

水利电力部第十二工程局
河北水利水电学院水力机械教研室

水轮机调速器的安装与调整

水利电力出版社

水

730.6

54

451

水轮机调速器的安装与调整

水利电力部第十二工程局
河北水利水电学院水力机械教研室

水利电力出版社

内 容 提 要

本书详细介绍了水轮机的机械、电气液压调速器和油压装置的原理、结构以及安装调整方法,同时扼要说明了调速器参数整定和运行维护等问题。

本书可供从事水电站水轮机调速器安装检修的工人、技术人员及专业院校有关师生阅读。

水轮机调速器的安装与调整

水利电力部第十二工程局

河北水利水电学院水力机械教研室

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂排版

天水新华印刷厂印刷

*

1975年7月北京第一版

1978年5月甘肃第三次印刷

印数 21,404—25,813册 每册1.10元

书号 15143·3138

目 录

前 言

第一章 水轮机调节的基本概念	1
第一节 水轮机调节的任务和特点	1
第二节 水轮机调速器的分类及其调节规律	3
第三节 调节系统静特性和调速器的质量指标	7
第四节 调节系统的动特性	12
第五节 调节系统的工作条件及对调速器的要求	14
第二章 机械液压调速器的工作原理	16
第一节 T型调速器的元件结构及其工作原理	16
第二节 ST型调速器的元件结构及其工作原理	35
第三节 CT-40型调速器	43
第四节 XT型调速器	45
第三章 机械液压调速器的安装与调整	48
第一节 调速器的解体、清扫和装配	48
第二节 反馈机构的安装	51
第三节 调速器主要部件的测试	52
第四节 控制机构的调整	55
第五节 调速器充油后的调整试验	56
第四章 油压装置的结构和原理	62
第一节 油压装置工作原理概述	62
第二节 油压装置的结构	64
第三节 螺杆泵及其附件	66
第四节 XT型调速器的油压装置	70
第五章 油压装置的安装和调整	72
第一节 调节设备的基础安装	72
第二节 油压装置的安装	74
第三节 油压装置的调整试验	78
第四节 压力油罐漏油、漏气试验	81
第五节 自动模拟试验	81
第六节 漏油装置的安装	82
第六章 电气液压调速器的主要环节	83
第一节 概 述	83
第二节 测频回路	85
第三节 相敏整流回路	97

第四节	调节信号综合回路	98
第五节	直流差动放大器	101
第六节	缓冲回路	106
第七节	频率给定回路	107
第八节	功率给定、调差回路及跟踪回路	108
第七章	电气液压调速器的成组调节、双重调节及其他	110
第一节	成组调节部分工作原理	110
第二节	双重调节工作原理	115
第三节	电液调速器的辅助回路	118
第四节	电液转换器	123
第五节	电液调速器的电气部分原理图	127
第六节	直流操作回路	132
第七节	DT型电液调速器液压机械部分工作原理	135
第八章	电气液压调速器的调整试验	138
第一节	测频特性、放大特性、调节部分静特性的测定	138
第二节	电液转换器调整试验	142
第三节	液压电气联动试验	144
第四节	继电器操作回路模拟试验	149
第五节	电液调速器静特性测定	150
第六节	充水后单机调节试验	152
第七节	成组调节部分的试验	157
第九章	水轮机调速器的参数调整	162
第一节	概 述	162
第二节	调速器主要参数的物理意义及其测定	163
第三节	调节参数对动态特性的影响	172
第四节	最佳参数整定问题	177
第十章	斜流式可逆机组的电气液压调速器	179
第一节	概 述	179
第二节	SBT-125型电液调速器的电气装置	180
第三节	液压机械部分	186
第四节	可逆式机组的运行方式	189
第五节	液压机械部分的调整试验	193
第十一章	水轮机调速器的运行和维护	200
第一节	调速器运行维护注意事项	200
第二节	油压装置运行维护注意事项	201
第三节	调速器常见故障及其处理方法	201

第一章 水轮机调节的基本概念

第一节 水轮机调节的任务和特点

一、水轮机调节的任务

目前,除了农村小型水电站外,所有水电站要求其动力设备、电气设备和辅助设备,都必须自动化的。所以,机组的启动、正常停机、事故停机的操作,以及机组的运行及其维护(例如转动部分的润滑、漏水和漏油的排出等等),都是自动化的,无需运行人员进行操作。自动化水电站能够使机组运行可靠,加速机组的启动过程,迅速改变运行工况(例如从发电工况改变为调相工况,或反之)及机组快速停机,从而能够作为电力系统事故备用。一般大型水电站的机组能在1~2分钟内完成启动、并网及带上满负荷的一系列操作。

在水电站自动化中最重要的设备之一,就是水轮机的自动调速器。其任务就是把表征机组工况的转速和功率保持在事先给定的允许范围内。

电力系统的负荷是在很大范围内不断地变化着,因此,担任峰荷的机组出力也要不断变化,这样就引起系统内频率的波动,从而使供电质量下降。电能的质量标准是以频率和电压来衡量的,要求频率和电压的波动保持在微小的范围内,否则会直接影响工农业各方面用户的工作质量。例如纺纱厂、造纸厂、广播电台等,对频率的变化都有严格的要求。

在电力系统中要求水电站水轮发电机转速变化不超过一定的允许范围。一般为不超过其额定转速的 $\pm 0.2 \sim \pm 0.3\%$ 。保持机组的转速变化不超过一定范围,这就是水轮机调节的基本任务。被调节量就是机组的转速(频率)。

