

512653

周泰经 董其国编著

中小型水电站
**调速器
故障处理**



中小型电站

调速器 故障处理

周泰经 董其国 编著

湖南科学技术出版社

中小型水电站 调速器故障处理

周泰经 董其国 编著

责任编辑：周翰宗

*

湖南科学技术出版社出版

(长沙市展览馆路14号)

湖南省新华书店发行 衡阳印刷厂印刷

*

1981年4月第1版第1次印刷

开本：787×1092毫米 1/32 印张：6.625 插表：2 字数：135,000

印数：1—3,600

统一书号：15304·116 定价：0.82 元

前 言

我国水利资源十分丰富。一九七九年，全国已建成中、小型水电站近十万座，其中小型水电站就有九万多座，星罗棋布在全国一千五百多个县、市的广大农村中，装机总容量达六百六十万千瓦，相当于建国初期全国水、火电装机容量总和的三倍半。中、小型水电站的迅速发展，为广大县镇农村提供了廉价能源，对缓和电力供需紧张局面，促进农业现代化，实现农村电气化，发展农副产品加工，兴办社、队企业，增加地方财政积累，改善农村人民的物质和文化生活等方面，都起了显著作用。

为了充分发挥中、小型水电站的功能，保证电站安全、经济运行，做到满发电、多供电，搞好电站的水轮机调速器维修是项非常重要的工作。调速器发生故障，若不及时处理，就要影响供电质量，甚至危及电站安全运转。

调速器的故障复杂多样。为了普及处理调速器故障知识，提高维修调速器的技术水平，现将处理和维修调速器的实践经验汇总起来，并参考国内、外有关书刊和资料编写成书，以供水电站从事水轮机调速器运行维修工作的同志参考。对于应用较广的T—100型大型机械液压调速器，在书末的附录Ⅰ中作了简要介绍。附录Ⅱ列出了调速器的有关术语与同义语词对照表。

为了分析处理调速器的各种故障，特别是针对初学维修调速器工作同志的需要，第一章首先介绍必须具备的基础知识，其中包括调速器的功能、组成、动作原理、质量要求指标、运行特性及最佳参数整定等。第二章介绍维修调速器的常用仪表和测试设备。第三章介绍调速器维修时解体 and 组装的方法。第四、五两章则分别介绍调速器在调试及运行中的故障处理。第六章简明介绍几种常用的中、小型调速器的结构特征与故障处理。最后一章介绍调速器运行维护时的注意事项。

华中工学院沈宗树副教授对本书初稿作了全面的校审，长沙激光仪器厂刘亢东同志提出了很好的修改建议，谨致衷心感谢。

由于调速器故障现象很复杂，加上作者理论水平和实践经验有限，书中难免存在不妥或错误之处，希望读者、特别是从事调速器工作的同志批评指正。

作者 一九八二年十月

目 录

第一章 水轮机调节系统概述.....	(1)
第一节 调速器的功能.....	(1)
第二节 调节系统工作原理.....	(4)
第三节 YT型机械液压调速器.....	(28)
第四节 调速器的主要技术要求.....	(65)
第五节 水轮机调节系统参数整定.....	(71)
第二章 测试设备和仪表.....	(77)
第一节 测试静特性的仪表和设备.....	(77)
第二节 测试动特性的仪器.....	(80)
第三章 调速器的解体和组装方法.....	(87)
第一节 概 述.....	(87)
第二节 调速器的解体方法.....	(87)
第三节 调速器的组装方法.....	(89)
第四章 调速器在调试中的故障处理.....	(102)
第一节 油压装置调试及故障处理.....	(102)
第二节 飞摆调试及故障处理.....	(108)
第三节 缓冲器调试及故障处理.....	(115)
第四节 主配压阀调试及故障处理.....	(124)
第五节 整机装配调试及故障处理.....	(126)
第五章 调速器在运行中的故障处理.....	(139)
第一节 调速器控制机构不符合要求.....	(139)
第二节 调节系统不稳定.....	(143)
第三节 机组调节品质差.....	(149)
第四节 不能实现“调节保证计算”的要求.....	(150)
第六章 常用中、小型调速器的故障处理.....	(153)
第一节 TT—75型机械液压调速器.....	(153)

