

汽轮机数字式电液调节系统

Steam turbine digital
electro-hydraulic control system

尚增弘 徐 丰 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

汽轮机数字式电液调节系统

Steam turbine digital
electro-hydraulic control system

尚增弘 徐 丰 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书从阐述汽轮机调节系统的基本概念出发,系统地介绍了汽轮机数字式电液调节系统的组成、功能及工作原理。本书主要内容包括汽轮机调节系统的基本概念,功频电液调节系统,汽轮机数字式电液调节系统的数字系统、模拟系统,电液调节系统中的主要部件,EH供油系统,电液伺服执行机构,危急遮断系统,润滑油系统,数字式电液调节系统的运行维护及故障处理,典型机组的电液调节系统等。

本书可供大专院校电厂集控运行专业和电厂热能动力工程专业的师生使用,也可供从事火电设备运行、检修的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽轮机数字式电液调节系统/肖增弘,徐丰编著.

北京:中国电力出版社,2003

ISBN 7-5083-1426-3

I. 汽... II. ①肖... ②徐... III. 蒸汽透平-液
压调节系统, 数字式 IV. TK263.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第008595号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经营

*

2003年4月第一版 2003年4月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 14印张 312千字 1插页

印数 0001—3000册 定价 23.00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

随着科学技术的迅速发展，对汽轮机自动控制的要求越来越高。汽轮机电液调节系统已被广泛使用，并日趋成熟。目前，新投产的大、小容量机组以及已投产的 300MW 及以上的机组均广泛采用了计算机控制。以往采用液压调节系统的 50MW、100MW、125MW 以及 200MW 等机组均改造为采用电液调节或电液调节为主、液压调节为备用的调节系统。然而，相关的科技书却极度缺乏。为满足广大工程技术人员的迫切需要，我们编著了本书。

本书根据国内机组实际情况，以上海新华电站控制工程有限公司生产的 300MW 火电机组汽轮机数字式电液调节系统为例，系统地介绍了该系统的数字系统、模拟系统及其液压部件；同时，根据现场运行经验，介绍了电液调节系统检修方面的内容；最后还介绍了 50MW、125MW 及 200MW 机组改造后的电液调节系统工作原理。

全书共分十二章，主要内容包括汽轮机调节系统的基本概念，功频电液调节系统，汽轮机数字电液调节系统的数字系统和模拟系统，电液调节系统中的主要部件，EH 供油系统，电液伺服执行机构，危急遮断系统，润滑油系统，电液调节系统的运行维护及故障处理，几种典型机组的电液调节系统的工作原理、特点等。

本书由沈阳电力高等专科学校肖增弘、铁岭发电厂徐丰编著，东北电力学院叶荣学教授、白俊文高级工程师对原稿进行了仔细地审阅，并提出了许多宝贵的意见。在本书编写过程中，得到了铁岭发电厂黄宝诚值长、张士强专工等的大力支持和热情帮助。在此一并表示衷心的感谢。

由于时间仓促、编者水平有限，不妥之处在所难免，诚恳希望读者批评指正。

编 著 者

2003 年 2 月

目 录

前言

第一章 汽轮机调节系统的基本概念	1
第一节 汽轮机自动调节的基本内容	1
第二节 汽轮机自动调节系统的发展	2
第三节 汽轮机自动调节系统的基本原理	3
第二章 功频电液调节系统	14
第一节 功频电液调节系统的工作原理	14
第二节 功频电液调节系统的静态特性	16
第三节 功频电液调节系统的反调现象	16
第三章 数字式电液调节系统 (DEH)	19
第一节 概述	19
第二节 数字式电液调节系统的组成	21
第三节 数字式电液调节系统的功能	24
第四节 数字式电液调节系统的运行方式	26
第五节 数字式电液调节系统的工作原理	26
第六节 汽轮机自动控制 (ATC)	34
第四章 数字式电液调节系统的数字系统	37
第一节 设定值处理和运算	37
第二节 高压主汽阀的数字系统	41
第三节 高压调节汽阀的数字系统	45
第四节 中压调节汽阀的数字系统	59
第五章 数字式电液调节系统的模拟系统	62
第一节 概述	62
第二节 高压主汽阀的模拟系统	64

