

示范性高等职业院校重点建设专业

电厂设备运行与维护专业课程改革系列教材

水轮机调速器运行与维护

主 编 李国晓

主 审 童文勇 郑永有



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

示范性高等职业院校重点建设专业

电厂设备运行与维护专业课程改革系列教材

水轮机调速器运行与维护

主 编 李国晓

副主编 张云根 雷 恒 张浪平

张保求 杨 斌

主 审 童文勇 郑永有



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书按照国家对高职高专人才培养的规格要求,根据高职高专教学的特点,以“工学结合”教学模式和“教—学—做”一体化教学方法为手段,培养专业实用型技能人才为目的而编写。主要内容包括:水轮机调节系统基本认知;机械液压型调速器、电气液压型调速器和现代数字式微机调速器的组成、结构及工作原理;调节保证计算;水轮机调节系统的调试、运行维护与故障分析。每章附有相关的复习思考题,便于自学。

本书可作为高职高专电厂设备运行与维护(水电站动力设备及自动化方向)、水电站动力设备与管理、水电厂机电设备等专业的教材,也可作为水电站、水泵站及相关单位从事调速器安装、运行维护、检修和调试方面工作有关人员的培训教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水轮机调速器运行与维护 / 李国晓主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2012. 8

示范性高等职业院校重点建设专业电厂设备运行与维护专业课程改革系列教材

ISBN 978-7-5170-0069-3

I. ①水… II. ①李… III. ①水轮机—调速器—运行—高等职业教育—教材②水轮机—调速器—维修—高等职业教育—教材 IV. ①TK730

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第190233号

书 名	示范性高等职业院校重点建设专业 电厂设备运行与维护专业课程改革系列教材 水轮机调速器运行与维护
作 者	主 编 李国晓 主 审 童文勇 郑永有
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16开本 13.25印张 314千字
版 次	2012年8月第1版 2012年8月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	27.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究



前 言

本书是根据《国务院关于大力发展职业教育的决定》、教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》、教育部《关于充分发挥职业教育行业指导作用的意见》等文件精神，结合“校企合作”、“共建课程”的指导方针，由高职院校专业教师与企业高级专业技术人员合作编写的。

本书根据调速器技术的发展现状，结合高职高专教学要求，在内容编排上保留了传统调速器的主要内容，更多的是引入了现代数字式微机调速器的内容，尤其在调速器的调试、运行维护和故障分析方面增加了工程中的实际操作项目，使其内容更能满足“工学结合”及“教—学—做”一体化教学过程的开展和实施。

本书共六章。第一章介绍了水轮机调节系统基本知识、构成、工作原理、系统的静、动态特性、系统并列运行中的静态分析、调速器系列型谱及型号编制方法；第二章介绍了机械液压型调速器的主要元件及原理、反馈机构、控制机构、整机动作原理及油压装置结构、原理及调试；第三章介绍了电气液压型调速器的测频及频率给定回路、校正回路、硬反馈、功率给定及人工失灵回路、综合放大回路及电气开度限制回路、电液随动系统及整机工作原理；第四章介绍了微机调速器的特点与结构形式划分、硬件机构与基本原理、频率测量、原理框图及控制算法、调节模式及控制软件、伺服系统和高油压装置；第五章介绍了调节保证计算的内容，包括调节保证的任务及标准、水击现象及压力上升、转速上升、改善措施和调节设备选择；第六章讲述了水轮机调节系统的调试、运行维护与故障分析，包括对调节对象特性的分析、调节参数对系统稳定性的影响、调节系统的主要试验、调速器的整机静态试验、调速器的动态特性试验、调速器检修的一般知识、调速器的日常运行维护与故障分析。

本书由广东水利电力职业技术学院李国晓担任主编，张云根、雷恒、张浪平、张保求、杨斌任副主编。参加编写的有：福建水利电力职业技术学院张云根讲师（编写了第三章）；黄河水利职业技术学院雷恒讲师（编写了第五章和第六章的第一、二节）；广东水利电力职业技术学院张浪平高级工程师（编写了第六章的第三~七节）；广东惠州粤华电力有限公司张保求高级工程师（编写了第二章的第一、二、六节）；中国水电顾问集团桃源开发有限公司杨斌高级工程师（编写了第四章的第二、五、六节）；其余章节由广东水利电力职业技术学院李国晓编写。

全书由福建水利电力职业技术学院童文勇副教授和广东水利电力职业技术学院郑永有副教授担任主审。

本书在编写过程中，参考了许多书籍、调速器厂家及水电厂调速器的资料，同时也参考了大量的期刊论文和网上资料，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限，书中难免有不妥或错误之处，恳请读者批评指正。