第二节	TT—150 TT—300型机械液压调速器.....	(160)
第三节	W—900型机械液压调速器.....	(167)
第四节	GT—1500型机械液压调速器.....	(173)
第五节	CT—40型机械液压调速器.....	(180)
第七章	调速器的运行维护.....	(192)
附录 I	T-100型调速器故障处理要点.....	(193)
附录 I	调速器术语与同义词对照表.....	(209)

第一章 水轮机调节 系统概述

第一节 调速器的功能

我们知道日常生活和工农业生产用电，绝大多数为电网供给的交流电。而交流电的频率和电压都应保持在额定值附近的一定范围内，才能保证用电质量。否则，就会降低用户的用电效率，影响产品质量。按规定：交流电频率应保持在50周/秒，其偏差不得超过 ± 0.5 周/秒；对于大容量系统，频率的偏差不得超过 ± 0.2 周/秒。

电网频率，取决于向电网供电的发电机组输出电流的频率，而发电机组输出电流的频率与其转数之间有如下关系：

$$f = pn/60 \quad \text{周/秒}$$

式中： f ——发电机输出电流的频率； p ——发电机磁极对数； n ——发电机转数，若发电机与水轮机直接相连时，就是水轮机转数（转/分）。

由于发电机磁极对数 p 固定不变，则电流频率 f 只随着转速 n 而变化。而要保持频率不变，就必须使发电机组转速维持恒定。由于用户的用电量不断变化，导致系统频率发生波动，此时必须控制水轮发电机组的转速。当频率偏高时需要降低机组转速；反之就要升高转速。控制调节水轮发电机组转速的机器，就称为“水轮机调速器”。它能使水轮机转速维持恒定。从而使频率稳定在额定值。

水轮发电机组发电，首先是水轮机把水流量转换成机械能，然后发电机再把机械能转变为电能。水流推动水轮机产生“出力”，是发电机发电的原动力，通常用主动转矩 M_T 描述；水轮机拖动发电机旋转发电，必须克服阻力，这阻力用发电机的功率或容量计算（决定于用电负荷），通常用阻抗转矩 M_g 描述。图1.1是水轮发电机组示意图，它的转动可用如下方程式表示：

$$J d\omega/dt = M_T - M_g \quad (1-1)$$

式中： J ——机组转动惯量，其大小表征改变转速的难易；
 ω ——机组旋转角速度； $d\omega/dt$ ——机组角加速度。

上式表示机组转速变化与出力、负荷之间的平衡关系。负荷随着电网中用电户的需要而变化。当负荷变化的瞬间，机组出力与负荷间的平衡关系被破坏，从而使机组转速发生变化，例如：当用户用电量与水轮机出力的大小相等（ $M_T = M_g$ ）时，水轮机转速恒定（ $d\omega/dt = 0$ ），机组处于转速稳定的工作状态。当负荷突然减小时，“出力”来不及相应地减少，此时“出力”大于“负荷”（ $M_T > M_g$ ），水轮机转速上升（ $d\omega/dt > 0$ ）；反之，当负荷突然增加时，“出力”来不及相应地增加，此时“出力”小于“负荷”（ $M_T < M_g$ ），水轮机转速下降（ $d\omega/dt < 0$ ）。此种情况下，机组处于转速变化的不稳定工作状态。

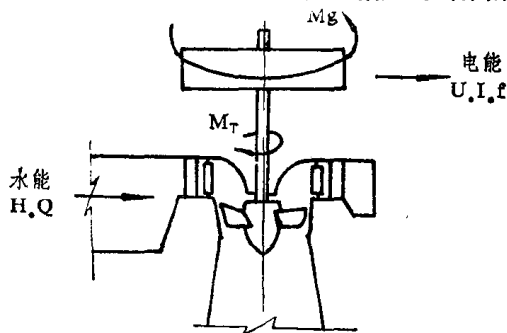


图1.1 水轮发电机组示意图

从上述分析可看出，在机组转动惯量一定时，机组转速变化与“出力”和“负荷”之间的差值成正比。当“出力”与“负荷”之间的差值一定时，机组转动惯量大的，转速变化小；机组转动惯量小的，转速变化就大。也就是说，转速变化与转动惯量成反比。所以，为了保持转速恒定，当“负荷”变化时，就需要及时改变水轮机“出力”，使主动力矩 M_T 随阻抗力矩 M_g 变化。