水轮机自动调速器除完成上述基本任务外,还担任机组的启动、停机、增减负荷及并入电网的机组群的成组调节等职能。

二、调节系统的相互作用与组成

为了使电网频率保持不变,就必须调节水轮机的转速不变,而调节水轮机转速不变的方法则是调节水轮机的流量,即改变水轮机调节机构(导叶、转轮叶片、喷针、偏流器)的位置,从而改变水轮机的出力,使之适应电网负荷变化的需要。

我们把这种关系用方框图来表示。如图1-1a所示,自动调速器和调节对象(包括引水系统、水轮机和发电机),组成水轮机自动调节系统,调速器的输出值就是水轮机调节机构的开度,直接影响机组的有功功率,而有功功率则影响电网的频率,频率又作用于自动调速器的输入端,因此组成水轮机调节的闭环系统。

如图1-1b所示,调速器的测频元件测量了机组的转速(频率),在综合元件内,此转速和额定值进行比较,得出转速偏差。然后根据偏差值大小,由配压阀和接力器来控制调

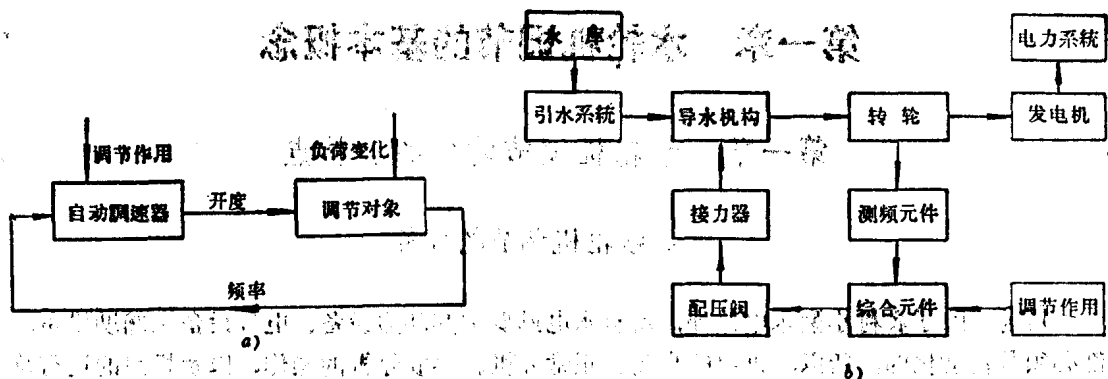


图 1-1 水轮机调节系统方框图

节机构（导叶、轮叶等），调节机构的位移就是调速器的输出值。同时，调节机构的位移又返回来改变转速偏差，使之等于额定值——保持频率不变。自动调速器的各元件就是按此规律相互作用，达到调节的目的。

三、水轮机调节的特点

水轮机的调节和其它原动机的调节相比，具有下列特点：

（1）由于水轮机作功的工质不同于其它原动机的工质，水轮机工作时需要通过大量的水流，而汽轮机是用蒸汽作功的。因此操作同样功率的汽轮机和水轮机的调节机构，所需的工作能力就相差很多倍，故要求水轮机调速器具有强大的放大元件和外来能源。

（2）在水轮机调节过程中，应该迅速改变水轮机导叶的开度，但由于水轮机同质量巨大（因而水流惯性也很大）的引水系统相连接，水流的惯性阻止水流变化（这种水流惯性和电路中电感线圈的作用相当）。因此，当导叶开度开大时，在流量改变前的起始瞬间，流入转轮的水流速度却随着导叶开度增大而下降，因而水轮机的出力在增大前的起始瞬间反而下降。同时，由于导叶开度变化，引起流速变化，在引水系统中产生水锤现象。这种水锤效应与调节作用是相反的。即水轮机调节要求增加功率，水锤作用却使功率下降；反之，调节要求减小功率，而水锤作用却要增加功率。由于存在这种水锤效应，水轮机作为调节对象的性质有了复杂变化。因此要求调速器附设必要的缓冲器，它的作用就是在功率变化时用来减慢（缓冲、阻尼）导叶开度变化。

（3）当调节对象为混流式水轮机，则使用单一调节的调速器；转桨式和斜流式的水轮机，使用双重调节的调速器。对于高水头的冲击式水轮机和装置调压阀的混流式水轮机，则需附设相应控制元件的调速器。因此，水轮机调速器的型式、结构和操作能源都较复杂。

（4）由于水电站水轮发电机组具有快速启动和停机、迅速改变运行工况的特点，因此能够作为电力系统事故备用和抵偿调频任务，进行频率和有功功率的调节。

第二节 水轮机调速器的分类及其调节规律

一、调速器的分类简述

由上述特点可见，水轮机调节系统是比较复杂的，因此产生了各种不同类型的调速器。

根据不同的分类方法，自动调速器可以有许多不同的名称。例如，按照测速元件的不同型式，可以分为机械液压调速器和电气液压调速器（简称电液调速器）。按主接力器的不同位置，可以分为整体型调速器（例如GT-40型和XT型调速器）和分离型调速器（例如T型和ST型调速器）。从稳定调速器的方法来分类，则有缓冲作用和加速度作用两种调速器。根据输入信号的不同还可分为测转速偏差的和测加速度的调速器。

二、各种调节规律的方框图

用不同的方框图来说明各类调节系统的工作原理是比较方便的。因为不同的方框图可表示不同的调节规律。

1. 按转速偏差调节的比例积分式调速器

图1-2示出按转速偏差调节的比例积分式调速器的方框图。图中 x 表示转速（频率）偏差， Y 表示接力器行程（导叶开度）变化， C 为调节作用（例如频率或功率给定信号）。这种调速器输出是有调节偏差的，因为它没有反应接力器行程变化率的缓冲器（暂态反馈），只有硬反馈的调差机构。

