

前 言

汽轮机调节保安系统是汽轮机的重要组成部分。它根据运行要求具体地执行汽轮机组的调节和保安任务，使汽轮机能随时适应电负荷或热负荷的需要，保证机组安全运行。

汽轮机调节保安系统要正确动作、安全可靠、稳定运行，除了它的设计要正确、制造工艺优良之外，还与它的安装、调整质量有密切关系。为了使更多从事这项工作的工人和工程技术人员掌握汽轮机调节保安系统的安装和调试技术，编者把多年来的工作实践体会加以整理总结，并参考有关资料编写成这本书。本书详细叙述了汽轮机调节保安系统各部套的安装和调试方法，提出在安装中如果发现设备缺陷将如何处理，在调试中如果部套性能不符合设计要求又如何调整，并列举了一些安装和调试实例。本书结合实际，通俗易懂，具有一定的实用价值。

编者在编写和出版本书时，得到广东省电力一局领导和有关同志的指导和大力支持；华北电管局高级工程师陈思奇同志对书稿进行了审查并提出了很多宝贵意见，特此表示感谢。

由于编者水平有限，又缺乏编写经验，书中不可避免地会存在错误和不当之处，希望读者批评指正。

林坤远

1988.8

目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 调速器的安装和调试	7
第一节 飞锤式调速器的安装和调试	7
第二节 弹性调速器及其滑阀的安装和调整	12
第三节 旋转阻尼及放大器的安装和调整	20
第四节 调速泵的安装	37
第二章 滑阀及油动机的安装和调整	46
第一节 滑阀的安装	46
第二节 油动机的安装	59
第三节 油动机静态特性的试验调整	64
第三章 调节汽门及配汽机构的安装和调整	70
第一节 调节汽门的安装	71
第二节 凸轮配汽机构的安装	80
第三节 调节汽门的静态特性	86
第四章 同步器的安装及其界限的整定	90
第一节 同步器的工作原理和安装	92
第二节 同步器界限的整定	98
第五章 调节系统的静态特性	103
第一节 静态特性线的绘制	103
第二节 对静态特性的要求	107
第三节 调节系统静态特性试验	109
第四节 调节系统静态特性线的调整	114
第五节 速度变动率的试验和调整	117

第六章 调节系统静态特性试验实例	126
第一节 51-50-1 型汽轮机调节系统特性试验	126
第二节 N75型汽轮机调节系统特性试验	129
第三节 N100 型汽轮机调节系统特性试验	133
第四节 N125 型汽轮机调节系统特性试验	136
第五节 N200 型汽轮机调节系统特性试验	140
第七章 调节系统的动态特性	147
第一节 调节系统的动态特性	147
第二节 调节系统的动态试验	151
第三节 调节系统动态特性的改进	168
第八章 一级调整抽汽式汽轮机的调节系统	175
第一节 调节系统的工作原理	175
第二节 压力调节器的特性	181
第三节 调节系统的静态特性	189
第四节 调节系统部套位置的调整试验	191
第九章 两级调整抽汽式汽轮机的调节系统	197
第一节 调节系统的工作原理	197
第二节 调节系统部套位置的调整试验	202
第三节 调节系统静态特性试验	206
第十章 保安装置的安装和调整	219
第一节 超速保安装置的安装和调整	219
第二节 轴向位移保护装置的安装和调整	238
第三节 油压低保护装置的安装和调整	245
第四节 防火油门	248

绪 论

一、调节系统的任务

电能在社会主义建设中得到广泛应用。随着国民经济的发展,电能的消耗量也越来越大。但是,电能不容易大量储存,而且电力用户的耗电量时刻都在变化,所以在发电厂里汽轮发电机组必须随时适应电力用户的需要来增减负荷。为此,汽轮机调节系统的首要任务就是保证汽轮发电机组能够随时按照用户的需要提供足够的电力,并且保证一定的质量。供电的质量主要是指频率和电压的稳定,这两者都与汽轮机的转速有关。发电机的电压除了与转速有关外,还可以通过其他手段来调节,例如通过励磁的调整来进行调节。频率直接取决于汽轮机的转速,并且转速过高还影响机组的安全。因此,为了保证供电质量和机组的安全运行,汽轮机调节系统的任务就是调整汽轮机的转速,使之维持在规定的范围内。

