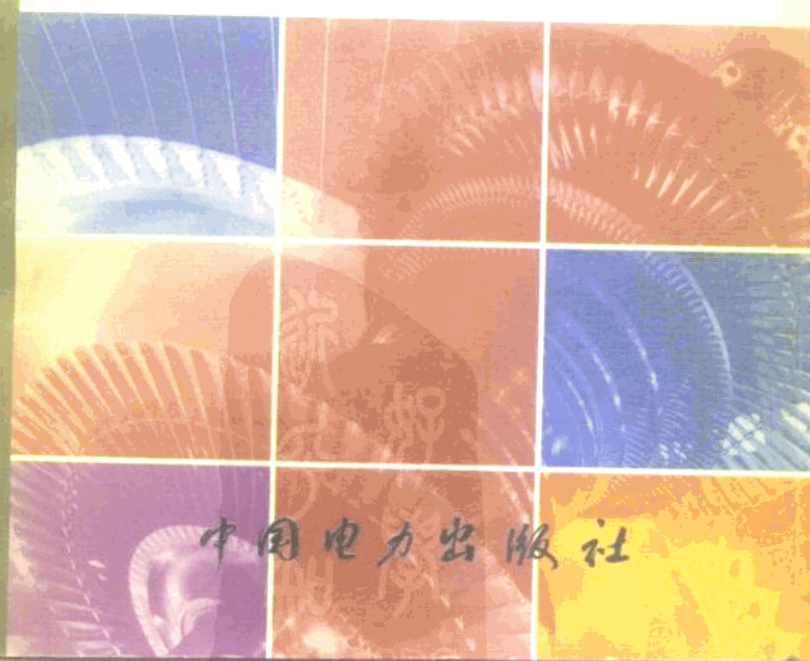


火力发电厂高级工培训教材

汽轮机调节系统检修

上海电力局教育培训中心 庄肖曾 合编
上海汽轮机厂 黄振鸣



中国电力出版社

火力发电厂高级工培训教材

汽轮机调节系统检修

上海电力局教育培训中心 庄肖曾 合编
上海汽轮机厂 黄振鸣



中国电力出版社

311.01

内 容 提 要

本书主要讲述各种汽轮机调节系统的调节原理、各参数之间相互的调整、各部件及调节系统的试验以及调节系统在运行过程中出现故障的现象和分析处理方法。还介绍了在新安装的大、中型机组中被广泛采用的数字式电液调节系统(DEH)的组成、基本原理及运行方式。

本书主要从技能培训角度出发,重点突出调节系统故障诊断和各种转速下各部件的油压、位移等的对应整定值。

本书不仅可作为技师、高级技工培训的教材,也可作为火电厂专业技术人员的工作手册,还可作为高等及中等专业学校的发电厂动力装置专业的教师的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

汽轮机调节系统检修/庄肖曾,黄振鸣编.-北京:中国电力出版社,1997

火力发电厂高级工培训教材

ISBN 7-80125-382-5

I. 汽… I. ①庄… ②黄… II. 蒸汽透平-调节系统-检修-技术培训-教材 IV. TK263.7

中国版本图书馆CIP数据核字(97)第08921号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 邮政编码100044)

三河市水利局印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1997年10月第一版 1997年10月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 32开本 11.125印张 247千字 2插图

印数0001—4470册 定价12.50元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言

本书是为满足汽轮机高级工技能培训需要而编写的，既适用于汽轮机调节系统检修工种，也可供电厂技术人员进修参考用。

全书主要讲述调节系统的调节原理、调整、试验和故障诊断，分为一般概念、调节系统各机构及其静态特性、调节系统静态特性、调节系统动态特性、中间再热机组的调节、汽轮机的保护装置及供油系统、数字式电—液调节系统(DEH)、调节系统的调整、汽轮机调节系统的试验、调节系统故障诊断等十章。在编写中编者根据多年教学实践和对电厂调节系统调试解决现场出现问题的实践，着重阐述了技能性的知识，将基础理论作为技能性教学补充。本书由上海电力局培训中心庄肖曾副教授和上海汽轮机厂黄振鸣高级工程师共同编写，由太原第一热电厂阎红宇审阅。