调速器的比例作用就是调节量（接力器行程） Y 和转速偏差 x 之间是按比例关系来调节的。这就是说，转速偏差越大，接力器行程变化也越大，离心飞摆或电液调速器中的测频回路就是产生这个比例作用的元件。这个比例调节作用的结果，就形成一个调节偏差值，它和负荷（导叶开度）大小有关，所以调节是不准确的。

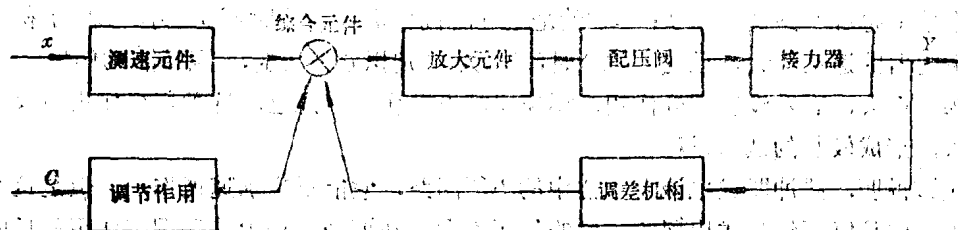


图 1-2 按转速偏差调节的比例积分式调速器方框图

所谓积分作用，就是调速器输出即接力器行程的变化量与转速偏差值随时间的积分成比例的调节规律。调速器的配压阀和接力器就是积分元件。当存在转速偏差时，经过飞摆作用，使配压阀开度和转速偏差成比例。只要配压阀偏离中间位置而有开度时，接力器在油压作用下就一直向开启或关闭方向移动，也就是它的位移量是随时间的增长而增长的。

即位移量是接力器速度和时间的乘积，这就叫积分。配压阀接力器系统如果没有反馈，调速器是不稳定的。反馈就是从接力器位移那里引出来的调节作用，通过调差机构，重新以相反方向作用于配压阀，使配压阀回到中间位置。所以，配压阀和接力器有了调差机构（硬反馈），才能使配压阀回到中间位置，保证接力器（导叶）及时和准确地停止在所需要的位置上，以符合调节的需要。因此这种调速器存在调节偏差值，又称有差调节。

为了消除这种调节偏差，提高调速器的动态稳定性和调节质量，在调速器反馈系统中又引入了缓冲器，如图1-3所示。

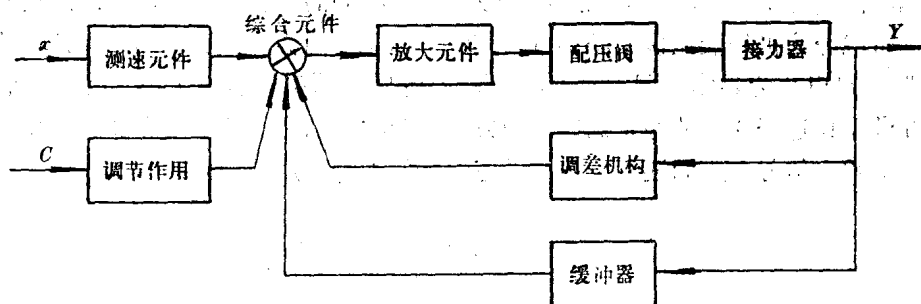


图 1-3 按转速偏差调节的具有缓冲器的比例积分式调速器方框图

在上面谈到的积分作用是由配压阀、接力器通过硬反馈所形成的。如果我们取消硬反馈，用暂态反馈（缓冲器）来代替，这时情况就有了变化，它的积分调节规律就变成这样：调速器的输出的变化速度与转速偏差值成比例关系。所以，当转速偏差存在时，调速器的输出即接力器行程变化的速度就不会等于零。输出一直在变化，直到转速偏差为零，接力器行程就不再变化而稳定下来。反过来说，当接力器行程稳定下来不再变化时，转速偏差一定是零。这点是和图1-2所示的调速器不同的。由于这种调节规律能自动消除调节偏差，故称为无差调节。

但在图1-3中还有调差机构，也和缓冲器一同作用，使配压阀回到中间位置。在此情况下，比例作用可以用静态调差率 b_p 来表示。而积分作用则用积分时间 $T_i = (b_p + b_t)T_d + T_i$ 来表示： T_d 为配压阀接力器的时间常数，一般是很小的，常可忽略不计； b_t 就是缓冲反馈强度（也称暂态调差率）； T_d 就是缓冲时间常数。积分时间 T_i 小，表示积分速度大，调速器的速动性大。反之，积分时间 T_i 大，则积分作用弱，调速器动作慢。若积分时间为无穷大，表示没有积分作用，调速器就不动作了。总之，这种积分作用使输出滞后于输入，形成较长的调节过程。

应该说明，缓冲器或电液调速器中的 RC 回路，它能反应加速度作用。但是这个作用在图1-3中是以反馈形式出现的。它的作用方向，在调节过程中是和调节作用相反的，互相抵销的，所以配压阀能回到中间位置。这个反馈作用和下面要提到的加速度调节作用是有所区别的。

2. 按转速偏差和加速度作用的调速器

从图1-2和图1-3分析可见，比例调节规律和积分调节规律，都是根据已经形成的转速偏差而进行动作的。微分调节规律，则是根据转速偏差变化速度而动作的。这就是说，在这种微分调节规律下，接力器行程变化是和转速偏差变化速度即角加速度成正比的。