对于供热式汽轮机,由于它既要供电,同时还要供热;所以这类汽轮机调节系统的任务,就是在电负荷或热负荷变化时,都要使转速和抽汽压力维持在规定的范围内。为了完成这个任务,供热式汽轮机的调节系统包括转速调节和抽汽压力调节两部分。

为了保证汽轮发电机组的安全运行,汽轮机还装有各种保护装置,形成保护系统,例如超速保护,轴向位移保护,油压低保护等。当然,调节系统本身也是汽轮发电机组的重要保护装置之一。

二、对调节系统的要求

为了使汽轮机调节系统能够完成上述任务,它必须满足下列各项要求。

对凝汽式汽轮机调节系统的要求如下:

(1) 当蒸汽参数或电网频率在允许范围内变动时, 调节系统都能顺利地使发电机并网或解列, 能维持机组空负荷运行, 同时也能在零负荷至满负荷范围内稳定运行。

(2) 当负荷变化时, 调节系统应能保证机组的负荷平稳地过渡, 并且在这个过渡过程中不发生较大的或长时间的摆动。

(3) 调节系统的迟缓率应不大于 $0.3\% \sim 0.7\%$, 由于迟缓率的原因引起的自发性负荷变动应在允许范围内, 保证机组安全、经济运行。

(4) 调节系统的速度变动率一般应在 $3.5\% \sim 6\%$ 之间。不应由于速度变动率过大而引起超速, 也不应因速度变动率过小而造成调节系统不稳定。

(5) 调节系统应能满足汽轮机甩全负荷的要求。汽轮发电机组突然甩去全负荷后, 转速升高值不应超过额定转速的 $8\% \sim 9\%$; 在任何情况下都不能超过危急保安器动作转速。

对于中间再热汽轮机的调节系统, 除了满足上述要求以外, 还应满足下列几点要求:

(1) 在再热机组蒸汽容积使机组功率滞后的条件下, 当外界负荷变化时, 要求机组应具有一次调频的能力。国产的中间再热汽轮机, 一般是采用动态校正器, 使高压调节汽门过开或过关来满足这个要求的。

(2) 在汽轮机启动和空负荷运行时, 应保证中间再热管道有一定的蒸汽流量通过, 以冷却再热器管道。

(3) 汽轮机的旁路系统应能将锅炉的多余蒸汽经过减温减压后排至凝汽器, 以满足汽轮机启动、空负荷、低负荷和电负荷的要求。

对于供热式汽轮机的调节系统, 除了满足凝汽式汽轮机的调节系统要求以外, 还应满足下列几点要求:

(1) 调节系统应该是有牵连的调节, 当电负荷或热负荷变化时, 都能使所有的调节机构动作。

(2) 调节系统应能满足第一和第二自整条件, 即当电负荷

变化时，抽汽压力不变；当热负荷变化时，电负荷不变。

(3) 无论在纯凝汽工况或者在抽汽工况下运行，当汽轮发电机组突然甩去全负荷时，汽轮机的转速能维持在允许的范围內。

三 调节系统的基本原理

当汽轮机在稳定运行时，如果外界负荷发生变化，或者汽轮机的参数发生变化，汽轮机的转速将发生变化。调节系统接受转速变化信号，通过放大机构和配汽机构，同时改变汽轮机的进汽量，以适应外界负荷的变化。