编者

2012年5月

目 录

MULU

前言

第一章 水轮机调节系统基本认知	1
第一节 水轮机调节的基本知识	1
第二节 水轮机调速系统的构成	5
第三节 水轮机调速系统工作原理	8
第四节 调节系统的静、动态特性	12
第五节 调节系统并列运行中的静态分析	15
第六节 调速器系列型谱及型号编制方法	19
复习题	24
第二章 机械液压型调速器	25
第一节 机械液压型调速器概述	25
第二节 YT 型机械液压调速器的主要元件及原理	27
第三节 反馈机构	36
第四节 控制机构	44
第五节 YT 小型调速器的整机动作原理	46
第六节 油压装置结构、原理及调试	51
复习题	57
第三章 电气液压型调速器	59
第一节 概述	59
第二节 测频及频率给定回路	61
第三节 校正回路	66
第四节 硬反馈、功率给定及人工失灵回路	70
第五节 综合放大回路与电气开度限制回路	72
第六节 电调的电液随动系统	74
第七节 YDT—18000A 型电液调速器整机工作原理	79
复习题	88

第四章 微机调速器	91
第一节 微机调速器介绍	91
第二节 微机调速器的硬件机构与基本原理	94
第三节 微机调速器的频率测量	98
第四节 微机调速器的原理框图及控制算法	102
第五节 微机调速器的调节模式及控制软件	104
第六节 微机调速器伺服系统	111
第七节 高压油压装置	130
复习题	136
第五章 调节保证计算	137
第一节 调节保证计算的任务及标准	137
第二节 水击现象及压力上升	138
第三节 转速上升	155
第四节 改善调节保证参数的措施	157
第五节 调节设备选择	159
第六节 实例分析	163
复习题	166
第六章 水轮机调节系统的调试、运行维护与故障分析	168
第一节 调节对象的特性	168
第二节 调节参数对系统稳定性的影响	172
第三节 水轮机调节系统的主要试验	176
第四节 调速器的整机静态试验	180
第五节 调速器的动态特性试验	187
第六节 调速器检修的一般知识	191
第七节 水轮机调速器的日常运行维护与故障分析	195
复习题	202
参考文献	203

第一章 水轮机调节系统基本认知

第一节 水轮机调节的基本知识

一、电力系统电能特点

电力系统的负荷是在不断变化的，有些随机变化的负荷波动的周期为几秒到几十分钟不等，变化幅值可达系统总容量的2%~3%，而且是不可预见的。此外，一天之内系统负荷有上午、晚上两个高峰和中午、深夜两个低谷，这种周期性的变化负荷基本上是可以预见的。电力系统负荷的变化必然导致系统频率的变化。因此，我国电力系统的标称频率为50Hz。GB/T 15945—2008《电能质量——电力系统频率偏差》中规定：电力系统正常频率偏差允许值为±0.2Hz，对于系统容量小于3000MW的地方电网，偏差允许值可放宽为±0.5Hz；在电压方面，GB 12325—2003《电能质量——供电电压允许偏差》中规定：35kV及以上供电电压正负偏差的绝对值之和不超过额定电压的10%。10kV及以下三相供电电压偏差允许值为额定电压的±7%，220V单相供电电压偏差允许值为额定电压的+7%、-10%。此外，还应保证电钟指示与标准时间的误差在任何时候都不大于30s。

电力系统要求各种发电机组，都必须具有优良的调节性能，能根据负荷的变化，随时改变各自的有功功率输出，并保证电能质量（频率 f 、电压 U ）符合标准规定。

二、水轮机调节任务

水力发电的生产过程如图1-1所示，其过程是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。

在电力系统中，必须根据负荷的变化不断地调节水轮发电机组的有功功率输出，以维持机组转速（频率）在规定范围内，这就是水轮机调节的基本任务。

那么如何实现对水轮发电机组供电频率的控制和调整呢？回答这一问题，需要根据发电机发出的交流电的频率与发电机组转速的关系式说明。

根据电机学知识，有公式

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

式中 f ——发电机输出交流电的频率，Hz；

p ——发电机的磁极对数；

n ——发电机的转速，r/min。

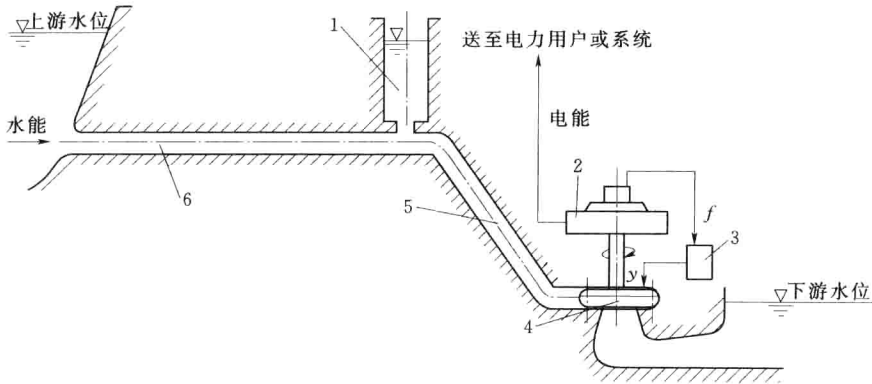


图 1-1 水电厂电能生产过程示意图

1—调压室；2—发电机；3—调速器；4—水轮机；
5—压力管道；6—引水隧洞

发电机的磁极对数 p 取决于发电机的结构，对已制造好的发电机 p 是一个常数。由式 (1-1) 可知，发电机输出的交流电的频率 f 与转速 n 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调节水轮发电机组的有功功率输出，并维持机组的转速在规定的范围内。这就是水轮机调节的基本任务。