图 1-4 所示就是按转速偏差和加速度作用的调速器方框图。和图 1-2、图 1-3 比较一下，可以看出，接力器的行程变化是由转速偏差和角加速度两个输入信号来控制的。而调速器的动态稳定方法是依靠加速度调节作用来保证的，配压阀回到中间位置则由接力器引出的硬反馈来保证，因此，它可以不用缓冲器。所以，这种调速器仍然是比例积分式调速器。

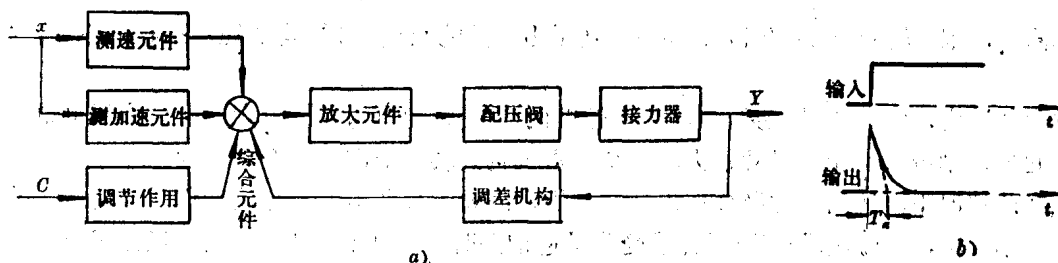


图 1-4 按转速偏差和加速度作用的调速器方框图

a—方框图，b—微分作用

这种微分调节规律的特点是，不管有无输入和它的数值如何，只要输入的转速偏差不改变，微分作用的输出就没有，只在转速偏差有变化即存在加速度时，微分作用才有输出。所以，微分作用就是：突出变化量；压低恒定量。换言之，有速度变化时就有调节作用，速度恒定时则无调节作用，这和油缓冲器的特性是一致的。同时，转速偏差变化速度愈快，接力器位移就愈大。

图 1-5 示出按转速偏差作用带随动装置的调速器方框图；图 1-6 示出按转速偏差和加速度作用带随动装置的调速器方框图。图 1-5 的调速器和图 1-3 的相类似；图 1-6 和图 1-4 的区

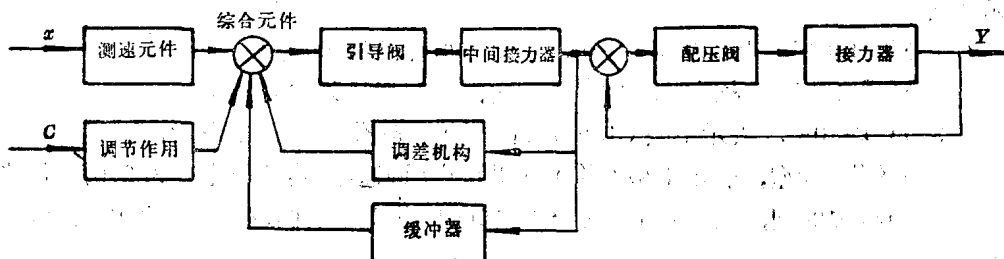


图 1-5 按转速偏差作用带随动装置的调速器方框图

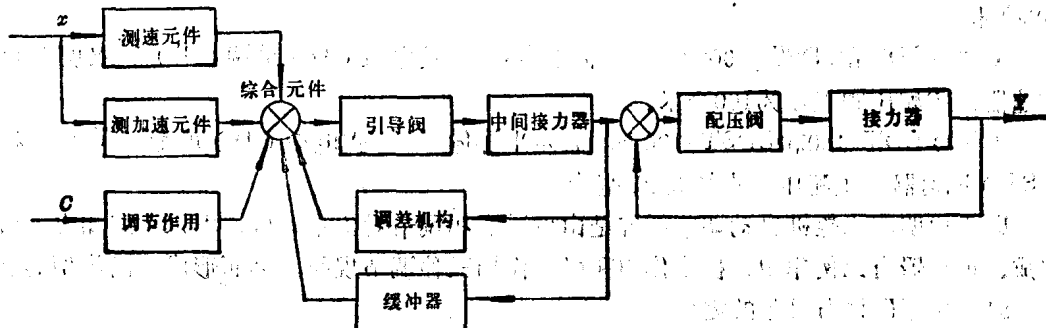


图 1-6 按转速偏差和加速度作用带随动装置的调速器方框图

别在于增加一个缓冲器。所以调速器的稳定可由缓冲器和微分环节（测加速元件）来保证。这种调速器称为比例、积分、微分作用调速器。

凡是滞后大的调节对象，可以增加微分作用，以提高调节系统的调节质量。对于水轮机来说，所谓滞后，一般是指水轮机的引水系统中存在的水流惯性。引水管道越长，调节滞后作用越大，同时，还与水电站的水头大小有关。如果用引水管道的水流加速时间 T_w 来表示滞后，则

$$T_w = \frac{\sum LV}{gH_0} \text{ (秒)}, \quad \sum LV \text{ 是压力管道的长度 } L \text{ 和平均流速 } V \text{ 乘积的总和。}$$

g 为重力加速度， $g=9.81 \text{ 米/秒}^2$ 。 H_0 为水轮机设计水头。所以， T_w 愈大，滞后作用也愈显著。此外，轴流式水轮机尺寸越大，水从导水机构到转轮的滞后时间也越大。

在此情况下，适当增加微分作用是有利的。因为微分环节（测加速度作用的元件）是一种超前环节，当调速器测速元件感受到转速偏差时，实际上转速变化已经作用了一段时间。微分元件有超前的性能，因而在微分作用下，适当加大（或减小）一些输出，可以克服转速偏差已产生的影响，有利于抑制转速偏差的继续增长，可使转速偏差波动幅度有所减小，因而也就增加了调速器的稳定性。