图0-1是一个最简单的间接调节系统示意图。它由调速器

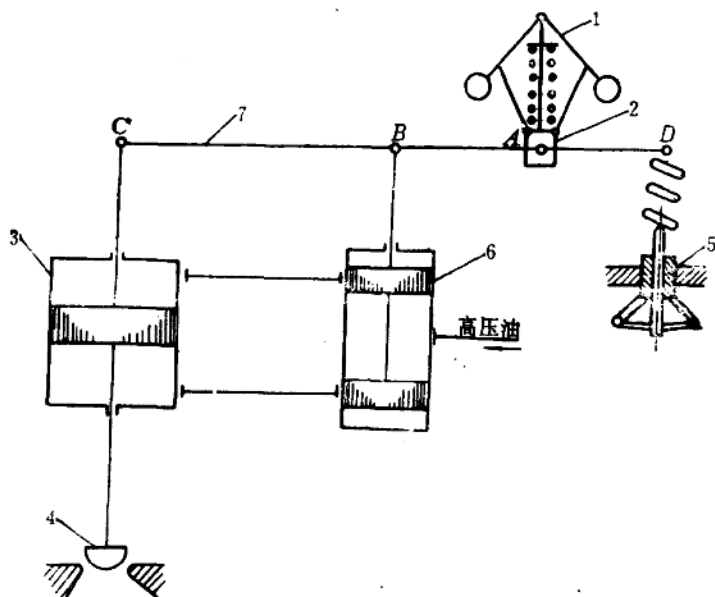


图 0-1 间接调节系统示意图

- 1—调速器； 2—调速器滑套； 3—油动机；
4—调节汽门； 5—同步器； 6—滑阀；
7—反馈杠杆

1、滑阀6、油动机3和同步器5等主要部件组成。当外界负荷增加时，汽轮机的转速降低，调速器滑套2向下移动，杠杆

ABC 以 C 点为支点向下转动，滑阀6的活塞向下移动，这时高压油经滑阀进入油动机3的活塞下，于是油动机活塞上移，使调节汽门4开大，增加进入汽轮机的进汽量，以适应外界负荷增加之需。当油动机活塞上移时，即 C 点向上移，此时反馈杠杆 ABC 则以 A 点为支点向上移动，从而带动 B 点上移，于是高压油经过滑阀进入油动机活塞上部，使油动机关闭，减少汽轮机的进汽量。这样经过几次反复调整后，滑阀回复到中间位置，切断进入油动机高压油的通路，油动机活塞停止运动，于是调节系统达到一个新的稳定状态。如果当汽轮机减负荷时，其动作过程与上述相反。

图中杠杆 ABC 称为反馈杠杆，因为滑阀的动作使油动机活塞发生位移，而油动机活塞的运动通过杠杆 ABC 反过来使滑阀复位。反馈的作用是使调节系统稳定。所以在间接调节系统中，反馈装置是一个必不可少的重要部件。

如果汽轮机是单独运行的，当汽轮机的负荷改变时，它的转速也必然改变。从图0-1可见，当调节过程稳定以后，滑阀必然回复到中间位置，即杠杆 B 点的位置始终不变。但是由于负荷的改变， C 点的位置改变了，根据杠杆的原理， A 点的位置也必然改变，即调速器滑套应处于一个新的位置上，所以汽轮机的转速也改变了。为了使汽轮机在负荷改变后其转速仍然保持不变，因此在调节系统里装置了同步器。汽轮机在单独运行时，用同步器来改变汽轮机的转速；当汽轮机并网运行时，用同步器来改变汽轮机的负荷。

一般汽轮机的间接调节系统主要由转速感受机构、传动放大机构、配汽机构和变速机构几部分组成。

转速感受机构的作用是感受转速变化讯号，并把它转变为位移或油压讯号。现代汽轮机调节系统中的转速感受机构，一般采用的有弹性调速器、旋转阻尼、脉冲油泵等。

传动放大机构的作用是接受转速感受机构的信号并加以放大，然后传递给配汽机构。目前汽轮机调节系统的传动放大机构

一般采用一次放大、二次放大，还有采用三次放大的。常用的放大机构有滑阀、放大器等。

配汽机构的作用是接受由转速感受机构通过传递放大机构传来的信号控制调节汽门的开度，改变汽轮机的进汽量。目前汽轮机调节系统中常用的配汽机构有凸轮装置配汽机构和提板式配汽机构。

变速机构又称为同步器，其作用如前述就是在汽轮机单独运行时，用来改变汽轮机的转速；在汽轮机并网运行时，用来改变汽轮机的负荷。目前汽轮机所用的同步器一般有辅助弹簧式同步器、活动套筒式同步器和活动支点式同步器等。

