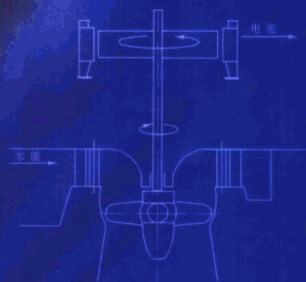
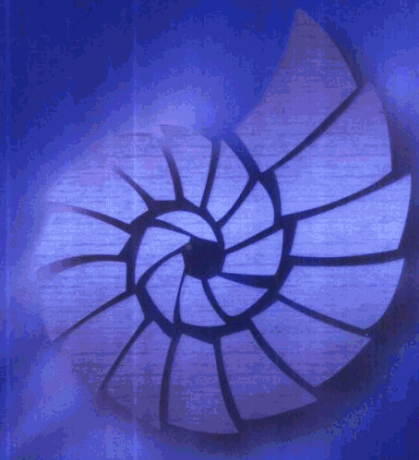


全国水利水电类高职高专统编教材

水轮机调节

蔡燕生 主编



黄河水利出版社

全国水利水电类高职高专统编教材

水轮机调节

蔡燕生 主编

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是为高等职业技术学院、高等专科学校水电站电力设备专业、水电站动力设备专业编写的全国统编教材。全书共分七章,包括水轮机调节的基本原理,机械液压型调速器,电气液压型调速器,微机调速器,调节系统特性与参数整定,调节保证计算简介,调速器的运行维护、检修和故障分析。各章后编有小结和复习思考题。

本教材还可以作为从事水电站、水泵站调速器安装、运行维护和检修方面工作的有关人员的培训教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水轮机调节/蔡燕生主编. —郑州:黄河水利出版社,
2003. 1

全国水利水电类高职高专统编教材

ISBN 7-80621-657-X

I. 水… II. 蔡… III. 水轮机-调节-高等学校:
技术学校-教材 IV. TK730.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 003285 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail:yrp@public2.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:18.25

字数:422千字

印数:1—4100

版次:2003年2月第1版

印次:2003年2月第1次印刷

书号:ISBN 7-80621-657-X/TK·4

定价:30.00元

前 言

本书是根据教育部《关于加强高职高专人才培养工作意见》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》等文件精神,以及由全国水利水电高职教研会拟定的教材编写规划,报水利部批准,用中央财政安排的“支持示范性职业技术学院建设”项目经费组织编写的水利水电类全国统编教材。

本教材是按照水利机电专业组于 2001 年 4 月、8 月在广州、成都会议上讨论制定的教学基本要求而编写的。

本书用作水电站电力设备及自动化、水电站动力设备和水电厂机电技术等专业的教材;也可作为水电站、水泵站从事调速器工作的有关人员的培训教材或参考书。

考虑到调速器的发展情况,本教材对传统内容作了适当简化,突出了新知识、新设备的内容。主要内容如下:第一章以小型机械液压调速器为例讲授水轮机调节的基本原理;第二章侧重讲了 YT-6000 型调速器的基本元件的结构、基本方程和调整试验,对基本原理部分作了适当删减;第三章以 YDT-1800A 电调为主线介绍了电调的工作原理,对目前仍在应用的其他型式的电调的典型电路和电液转换元件作了简要介绍;第四章着重讲了微机调速器的系统结构、输入输出通道、测频原理、典型的 PID 控制算法、新型液压元件和电液转换元件——伺服比例阀和伺服/步进电机,最后介绍了新型的微机调速器;第五章讲述了调节系统静、动特性与参数调整;第六章简要介绍了调节保证计算的任务、水击压强和转速上升的计算及其防止措施;第七章介绍了调速器运行维护、检修和故障分析的基本知识。

本书第二章由广东水利电力职业技术学院宋海辉编写;第三章由长沙电力学院水利水电学院饶洪德编写;第六章由杨凌职业技术学院龙建明编写;第七章由四川农业大学水利电力学院李爱民编写;其余各章由四川电力职业技术学院蔡燕生编写。全书由蔡燕生担任主编。

本书由四川农业大学水利电力学院林亚一副教授担任主审。

本书在编写过程中,郭建业高级工程师(教授级)审阅了本书部分章节,提出了宝贵的建议,并提供了极有价值的资料;西安启元自控技术研究所也给本书提供了极有价值的资料。此外,四川映秀湾水力发电总厂、双柏电站的有关技术人员也对本教材提出了宝贵的意见,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥或错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