水轮机主动力矩 M_T ，是由水流对水轮机叶片的作用力形成的，其值可按式决定：

$$M_T = N/\omega = r \cdot Q \cdot H \cdot \eta / \omega \quad (1-2)$$

式中： N ——水轮机出力(千瓦)； r ——水的容重(公斤/米³)； Q ——流量(米³/秒)； H ——水头(米)； η ——水轮机效率； ω ——水轮机角速度(1/秒)。

从上式可看出，角速度不变时，可能变化的有水头 H 、效率 η 、流量 Q 。其中改变 η 或增减 H 不经济，而且难于实现。所以，改变主动力矩 M_T 最合理的办法是调节水轮机的流量 Q ，采取开启或关闭水轮机导水叶的措施，通过控制水轮机的流量，改变主动力矩 M_T 的大小。

水轮机调速器最主要的功能，就是使 $M_T = M_g$ ，保证机组在额定转速下稳定运行。当负荷变化时，则改变进入机组的流量，控制机组转速变化的偏差不超过允许范围，从而保证水轮发电机组发出的交流电频率，满足电网用户的要求。此外，水轮机调速器还附有一系列机构，具有实现机组的开、停机、改变转速、增减负荷等功能。

随着电力系统容量的扩大和自动化程度的提高，要求水轮机调速器具有越来越多的自动操作和自动控制的功能。故水轮

机调速器已成为水电站中十分重要的综合自动装置。

第二节 调节系统工作原理

由于负荷变化将引起转速变化，因此必须相应改变导水叶开度，使水轮发电机转速回复到额定值。这个过程就是对水轮发电机组进行转速调节，简称水轮机调节。

农村几十千瓦的小型水电站，水轮机调节一般由运行人员手动进行，这种调节转速方式称为手动调速。实现这种方式的调速器称为手动调速器（图1·2），其调节过程是：用转速表测量机组转速（频率），运行人员密切监察转速表，监视机组转速的稳定情况。当发现机组转速有偏差时，就手摇调速手柄，操纵导水叶改变开度，控制进入水轮机的水量，使机组转速回复到额定值。

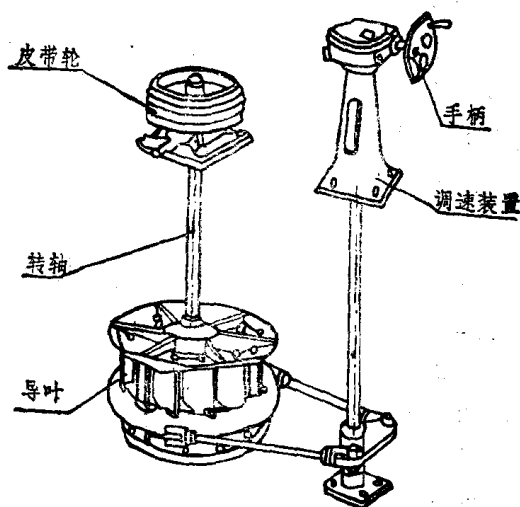


图1·2 手动调速器

上述手动调节过程也常用如图1·3的方框图表示。图中包括机组、频率表、运行人员、机械传动和导水机构五个部份和元件。箭头指向表示其间信号传送方向与过程：机组发出电能的频率信号送至频率表，频率表把它变为指针位移。运行人员看见指针位移后，经过分析判断而决定开（关）导水机构，然后手摇调速手柄，通过传动机构调节导叶开度，控制进入水轮机的流量，从而改变水轮机的主动力矩 M_T ，使频率恢复到额定值。