微分调节规律是用加速度时间常数 T_d 表示的。 T_d 越大，微分作用（超前）越大。一般水电站采用 T_d 大致等于 $0.5T_w$ （秒），也可以在现场通过调试来决定 T_d 的需要量。

此外，图1-5和图1-6所示调速器的特点在于硬反馈和暂态反馈都从中间接力器引出，主配压阀和主接力器形成一个液压随动装置，这种调速器的灵敏度和稳定性要比反馈从主接力器引出的更好些。

3. 常用调速器符号举例

目前常用的调速器，主要是图1-3和图1-5两种型式，以下举例说明常用调速器符号表示意义：

- (1) T-100型，表示单调（T），主配压阀直径为100毫米。
- (2) ST-100型，表示双调（ST），主配压阀直径为100毫米。
- (3) CT-40型，表示中型（C）单调（T）调速器，主配压阀直径为40毫米。
- (4) XT-300型，表示小型（X）单调（T）调速器，其工作能力为300公斤·米。
- (5) DT-100型，表示电子管（D）式单调（T）电液调速器，主配压阀直径为100毫米。
- (6) DST-100型，表示电子管（D）式双调（ST）电液调速器，主配压阀直径为100毫米。
- (7) JDT和JDST-100型，表示晶体管（J）式电液（D）单调（T）和双调（ST）调速器，主配压阀直径为100毫米。
- (8) BDT-100和BDST-100型，表示半导体（B）式电液（D）单调（T）和双调（ST）调速器，主配压阀直径为100毫米。

以上说明，水轮机自动调节系统是由调速器和调节对象水轮机、引水系统和发电机所组成。调速器有比例作用、积分作用和微分作用三种调节规律，因而形成不同类型的调速器，以适应不同调节对象的需要。

调速器符号举例：(1) T-100型；(2) ST-100型；(3) CT-40型；(4) XT-300型；(5) DT-100型；(6) DST-100型；(7) JDT和JDST-100型；(8) BDT-100和BDST-100型。

第三节 调节系统静特性和调速器的质量指标

一、调速器及调节系统的静特性

水轮机调节系统在工作过程中，有两种工作状态，就是系统的静态和动态。

所谓静态，就是当调节系统外扰或控制信号作用恒定不变时，调节系统的各元件都处于相对平衡状态，其输出亦处于相对平衡状态。

1. 调速器静特性及静态调差率

调速器的静特性就是在平衡状态下，调速器转速和水轮机接力器行程之间的关系，如图 1-7a 所示；它非常接近于一条直线。也可以用转速和接力器行程的相对值绘制调速器静特性，如图 1-7b 所示。图中所用符号如下：

n ——转速（转/分）， n_0 为额定转速；

Y ——接力器行程（毫米）， Y_M 为接力器全行程；

x ——转速的相对值（%）， $x = \frac{n}{n_0}$ ；

y ——接力器行程的相对值（%）， $y = \frac{Y}{Y_M}$ ；

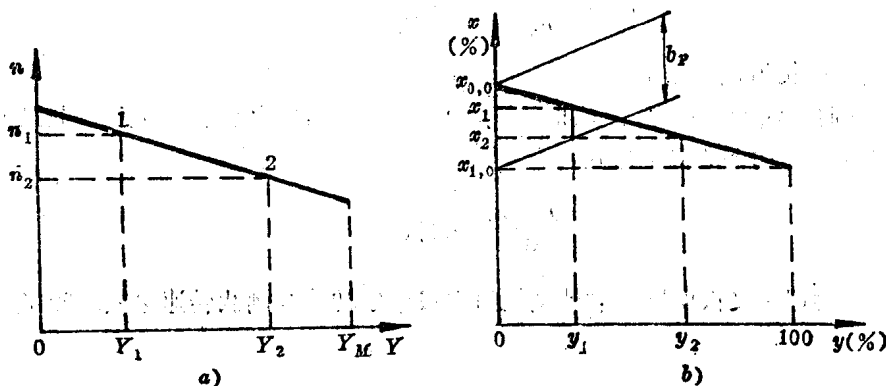


图 1-7 调速器静特性及静态调差率

静态调差率的定义是：以相对值表示的调速器静特性线的斜率（图 1-7b），简称调差率，以 b_p 表示：

$$b_p = -\frac{dx}{dy} = -\frac{\Delta x}{\Delta y}$$

式中

$$\Delta x = x_2 - x_1 = \frac{n_2}{n_0} - \frac{n_1}{n_0} = \frac{n_2 - n_1}{n_0}$$

$$\Delta y = y_2 - y_1 = \frac{Y_2}{Y_M} - \frac{Y_1}{Y_M} = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_M}$$

将 Δx 、 Δy 值代入 b_p 表达式，并考虑负号，则得：

$$b_p = \frac{n_1 - n_2}{n_0} : \frac{Y_2 - Y_1}{Y_M} \quad (1-1)$$

用(1-1)式可以解释调差率 b_p 的物理意义:当 $Y_1=0$, $Y_2=Y_M$ 时, b_p 值就是接力器行程为零时的转速与接力器全行程时的转速之差对额定转速之比。

当 Y_1 和 Y_2 为任意值时,调差率 b_p 便是调速器静特性上任意两点1和2所对应的转速相对变化与接力器行程相对变化之比(图1-7a)。

静态调差率 b_p ,有些国家称为转速下降率。我们从图1-2所示的调速器知道,这个静态调差率 b_p 是由比例调节规律所产生的。采用 b_p 值大时,转速偏差就大,所以精确度就低,反之, b_p 值小精确度就高,所以,调频机组应该采用很小的 b_p 值。