本书在编写过程中曾得到各电厂、制造厂的热情帮助和支持，在根据本书初稿进行讲课过程中，许多同志提出许多宝贵意见，在此谨向有关同志致谢。

限于编者水平，书中难免有不妥和错误之处，请读者批评和指正。

编 者

1997年6月

目 录

前言	
绪论	1
第一章 一般概念	3
第一节 调节系统的任务和要求	3
第二节 调节系统	4
第三节 典型调节系统简介	6
第二章 调节系统各机构及其静态特性	12
第一节 转速感受机构及其静态特性	12
第二节 液压式传动放大机构及其静态特性	25
第三节 反馈机构	43
第四节 配汽机构及其静态特性	48
第三章 调节系统静态特性	55
第一节 调节系统静态特性曲线	55
第二节 同步器	67
第三节 静态特性曲线的调整	71
第四章 调节系统动态特性	75
第一节 调节系统动态过程	75
第二节 影响动态特性的主要因素	79
第五章 中间再热式汽轮机的调节	83
第一节 中间再热机组的特点	83
第二节 中间再热式汽轮机的调节特点	86
第六章 汽轮机的保护装置及供油系统	94
第一节 自动主汽阀	94
第二节 保护装置	97

第三节	供油系统	109
第七章	数字式电—液调节系统 (DEH)	127
第一节	概述	127
第二节	DEH 的主要组成部分	128
第三节	DEH 调节系统说明	135
第四节	DEH 控制系统基本原理	136
第五节	运行方式	139
第六节	DEH 系统的主要功能	143
第八章	调节系统的调整	146
第一节	调节系统部套的安装与调整	146
第二节	凝汽式汽轮机液压调节系统的调整	173
第三节	背压式汽轮机液压调节系统的调整	182
第四节	抽汽式汽轮机液压调节系统的调整	192
第五节	中间再热式汽轮机液压调节系统的调整	237
第六节	工业用变速汽轮机液压调节系统的调整	272
第九章	汽轮机调节系统的试验	278
第一节	汽轮机调节系统试验的目的	278
第二节	调节部套试验	281
第三节	调节系统的静态特性试验	288
第四节	调节系统的动态特性试验	293
第十章	调节系统故障诊断	301
第一节	调节系统不能维持空转	302
第二节	调节阀不能保持开启状态	305
第三节	调节系统工作不稳定	309
第四节	润滑油压不正常	347
第五节	甩负荷后不能维持空负荷运行	348

绪 论

发电设备应随时满足用户对电能质和量的需要，由于电能很难大量储存，因此电力生产中对发电设备必须进行自动调节。供电量指的是功率的大小，质指的是频率与电压，而这些均与机组转速有关，当然电压还受到发电机励磁电流大小的影响。汽轮机调节系统的主要任务是：既要保证机组能及时满足用户对电能需要量的要求，又要使机组的转速维持在规定范围内，保证供电频率和机组自身的安全。

如不考虑机组转子上的摩阻力矩，转子运动方程为

$$I \frac{d\omega}{dt} = M_t - M_{e1}$$

式中 I ——汽轮发电机转子的转动惯量；

M_t ——汽轮机蒸汽的主力矩；

M_{e1} ——发电机反力矩。

当功率平衡时， $M_t = M_{e1}$ ，则 $I \frac{d\omega}{dt} = 0$ ，因 $I \neq 0$ ，故 $\frac{d\omega}{dt} = 0$ ，即角速度 $\omega = \text{常数}$ 。当用电量减少时， M_{e1} 减小，当汽量不变时， $M_t > M_{e1}$ ， $\frac{d\omega}{dt} > 0$ ，即转子角速度 ω 增加，电频率也随之增加；反之，当汽量不变条件下，当用电量增加时， M_{e1} 增大，使 $M_t < M_{e1}$ ， $\frac{d\omega}{dt} < 0$ ，即转子角速度降低。由此可知，汽轮机转子变化取决于机组输入、输出功率是否平衡，只要功率平衡，就能使转速稳定。蒸汽输入力矩 M_t 与转速的关系称汽轮机内特性，电负荷抗力矩 M_{e1} 与转速之间关系称汽轮机

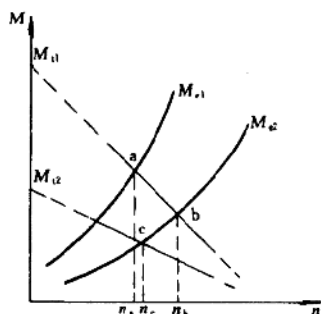


图 0-1 汽轮机与发电机的特性线

外特性，对某一蒸汽量而言，此时汽轮机内特性曲线与外特性曲线的交点处的转速即为平衡转速。

蒸汽主力矩 M_t 与转速成反比，反力矩 M_{e1} 与转速之间的函数是由负荷性质决定的，一般讲，反力矩 M_{e1} 是随转速增加而增加的。如图 0-1 所示的曲线 M_{t1} 及 M_{e1} 。曲线 M_{t1} 和