2002 年 9 月

目 录

前 言

第一章 水轮机调节的基本原理	(1)
第一节 水轮机调节的基本概念.....	(1)
第二节 水轮机调速系统组成与基本元件.....	(4)
第三节 水轮机调速系统的基本原理.....	(9)
第四节 调速系统的典型环节与调节规律	(17)
第五节 调速器的分类和型号	(21)
本章小结	(24)
复习思考题	(25)
第二章 机械液压型调速器	(26)
第一节 机械液压型调速器概述	(26)
第二节 离心摆	(31)
第三节 液压放大机构	(38)
第四节 硬反馈元件	(45)
第五节 软反馈元件	(49)
第六节 调速器的控制元件	(56)
第七节 YT 小型调速器的整机动作原理	(61)
第八节 机械液压型调速器整机调整与试验	(66)
第九节 双调节调速器	(74)
第十节 油压装置	(76)
本章小结	(81)
复习思考题	(82)
第三章 电气液压型调速器	(84)
第一节 概述	(84)
第二节 测频回路	(86)
第三节 校正回路.....	(102)
第四节 调节单元.....	(108)
第五节 功率给定与硬反馈回路.....	(114)
第六节 综合放大回路与电气开度限制回路.....	(117)
第七节 位电转换器.....	(124)
第八节 电气协联函数发生器.....	(127)
第九节 电液转换器.....	(132)

第十节 YDT-1800A 型电液调速器整机工作原理	(144)
第十一节 电液调速器的调整试验	(156)
本章小结	(159)
复习思考题	(160)
第四章 微机调速器	(164)
第一节 概述	(164)
第二节 微机调速器的系统结构和硬件组成	(166)
第三节 微机调节器的过程通道	(170)
第四节 微机调节器的测频原理	(180)
第五节 微机调速器的 PID 控制算法	(190)
第六节 电液随动系统的常见元件	(193)
第七节 SJ-720 微机调速器工作原理	(202)
第八节 中小型 PLC 微机调速器新产品简介	(213)
本章小结	(222)
复习思考题	(224)
第五章 调节系统特性与参数整定	(225)
第一节 调节系统的静态特性	(225)
第二节 调节对象的特性	(228)
第三节 水轮机调节系统的稳定性和动态品质	(235)
第四节 调节系统的动态特性试验	(239)
本章小结	(245)
复习思考题	(246)
第六章 调节保证计算简介	(247)
第一节 调节保证计算的任务与标准	(247)
第二节 调节保证计算简介	(248)
第三节 调节保证计算的电算法概述	(264)
第四节 改善调节保证参数的措施	(267)
本章小结	(272)
复习思考题	(273)
第七章 调速器的运行维护、检修和故障分析	(274)
第一节 调速器的运行维护	(274)
第二节 调速器检修的一般知识	(275)
第三节 机械液压型调速器的故障分析与处理	(279)
第四节 电气液压型调速器的故障分析与处理	(283)
本章小结	(285)
复习思考题	(285)
参考文献	(286)

第一章 水轮机调节的基本原理

第一节 水轮机调节的基本概念

一、水轮机调节的任务

水力发电的生产过程如图 1-1 所示,由水轮机将水能转变为机械能,再由发电机将机械能转变为电能,送入电力系统供给用户使用。

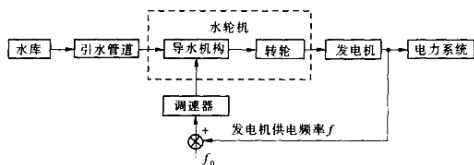


图 1-1 水力发电过程示意

电能是一种特殊的商品。在电力系统中,发电、供电和用电是同时完成的,而电力系统的负荷是随着时间不断变化的,其负荷变化的周期为几十秒至几十分钟不等,变化幅值可达系统总容量的 2%~3%。例如,一日之内存在上午、晚上两个用电高峰和中午、深夜两个低谷等。电力系统负荷的变化必定导致频率的变化。用户除了要求供电安全、可靠和经济外,还要求电能的频率、电压保持在额定值上、下的某一范围内。如果频率和电压的波动值过大,将会造成机械加工工件达不到需要的精度,纺织产品会出现次品和废品,此外还会影响到水轮发电机组和电力系统自身工作的稳定等等。因此,我国电力系统规定:电力系统的频率应保持 50Hz,允许偏差 $\pm 0.2\text{Hz}$ 。容量小于 3 000MW 的地方电网,偏差不得大于 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。此外,还应保证电钟指示与标准时间的误差在任何时候不超过 1min,大容量系统不超过 30s。工业发达国家对频率的偏差范围提出了更高的要求。

在电力系统中,为了使水轮发电机组的供电频率稳定在某一规定的范围内而进行的调节,称为水轮机调节。

根据《电机学》可知:发电机发出的交流电压的频率与发电机组转速之间的关系可用下式表示:

$$f = \frac{pn}{60} \quad (1-1)$$

式中 f ——发电机输出交流电压的频率,Hz;

p ——发电机的磁极对数;

n ——发电机的转速,r/min。

发电机的磁极对数取决于发电机的结构,对已制造好的发电机 p 是一个常数,由上

式可知发电机输出的频率与转速成正比。因此,要保证频率在规定的范围内,就要根据电力系统负荷的变化不断地调节水轮发电机组的有功功率输出,并维持机组转速在规定的范围内。这就是水轮机调节的基本任务。

