

DT

型

电气液压调速器

温 励 强

7
7

DT型电气液压调速器

温励强

电力工业出版社

内 容 提 要

本书详细介绍了DT型电气液压调速器的原理、结构及调整试验方法，同时讨论了安装、调整试验和运行中的许多问题，并提出相应的处理措施。

本书可供调速器制造厂和水电站从事调速器安装检修和运行的工人、技术人员及大专院校有关师生阅读。

DT型电气液压调速器

温 励 强

*

电力工业出版社出版

(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

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 13印张 293千字

1980年3月第一版 1980年3月北京第一次印刷

印数 00001—5540册 每册1.20元

书号 15036·4082

前 言

近年来，大中型水电站多采用电气液压调速器。由于在安装调整和运行检修中遇到一些问题，迫切需要一本由浅入深地介绍电液调速器的书籍，供工作中参考。产品制造厂有责任帮助用户了解设备情况，在东方电机厂各级领导大力支持和同志们具体帮助下，编写了本书。

在编写过程中，李守业、杨润全、孙邦彦、孙其述、王声国、晏家平、范久玉、陈祖莘、李世振、吴凤季、彭萌北、邓恩桂、蒋次珍等同志分别审阅了原稿，提出许多宝贵意见，给予具体的帮助。书稿写完后，还请寿梅华、李长荣、陈仲华审阅了全部书稿，使书稿质量得到很大提高，在此一并表示衷心的感谢。

本书将制造厂内调试、电站运行中的一些问题，整理出来，供大家研究讨论，其中对一些问题的看法和其他资料中有不尽相同之处，希望读者给予指教。书中错误之处一定不少，恳请批评指正。

温 励 强

1979年3月

目 录

前 言

第一章 水轮机调节的基本知识	1
第一节 水轮机调节问题	1
第二节 水轮机调节的途径	1
第三节 水轮机调节的特点	2
第四节 电气液压调速器概述	3
第二章 DT型电液调速器的原理	4
第一节 DT型调速器的组成部分	4
第二节 三通配压阀和接力器组成的最简单调速器	4
第三节 主配压阀和接力器组成的简单调速器	6
第四节 电液转换器、引导阀、主配压阀和接力器组成的简单调速器	8
第五节 电子管直流差动放大器	10
第六节 测频回路	14
第七节 相敏整流回路	18
第八节 简单的无反馈自动电液调速器的缺点及术语解释	26
第九节 减少过调节、使调节过程稳定的必要措施	31
第十节 机组稳定并列运行的措施	35
第十一节 频率给定回路	41
第十二节 信号综合回路	44
本章小结	46
第三章 液压机械部分和电气部分	48
第一节 附属机械装置	48
第二节 DT型电液调速器液压机械系统	62
第三节 电气回路	64
第四节 电气柜的结构	74
第五节 机械液压柜的主要元件结构	75
第四章 厂内调整试验	84
第一节 电液转换器调整试验	84
第二节 液压机械柜的厂内试验	89
第三节 液压机械柜与电气柜的联动试验	92
第四节 调速器静特性测定	97
第五节 电气柜的单独调整试验	98
第五章 DT型调速器的安装与调整试验	112
第一节 液压机械柜的安装	112

第二节	反馈机构安装	113
第三节	机械柜充油后的调整试验	114
第四节	电气柜的单独检查调整	118
第五节	电气柜和机械柜联动模拟试验	119
第六节	充水后单机调节试验	120
第六章	问题讨论	130
第一节	电气柜调试过程中经常遇到的一些问题	130
第二节	电站运行中发生的问题	144
第三节	DT型电液调速器运行维护注意事项	156
第四节	事故保护回路的一些问题	157
第五节	关机信号来源的探索	160
第六节	DT型调速器静特性非线性原因的探索	166
第七节	测频回路的问题	171
第八节	相敏整流回路输出电压的一般公式	191
第九节	缓冲回路的问题	192
附录	194
参考资料	202

第一章 水轮机调节的基本知识

第一节 水轮机调节问题

水轮机是将水能变成机械能的机器。要使机械能转变成电能，还必须通过不同的连结方式将水轮机和发电机组合起来，形成水轮发电机组（以后简称机组）。机组是在电力系统中运行的，它就必须服从整个电力系统的要求。这些要求可归纳为以下三点：

- (1) 保证运行安全可靠，持续不断地把电力送到用户；
- (2) 保证电能质量优良，即电流频率和电压要稳定地保持在容许范围内；
- (3) 保证运行的最佳经济性。

电力系统的负荷是经常不断地在改变，如果承担系统峰荷的机组不能随时按用电要求来改变输入的能量，就会使系统的频率升高或降低，影响供电的质量。因为频率的过大变化，特别是对那些精密生产过程，将会严重地影响产品的质量和生产的正常进行。同时，对机组本身来说，由于水轮机转速的变化（增或减），很可能引起效率的降低，造成能量的损失或浪费。更严重的是，有可能引起机组工作不稳定，产生振动，危及机组和电站本身的安全。由于发电机转速变化（增或减），会引起所发出电流频率和电压的波动，当这种波动超过一定的限定范围时，它就处于不稳定状态，引起严重的事故。因此，电流频率的变幅不得超过额定值的 $\pm 0.2\%$ 。这就要求承担负荷变化的机组能自动调节输入的能量，使之适应负荷变化的要求。也就是说，水轮机需要调节能量的输入以平衡能量的输出。使电力系统电流频率的变化保持在上述容许范围内。这样就必须进行水轮机的调节。