曲线 M_{e1} 的交点 a 就是平衡状态 ($M_{t1} = M_{e1}$) 下的工作点，其对应转速为 n_a 。当外界负荷减小时，反力矩由 M_{e1} 变为 M_{e2} ，这时若不改变进汽量，由于 $M_{t1} > M_{e2}$ ，使转速升高，这时会使 M_{t1} 减小，最后使 M_{t1} 与 M_{e2} 在高转速 n_b 下平衡，工作点改为 b 点。由此可知，当外界负荷改变时，即使汽轮机不调节（不改变进汽量），它也会从一个稳定工况过渡到另一稳定工况，这就是所谓汽轮发电机组的自调节能力（自平衡特性）。汽轮发电机组的自调节能力是很小的。功率变化不很大的情况下，转速的变化很大，这样会使发电质量不合格，而且机组强度也不允许。

从图 0-1 可看到，当外界电负荷变动时，不对汽轮机进行调节是不允许的，只有调节机组进汽量，使汽轮机主力矩 M_t 的特性线由 M_{t1} 变到 M_{t2} ，工作点由 b 变为 c，这时平衡转速将是 n_c ， n_c 与 n_a 之间变化很小，即汽轮机转速始终保持在额定转速附近的容许范围内（不是 $n_c = n_a$ ，这就是所谓有差调节）。

第一章 一般概念



第一节 调节系统的任务和要求

汽轮机调节系统应保证机组在各种运行方式下维持稳定运行，当运行方式变换时，机组能从一种工况平稳地过渡到另一种工况运行；当机组由于外来因素而突然甩全负荷时，机组保证不发生超速，而且能使机组维持空负荷下的稳定转速。

汽轮机调节系统应能满足下列运行要求：

(1) 调节系统应保证机组在额定参数下，稳定地在满负荷至零负荷范围内运行。当参数和频率在允许范围内变动时，调节系统应能使机组稳定地在满负荷至零负荷范围内运行。保证汽轮机能顺利地并网和解列。调节系统静态特性曲线应具有随功率增加而转速下降的可调倾斜性，静态特性曲线应连续、光滑且不出现水平段。

(2) 当主汽阀全开和蒸汽参数在额定情况下，调节系统应能维持汽轮机在空负荷下稳定运行，转速不应有明显摆动；当负荷变化时，调节系统应能保证机组平稳地从一个工况过渡到另一工况，不发生较大的和长期的负荷摆动（摆动值不大于额定负荷的2%）。

(3) 当机组突然甩全负荷时，调节系统能维持空负荷运行，其最大动态超速值不应使危急保安器动作。

(4) 同步器的工作范围，空负荷的转速应保证在额定转速的95%~107%范围，调节系统的速度变动率在3%~6%

范围内；迟缓率应在 0.2% 以内。

(5) 功率在 100MW 以下机组的主汽阀关闭时间不大于 1s，功率大于 100MW 汽轮机的主汽阀、中压主汽阀关闭时间不大于 0.5s。

(6) 调节抽汽式机组，在电、热负荷各自分别变化时，电、热两者相互干扰应不大于 10%~15%，应满足机组能带电负荷或热负荷，并且能与其它机组的热电负荷并列运行。对抽汽式汽轮机有随供热蒸汽量增加而供热蒸汽压力下降的可调倾斜特性的要求。抽汽压力变动率一般为 10%~20%，而调压系统的迟缓率 ϵ_p 约为 1% 左右，同时应具有压力变换器，供平移调压静态特性曲线。

(7) 工业用变速汽轮机的调节，除接受机组转速信号外，还应接受被驱动机械所发的信号，即应具有双脉冲调节装置。

(8) 中间再热式汽轮机调节系统应克服中间容积不利因素，满足负荷调节适应性要求。对设置旁路系统的中间再热式汽轮机，还应满足高压调节阀、中压调节阀与旁路阀开度协调关系。