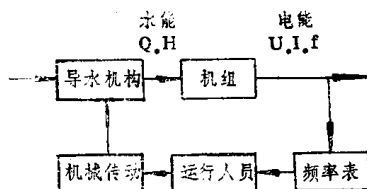


图1·3 手动调节方框图

对于单机容量大些的农村水电站，一般都用自动调速器代替运行人员自动控制水轮机。用来自动控制水轮机的机器，称为“水轮机自动调速器”。它由自动调节部分和操作控制部分组成。下面就分别介绍其组成和工作原理。

一、自动调节部份的组成元件及动作原理

调速器若与水轮机连接起来，便组成为如图1·4的自动调节系统。

（一）自动调节部份的组成元件

1. 测量元件：“监视”水轮机主轴任一瞬时的转速值，并将其传送出去。

2. 计算决策元件：将转速的瞬时值与额定值进行比较和计算，并按照转速偏差的方向和大小决定对策、发布指令，如图中的“离心飞摆”。

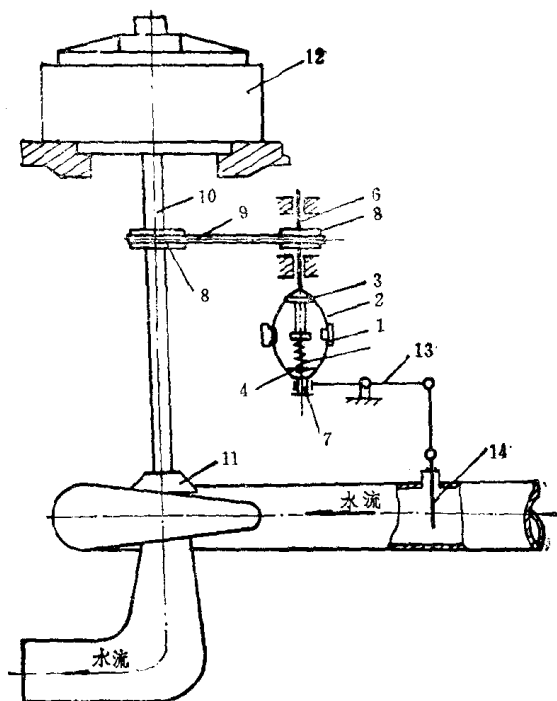


图1·4 自动调节系统示意图

3. 执行元件：能够执行离心飞摆发布的命令，操作导水机构控制水轮机的流量，如图中的阀门（14）。

以上三种基本元件，组成了水机轮的简易调速器。以水轮发电机组为“调节对象”，配以“调速器”，组成水轮机转速“自动调节系统”，就能实现水轮机的自动调节。其原理如下。

离心飞摆有两个重锤（1），通过钢带（2）悬挂在上支持块（3）上，并与下支持块（4）相连。在上、下支持块轴心间装有弹簧（5）。上支持块的上端与飞摆转轴（6）相连，下支持块的下端与转动套（7）相连接。飞摆转轴和水轮机主轴（10），

用皮带轮(8)和皮带(9)联系起来,使飞摆转轴直接跟随水轮机主轴旋转,而不停地“监视”水轮机主轴的转速。

若不考虑钢带的拉伸作用,重锤在旋转时,受到向外甩的离心力和弹簧形变所产生的推力的共同作用。转速高则重锤的转动半径就大;反之则小,并通过钢带使转动套升降。重锤位置与转速是一一对应的,额定转速时,弹簧力等于离心力,使重锤和转动套处于相应的“中间位置”。此时转动套通过杠杆(13),使阀门(14)保持应有的开度,水轮机出力与负荷相等,水轮机在额定转速下运行;当负荷减小时,转速上升而离心力增大,重锤将转动套向上提升,并通过杠杆关小阀门减小流量,水轮机出力因而减小,直到与负荷相等。水轮机在新的稳态下运行;当负荷增加时,转速下降,离心力减小,弹簧因而推动转动套下降,并通过杠杆开大阀门增加流量,使水轮机出力增加,直到与负荷平衡,水轮机又在新的稳态下运行。所以,离心飞摆能够不断“监视”转速,并不断与额定转速比较,根据转速升降的高低程度来控制阀门。