二、水轮机调节的途径和方法

在图 1-2 中,水轮机和发电机连成一个整体,称为水轮发电机组。我们可以把机组转动部分看成一个绕定轴转动的刚体,根据理论力学可得:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M \quad (1-2)$$

式中 J ——机组转动部分的转动惯量;

$\frac{d\omega}{dt}$ ——机组角加速度;

M ——作用于机组转动部分的合外力矩。

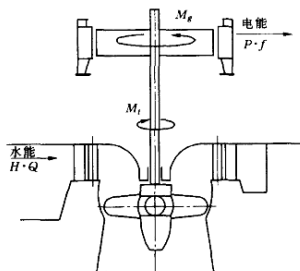


图 1-2 水轮发电机组示意

作用于机组转动部分的合外力矩包括两部分,一是水流推动水轮机的主动力矩,用 M_t 表示;二是发电机电阻力矩,用 M_g 表示,故式(1-2)可用下式表示

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_t - M_g \quad (1-3)$$

发电机电阻力矩 M_g 随着用电负荷的变化而变化。当动力矩和阻力矩失去平衡时,机组转速就会随之而变化。根据上式,转速的变化有三种情况:

(1) 当 $M_t > M_g$ 时, $\frac{d\omega}{dt} > 0$, 说明电网负荷减少, 机组转速上升, 电网频率升高, 这时需要减少水轮机动力矩, 使动力矩与阻力矩相等, 电网的频率恢复到正常范围;

(2) $M_t = M_g$ 时, 机组转速保持不变;

(3) $M_t < M_g$ 时, $\frac{d\omega}{dt} < 0$, 电网负荷增加, 机组转速下降, 电网频率下降, 这时需要增加水轮机动力矩, 使电网频率恢复到正常范围。

由上可知, 当发电机电阻力矩发生变化时, 如果不对水轮机动力矩进行调节, 就会引起机组转速或电网频率改变。下面分析怎样对水轮机动力矩进行调节。

水轮机动力矩与水轮机工作水头、水轮机导叶开度或者说流量和角速度等有关,根据水轮机出力公式 $P = 9.81HQ\eta$ 和 $P = M_t\omega$ 可得:

$$M_t = \frac{9.81HQ\eta}{\omega} \quad (1-4)$$

由式(1-4)可知,从理论上讲,改变水轮机流量 Q 、工作水头 H 和效率 η ,可以改变水轮机动力矩,在实际工程中通过改变工作水头和效率来改变动力矩是十分困难的。因此,只有通过改变流量来调节水轮机动力矩。不同型式的水轮机其调节流量的设备是不相同的。例如,反击式水轮机通过调节导叶开度来改变动力矩,冲击式水轮机通过改变喷针行程调节水轮机动力矩。所以水轮机调节的途径是改变导叶或喷针开度。具体方法是利用调速器按负荷变化引起的机组转速或频率的偏差,调整水轮机导叶或喷针开度,使水轮机动力矩和发电机阻力矩及时恢复平衡,从而使转速和频率保持在规定的范围内。

三、水轮机调节的特点

水轮机调节系统与其他原动机调节系统相比有以下特点:

(1)水轮发电机组是以水为工作介质发电的,而水能开发要受自然条件的限制,与其他原动机相比,其单位工作介质的能量较小,要发出同样的电能需要通过较大的流量,因此水轮机的导水机构也相应较大。这就要求水轮机调速器设置较大的液压操作机构,而液压元件的非线性和时间滞后性会影响水轮机调节系统的动态品质。

(2)因开发方式的不同,一些水轮机需要采用双重调节。例如,转桨式水轮机不仅要调节导叶开度,同时还要调节转轮桨叶的转角,要求调速器中多设置一套调节机构,从而增加了调速系统的复杂性。同时,也增加了水轮机出力调整的滞后。

(3)受自然条件的限制,有些水电站具有较长的引水管道。管道长,水流惯性很大,水轮机突然开启或关闭导叶时会引起压力管道中产生水击。而延长关机时间,又会使机组转速过高,这些都会对水轮机调节系统的动态品质产生不利的影响。

(4)随着电力系统容量的扩大和自动化水平的不断提高,对水轮机调速器的稳定性、速动性、准确性提出了越来越高的要求,调速器的操作功能、自动控制功能不断完善,已经成为水电站综合自动化必不可少的自动装置。