调节系统静态特性是调节系统稳定状态下的特性。它表示在稳定工况下机组功率与转速之间的关系。由于机组功率的改变依次通过转速感受机构、传动放大机构和配汽机构来实现的，所以调节系统的静态特性必然与这三个机构的特性有密切关系。通过这三个机构的特性，就可以求得调节系统的静态特性。

调节系统的动态特性，表明调节系统从一个稳定状态如何过渡到另一个稳定状态。研究动态特性的目的，是要掌握动态过程中功率、转速、调节汽门开度、控制油压等各种参数与时间的变化规律，从而判断调节系统是否稳定，评定调节系统调节品质，并分析影响动态特性的主要因素，提出改进调节系统动态品质的主要措施。对动态特性的研究，通常是通过汽轮机甩全负荷试验，测取转速变化和调节系统主要部件的动作关系曲线，分析调节系统发生缺陷的原因，并采取相应的改进措施。因为甩全负荷是汽轮机最激烈的动态变化过程，对调节系统的稳定性和可靠性是最大的考验。

四、确保调节系统安装调试质量的重要性

汽轮机是发电厂的主要设备之一，它是能量转换的原动机。由于电能不能大量贮存的特性，所以要求汽轮发电机组必须连续不断地运行，随时适应电力用户的需要。为了保证机组安

全、可靠、经济地运行，调节系统应有良好的性能。而调节系统性能的好坏，除了设计正确，制造质量优良以外，还与安装调试质量的好坏有关。为了保证安装质量，安装人员必须具有主人翁的责任感，对安装质量负责到底的精神。在安装前，工程技术人员要进行技术交底，使工人熟悉图纸，熟悉安装方法和工艺质量要求；在安装过程中要严格按照安装工艺和技术措施进行，正确使用拆装工具和测量仪器，准确地测量部件的各种间隙和行程，做好详细记录。如果发现间隙或行程不符合要求，应研究处理。

各个部件安装后都要按照质量标准进行自检、班组技术人员检查和质量检查科的检查的三级检查制度。质量检查人员必须以高度负责的精神，深入现场，在检查验收的同时，协助安装人员解决安装中所出现的问题，保证安装质量符合设计或规范要求。

调节系统试验调整的目的，在于整定调节系统的工作性能，以满足设计要求，给发电厂安全运行提供必要试验数据；通过试验测取静态特性曲线、速度变动率、迟缓率以及动态特性等，使发电厂运行部门比较全面地了解调节系统的工作性能，从而判断其工作性能是否正常，及时发现缺陷。如果调节系统不稳定，通过试验，并分析试验结果，有的放矢地检查调节系统部套，比较准确地判断系统不稳定的原因，提供消除缺陷的必要数据和采取相应的有效措施。

为了确保调试质量，在调试前必须对调节系统有全面的了解，熟悉调节系统中每个部套的工作原理、调试方法和制造厂的设计技术要求，从而制订有效的措施和详细的调试方法，严格按照调试方法和步骤进行。在调试时应使用经过校验的精密仪器和仪表，读数要准确。试验结束后要绘制出各部套的静态特性曲线，并与设计的特性曲线进行比较。如发现偏差应进行分析，找出原因并进行调整。通过调节系统的静态试验，求出调节系统的速度变动率和迟缓率，并判断调节系统是否稳定。如果有可能的话，还应进行调节系统动态试验，进一步判断机组在变工况和过渡工况下的工作情况，以确保机组能安全经济运行。

第一章 调速器的安装和调试

在汽轮机的调节系统中，调速器是反映汽轮机转速变化的元件。它把转速变化转换成位移或者油压信号，传递给放大机构或者执行机构，即传递给放大器或者油动机的滑阀，以达到开大或者关小调节汽门，改变汽轮机的转速或者负荷，实现汽轮机的自动调节的目的。