2. 调节系统静特性及速度调整率

如果我们从调节系统来看,根据静特性的定义,以水轮发电机的输出值,即机组出力来代替图1-7的横座标,则得出调节系统的静特性,如图1-8a所示。

(1) 静态速度调整率:静态速度调整率 e_p 的定义是:机组空载转速相对值与满载转速相对值之差。若调节系统静特性近似为一直线,它就是以相对座标表示的调节系统静特性的斜率,如图1-8b所示。用下式计算:

$$e_p = -\frac{dx}{dp} = -\frac{\Delta x}{\Delta p}$$

与调差率计算公式(1-1)的推导类似,当用绝对值计算 e_p 时有如下形式:

$$e_p = \frac{n_1 - n_2}{n_0} : \frac{P_2 - P_1}{P_e} \quad (1-2)$$

式中 P_e ——机组额定出力。

当 $P_1=0$ 时, $n_1=n_0$; $P_2=P_e$ 时, $n_2=n_m$ 。 n_0 是空载额定转速; n_m 是满载最低转速。这时(1-2)式有如下的简单形式:

$$e_p = \frac{n_0 - n_m}{n_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

因此 e_p 的物理意义很明显,它就是机组空载额定转速与满载转速之差对额定转速之比。

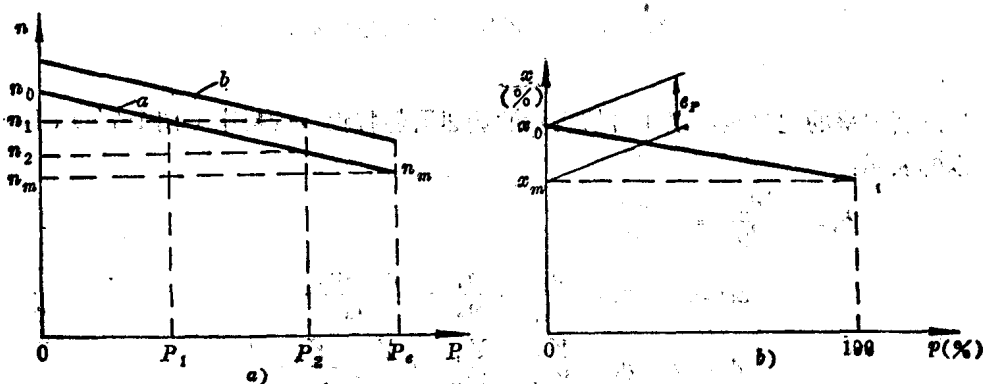


图 1-8 调节系统静特性及转速调整率

当 $e_p \neq 0$ 时, 随机组出力增加, 转速便下降, 这是由于调差机构作用的结果。如同调速器静特性一样, 当 $b_p \neq 0$ 时, 随接力器行程开大, 转速也下降。我们知道, 当调差机构整定值不变时, 即 b_p 为某定值时, 转速和接力器行程有一一对应关系。而当机组运行水头一定时, 机组负荷和接力器行程也有一一对应关系, 这样我们便可用图 1-9 来说明 b_p 和 e_p 之关系。图中 $x_{0,0}$ 为接力器行程为零时转速相对值; $x_{1,0}$ 为接力器全行程时的转速相对值, 则 $b_p = x_{0,0} - x_{1,0}$ 。并且 x_0 、 y_0 与机组空载位置相当; x_m 、 y_m 与机组满载位置相当, 则 $e_p = x_0 - x_m$ 。

当机组在计算水头下运转时, $y_m = 100\%$, 但 $y_0 > 0$, 这时如忽略 $x_{0,0}$ 与 x_0 之差, 则可认为 $e_p \approx b_p$ 。当水头高于计算水头时, $y_m < 100\%$, $e_p < b_p$ 。而当水头低于计算水头时, 即使 $y = 100\%$ 也达不到满载工况, 并且 y_0 也相应增大, e_p 值可按(1-2)式计算。图 1-9 所示为水头高于计算水头运转时的情形。可见 e_p 值是随调差率整定值和机组运行水头两个因素变化的。

(2) 有差特性: 整定调差机构, 使 $b_p > 0$, 则机组单独运行时, 随外界负荷的变化, 机组转速也发生变化, 转速和负荷有一一对应关系。负荷增大, 机组转速降低, 这就是调节系统的有差特性。

机组的有差特性可以借助于变速机构平行移动。单机带负荷运行时, 若外界负荷 P_1 不变, 则改变变速机构的位置, 例如向升速方向变动, 可使机组转速由 n_2 上升到 n_1 , 调节系统静特性由 a 平行移动到 b (图 1-8a)。