四、调速器的发展

最早的调速器是蒸汽机调速器。它是机械型的,利用测速元件直接控制进汽阀。水轮机调速器是 20 世纪前期随着水电建设发展起来的,19 世纪末出现了用液压放大元件作为功率放大的液压型调速器,到 20 世纪 30 年代出现了相当完善的机械液压型调速器,并沿用至今。

随着电子技术与液压技术的进步,解决了电气-液压转换问题,20 世纪 40 年代中期出现了电气液压型调速器。电气液压型调速器发展初期,仅以电气回路替代一些机械元件,直到电子调节器型调速器的出现,电气液压型调速器才有了独立的模式。从采用的元器件方面,其发展经历了电子管、晶体管、集成电路等发展阶段。从调节规律来说,由比例-积分调节规律到比例-积分-微分调节规律。

20世纪80年代以来,计算机技术和液压传动技术迅速发展。由于水电站的装机容量不断提高,单机容量增加,对机组运行稳定性、速动性提出了更高的要求,世界上发达国家将计算机、液压传动技术应用于水轮机调速器,并在一大批电站投入运行。

20世纪80年代初以来,我国科技工作者先后研制成功多种型号的微机调速器,并在许多大、中、小型电站得到应用,其技术日趋成熟。在调节规律方面正努力采用最优控制,如状态反馈控制、自适应控制、适应式变参数变结构控制等,以保持水轮机调节系统处于最佳运行状态,极大地缩小了我国调速器制造技术与国外先进国家之间的差距。

第二节 水轮机调速系统组成与基本元件

图 1-3 是单调节机械液压调速系统的系统框图,它表明了调速系统各元件之间的连接关系。该调速系统由杠杆系统、离心摆、引导阀、辅助接力器、主配压阀、硬反馈装置、缓冲装置(即软反馈装置)和主接力器等组成。下面先分析各元件的基本结构和工作原理。

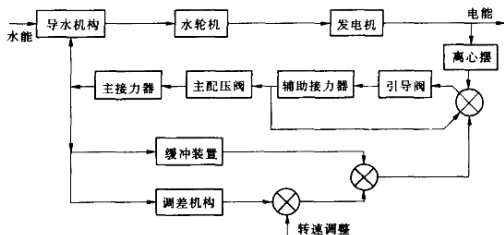


图 1-3 水轮机调速系统框图

一、离心摆及其工作原理

在机械液压调速器中,通过交流电动机带动离心摆转动,交流电动机的电源来自与发电机同轴的永磁发电机或发电机机端电压互感器。永磁发电机的电压频率反映了机组的转速,所以离心摆的转速就反映了机组的转速。离心摆是一个测量元件,它可将转速随时间的变化量转换成位移量作为输出信号。

采用最广泛的是菱形钢带式离心摆,其结构和原理如下:

离心摆有两个重块,通过钢带上与电动机转轴相连,下与下支持块连接,下支持块与转轴之间有一弹簧和调节螺母,下支持块又与引导阀转动套连为一体。装在离心摆上面的电动机带动离心摆转动,这时离心摆的重块产生离心力使钢带张开,下支持块上移使弹簧压缩,在某一位置达到平衡状态,即作用于离心摆的离心力、液摩阻力、弹簧阻力和重力等相平衡,离心摆处于某一转速稳定运行。这时转动套也处于某一相对中间位置与离心摆一起转动,如图 1-4(a)所示;若此时转速上升,重块的离心力也随之增加,于是克服弹簧阻力带动下支持块上移,如图 1-4(b)所示;若此时转速下降,重块的离心力随之减小,由于弹簧回复力作用,使下支持块下移,如图 1-4(c)所示。由此可见,下支持块随转速的变

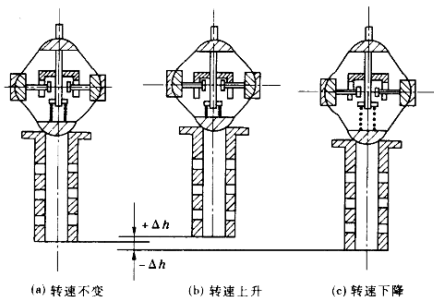


图 1-4 离心摆动原理

化而上下移动。所以，离心摆的输入信号是转速，输出信号是下支持块的位移。

如果忽略惯性力和液摩阻力，离心摆的输出信号与输入信号之间成正比关系。可用下式表示

$$\Delta L = K_f x \quad (1-5)$$

式中 ΔL ——下支持块的位移量；

K_f ——离心摆放大系数；

x ——转速变化量的相对值， $x = \Delta\omega/\omega$ 。

若把下支持块的位移量 ΔL 看成离心摆的输出量，而把转速变化量的相对值 x 看成输入量，则离心摆的输出量与输入量成比例。

二、引导阀及其工作原理

理论上讲测速元件可以直接操作导水机构，但是实际导水机构需要很大的操作力，这就需要将测速元件的微小操作力进行放大。引导阀就是液压放大装置的元件之一。

引导阀由引导阀外壳、转动套和针塞组成，如图 1-5 所示。如上所述，转动套与离心摆下支持块连成整体，其位置高低可以反映转速的大小。转动套上有三排孔，上排孔与压力油相通，中排孔通过油管与辅助接器器相连，下排孔与排油相接。引导阀针塞与转动套窗口的配合如图 1-6 所示，当上下两个阀盘处于相对中间位置时，上、下阀盘与上、下排孔的位移分别为 $h_1 = h_2$ 、 $h_3 = h_4$ ，恰好封住转动套的上、下排油孔，没有油流通过，B