(9) 调节系统中的保护装置，应能保证被监控参数达到极限值时能迅速自动工作，并发出报警信号，保证机组安全。

第二节 调 节 系 统

汽轮机的调节系统与一般调节系统相同，是具有调节信号的感受机构。对于凝汽式汽轮机，根据转速进行调节的调速器就是转速感受机构；对于供热机组，其感受机构除了调速器—转速感受机构外，还有调压器—压力感受机构。感受

机构得到输入信号后,直接或通过杠杆系统去操纵配汽机构,以改变调节阀开度,从而改变汽轮机进汽量,使调节对象—汽轮机转子改变主力矩,使其等于抗力矩,使转速变化较小,维持在额定转速附近,这种由转速感受机构直接操作执行机构来完成的调节称为直接调节(见图 1-1)。从图中可看出,对应于不同阀位(不同进汽量),调速器飞锤位置是不同的(转速不同),而且各种阀位(功率)与转速一一对应,这种调节称为有差调节。

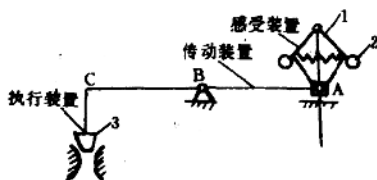


图 1-1 直接调节示意图

1—调速器;2—飞锤;3—调节阀

A—滑环

功率稍大一些的汽轮机,带动调节阀需要较大的力,所以一般将转速感受机构输出信号进行放大,放大后的信号送往执行机构,指挥执行机构去执行调节命令。在执行机构中再次输入能量,使执行机构具有较大的功率去执行调节命令,启、闭调节阀。调节阀在动作过程中发出反馈信号,将调节阀位置回输给脉冲油压,以便使调节系统很快地稳定下来。图 1-2 是一种最简单的一级放大间接调节系统示意图。

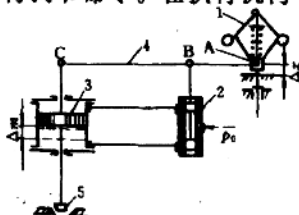


图 1-2 间接调节示意图

1—调速器;2—滑阀;3—油动机;4—杠杆;5—调节阀

从以上介绍中可看出，调节系统达到平衡，必须满足二个条件：①蒸汽输入汽轮机后所得功率应等于发电机负荷功率；②滑阀一定要居中。

现代汽轮机调节系统都由调节信号(感受)机构、传动放大机构、(配汽)执行机构等几个环节组成，并且前一环节的输出信号即为下级环节的输入信号。第一环节的输入信号为转速，末级环节的输出信号为功率。第一级的输入信号就是调节系统的输入信号，末级机构的输出信号就是调节系统的输出信号。

在放大机构与执行机构之间还有反馈机构，如图 1-2 中油动机活塞位移反过来又使滑阀产生与原来位移相反方向的位移，这种反馈称负反馈。负反馈作用是使调节系统稳定，所以反馈是调节系统的一个重要组成部分。

第三节 典型调节系统简介

国产凝汽式汽轮机上采用的调节系统主要有三个类型：哈尔滨汽轮机厂的高速弹性调速器调节系统、东方汽轮机厂的径向泵调速器调节系统、上海汽轮机厂的旋转阻尼调速器调节系统。现分别介绍上述调节系统，以了解调节系统整体概貌和调节系统各组成环节之间的相互关系。

一、高速弹性调速器调节系统

图 1-3 是高速弹性调节系统的工作原理图。高速弹性调速器为转速感受机构，将转速变化信号转化为调速器挡油板的位移信号。当外界用电量减少汽轮机转速升高时，调速器 1 由于转速升高，重块向外飞出，弹性钢带变形，使挡油板右移，加大了随动滑阀油喷嘴 2 与挡油板之间的排油间隙，使

