于水平位置，配压阀 2 的活塞处于中间位置。从油压装置来的压力油不能进入接力器 3，而停留在配压阀 2 活塞的上、下两个阀盘之间，接力器 3 的活塞不移动，稳定地停留在一定位置上。

当机组负荷变化后，水轮机动力矩 M_t 与发电机阻力矩 M_g 不再维持相等的关系。所以，机组和飞摆转速都要发生改变。如图 1-1 所示，机组负荷变化，例如减小后， M_t 减小， $M_t > M_g$ ，机组转速上升，飞摆转速也上升（若机组负荷增加，则 $M_t < M_g$ ，机组和飞摆转速下降），离心飞摆 1 的重块就向外（或向内）运动。因而，飞摆的 A 点上升至 A'（或下降）。在这里，飞摆不仅能检测机组转速的偏差，而且根据转速偏差的大小和方向发出相应的调节信号（使 A 点上下移动）。因而它起到了检测机组转速和转速偏差的作用，故称之为测速元件。

2. 放大元件

放大元件是将较小的位移和作用力，放大为较大的位移和作用力。配压阀 2 和接力器 3 组成了调速器的放大元件。当 A 点上移至 A' 后，杆 AOB 绕 O 点顺时针转动，B 点下降至 B'，压力油从配压阀下部油孔进入接力器右腔，接力器活塞向左（关机）方向移动。其作用不仅是进行了液压放大，使调速器具有较大的作功能力，而且还能精确地重现飞摆的动作，并按一定要求，操作水轮机导水机构（通过调速环 15）。

3. 反馈元件

杆 CD、DE、EF、缓冲器 4、弹簧 9、杆 GH 和 HO 组成软反馈元件，其中 E 点可在 DE 杆上移动，改变 E~D 的距离。其作用是保证调速器和调节系统的稳定性和良好的动态特性。杆 UN、NM、MJ、JK、KI、IH、HO 组成的杆件系统称为调差机构，其中 M 点可在 MN 杆上移动，改变 M~N 的距离。调差机构又称

为永态转机构或硬反馈元件，其作用主要是保证调节系统中机组负荷的分配。还有一种反馈元件称局部反馈元件（图中未示出，见第二章）。

4. 控制元件

控制元件包括变速机构和开度限制机构两部分。变速机构电动机6、变速手轮8、变速机构变速箱7、杆LK、KI、IH、HO组成的机构称为变速机构。其作用是：单机运行负荷不变时，改变机组转速；并网运行系统周波不变时，改变机组负荷。开度限制机构电动机12、开限手轮11、开度限制机构变速箱10和从P点到Q点的杆14、13所组成的机构称开度限制机构，其作用是限制机组的开度。如果取消杆AOB对配压阀B点的控制，将Q点与配压阀B点连在一起，则可以用开限手轮11或电动机12控制机组开停机和以手动方式运行。

5. 综合元件

杆AOB以O点为支点可以把A点的位移转移到B点，而O点的位移受变速机构和反馈元件的影响，因此，B点的位移是测速元件、变速机构及反馈元件位移的综合结果。杆AOB起一个综合信号的作用，可称为综合元件。

二、软反馈的作用

了解软反馈的作用，对了解调速器的原理有很大意义。为了叙述的方便，首先，从图1-1上把杆件OH、CD、UN切断，这样也就去掉了软反馈、硬反馈和变速机构。其次把开度限制机构也去掉。于是，研究无反馈元件的调速器原理简图1-2。图1-3为其图解分析。

图1-3由(a)、(b)、(c)、(d)四个图组成。它们横坐标都是时间 t ，纵坐标分别为飞摆转速 n_p 、配压阀活塞位移 ΔS （也就是通油窗口开度）、接力器的行程 Y 和力矩 M （ M_i 和 M_e ）。它表示机组甩负荷后，调节过程中 n_p 、 ΔS 、 Y 、 M 等随时间变化的关系。若水轮发电机组在 t_1 时刻以前处于稳定工况运行，此时，动力矩 M_i 等于阻力矩 M_e ，[见图1-3(d)上的点1]。离心飞摆则以