4.放大元件:上述简易调速器的飞摆力量太小,无法适应稍大的水轮机,必须将“离心飞摆”的推动力量加以“放大”。放大元件通常

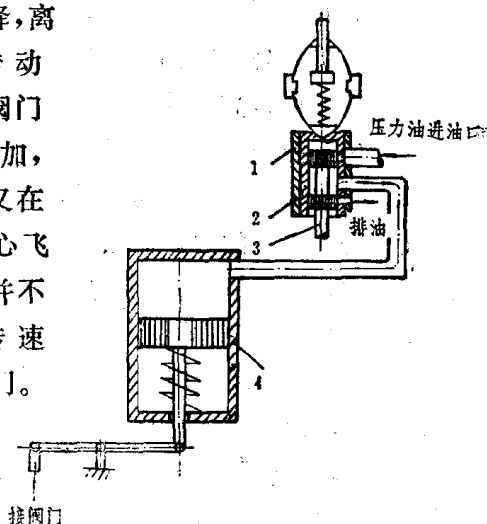


图1·5 差动式液压放压器原理图

- 1—固定套; 2—转动套; 3—针塞杆;
- 4—差动接力器活塞。

使用液压放大器,图1·5是调速器中常用的“差动式液压放大器”原理图。

差动式液压放大器由“配压阀”和“差动接力器”两个部件组成。习惯上称配压阀为“引导阀”,差动接力器为“辅助接力器”。

“引导阀”由固定套(1)、转动套(2)和针塞杆(3)组成。固定套是一个空心圆筒,其上有三排油孔通向转动套(2),上排孔通压力油源,中排孔通向辅助接力器上腔,下排孔通排油管。转动套也是一个空心圆筒,它与飞摆下支持块相联,并随离心飞摆一同转动和升降,其上也有三排油孔与固定套的油孔相对应。针塞杆装在转动套内,在杆上有上、下两个圆盘,用以控制转动套上、下油孔的启闭。当针塞杆的上、下两圆盘遮住转动套的上、下两排油孔时,引导阀无法进油和排油,此时的位置即为“平衡位置”。

“辅助接力器”外壳是一个圆筒,内有一个活塞(4)。活塞上腔与引导阀中油孔相通,而下腔由于其中弹簧的作用,存在一种向上顶的力。当压力油进入上腔,活塞(4)上腔内油的作用力,大于下腔向上顶的力时,则活塞向下移;反之,当活塞上腔排油时则向上移。

当机组运行稳定时,飞摆、转动套和针塞杆正好处于“平衡位置”,使三排油孔相互隔断。当机组负荷增加时。飞摆转速下降,转动套随之下移。此时针塞杆未动,使压力油孔与中部油孔相通,压力油进入辅助接力器上腔,推动活塞(4)下移去打开导水叶,增加水轮机出力。飞摆转速上升时,转动套上移,导致排油孔与中部油孔相通,活塞(4)随之上升,关小导水叶开度。这样,借助压力油的强大力量,能完成放大飞