三、水轮机调节的途径和方法

如图 1-2 所示，水轮发电机组的转动部分是一个围绕固定轴线做旋转运动的刚体，它的运动可由式 (1-2) 来描述，即

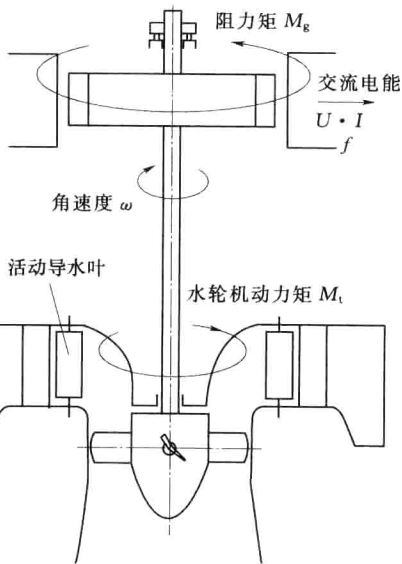


图 1-2 水轮发电机组运动示意图

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

$$J = \frac{GD^2}{4g}$$

式中 J ——机组转动部分惯性力矩；

GD^2 ——机组飞轮力矩；

g ——重力加速度；

$\frac{d\omega}{dt}$ ——机组角加速度， $\omega = \frac{n\pi}{30}$ ；

n ——机组转速；

M_g ——发电机阻力矩；

M_t ——水轮机动力矩。

当 $M_t = M_g$ 时， $d\omega = 0$ ，机组转速保持不变。

从式 (1-2) 可以看出，要使机组的频率恒定，就要使机组转速恒定，也就是要使角速度增量 $d\omega = 0$ ，而发电机阻力矩 M_g 随着

用电负荷的变化而变化，根据 M_t 与 M_g 的关系，转速的变化有 3 种情况：

- 当 $M_t = M_g$ 时, $\frac{d\omega}{dt} = 0$, 机组转速保持不变。
- 当 $M_t < M_g$ 时, $\frac{d\omega}{dt} < 0$, 电网负荷增加, 机组转速下降, 电网频率下降, 此时需要增加水轮机动力矩, 使电网频率恢复到正常范围。
- 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, 这时需要减小水轮机动力矩, 使动力矩与阻力矩相等, 电网的频率恢复到正常范围。

由以上 3 种情况可以看出, 当发电机阻力矩发生变化的时候, 如果不对水轮机动力矩进行调节, 会引起机组转速或电网频率改变。如何调节水轮机动力矩呢? 需要对动力矩进行分析。

水轮机动力矩表达式为

$$M_t = \frac{P}{\omega} \quad (1-3)$$

式中 P ——水轮机输出功率, $P = 9.81HQ\eta$;

ω ——角速度。

所以式 (1-3) 可用式 (1-4) 表示, 即

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

式中 Q ——水轮机工作流量;

H ——水轮机工作水头;

η ——水轮机效率。

要调节水轮机动力矩, 就是要调节水轮机输出功率 P 。

在实际工程中, 改变工作水头和效率来实现改变动力矩是很难做到的, 最有效的方法和途径是通过调节水轮机的流量来调节水轮机的动力矩。不同类型的水轮机其流量调节的设备也是不相同的。比如, 反击式水轮机是通过调节导叶开度大小来改变流量的, 冲击式水轮机是通过改变喷针行程来调节水轮机流量的。因此, 水轮机调节的途径是改变导叶开度或喷针行程。而实现这种调节的控制装置就是水轮机调速器。

具体方法是根据负荷变化引起的机组转速或频率的偏差, 利用调速器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能及时恢复平衡, 从而使转速和频率保持在规定范围内。

四、水轮机调节特点

水轮机调节系统是由水轮机调速器和调节对象 (包括引水系统、水轮机、发电机及负载) 共同组成的。

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. 必须具有足够大的调节功

水轮发电机组是把水能转换成电能的机械, 而水能因受自然条件的限制, 通常水电站水头在几米至几百米的范围内, 水轮机上的压力只有零点几兆帕至几兆帕。因此, 发出较多的电功率, 常需相当大的流量, 水轮机及其导水机构尺寸也需要相应加大。为推动笨重