第三节	高压调节汽阀的模拟系统	66
第四节	中压调节汽阀的模拟系统	69
第五节	超速保护控制系统	70
第六节	模拟系统的操作逻辑	74
第六章	电液调节系统中的主要部件	76
第一节	电子调节装置	76
第二节	阀位控制装置	79
第三节	配汽机构	86
第四节	跟踪滑阀	89
第七章	EH 油系统	92
第一节	抗燃油	92
第二节	EH 抗燃油系统中的主要设备	95
第八章	电液伺服执行机构	105
第一节	高压主汽阀的执行机构	105
第二节	中压主汽阀的执行机构	111
第三节	高压调节汽阀的执行机构	112
第四节	中压调节汽阀的执行机构	114
第九章	危急遮断系统	117
第一节	电磁阀及控制块	119
第二节	机械超速保护与手动遮断	124
第三节	危急跳闸装置 (ETS)	129
第十章	润滑油系统	136
第一节	供油系统	136
第二节	润滑油系统的主要设备	139
第十一章	数字式电液调节系统的运行维护与故障处理	152
第一节	数字式电液调节系统的正常运行	152
第二节	数字式电液调节系统的维护与故障处理	160
第三节	数字式电液调节系统的事故处理实例	161
第十二章	典型机组的数字式电液调节系统	164
第一节	几种改造方案的特点	164

第二节 50MW 机组的数字式电液调节系统·····	167
第三节 125MW 机组的数字式电液调节系统 ·····	168
第四节 200MW 机组的数字式电液调节系统 ·····	181
参考文献·····	215

第一章

汽轮机调节系统的基本概念

第一节 汽轮机自动调节的基本内容

汽轮机是大型高速运转的原动机，通常在高温、高压下工作，它是火电厂中最主要的设备之一。汽轮机调节的任务是，首先要保证汽轮机安全运行，其次要满足用户所需要的功率，再次要保证电网周波不变，因为周波过高、过低都将直接影响用户的正常工作，要求周波不变就是要求汽轮机的转速不变。汽轮机往往具有相当完善的自动控制系统，这些系统所包含的内容大体上可分成以下几个方面。

一、自动检测系统

为了监视汽轮机的工作情况，在汽轮机上设置了各种检测仪表，以监视其主要运行参数。这些仪表除了具有指示功能以外，有的还具备自动记录、报警等功能，在计算机的配合下，还可以实现趋势预测、事故追记、效率计算等数据处理功能。

目前，大容量汽轮机自动检测内容包括：发电机功率，新蒸汽压力与温度，真空度，监视段抽汽压力，润滑油压，调节油压，转速，油动机行程，转子轴向位移，转子与汽缸的相对膨胀，汽缸的热膨胀，汽缸与转子的热应力，汽轮机的振动，主轴挠度，轴承温度与润滑油温度，推力瓦温度，推力轴承油膜压力，油箱油位和上、下汽缸温差等。

随着汽轮机容量的不断增大，一套完善的自动检测系统是保证汽轮机安全运行必不可少的条件，大功率的汽轮机目前采用数据采集系统（DAS），完成对上述参数的自动测量、显示、报警和打印制表。

二、自动保护系统

为了保证机组的安全运行，在汽轮机上一一般设置了各种自动保护设备。当汽轮机的运行参数超出正常范围时，自动保护设备将根据情况及时动作，发出警报，提醒运行人员及时采取措施或自动采取措施。当运行参数超过机组安全运行允许的范围时，它将及时动作，使汽轮机自动停机，避免事故的进一步扩大。

目前，大功率汽轮机自动保护装置的主要内容有超速保护、低油压保护、轴向位移保护、差胀保护、低真空保护、振动保护等。

为了能够可靠地对汽轮机进行保护，对某些参数还采取了双重甚至多重保护，例如汽轮机的超速保护（OPC）。

三、自动调节系统

汽轮机带动发电机向外供电，由于电力用户要求提供足够数量的电能，并保证供电质量，因此汽轮机必须设置自动调节系统。电的频率是供电质量的主要标志之一，为了使电频率维持在一定的精确度范围之内，要求汽轮机具备高性能的转速自动调节系统。

除了转速调节系统以外，大功率汽轮机一般还具有汽封汽压调节系统、旁路调节系统、凝汽器水位调节系统及热应力控制系统，这些系统有的和转速调节系统连在一起，形成多变量调节系统，有的是独立系统。

四、程序控制系统

汽轮机的程序控制系统又称为汽轮机自启、停控制系统。目前，大功率汽轮机主要根据机组热应力来控制其自启、停过程的。

汽轮机采用自启、停，不但可以节约劳动力和减轻工作的劳动强度，而且还可以缩短启动时间，避免误操作，提高汽轮机运行的经济性和可靠性。

第二节 汽轮机自动调节系统的发展

汽轮机的自动调节系统已经有了相当长的历史，可以说，汽轮机在实现了自动化之后，也就是配备了调节系统之后才得到工程实际应用的。

一、机械液压式调节系统 (MHC)