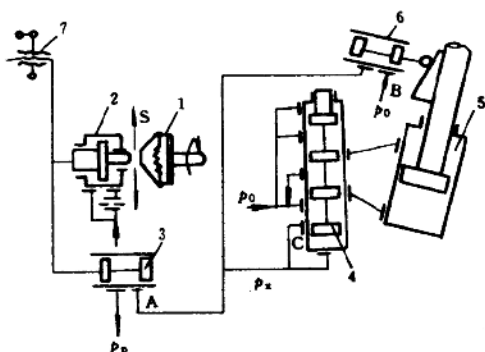


图 1-3 高速弹性调速器调节系统
1—调速器；2—随动滑阀；3—调速器滑阀；4—油动机滑阀；5—油动机；6—反馈滑阀；7—同步器

随动滑阀 2 活塞左侧油压大于右侧油压，随动滑阀活塞随之右移，以确保挡油板与随动滑阀油喷嘴之间的间隙值保持不变。随动滑阀右移通过杠杆传动使调速器滑阀 3 也随之右移，使滑阀上的排油口面积 A 增大。该系统的控制油有两路来源：一路压力油来自反馈滑阀上的油口 B ，另一路来自油动机滑阀 4 下端所控制的油口 C ，而油口 A 为排油口。排油口 A 泄油面积增大，使控制油压 p_x 降低。而油动机滑阀的顶部与底部两端作用力是相等的（为达到调节稳定，滑阀一定要居中）。当控制油压 p_x 下降后，破坏了油动机滑阀的平衡，油动机滑阀 4 将向下移动，从而使油动机 5 活塞上腔与压力油相通，活塞下腔经滑阀与排油相通。油动机活塞上下形成油压差，使油动机活塞下移，通过传动机构关小调节阀。在油动机活塞向下移动时，由于阀杆上斜楔作用，使反馈滑阀 6 上的进油口 B 面积增大，控制油压 p_x 上升，于是又使油动机滑

阀 4 向上移动。在稳定时滑阀居中，堵住了通往油动机的油口，使油动机活塞停止移动，调节结束，调节系统在新的功率下重新处于平衡状态。当外界电负荷增加，机组转速下降，调节系统动作与上述相反。

油动机滑阀油口 C 起到负反馈作用。当控制油压 p_x 下降时使滑阀下移，C 油口面积增大，促使 p_x 回升，从而限制了滑阀下移，使整个调节过程能较平稳。当调节结束，滑阀居中，C 油口面积也回到原来大小，换句话讲，C 油口面积只在调节过程中有变化，稳定时为一常数。

二、径向泵调速器调节系统

图 1-4 所示为径向泵调速器调节系统的工作示意图。径

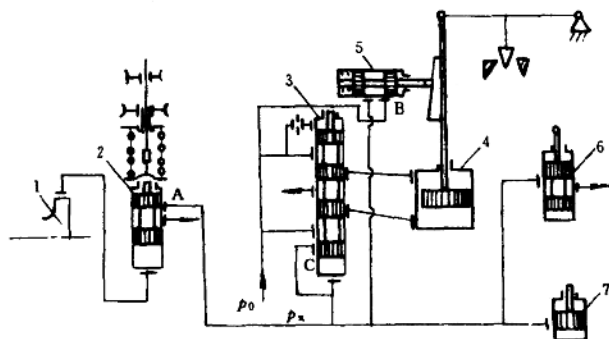


图 1-4 径向泵调速系统

1—径向泵；2—压力变换器；3—滑阀；4—油动机；

5—反馈滑阀；6—超速限止滑阀；7—启动滑阀

向泵是转速感受机构。径向泵实际上是一只离心泵，按离心泵工作特性，当径向泵进口油压不变时，其出口油压与转速平方成正比。当外界电负荷下降时，使汽轮机转速升高，与

汽轮机同轴的径向泵 1 出口油压 p_0 也随之升高。油压 p_0 作用在压力变换器 2 的下部，与顶部的弹簧力相平衡（实际上顶部还与径向泵进口油压相通，压力变换器动作的动力是径向泵进出口油压差与弹簧力的相差值，这样做可抵消径向泵进口油压波动造成出口油压波动的不利因素）。径向泵出口油压升高推动压力变换器 2 的活塞向上移动，开大了控制油的排油口 A 面积，使控制油压 p_x 降低，使滑阀 3 向下移动，压力油经滑阀进入油动机活塞上油腔，油动机活塞下油腔经滑阀接通排油口，油动机活塞在上下油腔压差的作用下向下移动，关小调节阀。在活塞向下移的同时，与活塞杆上的反馈斜槽相接触的反馈滑阀 5，在其端部弹簧力的作用下向右移动，开大了控制油的进油口面积 B，使控制油压 p_x 上升。最后，当控制油压重新恢复到原来正常值后，滑阀又居中，堵住去油动机的油口，油动机活塞动作停止，调节过程结束。

当负荷增加，汽轮机转速降低时，调节系统的动作与上述相反。

三、旋转阻尼调速器调节系统

图 1-5 是上海汽轮机厂生产的旋转阻尼调速器调节系统的示意图。在该系统中采用旋转阻尼 2 作为转速感受机构。旋转阻尼实际上也是一个逆流式离心泵，它的输出油压 p_1 也和转速平方成正比。