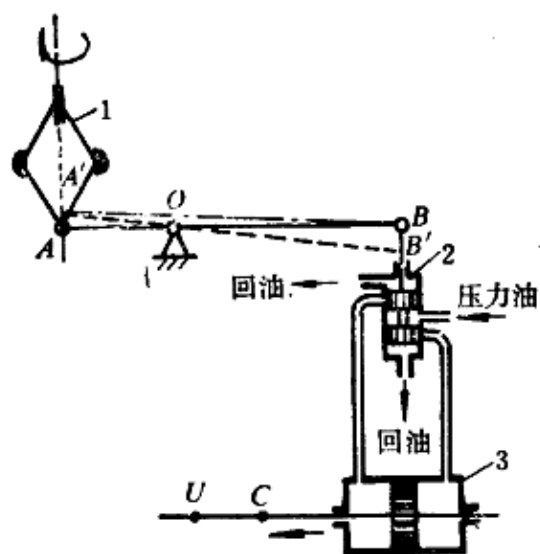


图 1-2 无反馈元件的调速器原理简图

1—飞摆；2—配压阀；3—接力器

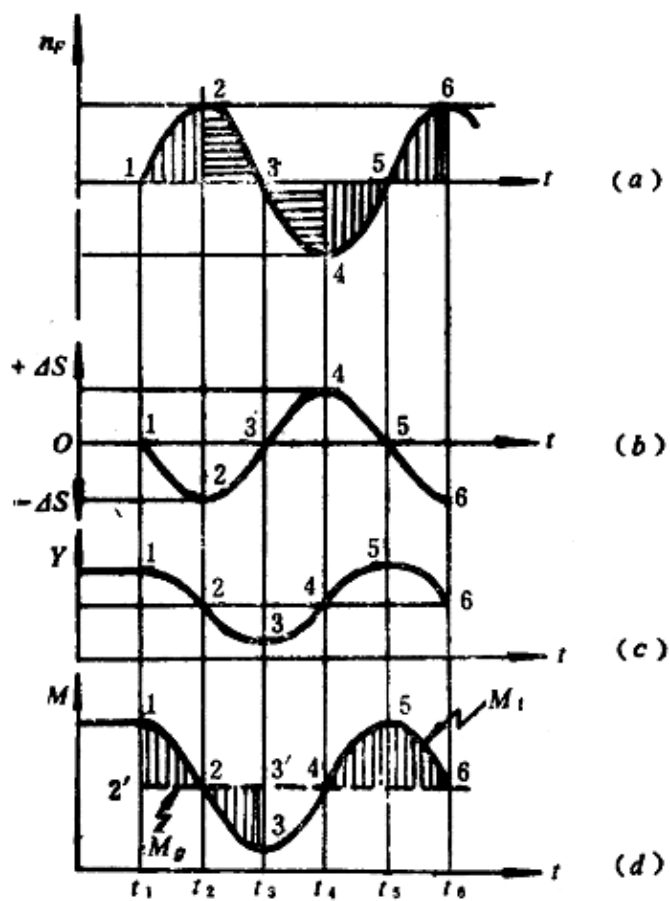


图 1-3 无反馈元件调速器原理简图的图解

转速 n_r 作匀速旋转[见图1-3(a)上的点1]。与 n_r 相对应的滑块位置为A(见图1-2)。离心飞摆通过滑块A与杆AOB相连,使配压阀的活塞处于中间位置,配压阀活塞行程 $\Delta S=0$,即 $BB'=0$ [见图1-3(b)上的点1]。

当 $\Delta S=0$ ($BB'=0$),配压阀活塞位于中间位置时,其阀盘恰好把配压阀阀体上的上下端油孔挡住,接力器处于某一平衡位置不动,其行程为Y[见图1-3(c)上的点1]。

假设在 t_1 瞬间发生突然甩负荷,即初始的 M_{e1} 下降为 M_{e2} [见图1-3(d)上的点2'],在以后的整个调节过程中始终保持 M_{e2} 的大小。在调节过程的开始时刻内($t_1 \sim t_2$),水轮机出力减小跟不上负荷的下降,因为水轮机出力要靠关闭导叶慢慢减小,而负荷是突然甩掉的,这样 $M_{t1} > M_{e2}$,水轮发电机转速和飞摆转速就会上升[见图1-3(a)上曲线1、2]。