此外，为了满足电力系统工作的可靠性和经济性的要求，应能做到快速起动、停机、紧急停机、快速投入系统与其他机组并列运行，在不同条件下，承担负荷在最优工况区运行。为此，就需要设置一系列自动控制机构。把这些自动控制机构附加在为实现水轮机调节所设置的自动调节机构上，组成水轮机调速器。

第二节 水轮机调节的途径

既然电力系统要求水轮机能够进行调节，那么，采用什么途径来实现其调节，首先要了解机组的运动情况。

机组的运动是绕轴的旋转运动，可以用原动机转动矩定律来描述机组的运动规律。

$$I \frac{d\omega}{dt} = M_t - M_g \quad (1-1)$$

式中 I —— 机组旋转部分的惯性力矩；

$\frac{d\omega}{dt}$ —— 机组角加速度， ω 是主轴角速度， t 是时间；

M_t —— 水轮机的主动水力矩；

M_g ——水轮发电机受到的阻抗力矩（包括有用的和无效或无用的阻力）。

由（1-1）式得知，只有当水轮机的主动力矩等于阻抗力矩时，机组的角速度才能保持不变，机组也才能处于稳定工况运行。而机组每分钟的转速 $n = \frac{30\omega}{\pi}$ ，发电机的电流频率 $f = \frac{pn}{60}$ （ p 为发电机的磁极对数）。因此角速度不变时，机组的转速不变，发电机的电流频率也就不变。但是，如何来改变水轮机的主动力矩使它经常等于阻抗力矩呢？这可从分析水轮机主动力矩的公式中得到说明。

$$M_s = \frac{\gamma Q H \eta}{\omega} \quad (1-2)$$

式中 γ ——水的容重；
 Q ——流量；
 H ——水头；
 η ——水轮机工作效率；
 ω ——机组的角速度。

在（1-2）式中， γ 对水来说是常数， ω 是力图保持不变的。可以变化的只有 H 、 Q 、 η 三个因素，而增减水头 H 或效率 η 在技术上是很难做到的，在经济上也很不合算。最好的办法是调节流量 Q 来改变水轮机的主动力矩。

调节进入水轮机的流量，对混流式和定叶式水轮机，采用改变导叶开度的方法；对转叶式水轮机，采用同时协调改变导叶开度和转轮叶片角度的方法；对于冲击式水轮机，采用同时协调改变喷嘴的开度和偏流器角度的办法来实现。通常把第一种办法称为单一调节，把后两种办法称为双重调节。

第三节 水轮机调节的特点

水轮机的调节和其他原动机的调节相比，具有下列的特点。

（1）由于水轮机作功的工质不同于其他原动机的工质，水轮机工作时需要通过大量的水，而汽轮机是通过蒸气作功的。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，应该迅速改变导叶的开度，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的变化，当导叶开度增大时，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，由于导叶开度的变化，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，而水锤却使之增加功率。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的变化，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）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，能

够作为电力系统事故备用和担任调频任务，进行频率和有功功率的调节。

(4) 当调节对象为混流式水轮机，则使用单一调节的调速器；对转叶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。

第四节 电气液压调速器概述

目前，电气液压型调速器（以下简称电液调速器）已为国内外许多电站所采用，特别是对于大容量的水轮发电机组来说，应用电液调速器已成为一种趋势。尤其是随着电子技术的发展，电液调速器无疑将得到更广泛的应用。

电液调速器是在机械液压型调速器的基础上发展起来的，其基本工作原理是完全相同的，所不同的只是在电液调速器中用一些电的信号（电气回路）来取代机械液压型调速器中一些机械元件的位移，达到调节和控制机组的同样目的。一般说来，电液调速器分为电气部分和机械液压部分。调速器的测频放大、反馈（回复）及控制部分采用电气回路来实现。而液压放大、作功部分仍然是机械液压装置。电气部分则是利用输出电量的变化并加以放大后再由电液转换器变为机械液压部分的机械位移，因此，电液转换器就是这两部分的连结点。

电液调速器比机械液压型调速器具有很多优越性，例如转速死区小，通常电液调速器的转速死区为 $0.05\sim 0.1\%$ ，而机械液压型调速器通常为 $0.15\sim 0.2\%$ ；成本低，因为它用电气回路代替了机械液压调速器中造价较高的，如离心飞摆、缓冲器等许多元件；特别是用电气的办法很容易实现各种参数（如水头、流量、负荷分配等）的综合，便于实现成组调节，这就为电站的经济运行、自动化水平及调节品质的提高创造了非常有利的条件；同时，某些电液调速器可以使调节系统静特性具有人工失灵区，有利于机组在担任基荷时不受电力系统负荷变化的影响，从而改善了电力系统稳定性及其品质。所有这些，都是机械液压型调速器无可比拟的。

电液调速器也同样存在一些需要进一步解决的问题，如电子管的寿命一般较短，容易老化，某些电气元件的性能受温度的影响较大，特别是晶体管中零点飘移问题有待进一步克服。但是，这些问题都将随着生产和科学技术的发展而得到不断的完善。