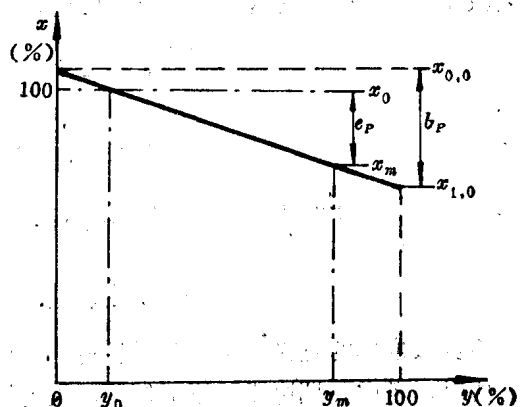


图 1-9 e_p 和 b_p 的关系

当机组并入电网和其他机组并列运行时, $b_p > 0$ 调节系统按有差特性线 a 运行 (图 1-8a), 则当系统频率降低时, 机组转速也由 n_1 降到 n_2 , 机组出力相应地由 P_1 增大到 P_2 。 e_p 越小, $\Delta P = P_2 - P_1$ 越大。因此, 调差机构是并列运行机组间实现负荷分配的重要机构。根据机组在电力系统中的地位, 承担负荷的性质, 用调差机构获得不同 e_p 值的有差特性。例如, 调频机组, e_p 整定得小; 承担基荷的机组 e_p 整定得大。总之, 调节系统有差特性的作用是: 1) 在不同的转速下保持稳定运行; 2) 转速和导叶开度或接力器行程有一一对应关系; 3) 实现并列机组间负荷的合理分配。

(3) 无差特性: 整定调差机构, 使 $b_p = 0$, 则有 $e_p = 0$ 。这时, 单独运行的机组, 不论外界负荷如何变化, 也不管接力器行程停留在什么位置, 在调整前后, 机组转速都保持不变, 这叫做调节系统的无差特性。在电网中担负调频任务的机组, 其中有一台机组常采用无差特性运行。无差特性说明以下两点: 1) 无差调节系统的平衡状态发生在转速(频率)为额定值的唯一数值下。2) 无差调节系统内的调节元件可以在同一转速(频率)下具有不同的位置。要在调速器的测频元件和调节元件之间实现上述关系, 调节系统回路内除调差机构外, 还须接入无差环节, 也就是暂态反馈(或称为弹性反馈、软反馈), 见图 1-5、图 1-6。无差环节在调节过程中也是按积分调节规律动作的。在没有外扰时, 通常处于随遇平衡状态; 当有调节作用时就失去平衡, 对调节系统起抑制和缓冲作用, 一直到转速等于额定值

时就停止。

二、调速器的不灵敏度

我们在分析有差特性和无差特性时,都是假定调速器在理想的工作状态下进行工作的。由于调速器的运动部分产生各种阻力和干摩擦,联接部分存在间隙和死行程等,必然影响到自动调速器反应输入值和输出值之间的正确关系。在此情况下,接力器推拉杆开始以一个方向运动,然后改变为反方向运动时,必须使调速器的输入值(转速)对其稳定值产生某种偏差后,才能使接力器开始动作。这种现象称为调速器具有不灵敏区(死区)。

如图1-10a所示,假定调速器测频元件所接受的转速为 n_1 ,此时导叶开度为 Y_1 ,如果要使接力器推拉杆开始向关闭侧移动,转速需要增加 Δn_1 ,而向开启侧开始移动时,转速需要减小 Δn_2 ,那末调速器的不灵敏度 ε_x 为:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\Delta n_1 + \Delta n_2}{2n_0} \times 100\% \\ \text{或者} \quad \varepsilon_x &= \frac{\Delta n}{2n_0} \times 100\% \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

式中 $\frac{\Delta n}{n_0} = \frac{\Delta n_1 + \Delta n_2}{n_0}$ ——不灵敏区;

n_0 ——额定转速。

不灵敏度 ε_x 的意义就是:如果转速偏差的相对值小于 ε_x ,调速器则不能反应此转速变化。所以,考虑到调速器的不灵敏度,调速器的静特性就不是一条直线,而是一条带,如图1-10b所示,并且其上限反应导叶向关闭侧的运动,而下限反应向开启侧运动。调速器存在不灵敏度时,此转速 n_1 就不能反应出确定的导叶开度值,此开度值 Y 就在 $Y_1 \sim Y_2$ 的范围内变动。

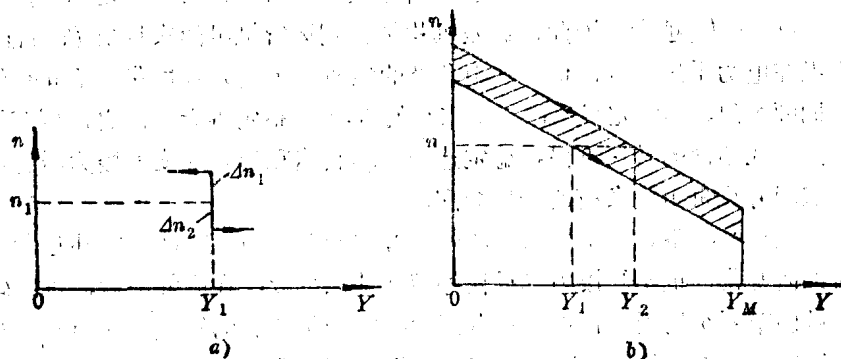


图 1-10 调速器的不灵敏度

调速器不灵敏度是表示调速器的质量指标之一,它是由各环节的不灵敏度所叠加的。所以,首先要求各环节的动作有足够高的灵敏度和准确度,才能满足调速器整体有良好的性能。

三、调速器的不准确度

除了不灵敏度外，表示调速器质量的另一个指标是调速器的不准确度，它是以接力器的位置为基准的。当机组在恒定的转速 n_1 下，根据调速器静特性，接力器行程应该保持不变，等于 Y_1 ，如图1-11所示。但是，实际上，这个条件总是不能实现的。因为调速器存在不灵敏度，同时各个环节又受到各种次要因素的影响，例如油压系统中油温和压力变化、某些电气元件的电压波动、温度漂移和时间漂移等等的影响。结果，在同一转速 n_1 下，接力器推拉杆的位移可能变化了 $\Delta Y = \Delta Y_1 + \Delta Y_2$ 。因此，调速器的不准确度 ε_y ，可作如下计算：

$$\varepsilon_y = \frac{\Delta Y}{Y_M} \times 100\% = \frac{\Delta Y_1 + \Delta Y_2}{Y_M} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 Y_M ——接力器全行程。