早期的汽轮机调节系统是由离心飞锤、杠杆、凸轮等机械部件和错油门、油动机等液压部件构成的，称为机械液压式调节系统 (mechanical hydraulic control, MHC)，简称液调。其示意如图 1-1 所示。这种系统的控制器是由机械元件组成的，执行器是由液压元件组成的。通常只具有窄范围的闭环转速调节功能和超速跳闸功能，并且系统的响应速度较低，由于机械间隙引起的迟缓率较大，静态特性是固定的，不能根据要求任意改变，但是由于它的可靠性高，并且能满足机组运行的基本要求，所以至今仍在使用的。

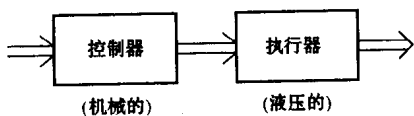


图 1-1 机械液压调节装置示意图

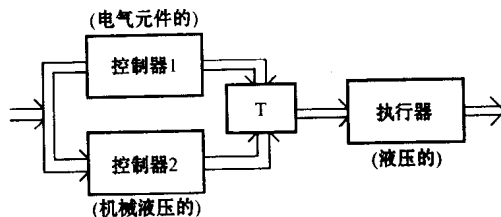


图 1-2 电气液压式调节装置示意图

二、电气液压式调节系统 (EHC)

随着机组单机容量的增加，再热机组的出现，单元制运行方式和滑压运行方式的采

用，机组的启、停次数随两班制运行方式的出现而增加，以及电网集中调度等问题的提出，对汽轮机调节系统提出了更高的要求，仅依靠机械液压式调节系统已不能完成控制任务。这时产生了电气液压式调节系统（electric hydraulic control, EHC），简称电液调节，其示意图如图 1-2 所示。

这种系统有两个控制器，控制器 1 由电气元件组成，控制器 2 由机械元件组成，执行部件仍保留原来液压部分。这种系统很容易实现信号的综合处理，控制精确度高，能适应复杂的运行工况，而且操作、调整和修改都比较方便。由于早期电气元件的可靠性还比较低，组成电路的可靠性还不能满足汽轮机调节系统的要求，因此保留了控制器 2 作为后备，当电调的电路因故障退出工作时，还有机械液压式调节系统接替工作，以保证机组的安全连续运行。

三、模拟式电气液压调节系统 (AEH)

随着电气元件可靠性的提高，20 世纪 50 年代中期，出现了不依靠机械液压式调节系统作后备的纯电调系统。开始采用的纯电调系统是由模拟电路组成的，称为模拟式电气液压调节系统（analog electric hydraulic control, AEH），也称模拟电调，其示意图如图 1-3 所示。这种系统的控制器是由模拟电路组成的，执行部件仍保留原有的液压部分，两者之间通过电液转换器相连接。

四、数字式电气液压调节系统 (DEH)

数字计算机技术的发展及其在过程自动化领域中的应用，将汽轮机控制技术又向前推进了一大步，20 世纪 80 年代出现了以数字计算机为基础的数字式电气液压控制系统（digital electric hydraulic control, DEH），简称数字电调，其示意图如图 1-4 所示。其组成特点是控制器用数字计算机实现，执行部件保留原有的不变。早期的数字电调大多是以小型计算机为核心的，微机出现后，数字电调也采用了微机。近年来，在分散控制系统发展的影响下，均采用了由分散控制系统组成的电调。本书主要介绍上海新华电站控制工程有限公司生产的汽轮机数字式电液调节系统。

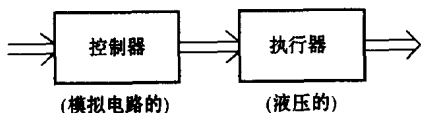


图 1-3 模拟式电气液压调节装置示意图

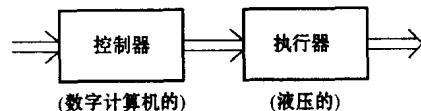


图 1-4 数字式电气液压控制装置示意图

第三节 汽轮机自动调节系统的基本原理

一、概述

电力生产对发电用的汽轮机调节系统提出了两个基本要求，一是保证能够随时满足用

用户对电能的需要；二是使机组能维持一定的转速，保证供电的频率和机组本身的安全。

汽轮发电机组的电功率与汽轮机的进汽参数、排汽压力、进汽量有关。如果汽轮机的进汽参数和排汽压力均保持不变，那么机组发出的电功率基本上与汽轮机的进汽量成正比，当电力用户的用电量（即外界电负荷）增大时，汽轮机的进汽量应增大，反之亦然。如果外界电负荷增加（或减少）时，汽轮机进汽量不做相应增大（或减小），那么，汽轮机的转速将会减小（或增大）。为使汽轮发电机发出的电功率与外界电负荷相适应，机组将在另一转速下运行，这就是汽轮机的自调节能。