的导水机构需要有足够大的调节功，调速器需要设置多级液压放大（通常为两级）和外加能源（油压装置），并采用较大的液压接力器作为执行元件。

2. 调节滞后易产生过调节

水轮机调节装置（即调速器）的执行机构——液压接力器具有较大的时间常数（一般达零点几秒到几秒），调节对象也有较大的惯性时间。因此，当负荷变化时，导水机构不可能突然动作，以使水轮机的主动力矩适应外界负荷的变化，而是有一定的延迟时间，在这段时间内机组转速不断升高或降低。当导水机构变化到动力矩与阻力矩相适应时，这时转速偏离额定值已有一定的数量，要使转速恢复到额定值也要有一定的时间，此时导水机构变化的数值又已超过需要调节的数值了，这就是过调节现象。这种过调节现象使水轮机调节系统变得不容易稳定。

3. 水击的反调节效应

水电站因受自然条件的限制，常有较长的压力过水管道，管道长，水流惯性大，导水机构开关时会在压力过水管道内引起水击（即水轮机工作水头变化）作用。而水击作用通常是与导水机构瞬间的调节作用相反，即导水机构关闭使机组输入能量与输出功率减少。但此时产生的水击会使机组功率增加，并部分抵消调节作用，使调节作用产生滞后，从而恶化了调节系统的动态品质，而且不利于水轮机调节系统的稳定。

4. 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。

五、调速器的发展

19世纪末诞生了世界上第一台机械液压型水轮机调速器，到20世纪30年代，机械液压型调速器已发展到相当完善的程度，并沿用至今。其调节规律基本上是PI（比例+积分）调节规律。

随着电子工业和科学技术的发展和进步，解决了电气—液压转换问题，瑞典通用电气公司1944年制造出第一台电气液压型调速器，并在瑞典的Rydboholm水电站投入运行。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—积分调节规律发展到比例—积分—微分调节规律。

随着计算机技术和液压传动技术的飞速发展，20世纪70年代加拿大成功研制出世界上第一台数字式调速器，瑞典于1978年研制出用于卡普兰机组的数字协联装置。1984年法国NEYRPIC公司成功推出以6809CPU为基础的数字调速器DIGPID。

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常规油压和高油压微机调速器，1984年原华中理工大学叶鲁卿教授领导的科研组研制出我国第一台微机调速器，并在湖南欧阳海水电站投入运行。此后，国电南京自动化研究院、中国水利水电科学研究院自动化所、长江水利委员会长江控制设备研究所、天津电气传动设计研究所、武汉水电控制设备公司、武汉事达公司、宜昌能达公司、武汉四创公司、原武汉水利电力大

学、河海大学、西安理工大学、东方电机厂及哈尔滨电机厂等先后开展了这方面的研究，并为我国微机调速器的发展做出了各自的贡献。随着科学技术的进步，我国调速器制造技术已跻身于世界先进国家行列，正在向着高性能、高可靠性和智能化的方向发展。

第二节 水轮机调速系统的构成

如图 1-3 所示为水轮机转速自动调节系统框图。该系统由调节对象、测量元件、液压放大元件和反馈控制元件等组成。其中，调节对象由水力系统、水轮发电机组及电力系统组成；测量元件为离心摆；液压放大元件是由配压阀和接力器构成的液压放大器，起到机械操作功率放大作用，接力器兼作执行元件，操作水轮机的开度；反馈控制元件为缓冲器，它可以使水轮机转速调节系统动态过程稳定下来，在调节系统中起着相当重要的作用。

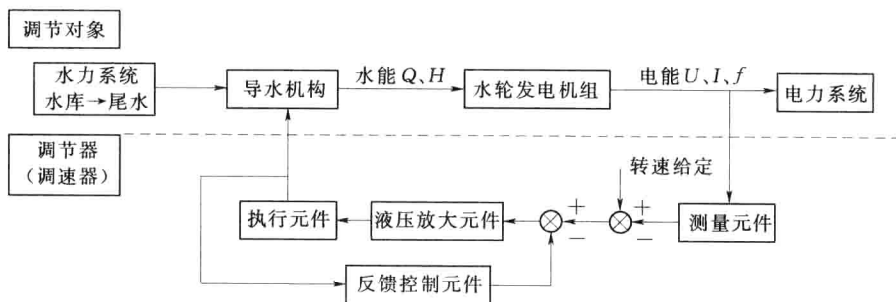


图 1-3 水轮机调速系统框图

其调节过程是：当用户负荷变化时，引起被调节对象水轮发电机组转速改变，离心摆检测到转速的变化后发出信号，并按照一定的调节规律控制导水机构，改变导叶开度，调节进入水轮机的流量，使机组转速恢复稳定。