第一节 飞锤式调速器的安装和调试

飞锤式离心调速器如图1-1所示。它主要由调速器轴1、滑套2、重锤6和弹簧7等部件组成。调速器轴通过减速装置，如蜗轮蜗杆与汽轮机主轴相连，并随着汽轮机一起转动。重锤由于绕调速器轴旋转而产生离心力。离心力的大小与它的旋转半径成正比，同时又与它的转速平方成正比。当汽轮机在某一个转速下稳定运行时，重锤的离心力刚好与弹簧的收缩力以及滑套等的总重量相平衡。如果转速发生了变化，例如转速升高了，离心力就超过了弹簧的收缩力，重锤向外伸张，在新的位置上重新平衡。可见，对汽轮机每一个不同的转速，调速器的重锤相应地有一个不同的位置。由于重锤通过角杆与调速器滑套相连，重锤位置的改变使滑套位置也作相应的改变，而滑套位置的改变要使杠杆发生转动，同时也就转动了调速器滑阀的杠杆，这就实现了把汽轮机转速变化的讯号转变为调速器滑套位移的讯号，再传递给滑阀的放大机构，实现汽轮机的自动调节。

飞锤式离心调速器在安装时一般按下列步骤进行：

(1) 调速器解体前，要对各个零件之间相对尺寸及容易装反或装错的零件作好记号，并测量拉紧螺栓的安装尺寸和记

录调速器弹簧的工作圈数。

(2) 解体时, 先松开拉紧弹簧的螺帽, 拆下杠杆, 取出滑套。

(3) 用煤油把各零件清洗干净, 然后进行外观检查: 重锤和弹簧应无锈蚀和裂纹; 如果重锤是刀口支持的, 那末刀口应光洁无卷边、毛刺、缺口和弯曲, 刀口和刀口的支持点的配合应无磨损和钝角。

(4) 测量轴瓦的间隙, 应符合制造厂要求。若制造厂没有要求, 则其间隙应为轴直径的 $0.1\% \sim 0.15\%$, 但不应小于 0.07 mm 。

(5) 测量滑套与连杆的间隙 a , 连杆叉子与滑套间隙 b , 应符合制造厂要求, 见图1-2。若制造厂无要求, 则按下列标准:

$$a = 0.05 \sim 0.1 \text{ mm}, \quad b = 0.07 \sim 0.12 \text{ mm}$$

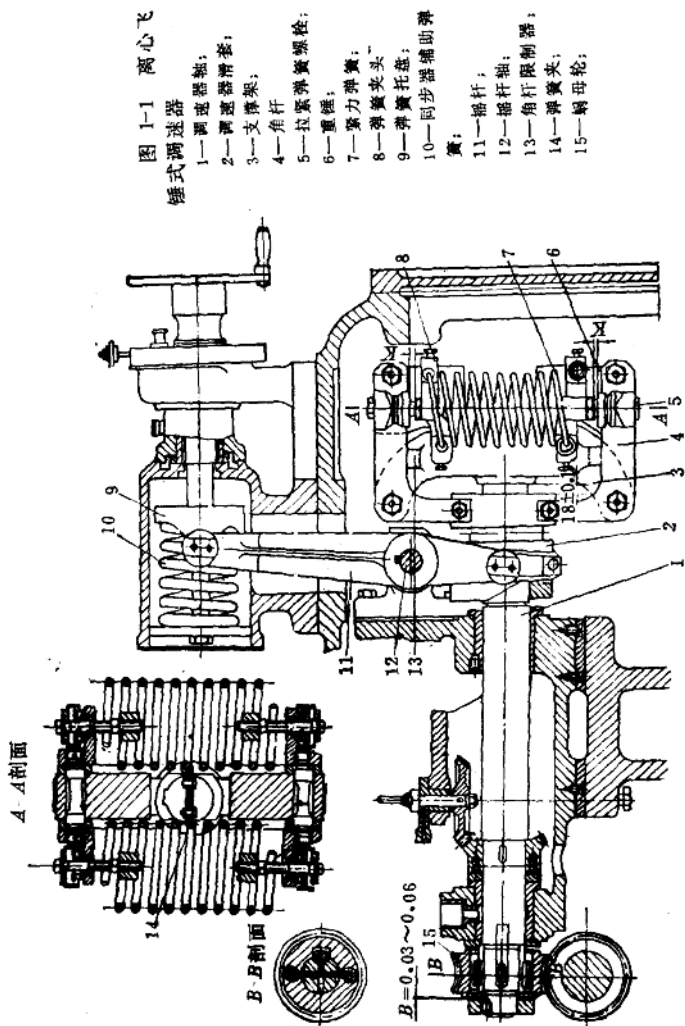
(6) 调速器试装时, 先不装拉弹簧, 用手扳动角杆, 检查角杆与滑套的动作, 应灵活。然后测量出滑套行程, 做好记录。