若仅依靠自动调节能，将会使汽轮机转速产生很大的变化。这是因为外界电负荷的变化是很大的，仅依靠汽轮机的自动调节能，不但不能保证电能质量（电频率、电压），还会使发电机组并列困难。因此就必须在汽轮机上安装自动调节系统，利用汽轮机转速变化的信号对汽轮机进行调节。汽轮机调节系统总体上可划分为无差系统和有差系统两种。

（一）无差调节系统

一台汽轮发电机组单独向用户供电时，即孤立运行机组，根据自动控制原理，汽轮机调节系统可以采用无差调节系统。假设在某初始状态下，汽轮机的功率与负荷相等，其转速为额定值。由于某种原因，例如用户的耗电量增加，则发电机的反转矩加大，转子和转矩平衡遭到破坏，转速将要下降，这时汽轮机的调节系统将会动作，开大调节汽阀，增大进汽量，以改变汽轮机的功率，建立起新的转矩平衡关系，使转速基本保持不变。

采用无差调节系统的汽轮发电机组不利于并网运行，因此并网运行的汽轮发电机组几乎都采用有差调节系统。无差调节常被应用于供热汽轮机的调压系统中，使供热压力维持不变。

（二）有差调节系统

对于发电用的汽轮发电机组，其转速调节系统一般为有差调节系统。

1. 直接调节

图 1-5 是汽轮机转速直接调节系统的示意图，当汽轮机负荷减少而导致转速升高时，离心调速器的重锤向外张开，通过杠杆 2 关小调节汽阀 3，使汽轮机的功率相应减少，建立起新的平衡。负荷增加时，转速降低，重锤向内移动，开大调节汽阀，增大汽轮机的功率。由此可见，由于设置了调速器，不仅能使转速维持在一定的范围之内，而且同时还能自动保证功率的平衡。

该系统是利用调速器重锤的位移直接带动调节阀的，所以称为直接调节。由于调速器的能量有限，一般难以直接带动调节汽阀，所以应将调速器滑环的位移在能量上加以放大，从而构成间接调节系统。

2. 间接调节

图 1-6 是最简单的一级放大间接调节系统。在间接调节系统中，调速器所带动的不是调节汽阀，而是错油门。转速升高时，调速器 1 的滑环 A 向上移动，通过杠杆 2 带动错油门 5 向上移动，这时错油门滑阀套筒上的油口 m 和压力油管连通，而下部的油口 n 则和排油口相通。压力油经过油口 m 流入油动机 3 活塞的上腔，油动机活塞在上、下油压力之差的作用力推动下，向下移动，关小调节汽阀 4。转速降低时，调速器滑环向下移动，带

动错油门向下，这时油动机活塞下腔通过油口 n 和压力油路相通，而上腔则通过油口 m 和排油口相通，活塞上下的压力差推动活塞向上移动，开大调节汽阀。

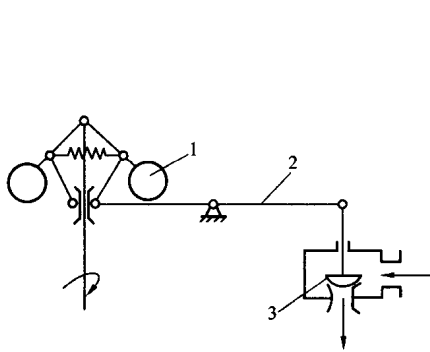


图 1-5 直接调节系统

1—飞锤；2—杠杆；3—调节汽阀

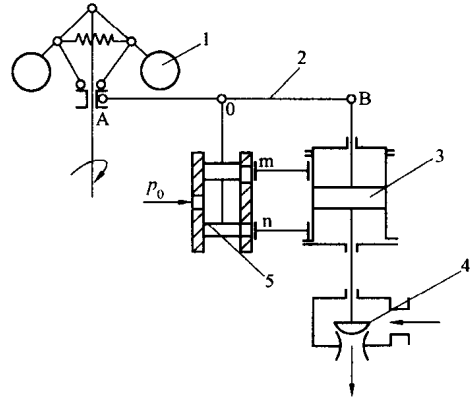


图 1-6 间接调节示意图

1—调速器；2—杠杆；3—油动机；

4—调节汽阀；5—错油门

从以上分析可知，一个闭环的汽轮机自动调节系统可分成下列四个组成部分：

(1) 转速感受机构。它是用来感受转速的变化，并将转速变化转变为其他物理量变化的调节机构。图 1-6 系统中的离心飞锤调速器就是转速感受机构的一种形式，它接受转速变化信号，输出滑环位移的变化。

(2) 传动放大机构。它是处于转速感受机构之后、配汽机构之前的，起着信号传递和放大作用的调节机构。图 1-6 系统中的滑阀、油动机以及杠杆属于传动放大机构，它感受调速器的信号（滑环位移），并经滑阀和油动机放大，然后以油动机的位移，传递给配汽机构。