当飞摆转速 n_r 沿着图1-3(a)的曲线1、2上升的同时,与之相适应的滑块A的位置亦向上运动。滑块A向上运动的同时,杆AOB以O为支点顺时针转动,B点下移,迫使配压阀的活塞由原先的中间位置向下移动,配压阀位移为 $-\Delta S$,使得阀体上的油孔不再被活塞挡住,压力油经过配压阀体下部油孔流进接力器活塞右腔,活塞左腔的压力油经过配压阀阀体上部油孔流回油压装置的回油箱,油压降低,接力器活塞两侧形成了压力差。由于压力差的作用,接力器活塞向左移动,导水机构的开度变小,水轮机动力矩 M_{t1} 减小。当新的动力矩与甩负荷后的阻力矩平衡时(即 $M_{t1} = M_{e2}$),转速就停止上升[见图1-3(a)、(b)、(c)、(d)上的点2]。但是水轮发电机组在此时并不因为能量已达到了平衡而在新的转速下稳定下来,因此时配压阀通油孔开度为 $-\Delta S$,接力器活塞两侧仍保持有压力差,接力器活塞要继续向左(关闭侧)移动。导叶开度继续关小,破坏了刚才达到的能量平衡,形成了 $M_{t1} < M_{e2}$,机组转速开始下降,飞摆转速 n_r 也开始下降。

当转速 n_r 沿着图1-3(a)曲线2、3下降时,与之相适应的滑块A的位置亦向下移,通过杆AOB使配压阀活塞上移。如在 t_3 时

刻，配压阀回到中间位置，又重新把阀体上的油孔挡住，接力器活塞停止向左继续运动[见图1-3(a)、(b)、(c)、(d)上的点3]，但能量已经不平衡了， M_t 仍小于 M_{g2} ，因此，转速仍将沿图1-3(a)的曲线3、4下降。与 n_p 相应的滑块A仍向下运动，通过杆AOB迫使配压阀活塞由中间位置向上移动，又使配压阀油孔打开，配压阀活塞上移 $+4S$ ，压力油经配压阀阀体的上部油孔进入接力器活塞左腔，其右腔内的压力油经配压阀阀体下部油孔流回油压装置的回油箱，而变成低压油。接力器活塞两侧又出现了压力差，接力器活塞向右移动（开机），开大导叶开度，重新增大了水轮机出力（或动力矩），于 t_4 时刻能量又获得了再度平衡，即 $M_{t4} = M_{g4}$ 。

但是，此时的接力器活塞仍不能在此位置上稳定下来，因为配压阀油孔开度为 $+4S$ 。所以，接力器仍将向右移动，使得能量的平衡又遭到破坏。再度出现能量不平衡 $M_t > M_{g4}$ ，使机组和飞摆转速又重新上升。到达 t_5 时刻，情况又与 t_1 时刻相同了。以后的调节过程又重复着 $t_1 \sim t_2$ 、 $t_2 \sim t_3$ 、 $t_3 \sim t_4$ 的调节过程。

如果这种无反馈的调速器在孤立系统中运行，忽略动力矩和阻力矩与转速等的关系时，调节过程就是周期性的，振幅是不衰减的等幅振荡过程，这样的调节系统是不稳定的。

造成不稳定等幅振荡的原因：在 t_2 时刻水轮机动力矩 M_{t2} 已经等于发电机的阻力矩 M_{g2} 了，但配压阀行程为 $-4S$ ，接力器活塞要继续关闭，造成了 $M_t < M_{g2}$ ，转速又要下降；在 t_4 时刻水轮机动力矩 M_{t4} 已经等于发电机的阻力矩 M_{g4} 了，但配压阀行程为 $+4S$ ，接力器活塞要继续开启，又造成了 $M_t > M_{g4}$ ，转速又要上升。这样，要克服不稳定的等幅振荡，可以想法减小 t_2 和 t_4 时刻的 $\pm 4S$ 值，这样可以使转速逐渐的衰减下来，形成一种减幅振荡，最后趋于稳定。为此可以用负反馈来实现上述目的。

如图1-1所示，调速器的输出（例如C点的位移）通过软反馈元件（杆件CD、DE、EF、缓冲器4、杆件GH、HO）使O点产生一个向上或向下的位移。当输入信号是A点上升至A'，B点