电液调速器按其电气回路中放大器采用的元件不同可分为电子管型、磁放大器型、晶体管型和集成电路型等电液调速器。这些不同型号的电液调速器，我国均已制造成功并投入电站运行。电子管型的电液调速器在1958年已试制成功并投入运行。目前已得到推广，在一段时间内还会有不少电站安装使用这类电液调速器。

本书仅针对这种电子管型电液调速器的一个品种DT-100型作一简要说明。

“D”表示电子管型，T表示单调，100表示主配压阀直径为100毫米。

第二章 DT型电液调速器的原理

为了叙述DT型电液调速器的结构和原理方便起见,将一个复杂的调速器(DT型包括一个机械柜和一个电气柜),按它各部分不同的功用分解成最简单的形式,先讲清楚它的结构和作用原理,再指出它的缺点和完善的措施,逐步组装起来,形成一个完整系统的调速器。

第一节 DT型调速器的组成部分

DT型调速器早已定型生产。一般视主配压阀名义直径的不同分为:DT-100、DT-150、DT-200等型。其他部分是完全相同的。它的组成和各部分之间的相互关系可见图2-1。这种方框图能较形象地表示出调节作用的基本原理。

图 2-1 中的各部分分别安装于两个柜子里,即电气柜和机械液压柜。两个柜子之间通过电缆互相连系。

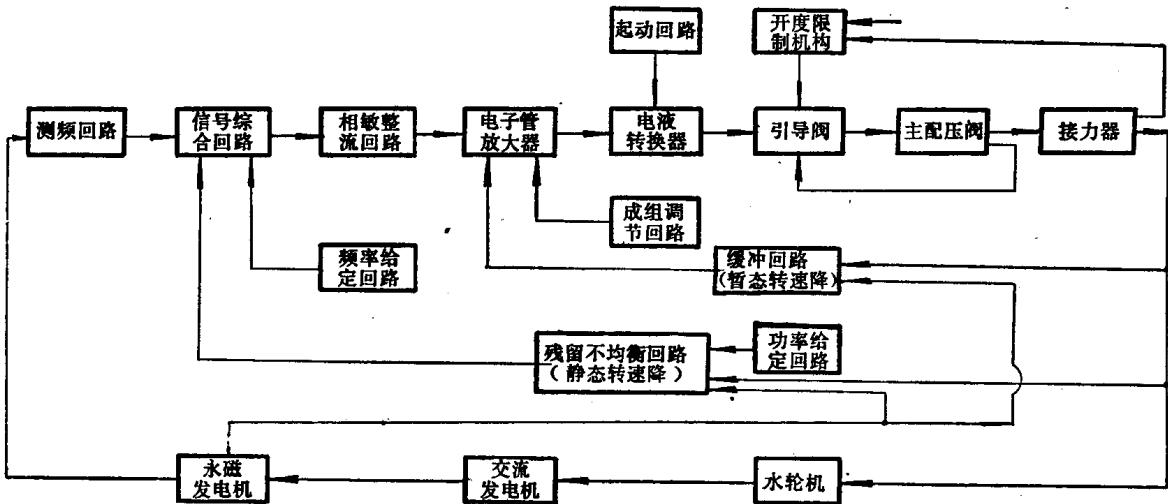


图 2-1 DT型调速器方框图

从第一章的叙述中可知,为了使电网频率变化维持在一定范围内,就必须使水轮发电机组转速的变化在允许范围内,而维持机组转速不变的方法则是调节进入水轮机的流量,即改变水轮机调节机构(导叶、转轮叶片、喷嘴偏流器等)的位置,从而改变水轮机的出力,使之适应电网负荷的变化。

为了达到此目的,最简单的办法如下节所述。

第二节 三通配压阀和接力器组成的最简单调速器

当负荷变动时,会使水轮机的主动力矩和发电机的阻抗力矩不相等,而机组的转速将

发生变化。例如，负荷减少则转速升高，需要关小导叶开度，使流量减少，降低水轮机主动力矩。此时只要人为地将图 2-2 左右两只三通旋塞都旋转到图示位置，就可使压力油进入接力器关侧，推动活塞（连接导叶和控制环）往关闭方向移动。接力器开启侧的油通过右边的三通旋塞被挤压到回油箱去。这样，导叶关小，流量减少，水轮机主动力矩降低，转速就会下降。