(3) 配汽机构。它是接受由转速感受机构通过传动放大机构传来的信号，并能依此来改变汽轮机进汽量的机构。图 1-6 系统中的调节汽阀以及与油动机活塞连接的杠杆就属于

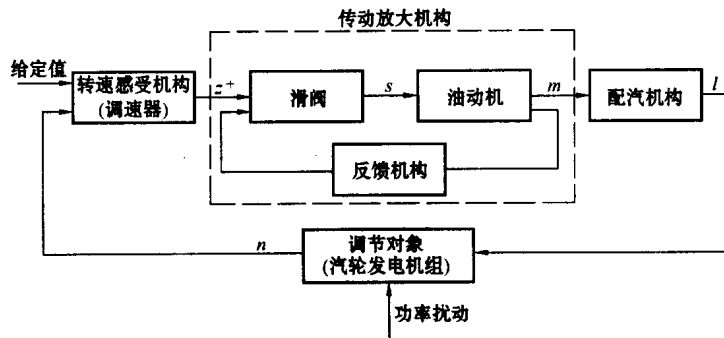


图 1-7 汽轮机调节系统框图

z —调速器滑环位移； s —油动机滑阀位移；

m —油动机位移； l —调节汽阀行程； n —汽轮机转速

配汽机构。

(4) 调节对象。对汽轮机调节来说，调节对象就是汽轮发电机组。当汽轮机进汽量改变时，汽轮发电机组发出的功率也相应发生变化。

图 1-7 是用框图表示的调节系统框图。从图 1-7 中可以很明确的看出调节系统各组成环节之间的关系。

二、汽轮机液压调节系统的静态特性

根据直接调节和间接调节的工作原理，可以看到汽轮机负荷变化时，汽轮机的转速也会相应发生变化。在稳定状态下，汽轮机的功率与转速之间的关系，称为调节系统的静态特性。静态特性曲线如图 1-8 所示。静态特性曲线可以通过计算或空负荷试验及带负荷试验的方法获得，也可以采用做图法。

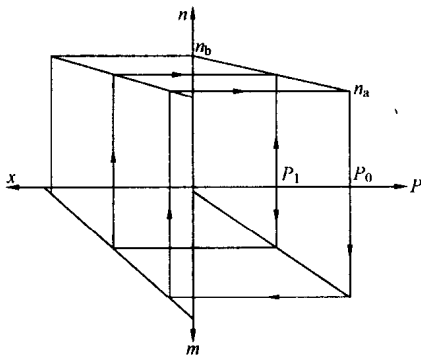


图 1-8 调节系统的静态特性曲线

(一) 静态特性曲线

确定调节系统的静态特性曲线需要预先知道组成系统各元件的静态特性，下面以图 1-6 的间接调节系统作为例子，说明怎样用做图方法来确定调节系统的静态特性。假设调速器的静态特性、油动机和错油门的静态特性和调节汽阀的升程流量特性均为已知。

为已知。

(1) 调速器的静态特性： $x = f(n)$ 。调速器转速 n 升高，则滑环的位移 x 也相应增大，静态特性曲线如图 1-8 的第 II 象限所示。

(2) 油动机和错油门的静态特性曲线 $m = f(x)$ 。滑环位移 x 越大，则油动机所带动的调节汽阀的开度 m 越小，静态特性曲线如图 1-8 的第 III 象限所示。

(3) 调节阀的升程流量特性曲线 $P = f(m)$ 。油动机行程 (m) 和汽轮机功率 (P) 之间存在着——对应的关系，如图 1-8 的第 IV 象限所示。

任意选定某一功率 P ，在第 IV 象限的曲线上可以找到所对应的油动机位移 m_1 ，按油动机位移 m_1 ，在第 III 象限上可以找到所对应的滑环位移 x_1 ，在第 II 象限的调速器特性上找到所对应的转速 n_1 ，最后按功率 P_1 和转速 n_1 绘在第 I 象限上，就得到了静特性线上的一个点。取不同的功率，按同样的方法，可以求得静特性线上的许多点，将这些点连接起来就得到汽轮机功率 P 和转速 n 的关系曲线，即汽轮机调节系统的静态特性。

(二) 转速不等率和迟缓率

1. 转速不等率 δ

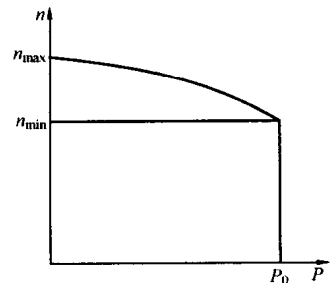


图 1-9 用绘图法绘制静态特性曲线

调节系统的静态特性曲线是一条连续倾斜的曲线，其倾斜程度可用调节系统的转速不等率 δ 表示。根据图 1-9 所示的静特性曲线，可找到从空负荷到满负荷的转速变化值 $\Delta n = n_{\max} - n_{\min}$ ，则调节系统的转速不等率为

$$\delta = \frac{\Delta n}{n_0} \times 100\% = \frac{n_{\max} - n_{\min}}{n_0} \times 100\%$$