一、测速元件——离心摆

测速元件的作用是将机组转速信号转换为相应的机械位移信号。测速元件为离心摆，其结构及动作原理如图 1-4 所示，由上（下）支持块 1（7）、菱形钢带 2、限位块 3、两个重块 4、调节螺母 5 和弹簧 6 等组成。

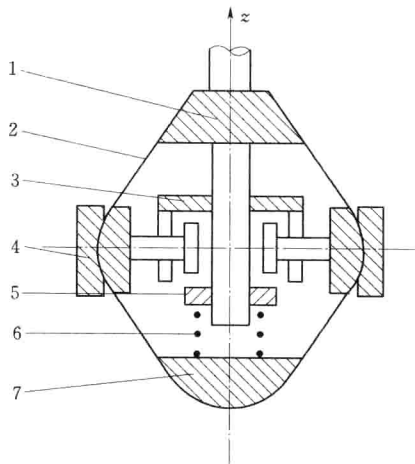


图 1-4 离心摆工作原理

- 1—上支持块；2—菱形钢带；3—限位块；
- 4—重块；5—调节螺母；6—弹簧；
- 7—下支持块

离心摆由电动机带动旋转，电动机电源来自于与水轮发电机组同轴相连的永磁发电机。其电源频率反映了机组的转速。当机组转速变化时，离心摆转速按相同比例随之变化，并将转速变化量转化为位移量，去控制液压放大元件。

1. 工作原理

离心摆有左右两个重块，上面通过钢带、上支持块与电动机转轴相连，下面通过钢带与下支持块

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。调节螺母安装在离心摆轴上，可人为调整上下位置，可改变离心摆给定的工作转速。

(1) 当电动机带动离心摆转动时，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。此时转动套也处于某一相对中间位置，与离心摆一起转动。

(2) 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。

(3) 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，下支持块下移。下支持块随转速的变化而上下移动，因此，离心摆的输入信号是转速，输出信号是下支持块的位移。

在忽略惯性力和液摩阻力的情况下，得出离心摆与下支持块位置之间的关系——离心摆特性曲线

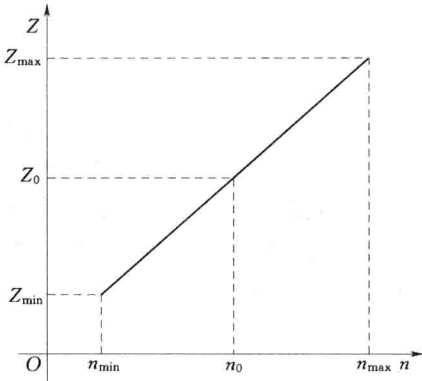


图 1-5 离心摆特性曲线

线，如图 1-5 所示。

其中，下支持块最低工作位置为 Z_{\min} ，离心摆最低转速为 ω_{\min} ；下支持块最高工作位置为 Z_{\max} ，离心摆最高转速为 ω_{\max} ； ω_0 为离心摆额定转速，对应下支持块工作位置 Z_0 。

2. 离心摆方程式

根据离心摆转速与下支持块位移关系，可得离心摆方程式为

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

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， $x = \Delta\omega/\omega$ 。