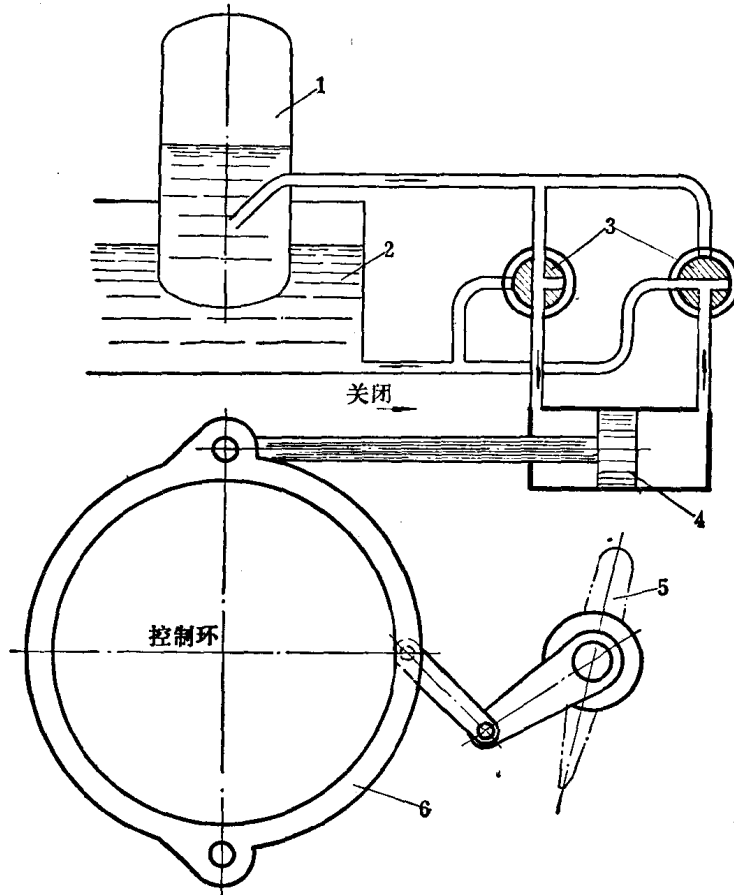


图 2-2 三通旋塞和接力器组成的最简调速器
1—压力油箱；2—回油箱；3—三通旋塞；4—接力器；5—导叶；6—控制环

当负荷增加时，转速下降，这时需要进行相反的操作，增大导叶开度，使流量增加，转速回升。

这样的办法是简单的，但缺点也是很明显的。

(1) 在导叶开或关的操作过程中都要严密地监视机组转速（频率）的变化，以便及时停止导叶开或关的动作，避免过调节。

(2) 系统负荷的变化极为频繁，幅值大小不定，所以频率变化也很频繁，值班人员的反应和操作是很难跟得上的。这样每一次频率的变动都要经过反复多次的调节。即使这样，频率的波动最后也很难维持在所要求的范围内，而且劳动强度很大，不能持久。

(3) 两个三通旋塞操作很不方便。

下面我们先在结构上作一点改善。即将两个三通旋塞的作用合并在一起，用一个三通

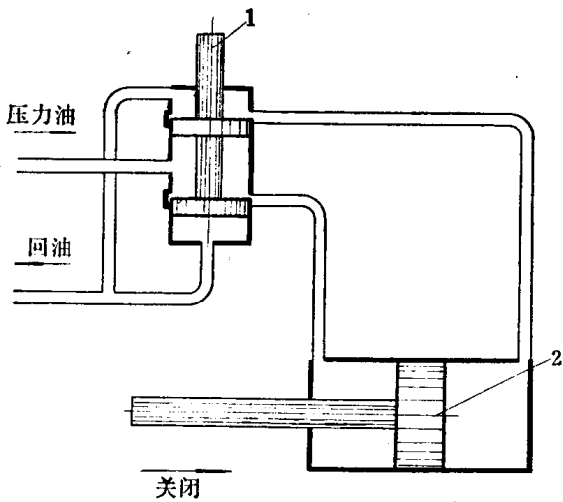


图 2-3 三通配压阀和接力器组成的简单调速器
1—三通配压阀；2—接力器

配压阀来代替，如图 2-3 所示。

当负荷减小，频率升高时，只要将活塞 1 推到下面位置，压力油进入接力器右侧，导叶开度关小，流量降低，机组频率下降。当负荷增大而频率降低时，则进行相反的操作。

这种结构，虽然操作上比前一种方便一些，但并不能完全消除前面所提出的缺点。大、中型水轮机的接力器很大，三通配压阀尺寸相应也较大，操作起来很是费力。

为此，需要在结构上再进一步改进。

第三节 主配压阀和接力器组成的简单调速器

由主配压阀和接力器组成的简单的调速器，如图 2-4 所示。

图 2-4 所示的主配压阀，即为 DT-100 实际使用的主配压阀。结构上活塞分成二部分，做成差动的形式。当压力油进入中间油腔后，由于主配压阀活塞上下活塞盘直径的差异，始终有一个向上的力作用于活塞上。若压力油的压强为 25 公斤/厘米²，此时向上的作