由此可给出 ε_y 的定义如下：在调节作用和转速保持不变的情况下，在给定静态调差率时，接力器相对位置的最大变动范围（以全行程 Y_M 的百分数表示）称为以接力器位置为基准的调速器不准确度。

当水轮发电机带孤立负荷时，调速器的不准确度导致转速和开度偏离确定值。在几台机组并列运行时，调速器的不准确度影响机组之间给定的负荷分配。

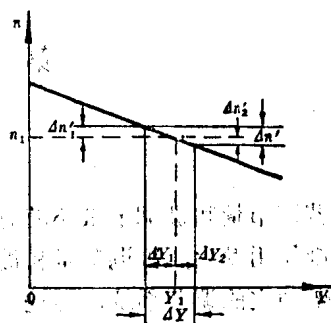


图 1-11 调速器的不准确度

四、接力器不动时间

调速器质量指标之三就是接力器的不动时间。由于调速器放大元件的配压阀存在正搭迭量又称几何搭迭量，在调节或外扰作用下，接力器推拉杆要等到配压阀位移大于某一搭迭量时才开始位移，这搭迭量叫物理搭迭量。由于漏油，物理搭迭量总是小于几何搭迭量，

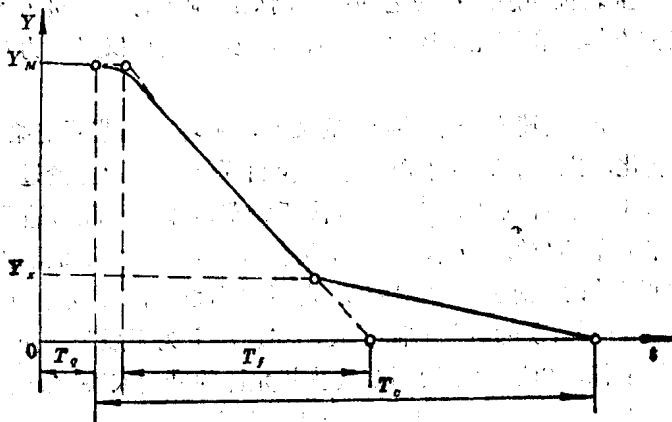


图 1-12 接力器行程 Y 和时间 t 的关系曲线

所以,当配压阀的位移等于或小于物理搭迭量时,接力器是不动作的。此外,接力器管路系统中油的惯性,运动部分的惯性,也起转速变化反应滞后的作用。因此,当调节或外扰作用于调速器时,接力器并不马上动作,而是滞后一段时间才开始动作,这一滞后时间称接力器不动时间。在接力器不动时间内,调速器的调节元件不起调节作用。如图 1-12 所示,时间 T_0 就是接力器不动时间。

接力器不动时间对调节过程的稳定性是极为有害的,对调节质量也有不良影响。一般说来,这种不动时间实际上是很难克服的。

在调节作用上,往往利用暂态调差机构来补偿不动时间 T_0 长的缺点。也可以加强微分作用来减小其影响。

值得注意的是不动时间 T_0 还影响调节过程中导水机构的关闭规律。在甩负荷条件下影响引水系统的水锤作用和机组的转速暂态变化值。

第四节 调节系统的动特性

一、关于动特性的基本概念

若调节量和被调节量不随时间变化,调节系统则处于相对平衡状态。如果有外扰作用或控制作用发生,则调节量和被调节量将随时间发生变化,调节系统暂时失去相对平衡。但一个稳定的调节系统,经过一定时间后,又会建立新的平衡状态。由原来的平衡状态过渡到新的平衡状态这一过程叫做过渡过程。在过渡过程中,调节量、被调节量、调速器各元件均处于相对变化运动的状态,所以又称为动态过程。

在水轮机调节系统中,转速或频率是被调节量,而导叶接力器行程可作为调节量。评价一个动态过渡过程的优劣,通常采用速动性和稳定性这样两个概念。它们都是描述转速 $n=f(t)$ 和接力器行程 $Y=f(t)$ 曲线的形状的质量标准。下面分别加以简要叙述。

二、动态过程的速动性

可以用不同的参量表征动态过程的速动性,例如:调节时间,接力器移动的平均速度,振荡过程的衰减率等。在第九章还要进行详细介绍。这里仅以接力器调节时间来说明。

如图 1-13 所示,由于转速有一个 Δn 值的突变,破坏了调节系统原有的平衡状态,调节量 Y 也要相应变化,以建立新的平衡状态。我们关心的是过渡过程中 $Y=f(t)$ 的形状。它可以是曲线 1,也可以是曲线 2,取决于调节对象特性和调速器可调参数的整定值。假如接力器原来的平衡位置是 Y_1 ,新的平衡位置是 Y_2 ,则习惯上把接力器变化 $0.9(Y_2-Y_1)$ 的时间叫做调节时间。在图中分别用 $T'_{0.9}$ 和 $T''_{0.9}$ 表示。真正的调节时间即接力器移动 $100\%(Y_2-Y_1)$ 的时间有时很长,在理论上为无限长。应当指出,上述 0.9 的数值也可以是其他指标,由所讨论的调节量及其允许的精度来决定。调节时间短的调节过程速动性好。由图 1-13 可知,曲线 1 的速动性比曲线 2 高。同时,曲线 1 较曲线 2 陡,这说明接力器移动的平均速度也大。