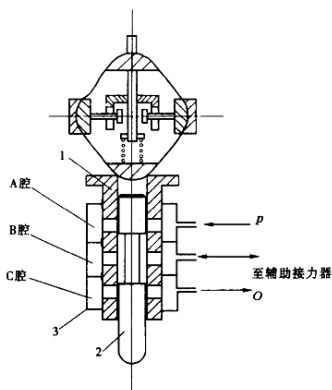


图 1-5 引导阀结构组成

1—转动套；2—引导阀针塞；3—阀壳

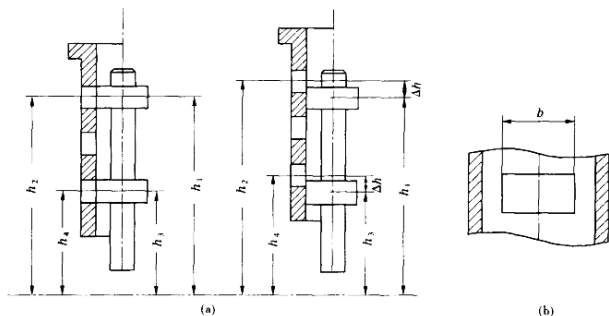


图 1-6 引导阀工作原理

腔保持一定压力；当转速上升时，转动套上移， $h_1 < h_2$ 、 $h_3 < h_4$ ，上排孔封闭，下排孔打开，中间腔 B 与排油相通，压力降低；当转速下降时，转动套下移， $h_1 > h_2$ 、 $h_3 > h_4$ ，上排孔打开，下排孔封闭，中间腔 B 与压力油接通，压力升高。由此可见，引导阀的作用就是把转动套的位移变化转变成压力油流量的变化，去控制辅助接力器活塞的运动。

通过引导阀的油流量与针塞阀盘和转动套的相对位移量有关，其关系如下：

$$Q = v\Delta S = vB\Delta h \quad (1-6)$$

式中 v ——转动套窗口的油流速度；

ΔS ——引导阀窗口开度；

B ——转动套窗口宽度；

Δh ——针塞阀盘与转动套窗口的相对位移。

式(1-6)表明，引导阀输出油流量 Q 与引导阀窗口开度成正比。

三、辅助接力器与主配压阀

辅助接力器活塞是差动的，即活塞的上、下底面积不同，活塞的下面接排油管，压力为零，而上面的环形面积 A_1 受来自引导阀的油压 p_1 的作用，因此活塞上有一个向下的作用力，其值等于

$$F_1 = p_1 A_1$$

式中 F_1 ——作用于活塞上底面的油压力。

主配压阀由壳体、衬套(图中没画出)和活塞组成。壳体上开有三排油孔，中间一排油孔与压力油源相连，上、下油孔与主接力器活塞左、右油腔相通。主配压阀活塞有上、下两个直径不等的阀盘，上面大，下面小。压力油从中间油孔进入两个阀盘之间，对两个阀盘均有作用力，其方向相反，因上阀盘的面积大于下阀盘，所以总作用力方向朝上，如图 1-7 所示，其值为

$$F = p(A_2 - A_3)$$

式中 F ——作用于主配压阀阀体上的合力；

p ——上、下阀盘之间的压力油压强；

A_2 、 A_3 ——上、下阀盘的受压面积。

辅助接力器与主配压阀连为整体时，其状态取决于 F_1 和 F 的对比。当引导阀处于平衡状态时 $p_1 A_1 = p(A_2 - A_3)$ ，辅助接力器与主配压阀不动；当转速升高时，引导阀接通排油时 $p_1 = 0$ ，在 F 作用下辅助接力器与主配压阀上移，压力油进入接力器左腔；当转速降低时，引导阀接通压力油时 $p_1 = p$ ，因 $A_1 > (A_2 - A_3)$ 所以 $F_1 > F$ ，辅助接力器与主配压阀下移，压力油进入接力器右腔，从而控制主接力器活塞左、右移动。