二、液压放大元件

(一) 第一级液压放大元件

第一级液压放大元件由引导阀和辅助接力器组成。

1. 引导阀

引导阀结构如图 1-6 所示，由阀体、转动套和针塞组成。转动套上有 3 排孔，其中，上排孔与压力油相通，中排孔通过油管与辅助接力器相连，下排孔与排油接通。

转动套与离心摆下支持块相连，和离心摆同速旋转。

(1) 当机组转速为额定转速时，引导阀与转动套位置都处于中间位置，此时，引导阀上下两个阀盘刚好堵住压力油进油口和排油口，没有油流进 B 腔。

(2) 当机组转速上升时，转动套上移，上排孔封闭，下排孔打开，B 腔与排油相通。

(3) 当机组转速下降时，转动套下移，上排孔打开，下排孔封闭，B 腔与压力油接通。

引导阀所起的作用即为将转动套位移转换为压力油流动方向的改变，从而去控制辅助接力器活塞运动。

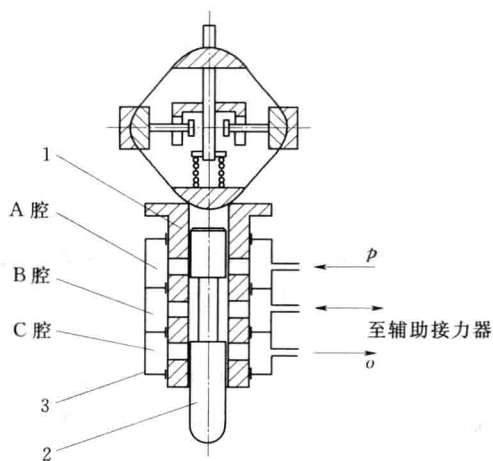


图 1-6 引导阀结构

1—转动套；2—针塞；3—阀体

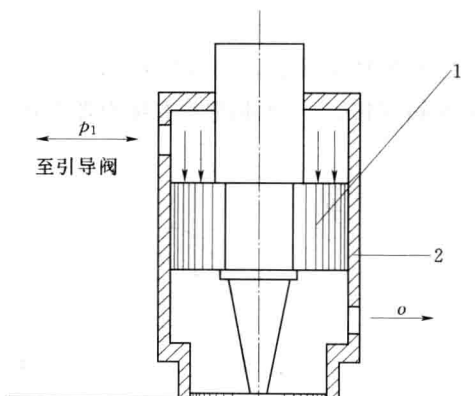


图 1-7 辅助接力器结构

1—辅助接力器活塞盘；2—辅助接力器活塞缸

2. 辅助接力器

辅助接力器的结构如图 1-7 所示，由阀体、辅助接力器活塞和主配压阀活塞等组成。辅助接力器活塞为差动活塞，上、下面积不同，活塞上孔接来自引导阀压力油，下孔接排油，活塞下表面压力为 o ，活塞受到一个向下的压力。

(二) 第二级液压放大元件

第二级液压放大元件由主配压阀和主接力器组成。

1. 主配压阀

主配压阀和辅助接力器安装在同一个阀体内，与辅助接力器联动工作。

辅助接力器和主配压阀结构如图 1-8 所示，阀芯上有上、下两个阀盘，上阀盘直径大，下阀盘直径小，阀芯外面为阀套（衬套），阀套外面为阀体。阀芯上面为辅助接力器活塞，两者并未连接在一起，而是靠相互的推力始终保持接触在一起；主接力器由双侧油压作用活塞、缸体和推拉杆组成。

主配压阀阀体上有 4 个油口，中间油口通压力油，油压为 p_0 ，左上油口通接力器左腔，左下油口通接力器右腔，底部油口通排油。

辅助接力器上表面面积为 A ，主配压阀上阀盘下表面面积为 B 、下阀盘上表面面积为 C 。

(1) 当引导阀处于平衡状态时， $p_1 A = p_0 (B - C)$ ，此时辅助接力器与主配压阀不动

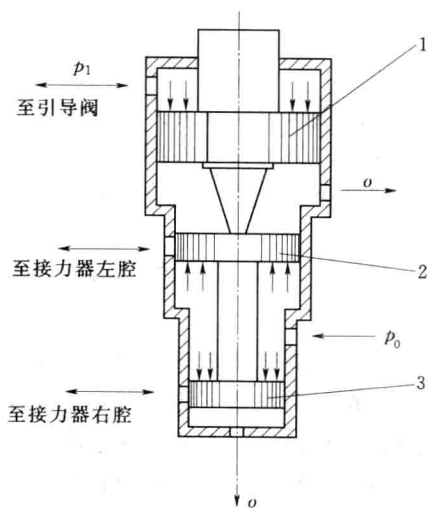


图 1-8 辅助接力器与主配压阀结构

1—辅助接力器活塞盘；2—主配压阀上阀盘；3—主配压阀下阀盘

(p_1 为辅助接力器及主配压阀保持不动时引导阀输出的控制油压)。

(2) 当转速升高, 引导阀接通排油时, $p_1 = 0$, $p_1 A < p_0 (B - C)$, 辅助接力器与主配压阀上移, 压力油进入主接力器左腔。

(3) 当转速降低, 引导阀接通压力油时, $p_1 = p_0$, $p_1 A > p_0 (B - C)$, 辅助接力器与主配压阀下移, 压力油进入主接力器右腔。

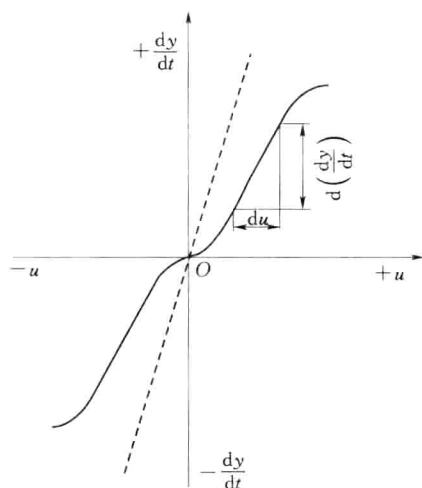


图 1-9 接力器速度特性曲线

主配压阀窗口开度大小与接力器速度的关系特性曲线如图 1-9 所示。虚线为理想的特性曲线, 但因为配压阀窗口遮程的影响、油压损失及导水机构运动摩擦阻力的存在, 实际的特性曲线为图中实线所示。

根据转速的变化, 改变转动套移动方向, 控制油路改变, 从而控制主配压阀控制压力油进入接力器的左腔或右腔, 关小或开大导叶开度。

2. 主接力器

主接力器由接力器缸、活塞、活塞杆等组成。活塞两端的油孔分别与主配压阀上、下控制油孔连接, 受主配压阀活塞控制。当主配压阀活塞向上移动时, 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。若主配压阀活塞向下移动, 则接力器向左移动, 导水机构开大导叶开度。