(7) 调速器正式组装时, 先组合好滑套与角杆, 再按拆卸时的记号、尺寸组合重锤和弹簧。重锤要安装牢靠, 锁紧螺帽必须紧固。重锤部分的销子、垫片、螺帽等零件必须按原物复装。如果需要更换, 那末它的重量必须与原物相同。

离心飞锤式调速器的调试主要是整定好调速器的静态特性, 即调速器滑套行程与转速的关系, 使它符合制造厂要求。

调速器的特性试验可以在汽轮机启动过程中, 用千分表测量调速器滑套行程, 用手提转速表测量转速, 记录在不同转速下滑套的行程, 从而绘制出调速器的特性曲线, 如图1-3所示。

如果由试验得到的特性曲线与制造厂设计的特性曲线斜率相同, 只是动作的起点不同, 见图1-3中的曲线 a 和 b , 遇到这种情况, 只要调整拉紧弹簧的预紧力就能解决。因为预紧力增加, 调速器初始工作转速升高, 特性曲线上移; 预紧力减小, 特性曲线下移。如果试验曲线的始点低于设计曲线, 如曲线 b , 则要加大拉紧弹



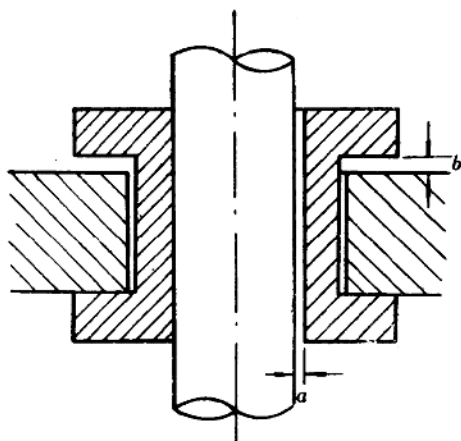


图 1-2 调速器滑套间隙示意图

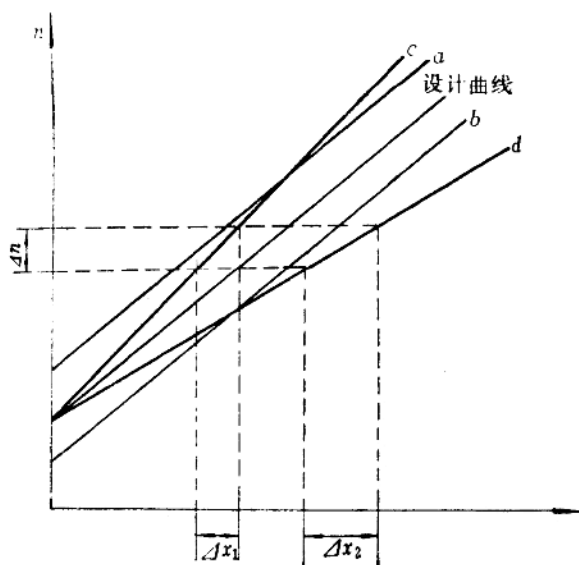


图 1-3 调速器特性曲线

簧的预紧力。如果得出的曲线是 a ，则要减小拉紧弹簧的预紧力。预紧力的调整量可以按下式计算：

$$b = \frac{2Gxw_0^2}{K}, \quad (1-1)$$

$$w_0 = 2\pi n_0,$$

式中 G ——单个调速器飞锤的质量，kg；

x ——单个调速器的质心与主轴的距离，cm；

K ——拉紧弹簧的刚度，N/cm；

b ——拉紧弹簧的预拉长度，cm；

w_0 ——调速器刚开始动作的角速度，1/s；

n_0 ——调速器刚开始动作的转速，r/min。

在调试中，由于调速器的结构及拉紧弹簧的刚度都不变，式(1-1)中的 $2Gx/K$ 是常数。因此，拉紧弹簧的预拉长度 b 与角速度或转速的平方成正比，即：

$$\frac{b_1}{b_2} = \frac{w_{0.1}^2}{w_{0.2}^2} = \frac{n_{0.1}^2}{n_{0.2}^2}, \quad (1-2)$$