式中 n_{\max} 、 n_{\min} ——空负荷和满负荷时对应的转速，r/min；
 n_0 ——额定转速，r/min。

δ 是调节系统最重要的指标，从自动调节原理的角度讲，它相当于调节系统的比例带，既反映了一次调频能力的强弱，又表明了稳定性的好坏。如果特性曲线平坦，即 δ 较小，则一次调频能力较强。一次调频是指在电网负荷变化后，电网频率的变化将使电网中各台机组的功率相应地增大或减小，从而达到新的功率平衡，并且将电网频率的变化限制在一定的限度以内。从调频能力看，似乎 δ 越小越好，但 δ 过小，易引起调节系统不稳定，甚至引起系统强烈振荡；相反， δ 过大，虽可使调节系统稳定，但不能保证供电频率在规定的范围内。可见， δ 的大小对供电质量和调节系统的稳定性有十分重要的影响。

一般 δ 的范围为 3% ~ 6%，常用的为 4.5% ~ 5.5%，带基本负荷的汽轮机转速不等率应比带尖峰负荷的取得大些，但是所谓基本负荷和尖峰负荷也是相对的，它是随单机功率增大而变化的。因此，一般希望将转速不等率设计成连续可调，即可按运行情况调整。

2. 迟缓率

由于调节系统各部套间的连续部分存在着间隙、摩擦力以及错油门重叠度等原因，使机组在加负荷过程和减负荷过程中，静态特性曲线是不重合的，中间存在着带状宽度的不灵敏区，如图 1-10 所示，不灵敏区的转速差和额定转速之比称为调节系统的迟缓率 ϵ ，也称为调节系统的不灵敏度，其关系式为

$$\epsilon = \frac{n_2 - n_1}{n_0} \times 100\%$$

式中 n_2 ——减负荷时，功率为 P_1 所对应的转速；
 n_1 ——加负荷时，功率为 P_1 所对应的转速。

由于加负荷与减负荷过程中，两条静态特性曲线不一定互相平行，即不灵敏区的宽度是不一样的。其中转速最大差值 Δn_{\max} 与额定转速 n_0 之比称为最大迟缓率，其关系式为

$$\epsilon = \frac{\Delta n_{\max}}{n_0} \times 100\%$$

调节系统迟缓率是一个重要的质量指标，一般要求越小越好。过大的迟缓率会引起机组的速度或负荷摆动，甚至引起调节系统不稳定。

(三) 静态特性曲线的平移和同步器

汽轮发电机组有两种基本运行方式：一种是单机运行，即在电网中只有一台机组向用

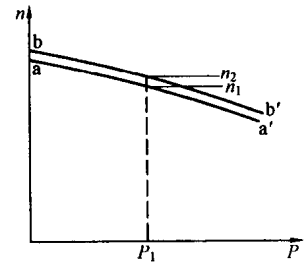


图 1-10 静态特性曲线上的不灵敏区

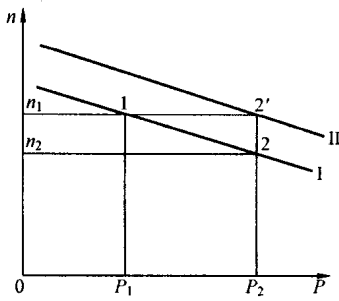


图 1-11 单机运行时平
移静态特性曲线的作用

户供电；另一种是并网运行，此时在电网中同时有两台或两台以上机组向用户供电。

单机运行时，机组的负荷即等于用户的耗电量。根据调节系统的静态特性，负荷变化时机组的转速将要变化，因为交流电的频率与发电机的转速成正比，所以在负荷增加时，电网的频率将按照静态特性而略有降低；负荷减少时，频率将略有上升，如图 1-11 所示，当功率由 P_1 增加到 P_2 ，则转速（频率）将由 n_1 下降到 n_2 。频率的变化显然是不希望，为了补偿频率的变化，在调节系统中附加了一种频率（即转速）调整设备，称为同步器。它的作用

是使静态特性曲线做平行的上下移动。从自动调节原理角度讲，操作同步器就相当于改变调节系统的给定值。当功率由 P_1 增加到 P_2 时，工作点由 1 移至 2，转速由 n_1 下降到 n_2 。如果此时把静态特性曲线由 I 平移至 II，则工作点将由 2 移至 2'，此时汽轮机的功率仍为 P_2 ，而转速则由 n_2 上升到 n_1 。可见，在单机运行时，平移静特性的结果是改变汽轮机的转速。汽轮机的功率则取决于外界的负荷，不受平移静态特性曲线的影响。