接力器运动速度取决于主配压阀活塞偏离中间位置的位移 (即所打开的窗口开度大小); 接力器活塞移动的方向, 取决于配压阀偏离中间位置的方

向。主配压阀窗口开度大小与接力器速度的关系特性曲线如图 1-9 所示。虚线为理想的特性曲线, 但因为配压阀窗口遮程的影响、油压损失及导水机构运动摩擦阻力的存在, 实际的特性曲线为图中实线所示。

第三节 水轮机调速系统工作原理

一、单调节调速系统的工作原理

水轮机调速器可按调节对象不同, 分为单调节调速器 (单调速器)、双调节调速器 (双调速器)。单调节调速系统如图 1-10 所示。

第一阶段: 当负荷突然减少时, 水轮机动力矩大于发电机水轮机阻力矩, 机组开始增速, 离心摆电动机转速也随之增速, 离心摆下支持块 6 上移, 与下支持块相连的转动套 7 跟着上移, 转动套上排孔封闭, 下排孔打开, 中间油孔与下排油孔接通排油, 辅助接力器活塞 17 上腔油压降低。在主配压阀内向上作用的油压驱动下, 辅助接力器活塞 17 与主配压阀活塞 19 一起上移, 并通过局部反馈杠杆 ed 、拉杆 dc 、杠杆 ca , 使引导阀针塞 8 上移, 针塞 8 与转动套 7 回复相对中间位置, 辅助接力器油压恢复原来的数值, 辅助接力器活塞 17 与主配压阀活塞 19 停止上移。由于主配压阀活塞 19 上移, 其上排油口 D 接通压力油, 下排油口 E 接通排油, 使主接力器活塞 28 左腔进压力油, 右腔接通排油, 于是主接力器活塞 28 向右移动, 关闭导叶, 水轮机过流量减少, 动力矩减小, 使机组转速停止加速。

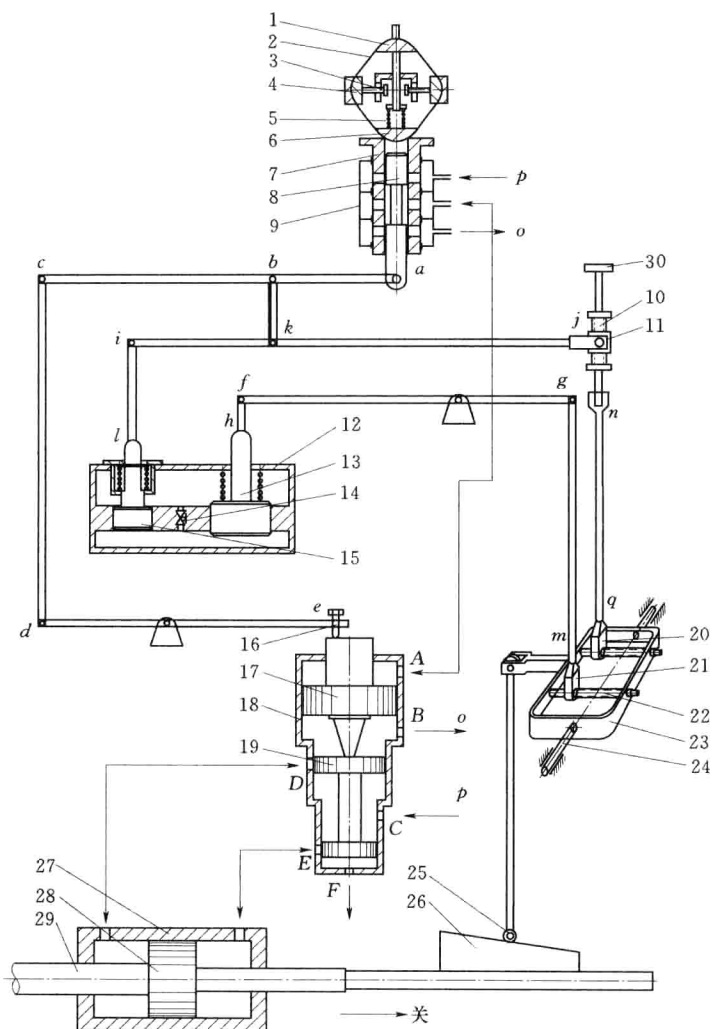


图 1-10 单调节调速系统

- 1—上支持块；2—钢带；3—限位螺钉；4—重块；5—弹簧；6—下支持块；7—转动套；8—针塞；9—引导阀壳体；
 10、22—螺杆；11、20、21—螺母；12—缓冲器壳体；13—主动活塞；14—节流孔；15—从动活塞；16—反馈螺钉；
 17—辅助接力器活塞；18—阀壳；19—主配压阀活塞；23—反馈框架；24—转轴；25—滚轮；
 26—反馈锥体；27—接力器缸；28—主接力器活塞；29—推拉杆；30—转速调整手轮