式中 $w_{0.1}$ 、 $w_{0.2}$ 和 $n_{0.1}$ 、 $n_{0.2}$ 是当拉紧弹簧预紧长度分别为 b_1 和 b_2 时，调速器刚开始动作的角速度和转速。所以要想平移调速器特性曲线，根据式(1-2)的关系改变拉紧弹簧的拉紧长度就可以达到目的。

如果由试验得出的调速器特性曲线与设计的特性曲线斜率不同，如图1-3中的曲线 c 和 d' ，要想使他们符合要求，就要改变拉紧弹簧的刚度。因为弹簧的刚度愈大，相同的离心力引起的弹簧变形愈小，即调速器滑套位移愈小。从图1-3可以看出，相同的转速变化 Δn ，引起的滑套行程变化 Δx_1 小于 Δx_2 ，特性曲线 c 的斜率大于特性曲线 d 的斜率。可见弹簧刚度增加，特性曲线斜率增大，反之斜率减小。

要改变弹簧的刚度，就意味着要重新更换一个新的弹簧。因为对调速器的弹簧质量要求很高，在一些现场由于条件限制，要制造一个符合质量要求的调速器弹簧是比较困难的。因此，如果

调速器特性曲线的斜率与设计曲线的斜率相差不大的话，就不要急于更换新弹簧，要看看调节系统静态特性是否符合要求以及机组运行是否稳定。如果证明是由于调速器静态特性曲线的斜率不符合要求而引起调节系统不稳，那时再更换新的调速器弹簧。

第二节 弹性调速器及其滑阀的安装和调整

1. 弹性调速器的安装

弹性调速器主要是由重锤、弹簧板、弹簧和托架等零件组成，其结构如图1-4所示。弹簧板3弯成拱形，通过压板用螺钉固定在

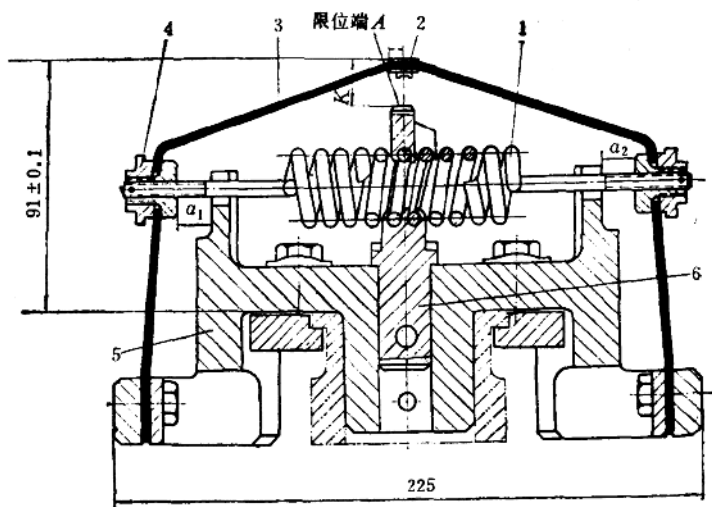


图 1-4 弹性调速器

1—拉伸弹簧；2—调速块；3—弹簧板；4—重锤；5—托架；
6—弹簧座

托架5上。调速块2用胶粘合在弹簧板上，并用夹紧板和螺钉加以紧固。拉伸弹簧1固定在弹簧座6内，又和弹簧座一起固定在

托架 5 上。在拉伸弹簧两端的螺纹上，用特制螺帽和重锤 4 将弹簧板夹紧，使拉伸弹簧和弹簧板紧紧地联系在一起。这种调速器由于没有铰链等所引起机械摩擦的零件，所以它的灵敏度很高，在正常情况下，其灵敏度不小于 3r/min 。