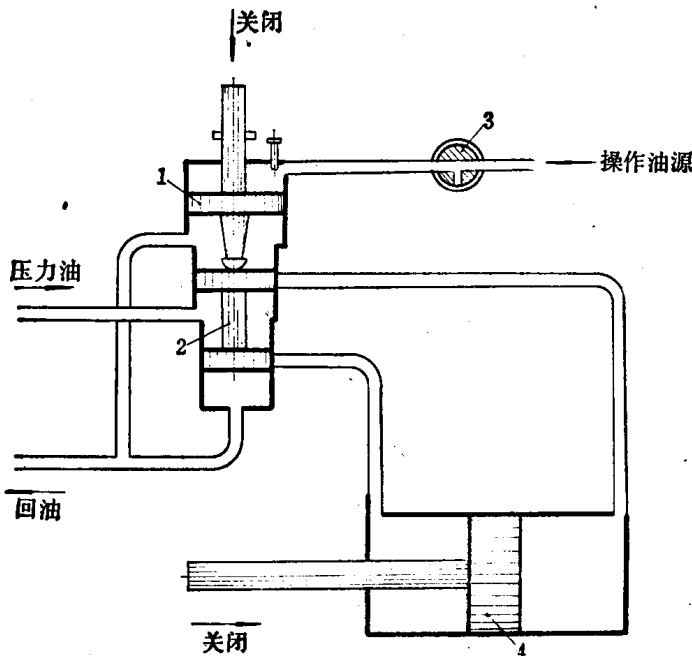


图 2-4 主配压阀和接力器组成的简单调速器
1—辅助配压阀活塞；2—主配压阀活塞；3—三通旋塞；4—接力器

用力达到 228.5 公斤。为了使主配压阀活塞处于平衡的中间位置，只要在辅助配压阀的上腔通入约 5.46 公斤/厘米² 的压力油，那么作用在活塞上的力就上下相等。如果超过 5.46 公斤/厘米²，向下的作用力就超过了向上的作用力，活塞就向下移动，反之，则向上移动。

因此，现在为了能使导叶接力器随着机组转速的升高或降低而进行关小或开大导叶开度的动作，只需操作图 2-4 所示的三通旋塞，使之往辅助配压阀上腔注入一点压力油使该腔的压强升高，或者排出一点油使该腔的压强降低就可以了。

显然，图 2-4 所示的结构比图 2-2、2-3 的结构都省力了一些，在此基础上再进一步来完善它。即用一个引导阀代替图 2-4 的三通旋塞，如图 2-5 所示。

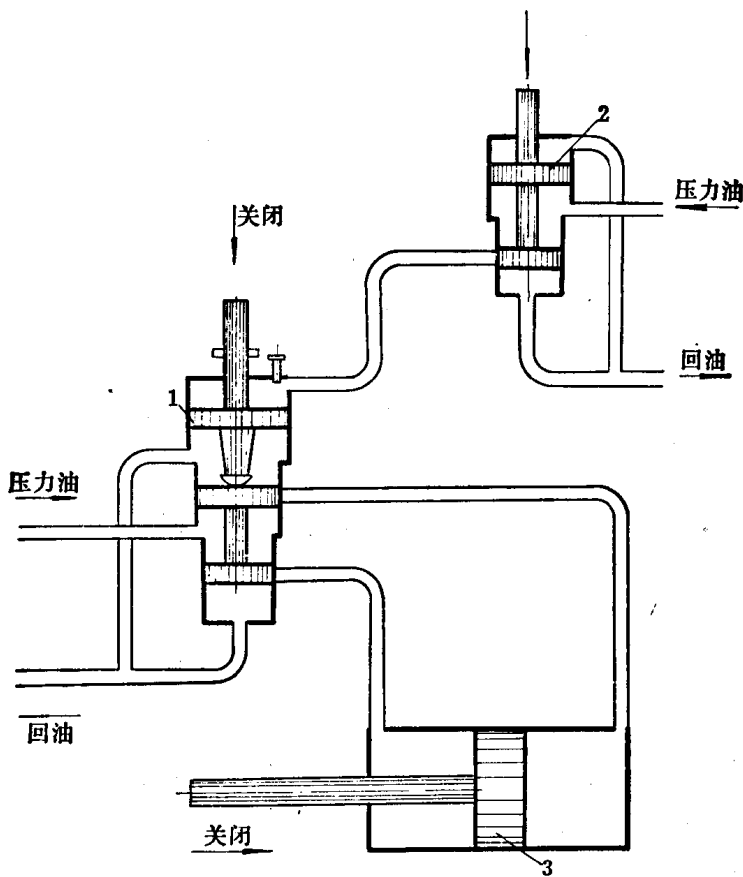


图 2-5 引导阀、主配压阀和接力器组成的简单调速器
1—主配压阀；2—引导阀；3—接力器

引导阀仍然做成差动的形式（也可以不是）。当压力油进入引导阀时，它的活塞总是受着一个往上作用的力，此力约为 17.7 公斤（在油压为 25 公斤/厘米² 时）。引导阀活塞受开度限制触头位置的限制而停留在中间位置。此时，作用于主配压阀活塞的力上下相等，因而停止在中间平衡位置，接力器不动，导叶开度不变。