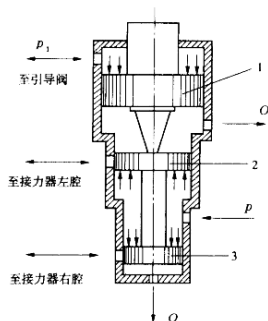


图 1-7 辅助接力器与主配压阀结构原理

1—辅助接力器；2—主配压阀上阀盘；
3—下阀盘

四、接力器

主接力器由接力器缸、接力器活塞、活塞杆等组成。主接力器两端的油孔分别与主配压阀的上

下控制油孔连接，受主配压阀活塞的控制。当主配压阀活塞向上移动，主接力器左腔进压力油，右腔通排油，接力器活塞向右（关闭侧）移动，导水机构关小导叶开度。若主配压阀向下移动，则接力器向左移动，导水机构开大导叶开度。

当压力油经配压阀控制油口进入接力器后，接力器活塞杆发生了移动，而控制油口的开度越大，接力器活塞的移动速度越快。由数学推导可得接力器输出量与输入量之间的关系式：

$$y = \frac{1}{T_y} \int u dt \quad (1-7)$$

式中 y ——接力器位移量的相对值， y 等于接力器活塞位移量 ΔY 与接力器活塞最大位移量 Y_M 的比值；

T_y ——接力器反应时间，它表明配压阀在最大开口时，接力器活塞走完全行程所用的时间；

u ——配压阀控制油口开度相对值，它等于配压阀活塞行程 ΔS 与配压阀最大行程 S_M 的比值。

式(1-7)表明，接力器位移量的相对值 y 与配压阀控制油口开度相对值 u 的积分成正比。

五、反馈元件

在实际的调速器中，有一种改善系统稳定性并形成一定规律的元件——反馈元件。所谓反馈就是把系统或环节的输出信号的一部分反送回输入端，我们将这种联系称为反馈。如图 1-8 中，两个信号代数叠加后的信号 $E(t)$ ，作为放大元件的输入，放大元件的输

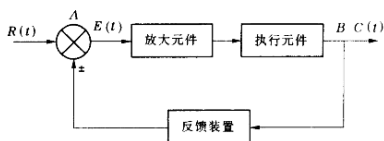


图 1-8 反馈连接框

或比例反馈。反馈信号的作用方向与原输入信号 $R(t)$ 的方向相反的反馈称为负反馈，方向相同的反馈称为正反馈。在调速器中一般采用负反馈。

在机械液压调速器中常见的比例反馈有两种：一种是局部反馈；另一种是硬反馈机构。下面以反馈杠杆说明工作原理。

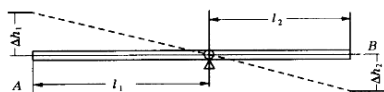


图 1-9 杠杆反馈原理

出信号输入执行元件，执行元件的输出 $C(t)$ ，一方面作为整个装置的输出，另一方面经 B 点将 $C(t)$ 引出，作为反馈装置的输入，并经过反馈装置又作用于放大元件的输入端，从而构成了反馈连接形式。我们把输出信号与输入信号成比例的反馈称为硬反馈

如图 1-9 所示，反馈杠杆的输入信号、输出信号都是位移量。当 A 端位移 Δh_1 发生时，则 B 端会发生相应的位移 Δh_2 ，输入信号与输出信号有如下关系式：

$$\Delta h_2 = \frac{l_2}{l_1} \Delta h_1$$

令 $k = \frac{l_2}{l_1}$ ，则有

$$\Delta h_2 = k \Delta h_1 \quad (1-8)$$

式中 k ——比例系数。

局部反馈作为液压放大装置（第一级液压放大）的内部校正，故称为局部反馈。硬反馈工作原理与局部反馈原理基本相同，不再重复。

六、缓冲装置工作原理

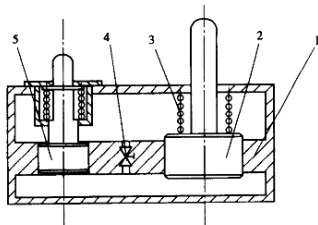


图 1-10 缓冲装置结构原理

1—壳体；2—主动活塞；3—弹簧；

4—节流孔；5—从动活塞

缓冲装置也是一种反馈元件，它主要用于调速系统的反馈校正，其性能好坏直接关系到调速系统的稳定，是调速器中十分重要的部件之一。它由壳体、主动活塞、从动活塞、节流孔和弹簧等组成，如图 1-10 所示。缓冲装置的壳体分为上、下两腔，其内部充有一定的油液，节流孔是上、下腔之间的唯一通道，调整节流孔的大小可以调节油流阻力，其主动活塞通过杠杆、拉杆等与主接力器活塞杆相连，从动活塞通过拉杆、杠杆与引导阀针阀连接。