调速器的工作范围是 $0 \sim 360\text{Gr/min}$ ，所以它不需要减速装置，可以直接固定在汽轮机的主油泵的轴上。重锤 4 的离心力直接被弹簧 1 的拉力平衡。当汽轮机的转速变化时，由于重锤离心力的改变，引起拉伸弹簧的伸长或缩短，使调速块 2 前后位移，结果引起了调速器滑阀位移，使调速油压变化，最终改变了汽轮机的进汽量。

在安装时，弹性调速器一般不需要解体，但是要用煤油把它冲洗干净。然后检查托架和弹簧座，要没有松动，销钉要销牢靠，调速块表面应平整光洁并与轴垂直。重锤固定应牢固并紧锁。托架两侧的尺寸 a_1 和 a_2 必须完全相等，并符合制造厂要求。改变这个尺寸就改变了弹簧的预紧力，从而引起调速器特性平移。调速块与限位端 A 的距离 k 应符合制造厂的要求，其误差为 0.07mm

2. 调速器滑阀组的安装

调速器滑阀组包括控制滑阀、随动滑阀和分配滑阀三部分，其结构见图 1-5。

控制滑阀控制着挂闸油口（即控制危急遮断器滑阀上油压）和自动关闭器进油口。通过操作同步器手轮使控制滑阀动作，危急遮断复位，开启主汽门和调节汽门。

随动滑阀接受调速块的位移信号，随动滑阀跟随调速块前后移动，把位移信号变为油压信号。在随动滑阀的尾部还有两个宽度为 70mm 的附加保护油口。在安装时调速块与喷油嘴之间的间隙按制造厂规定调整后，保证附加保护油口的过封度为 13.1mm 。在工作转速时附加保护油口被滑阀的尾部封住，不起作用。当汽轮机转速达到 $3435 \pm 15\text{r/min}$ 时打开附加保护油口，使危急遮断滑阀脱扣，关闭主汽门和调节汽门，起超速保护作用。

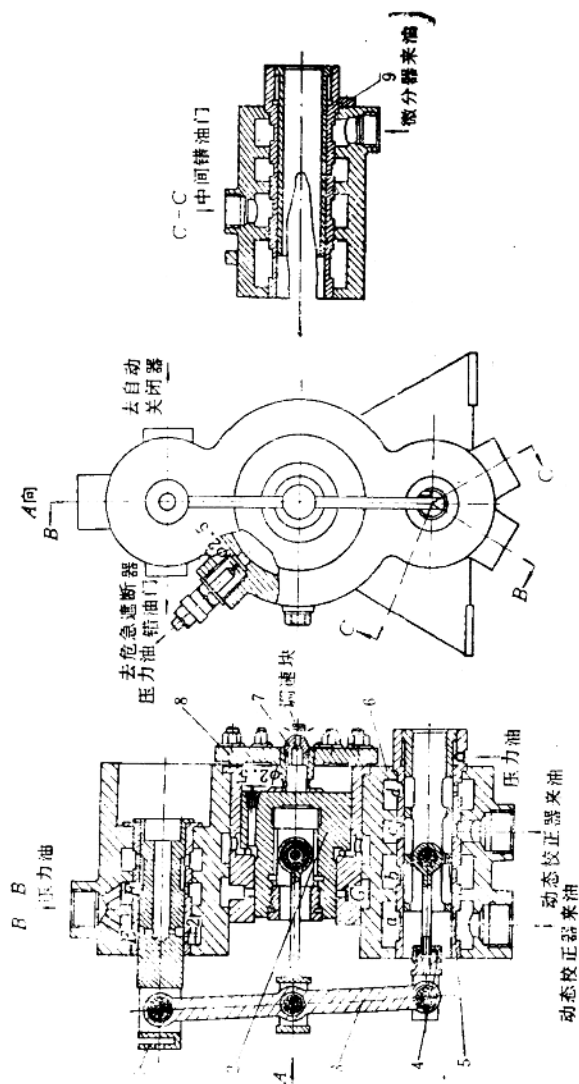


图 1-5 调速器滑阀组
1—控制滑阀；2—随动滑阀；3—杠杆；4—调整螺母；5—分配
滑阀；6—壳体；7—喷油嘴；8—端盖；9—限位块