当转速升高时，只要使引导阀活塞向下，主配压阀辅助接力器上腔的油压增高，活塞下行，接力器往关闭方向移动，关小导叶开度，使机组转速降低。反之，则进行相反的操作。

这种系统比起图2-3、2-4的系统并无根本的改善，转速变化后，仍需进行反复几次的调节。但这种结构已经是DT型调速器实际系统的一部分了。

第四节 电液转换器、引导阀、主配压阀和接力器组成的简单调速器

在图 2-5 的基础上，增设一个差动阀并用一个弹簧和滑套，使之自动处于平衡位置，如图2-6所示。

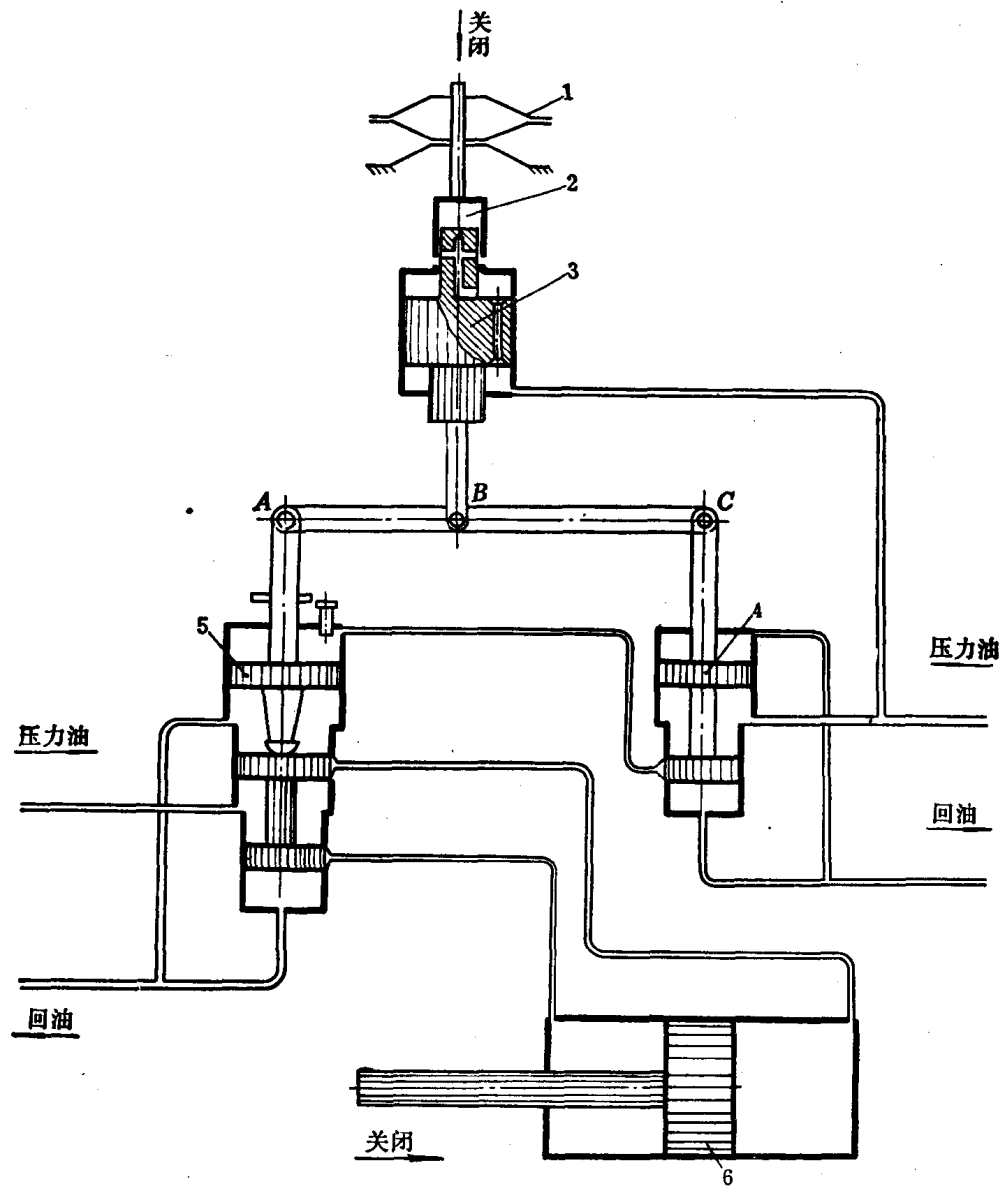


图 2-6 差动阀、引导阀、主配压阀和接力器组成的简单调速器
1—十字弹簧；2—滑套；3—差动阀；4—引导阀；5—主配压阀；6—接力器

差动阀的动作是压力油从下腔进入，经过活塞中的固定节流孔，从变节流孔喷出。变节流孔孔口的大小受滑套的调节。当滑套在某一合适的位置时，从变节流孔喷出的油，其流量一定，在差动阀上腔的油压约为下腔的 $1/2$ 时（下腔受油压作用的面积为上腔受油压作用面积的 $1/2$ ），活塞处于平衡位置。此时连杆A、B、C三点处于同一水平位置，引导阀、主配压阀均处于中间平衡位置，接力器不动。