下降至 B' ， C 点向左移动，结果通过反馈元件后， O 点上升，杆 $A'OB'$ 绕 A' 逆时针转动，使 B' 向上移动一小距离，这一小距离是减少 BB' 的，因而是负反馈。同理， A 点下降， B 点上升， C 点向右移动，结果通过软反馈使 O 点及 B' 点下降一点，这也是负反馈。其结果总是使配压阀在 t_2 和 t_4 时刻提前恢复一点，从而减少了 t_2 和 t_4 时刻的 $-\Delta S$ 和 $+\Delta S$ ，相应减少了转速的超调量。这样就形成一种减幅振荡而逐渐稳定下来。由于缓冲器4的作用，转速在调节完后回复到原来的转速，这是因为：例如，转速升高后，接力器向左移（关机）， C 点左移， F 点上升，缓冲器活塞下部的油来不及从旁边的小阀门流到活塞上腔去，于是迫使缓冲器中的活塞上移，压缩弹簧9使 G 点上移， O 点上移，使配压阀行程 $-\Delta S$ 减小一点。但调节終了，弹簧9使 G 点回到原来位置（缓冲器4上腔的油经小阀门慢慢流到下腔后），因而 O 点回到原来位置， AOB 杆回到水平位置，转速回到原来转速。

这种由缓冲器引起的负反馈，不仅能使调节稳定，而且调节終了还能保持转速不变。由于这种反馈作用仅在调节过程中出现，调节完了则消失，故这种反馈又称为暂态反馈或叫软反馈。

三、调差机构

根据运行中分配负荷的需要，要求飞摆的转速与接力器行程有一一对应的关系，即希望 A 点的位置与接力器行程一一对应。当接力活塞愈靠近关闭位置（接力器活塞位置全关时，接力器行程为零）， A 点位置愈高；当接力器行程愈接近全开位置（接力器活塞位置全开时接力器行程为 Y_M ， Y_M 为接力器最大行程）， A 点位置愈低。怎样实现这一点呢？从图1-1可以看出：调节終了 $M_1 = M_2$ ， B' 必须回到 B 点（否则接力器还要运动，调节还要继续），如果 O 点也回到原来位置，则 A 点也回到原来位置。设置了调差机构后，当接力器移动同样的距离时， O 点的位置要受杆件 MN 长度的影响。当移动调差螺母 M 与 N 点重合时，则 J 点不因 U 点的移动而上升或下降，即 O 点不受调差机构的影响。若移动调差螺母 M 使 MN 距离愈大，则 J 点、 O 点、 A 点因 U 点位移而

向上或向下的位移愈大，从而使A点稳定在较高或较低的位置。由于有调差机构，飞摆的转速与接力器行程有了一一对应关系，即接力器行程不同，飞摆转速不同，存在一定差别。由于有了调差机构，代表机组所带负荷大小的接力器行程与转速有一定的关系，这就使得在一定转速下机组所带的负荷就一定了。正是这种有差特性，保证了机组间的负荷分配。

四、变速机构

如上所述，当调差螺母M不与N点重合时，调节完了A点的位置要高一点或低一点，稳定转速也会高一点或低一点。但是为了保证机组在额定转速运行，可以用变速机构调整A的位置，而使转速稳定在额定转速。如图1-1所示：调整变速手轮8或变速机构电动机6，通过变速机构变速箱7、杆件LK、KI、IH、HO来移动O点的位置从而保证调节终了A点总回到原来位置。这样在单机运行负荷不变时，设转速为额定转速、杆件AOB水平，接力器行程为 Y_1 ，当调整变速手轮（或电动机）使O点上升（或下降）时，因A点暂时不动（ $M_1=M_2$ ，转速不变），B点上升（或下降），接力器开机（或关机），因负荷未变，开机后 M_1 加大，则 $M_1>M_2$ ，转速升高（或下降），A点上移（或下移），调节终了，B点回到中间位置，接力器行程回到 Y_1 （因 M_2 不变， M_1 也不能变），但因O点位置被变速机构上移（或下移）了，所以稳定后的转速要比原来高一点（或低一点）。这就说明单机运行负荷不变时，变速机构可以改变机组的转速。而在并网运行系统频率不变时，设转速为额定转速，杆件AOB水平、接力器行程为 Y_1 ，当调整变速手轮（或电动机）使O点上升（或下降）时，因A点不动（系统频率不变），B点上移（或下移），接力器开机（或关机），因频率不变（实际上，由于调整变速机构增加或减少的负荷由系统中其它机组承担了），只有接力器活塞位移，通过调差机构的作用，使O点下移（或上移）后，B点才能回到原来的位置。调节终了，转速不变，接力器行程变为 Y_2 了，机组所带负荷也改变了。这就说明并网运行频率不变时，变