当主动活塞没有受到接力器反馈锥体

的反馈信号时,主、从动活塞都处于相对中间位置,从动活塞的上端没有位移信号输出;当引导阀转动套上升造成接力器向关小方向移动,而反馈锥体右移使反馈框架转动,作用于主动活塞向下移动。一般认为油是不可压缩液体,而且活塞下腔的油不可能马上通过节流孔进入上腔,所以下腔的油压升高,迫使从动活塞上移,输出一个位移信号,同时压缩弹簧。在弹簧恢复力作用下,活塞下部的压力油通过节流孔进入活塞上部,经过一段时间,上、下腔压力平衡,从动活塞逐渐恢复到中间位置,使输出位移信号消失;反之,当引导阀转动套下降,使主动活塞向上移动,活塞下部产生真空,由于从动活塞上腔的油来不及通过节流孔到下腔,从动活塞被向下吸引,输出一个向下的位移信号。随后,在弹簧恢复力作用下,活塞上部的油通过节流孔流入下部,从动活塞回复中间位置,输出位移信号消失。

由此可见,缓冲装置的输出信号只在调节过程中存在,调节过程结束后,反馈的输出信号自动消失。我们把这种反馈称为软反馈或暂态反馈。缓冲装置的输出信号与输入信号之间存在以下关系:

$$T_d \frac{dZ_2}{dt} + Z_2 = T_d \frac{f_1}{f_2} \frac{dZ_1}{dt} \quad (1-9)$$

式中 T_d ——缓冲装置时间常数, T_d 与节流孔对油流的阻力系数等参数有关;

Z_2 ——缓冲装置输出信号,即从动活塞的位移量;

Z_1 ——缓冲装置输入信号,即主动活塞的位移量;

f_1 ——主动活塞面积;

f_2 ——从动活塞面积。

上式为缓冲装置运动方程式,等式的右端表示输入信号的变化率,等式的左端表示输出信号和输出信号变化率,它们之间不再是一个简单的比例关系。下面说明缓冲装置的两种特殊情况。

(1)当 $T_d = 0$ 时,节流孔全开,可以近似认为油流阻力系数为零,节流孔对油流几乎不产生阻力,这种情况无论输入信号怎样变化,都不产生输出信号,即 $Z_2 = 0$ 。

(2)当 $T_d \rightarrow \infty$ 时,节流孔全关,节流孔对油流的阻力趋于无穷大,当给主动活塞一个位移 Z_1 时,从动活塞也产生一个位移 Z_2 ,由于节流孔堵住,从动活塞无法回复,则

$$Z_2 = \frac{f_1}{f_2} Z_1 \quad (1-10)$$

由于主、从动活塞的面积为定值,因此,缓冲装置相当于硬反馈的情况。

第三节 水轮机调速系统的基本原理

一、无反馈的调速系统动作原理

图 1-11 所示为无反馈的水轮机调节系统工作原理图。该系统由测速元件、配压阀、接力器和水轮机等组成。当机组以额定转速运行时,配压阀处于相对中间位置。当机组转速变化时,离心摆转速也随着变化,并带动转动套上下移动,使压力油经配压阀控制油

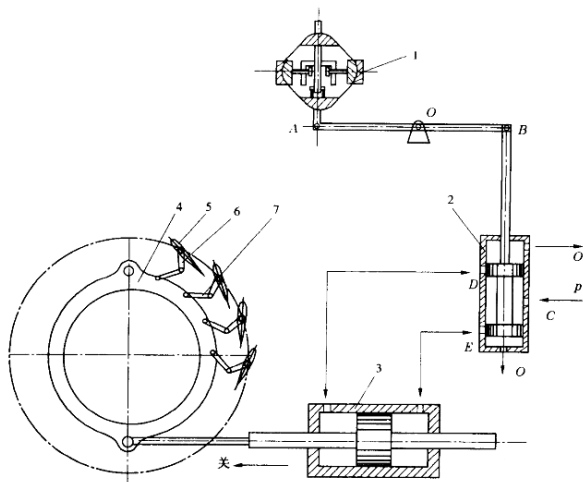


图 1-11 无反馈的水轮机调速系统

1—离心摆;2—配压阀;3—接力器;4—控制环;5—导叶;6—拐臂;7—连杆

口进入接力器,通过传动机构改变导叶开度,从而对水轮机转速进行调节。如果机组改变了原来的平衡状态,经过调节,机组能够达到新的平衡状态,这样的系统就是一个稳定系统,否则就是不稳定系统。我们把这个调节过程称为水轮机调节过程或称为过渡过程。下面分析机组单独带负荷运行时,无反馈调节系统的调节过程。为了便于理解,我们先从仅有一个配压阀和接力器的单级放大调速系统进行分析。