摆推动力量的工作。但随之又出现了因转速变化而带来的不稳定情况。现以负荷减少时为例，说明其调节过程中的新矛盾（图1·6）。

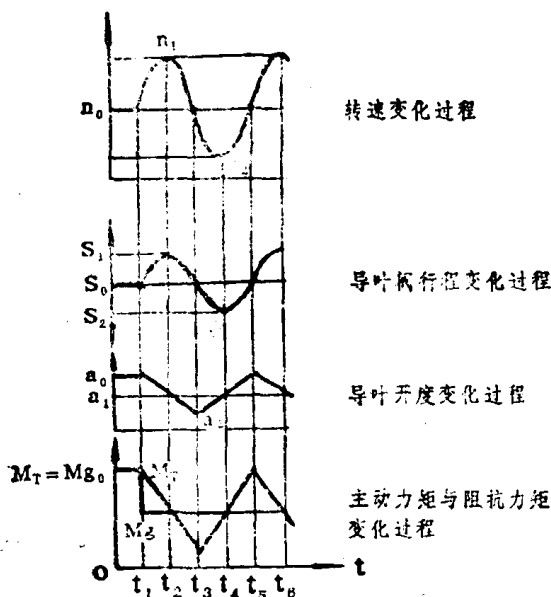


图1·6 无反馈的水轮机间接调节系统调节过程示意图

在 t_1 时刻以前，机组处于稳定平衡状态， $M_T = M_g$ 。转速为 n_0 ，飞摆转动套处于平衡位置 S_0 ，导叶开度为 a_0 。

在 t_1 瞬间，负荷减小导致 M_g 减小为 M ，转速上升。到 t_2 时刻转速上升为 n_1 ，转动套位置上升到 S_1 而打开排油孔，辅助接力器上腔排油，活塞上移，导水叶开度减小为 a_1 ， M_T 与 M_g 又恢复平衡。但由于此时转速高于额定转速，引导阀排油孔仍然开启，辅助接力器上腔在继续排油，活塞不可能在 $M_T = M_g$ 处停止移动，而是继续推动导水叶关闭。到 t_3 时刻，导叶开度 $a_2 < a_1$ ，

使力矩 $M_T < M_g$, 转速降到 n_0 , 转动套回到 s_0 , 针塞杆阀盘遮断排油孔, 辅助接力器不再关闭导叶。由于此时 a_2 远小于 a_1 , M_T 远小于 M_g , 机组转速将继续下降, 转动套随之下移, 打开压力油孔, 压力油进入辅助接力器上腔, 使活塞下移, 开启导水叶。到 t_4 时段, $n = n_2$, $s = s_2$, 转动套打开进油孔, 辅助接力器活塞继续下移, 使导水叶由 a_2 向开启方向移动, 又回到 a_1 , 机组能量又一次回复平衡, 此时 $M_T = M_g$ 。但引导阀进油孔未能封闭, 导水叶继续开启。到 t_5 时刻, 转速恢复到 n_0 , 转动套位置恢复到 s_0 , 导水叶开度 $a_0 > a_1$, 力矩 $M_T > M_g$, 机组的能量平衡又遭到破坏, 转速又再次上升而重复上述动作, 致使调节过程形成周期性振荡, 机组不能稳定运行。

5. 反馈元件: 简易调速器增加放大元件后, 出现了不稳定的调节过程。其原因是在机组能量平衡时, 没有及时使引导阀回到平衡位置, 即没有及时封闭油孔, 从而产生“过量调节”。为此, 在接力器与引导阀之间、增加如图1.7所示的杠杆 abc 和 def 及连杆等组件, 把辅助接力器的移动传递到 f 点, 使针塞杆产生相应位移而封闭油孔, 从而消除过量调节。增加的这套构件, 由于能

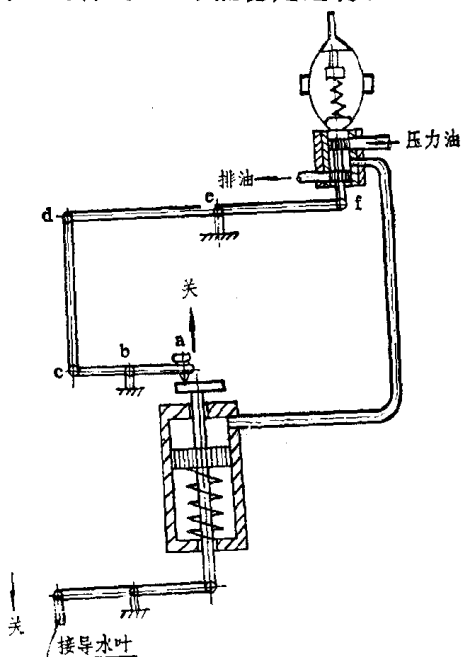


图1.7 硬反馈机构示意图