要实现静态特性曲线的平移，原则上只要对系统加入一个附加信号，使第 II、III、IV 象限中任意一个元件的静态特性曲线做平行移动即可，但是第 IV 象限中的油动机行程与汽轮机功率的特性曲线实际上是无法对之施加信号，使之平行移动的。

对于电液调节系统，静态特性曲线的平移是通过附加给定信号来实现的。附加给定信号作用在测速元件上，它的作用是平移测速元件的静态特性曲线，称为转速给定；附加给定信号作用在测速元件后的综合放大器上时，它的作用就是平移放大机构的静态特性曲线，称为功率给定。转速给定的作用是改变汽轮机的转速，而功率给定的作用则是改变汽轮机的功率。

(四) 并网运行时的分配特性和二次调频

许多汽轮发电机联成一个电网是近代大规模供电方式。由于各台发电机有共同的转速，就好像机械地连接在一起。在这种情况下，各机组调节系统的作用将受到互相牵制。每一台机组的转速都取决于电网的频率，而电网的频率又由所有机组的调节系统综合工作所决定。因此，分配给电网中每台机组的负荷取决于各台机组调节系统的静态特性。

假设在电网中只有两台机组，它们的静态特性如图 1-12 所示。设电网的频率是 f_1 ，与 f_1 相应的转速是 n_1 ，根据两台机组的静态特性。I 号机和 II 号机的功率分别是 P'_I 和 P'_{II} ，两台机组所发出功率的总和 ($P'_I + P'_{II}$) 应等于用户所消耗的功率 P'_L 。设电网的负荷增加了 ΔP_L ，使电网的频率从 f_1 下降到 f_2 时，机组的转速从 n_1 下降到 n_2 ，由静态特性曲线可知，I 号机和 II 号机的功率分别增大到 P''_I 和 P''_{II} ，而且必然有 $\Delta P_L = \Delta P_I + \Delta P_{II}$ 的关系，这里 I 号机的功率变化 (ΔP_I) 比较大，而 II 号机其功率变化 (ΔP_{II}) 比较小，可见静态特性曲线平坦的机组比静态特性曲线较陡的机组承担的功率大。也就是说，转速不等率越大，则电网频率变化时，功率变化较小；而转速不等率越小，则电网频率变化时，功率变化越大。

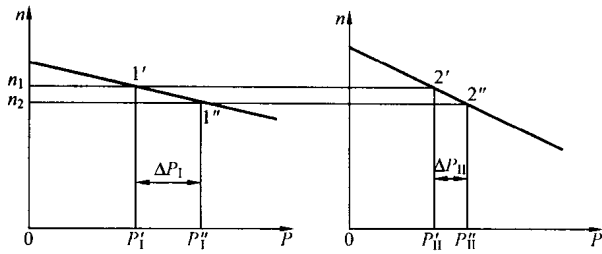


图 1-12 并网运行时的负荷分配

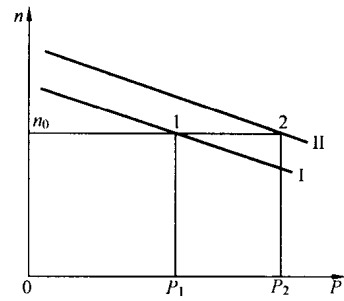


图 1-13 并网运行时平移静态特性曲线的作用

并网运行时，也可以利用同步器平移某一台机组的静态特性曲线。但是它的作用将不是改变它的转速，而是改变它的功率。因为在一个电网里一般都有很多台发电机组同时向用户供电，每一台机组功率的变化对电网频率的影响可以认为是很微小的，所以可以近似地把电网频率看成是固定不变的常数。如图 1-13 所示，当把某一台机组的静特性由 I 平移到 II 时，由于电网的频率恒定不变，实际上电网的频率将略有升高，使其他机组的功率略有减少。这一台机组的功率增长恰好为其他机组功率的减少所抵消。因为电网中机组的台数很多，所以频率的变化和单机运行时相比要小很多。电网的调度人员正是利用这种办法来调整电网的频率，使之保持在额定值的范围内。这种调整频率的作用称为二次调频。

(五) 静态特性曲线的平移范围

同步器的行程，也即静态特性曲线的平移范围应该能够满足汽轮机运行的要求。

在并网运行时，同步器的功能是改变汽轮发电机组的功率。所以，在电网频率不变，而且蒸汽的初温初压和背压都是额定值时，同步器的行程至少应使汽轮机的功率能够在零到额定功率之间做任意的变动。如图 1-14 所示，同步器的行程至少应该使调节系统静态特性曲线的变动范围等于它的转速不等率 δ 。但实际上电网频率是变化的，它可能高于额定值，也可能低于额定值，另外，蒸汽的初温、初压和背压都可能偏离额定值。为了使机组在电网低周波时仍能减负荷到零或者仍能并入电网，要求同步器的行程能够使静态特性曲线在降低转速的方向再向下移动 3%~5%。另外，为了使机组在初温、初压降低，背压升高同时在电网频率升高时也能带上满负荷，要求同步器的行程能够在转速升高的方向再增加 1%~2%。