滑套支撑和固连在十字片状弹簧上。

当负荷变动，机组转速上升时，只要将弹簧往下按一下，滑套就将变节流孔孔口减小，流量减少，差动阀上腔的油压升高，活塞下移（即B点下移，此时主配压阀尚未移

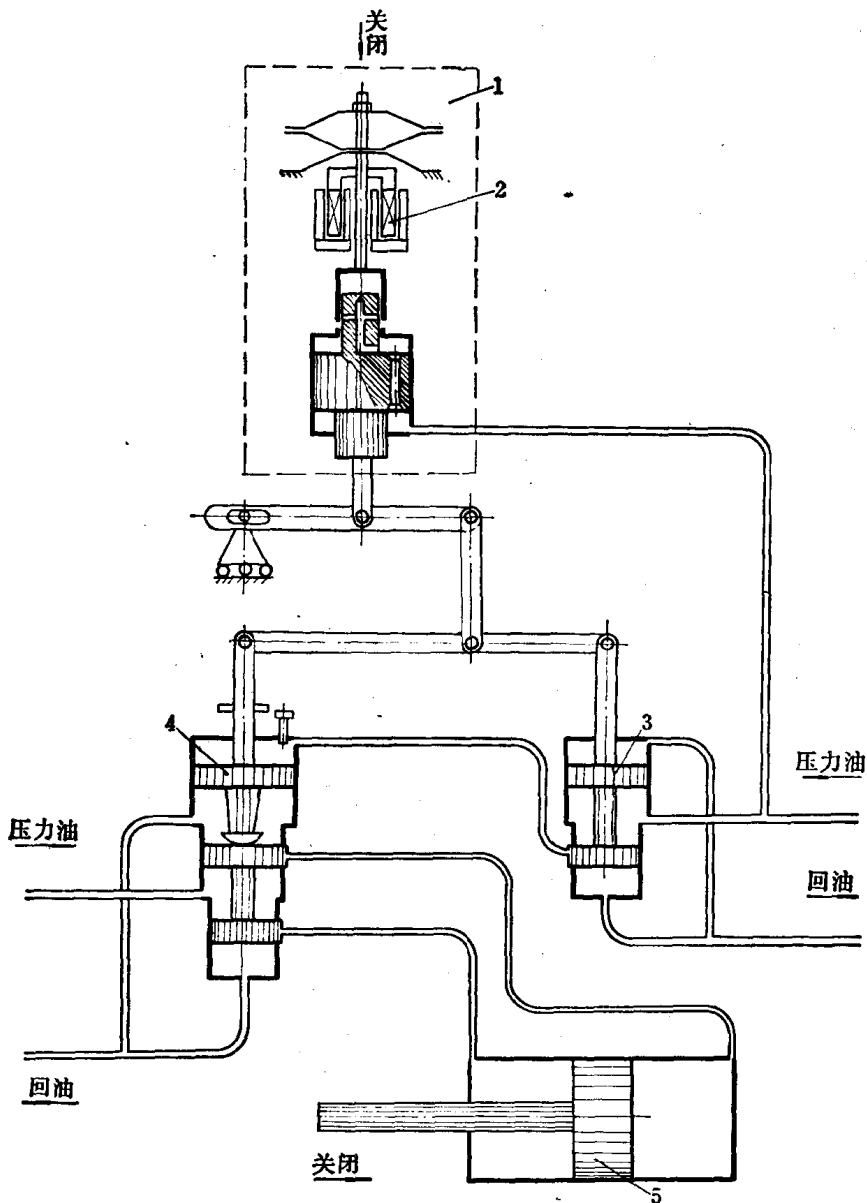


图 2-7 电液转换器引导阀、主配压阀和接力器组成的调速器
1—电液转换器；2—电液转换器线圈；3—引导阀；4—主配压阀；5—接力器

动), 连杆以 A 点为支点转动, 使 C 点下行, 推动引导阀活塞往下移动。压力油进入主配压阀上腔, 推动主配压阀活塞往下移动, 压力油进入接力器关腔, 使导叶关小。当主配压阀活塞下移时, 杠杆又以 B 点为支点转动, 使 C 点上移一个适当的位置, 避免导叶接力器过量的移动, 减少过调节。这里杠杆在引导阀和主配压阀之间起着局部的负反馈(回复)作用。

转速降低时的操作和动作过程则相反, 不须赘述。

如果在滑套和十字弹簧连接的小针杆上装上一个线圈, 并使该线圈处于固定磁场中, 如图2-7所示。

这就是DT型电液调速器机械柜内的主要部分。差动阀、滑套、线圈、永久磁钢和十字弹簧组成了DT型电调的电液转换器。有了电液转换器, 就可以通过电气信号进行水轮机导叶开度的调节, 也就是通过电液转换器将电调的电气部分和机械液压部分连接起来。

电液转换器的线圈是由匝数相同, 绕向一致的两个绕组组成。假定机组转速稳定在额定转速时, 线圈两个绕组的直流电流大小相等而方向相反, 即 $i_1 = i_2$ (在两绕组直流电阻 $R_{Q_1} = R_{Q_2}$ 条件下), 那末, 往上和往下的电磁力就大小相等, 方向相反, 与十字弹簧相固连的弹力相平衡。滑套处于一定位置, 整个系统处于平衡状态。

只要电液转换器线圈中的电流 i_1 和 i_2 不相等, 滑套就随线圈而移动, 改变可变节流孔口的大小, 整个系统就动作起来, 使导叶开度开大或关小。

怎样才能使 i_1 、 i_2 随频率和额定频率的偏差而发生变化呢? 下面对DT型电气部分的工作原理进行具体分析。

第五节 电子管直流差动放大器

如果我们用一个两侧性能完全相同的双三极管, 按图2-8接线, 并将电液转换器线圈的二个绕组(分别称为 Q_1 、 Q_2 , 下同)接在双三极管的板极上, 这样就可以用一个很小的电压信号控制导叶接力器的动作, 进行水轮机的调节。

当没有输入信号时(均指直流输入信号, 下同), 第一栅极 g_1 和阴极 K 的电位差 V_{g_1K} 为零, 即: $V_{g_1K} = 0$; 第二栅极 g_2 和阴极 K 均接地, 为同电位, 即: $V_{g_2K} = 0$, 两个栅极电位也相同。此时在板极的电源电压 E_a 和灯丝电压 V_f 接通的情况下, $i_1 = i_2$ 。不能引起电液转换器滑套的动作, 调节系统处于平衡状态。