图 1-12 是调节过程中力矩 M 、转速 n 、配压阀控制油口开度 S 和接力器位移 Y 随时间变化的关系曲线。调节过程如下:

(1) 机组在 t_0 时刻以前为稳定运行状态,水轮机动力矩 M_t 等于发电机阻力矩 M_g , 机组转速为稳定转速 n_0 , 杠杆 AB 处于水平位置,配压阀阀体处于相对中间位置 $S=0$, 接力器活塞位移 $Y=Y_0$ 。

当 $t=t_0$ 时,机组负荷突然减少,即发电机阻力矩 M_g 突然减小,而水轮机动力矩 M_t 不变,使 $M_t > M_g = M_1$ 。

(2) 在 t_0 时刻, $M_t > M_g$, 机组转速开始加速,转速升高。通过水磁发电机和测速电动机使离心摆转速上升,并使转动套 A 点上移,配压阀活塞(随 B 点)下移,配压阀阀体中间的压力油经下控制油孔进入接力器活塞右侧关闭腔,左侧开启腔的油经上控制油孔、排油孔排出,接力器活塞向关闭方向移动,关小导叶开度。从 t_0-t_1 时段的导叶开度关小过程中,始终为 $M_t > M_g$, 所以转速一直在上升。关至 t_1 时, $Y=Y_1$ 、 $M_t = M_g$, 动力矩与

阻力矩平衡,转速不再上升 $n = n_1$,配压阀行程 $S = S_1$ 。

(3)在 t_1 时刻, $Y = Y_1$ 、 $M_t = M_g$,但是配压阀阀盘处于最下的位置,压力油仍然使接力器继续关闭,因此 t_1-t_2 时段动力矩继续下降,导致 $M_t < M_g$,使转速 n 开始下降,配压阀阀盘上移逐渐关上、下控制油孔。关至 t_2 时刻, $n = n_2 = n_0$ 、配压阀回到相对中间位置 $S = S_2 = 0$ 、 $Y = Y_2$ 。

(4)在 t_2 时,虽然配压阀阀盘处于关闭状态,但是 $M_t = M_2 < M_g$,使机组转速还要继续下降,杠杆 A 端下移 B 端上升,使配压阀阀盘上升,打开配压阀上控制油孔,压力油进入接力器活塞左侧开启腔,右侧关闭腔的油通过配压阀下控制油孔、排油孔排油,动力矩开始增加,由于 $M_t < M_g$,所以转速一直下降,配压阀阀盘上移,直到 t_3 时刻, $M_t = M_g$,转速停止减小。

(5)在 t_3 时刻,虽然 $Y = Y_3$ 、 $M_t = M_g$,但是在 t_3-t_4 时段,配压阀阀盘处于上面位置,所以压力油继续使接力器向开启方向移动,并使 $M_t > M_g$,转速逐渐增加,转动套上移,配压阀阀盘下移。

(6)当开机到 t_4 时,转速上升至原转速 $n_0 = n_4$,杠杆 AB 又回到水平位置,配压阀活塞也回到中间位置。但此时, $M_t > M_g$,以后又重复 t_0-t_4 的过程。

由上可知,只有液压放大装置的调速系统的平衡状态一旦遭到破坏,调节系统的转速 n 和动力矩 M 将发生周期性的振荡,其调节过程处于不稳定状态。因此,无反馈调节系统是一个不稳定系统。

造成该调节系统不稳定的原因是由于当动力矩和阻力矩相平衡时,配压阀不能及时回到相对中间位置,控制油孔不能及时关闭。例如,图 1-12 中, $t = t_1$ 时, $M = M_1$,转速 $n = n_1 > n_0$,配压阀活塞处于下部位置,下控制油孔打开,接力器仍然要向关闭方向移动。这说明产生了过调节现象,要消除这种过调节,就要在动力矩与阻力矩相等时,设法使配压阀及时回到中间位置,这样就可以使调节过程稳定下来。

二、具有硬反馈的调速系统工作原理

上一节中,已经讲述了反馈的概念和反馈元件的类型。在无反馈水轮机调速系统的基础上,增加一套硬反馈机构就构成了具有硬反馈的水轮机调速系统,如图 1-13 所示,下面分析其工作原理。

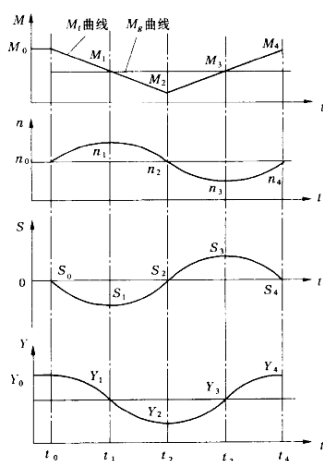


图 1-12 无反馈调速系统的调节过程

M —力矩; n —转速; S —配压阀行程; Y —接力器位移