第二阶段：接力器推拉杆 29 右移，使反馈锥体 26 也向右移，作用于滚轮 25 及拉杆向上移动，使反馈框架 23 绕转轴 24 顺时针转动，带动拉杆 gm 上移，杠杆 fg 的 f 端下移，缓冲器主动活塞 13 下移，活塞下部油压升高使从动活塞 15 上移，引导阀针塞 8 在杠杆 ij 、拉杆 bk 、杠杆 ca 的作用下上移，到达相对平衡位置以上，引导阀上排油口打开，下排油口封闭，压力油经其中间油口进入辅助接力器活塞 17 上腔，使辅助接力器活塞 17 和主配压阀活塞 19 一起下移，逐步回复中间位置，主接力器活塞也停止右移，由于导叶开度关小，机组转速逐渐下降。

第三阶段：由于转速下降，离心摆转速随之下降，转动套下移。同时，缓冲装置上下

腔的油经节流孔 14 流动逐步平压，而回复中间位置，并通过杠杆使引导阀针塞下移，与转动套恢复相对中间位置，使调速系统进入新的平衡状态。

二、双调节调速系统工作原理

双重调节是指对具有两套调节机构的水轮机进行调节，通常简称为“双调”。

例如，转桨式水轮机需要调节导叶开度和桨叶转角，使其协联动作，以保持水轮机高效率运行；冲击式水轮机需要调节喷针行程和折向器位置，以减小甩负荷时压力过水管道的的水击压力和机组转速上升率；对具有调压阀的混流式水轮机，则要调节导叶开度和启闭调压阀，其目的是为了快速关机时，减小压力过水管道中的水击压力。

1. 转桨式水轮机的双调节调速器

转桨式水轮机具有两个调节机构的目的是，增加水轮机高效率区的宽度，以适应负荷的变化。转桨式水轮机的双调节调速系统是由两套系统联系而成的。

转桨式水轮机双调节调速器的协联装置有 3 种，即纯机械式协联装置、机械凸轮电气信号转换型协联装置、以函数发生器为基础的电气协联装置。

转桨式水轮机双调节调速系统的原理如图 1-11 所示，它是以机械液压双重调节调速器为例。图示左边 1~6 是与前面所述相同的调速系统，将随负荷变化调整水轮机导叶的开度。而右边 7~11 是控制转轮桨叶角度的系统，其中桨叶配压阀 10 经过杠杆 CDE，既与桨叶接力器 11 相连，又受协联凸轮操纵。当凸轮转动使 C 下降时，配压阀活塞随之下降，接通油路，致使桨叶接力器活塞上升，将减小桨叶转角。而接力器活塞上升，又经过杠杆 CDE，使配压阀向上回复，直到中间位置封住油孔。杆 CDE 既是桨叶配压阀 10 的操纵机构，又是桨叶配压阀 10 和桨叶接力器 11 组成的放大系统的硬性反馈机构，它们构成一个能稳定运行的液压系统。协联器是实现预定规律双调节动作的关键。为了适用于不同的工作水头，协联凸轮各部分常作成不同的曲线规律，在运行中可根据实际水头情况加以调整。协联凸轮是一个空间曲面，与回复轴相连，它的转角代表导叶开度，其轴向位移按水头变化。

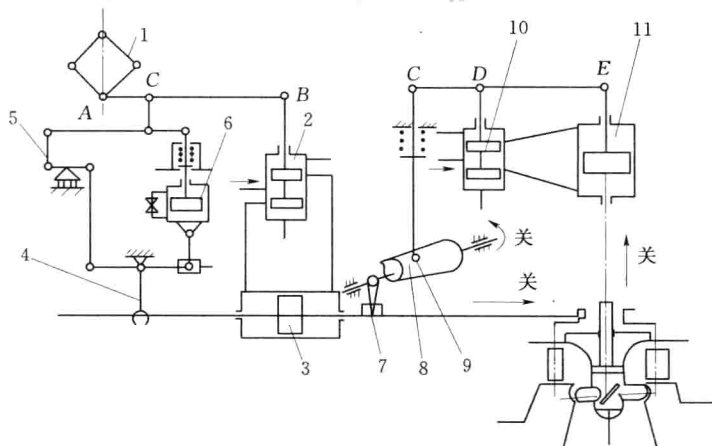


图 1-11 转桨式水轮机双调节调速系统原理

- 1—离心飞摆；2—导叶配压阀；3—导叶接力器；4—反馈杆；5—硬性反馈；6—缓冲器；
7—拐臂；8—协联凸轮；9—滚轮；10—桨叶配压阀；11—桨叶接力器