当有输入信号, 即 $V_{g_1K} \neq 0$ 时, 例如第一栅极 g_1 点电位较 K 点(阴极)电位高, 即 V_{g_1K} 为正, 则 i_1 将增加, i_2 仍不变, 因第二栅极 g_2 对 K 点的电位并没有变化 (g_2 和 K 都接地), 所以 $i_1 > i_2$ 。现在, 假定 i_1 增加, 代表向上作用的电磁力增大。电磁力用 F 表示, 则:

$$F = B i l \quad (2-1)$$

式中 B —— 磁场强度(高斯);

i —— 电流(安培);

l —— 线圈的导线长度(米)。

当磁钢已确定时, B 为常数, 线长 l 在绕好的线圈下也是常数, 故电磁力只随电流而

变化。

$i_1 > i_2$ 时，线圈受往上作用的电磁力大于往下作用力，滑套随线圈往上移动，导致导叶接力器的开启。

当输入信号使 g_1 点比 K 点电位低时，即： V_{g_1K} 为负， i_1 就减小，线圈所受的往上电磁力小于往下的电磁力，滑套随线圈下移，导致导叶接力器关闭。

但图 2-8 所示的接线有较大的缺点。

(1) 当没有输入信号时， g_1 、 g_2 、 K 三点电位相同且为零，即放大器的工作点在零伏。此时， i_1 虽然等于 i_2 ，但数值较大，不符合要求，且零伏附近电子管输出特性线性不好。

当输入信号为正，即栅极电位较阴极为高时，会产生栅流，栅流过大就会烧坏栅极。所以，电子管放大器一般要工作在负栅压，就是使栅极的电位总是比阴极的电位为低。

(2) 当第二栅极没有信号输入时， i_2 始终不变，未能充分利用双三极管的性能。最好是使当有信号输入时能造成 i_1 增大，这样 i_2 就相应减少或者相反，当 i_1 减小， i_2 就增大，即可得到所谓差动的输出。

DT 型电液调速器使用的是 6N1 型双三极管，比较合理的工作点为负 3 伏左右，即阴极比两个栅极都高 3 伏，或者说栅极比阴极电位低约 3 伏，这就是所谓负栅偏压。

如图 2-9 所示的接线即可获得合适的工作点。即将阴极串联一个电阻 R_K 后再接至公共点（地），使 $(i_1 + i_2) R_K \approx 3$ 伏即可。

这就是所谓自给栅偏压的线路。这时输入信号再不是 V_{g_1K} 而是 V_{g_10} 了。当输入信号为零，即： $V_{g_10} = 0$ 时， $V_{g_1K} \approx -3$ 伏， $V_{g_2K} \approx -3$ 伏，可满足对放大器工作点的要求。此外，由于有了 R_K ，当有输入信号时，电流 i_1 和 i_2 的变化和图 2-8 接线就有所不同。假定输入信号 V_{g_10} 为正，此时，栅极 g_1 对阴极的电位就相对地提高了。譬如，原来没有输入信号时为 -3 伏，现在就不到 -3 伏，如只有 -2 伏， i_1 就增加，增加了一个 Δi_1 的数量，那末，此时流过 R_K 的总电流应为 $i_1 + \Delta i_1 + i_2$ ，此电流在 R_K 上产生的压降为 $V_{R_K} = (i_1 + \Delta i_1 + i_2) R_K$ ，即阴极 K 点的电位比原来要提高了 $\Delta i_1 R_K = \Delta V_K$ 。这个 ΔV_K 造成两方面的效果：一方面使 K 点对第一栅极 g_1 的电位差又发生了变化，栅极 g_1 对阴极的负值又增加了（即从 -2 伏再增加一个负的 ΔV_K ，譬如说增加到 -2.5 伏，但不会增加到 -3 伏），起到了一个负反馈的作用，有利于提高这个放大环节的稳定性；另一方面，虽然 K 点电位提高了，但由于第二栅极 g_2 直接接公共端（地），因而它本身的电位没变，但 K 点对公共端电位提高，就相当于 g_2 对 K 来说是降低了，所以 i_2 减小，减少了一个 Δi_2 ，由于 i_2

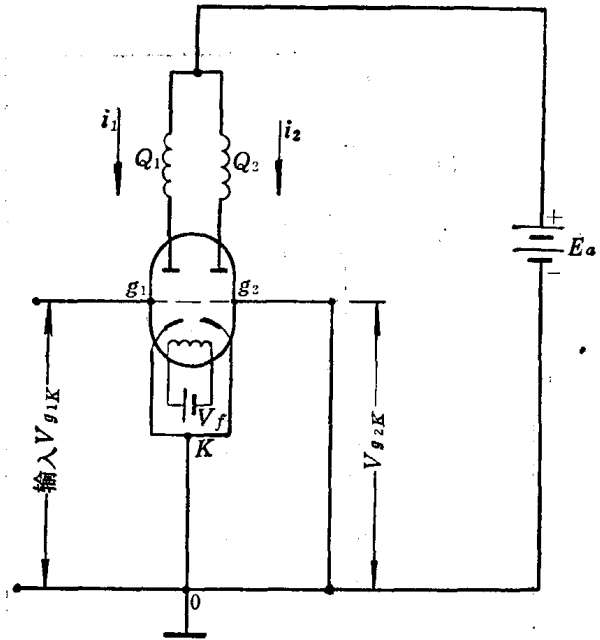


图 2-8 简单的无差动作用的电子管放大器