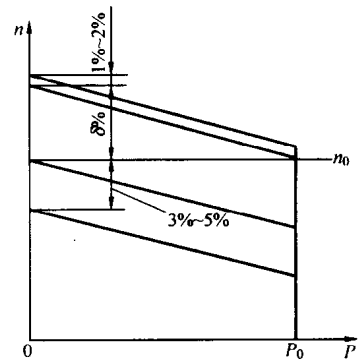


图 1-14 同步器的移动范围

同步器在降低转速方向扩大行程是没有害处的，实际上，在某些调节系统中，由于调速器几乎从零转速开始就有信号输出，所以同步器只要在低转速方向有足够的行程范围，就可以使机组在低转速时可以受到转速调节系统的控制，并利用同步器来使汽轮机升速并带上负荷。但是同步器在使汽轮机升速方向上若有过大的富裕行程是不适宜的，因为在操

作不当时，它可能使调节系统在甩负荷时的性能恶化。

(六) 静态特性的合理形状

在汽轮机运行时，必须保持发电机频率恒定，但是当机组负荷变化时，汽轮机转速将按静态特性曲线变化。实践表明，静态特性曲线的形状如果不符合要求，将有可能引起调节系统不稳定等不正常的现象。

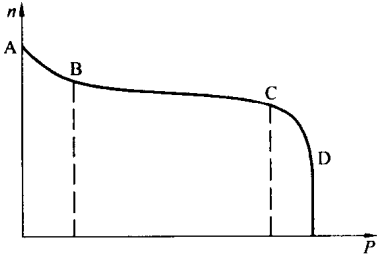


图 1-15 合理的静态特性曲线

一般认为静态特性曲线的形状应该考虑以下几个方面：

(1) 曲线的初始段，要求静态特性曲线的斜率大一些。

(2) 在额定功率附近，静态特性曲线的斜率也应大一些。

大一些。

(3) 静态特性曲线的中间段应该平滑地过渡，不允许出现斜率过小，甚至为零或者为负的现象，以避免出现局部不稳定。合理的静态特性曲线形状示意图如图 1-15 所示。

三、液压调节系统的动态特性

调节系统静态特性描述的是各稳定状态下功率与转速的对应规律，它与两状态之间的过渡过程无关。调节系统动态特性描述的是调节系统受到扰动后，被调量随时间的变化规律。研究调节系统动态特性的目的是：判别调节系统是否稳定，评价调节系统品质以及分析影响动态特性的主要因素，以便提出改善调节系统动态品质的措施。

(一) 动态特性指标

对液压调节系统来说，一方面，转速是被调量，过高的转速会威胁设备运行安全；另一方面，可能出现的最恶劣扰动是机组甩全负荷，它是一个幅度最大的阶跃扰动信号。期望调节系统在此扰动下具有良好的调节性能。所以，研究甩全负荷时机组转速变化的动态特性指标，具有典型的代表意义。

1. 稳定性

图 1-16 为汽轮机甩全负荷时，转速的几种变化过程。图 1-16 (a) 上的三条过程线，都随时间 t 的加长而最终趋于由静态特性决定的空负荷转速 n_1 。这样的过程被称为过渡过程。图 1-16 (b) 所示的三条过渡曲线，转速围绕 n_1 做不衰减的谐振（曲线 d），或者振幅随时间 t 逐渐增大（曲线 e），或者偏离额定转速后便一直扩散开去（曲线 f）。这些过程统称为不稳定过渡过程。图中纵坐标量为转速相对值，即 $\varphi = n/n_0$ 。

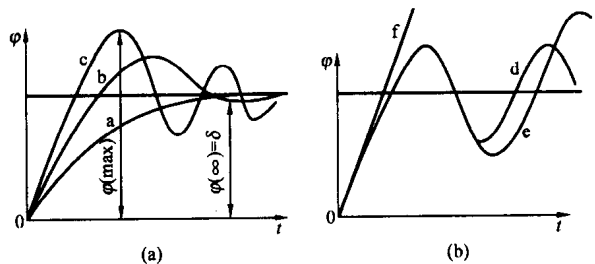


图 1-16 机组甩全负荷时的转速过渡过程

(a) 稳定过程；(b) 不稳定过程

生产工艺要求转速调节的过渡过程必须是稳定的，但其过渡过程可以是单调的，也可