主油泵输出压力油送往四处：一路压力油经滑阀 4 作为油动机动力油；一路经可调节的针形阀通往旋转阻尼形成一次油压 p_1 并作用在波纹管 A 上。由于油压 p_1 高于旋转阻尼所产生的油柱压力，所以一次油经旋转阻尼排出；一路经固定的节流孔 a_0 作为二次油压，二次油压 p_2 作用在放大器的碟阀 a，并从间隙 s 排出，二次油压 p_2 还作用于继动器 7 的

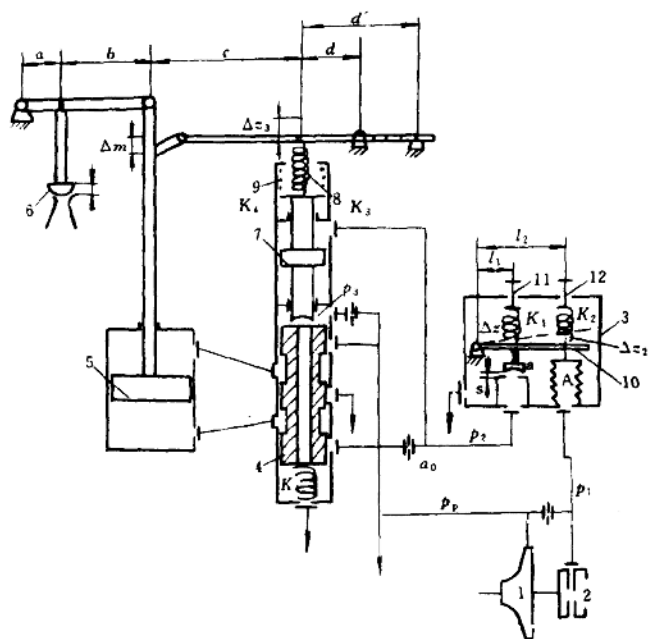


图 1-5 上海汽轮机厂的全液压调节系统

- 1—主油泵；2—旋转阻尼；3—放大器；4—滑阀；5—油动机；
6—调节阀；7—继电器；8—反馈弹簧；9—动反馈弹簧；10—
平衡板；11—主同步器；12—辅助同步器

活塞上部；第四路压力油经另一个节流孔供至滑阀 4 上部，然后通过继电器控制的碟阀和滑阀中间的间隙排出，形成三次油压 p_3 。

当外界电负荷减小，汽轮机转速升高时，与汽轮机同轴的旋转阻尼产生的油压增大，使一次油的排油量减少，一次油压 p_1 升高。由于一次油压 p_1 升高，破坏了原来平衡板 10

上各作用力的平衡，使平衡板绕支点反时针转动，使放大器碟形阀的排油间隙 s 增大，二次油压 p_2 泄油量增加，使二次油压 p_2 减小，破坏了继电器 7 活塞上二次油压作用力和反馈弹簧作用力的平衡，使继电器活塞上移，这样又使继电器活塞下端三次油的泄油间隙增大，三次油压 p_3 下降，滑阀 4 在下部弹簧力作用下向上移动，压力油通过滑阀进入油动机活塞 5 上部，而活塞下部则与排油相通。油动机活塞在其上下压差作用下向下移动，通过杠杆关小调节阀。汽轮机发出功率减小，直至与外界负荷相适应。

油动机活塞向下移动同时，通过反馈杠杆使反馈弹簧 8 的拉力减小，继电器活塞下移，三次油压 p_3 恢复到原来数值时，滑阀 4 又居中，堵住油动机油口，油动机活塞停止运动。动反馈弹簧 9 只在调节过程中起到负反馈作用，稳态时不起作用。

当外界负荷增加时，汽轮机转速下降，调节系统动作与上述相反。

从以上三个典型调节系统分析可知，调节系统都由转速感受机构、传动放大机构、配汽执行机构及反馈机构等组成。每个机构都有一个输入量和一个输出量。各机构前后组合成一个系统，第一个机构的输入即为调节系统的输入——转速，最后一个机构的输出即为系统的输出——调节阀开度（它正比于汽轮机负荷）。当输入量变化时，输出量将作相应的有规律的变化。

我们将机构及系统在稳定状态下的输入量与输出量之间的关系，分别称为该机构的静态特性和调节系统的静态特性。