

东北电网有限公司  
大连培训中心

# 汽轮机调速系统

周宝明 主讲



# 汽轮机调速系统培训教程

第一章 调整系统的特征

第二章 中间再热式汽轮机的调整

第三章 汽轮机保护装置

第四章 汽轮机供油系统及主要设备



# 第一章 调整系统的基本概念

## 第一节 调整系统的任务及构成

### 一、汽轮机调整系统的任务

- 1 供给顾客足够的电力，及时调整汽轮机的功率以满足外界的需要。
- 2 使汽轮机的转速一直保持在额定范围内，从而把发电频率维持在额定值左右。



$$I(dw/dt) = M_e - M_{e1}$$

用电负荷降低，则反动力矩 $M_{e1}$ 相应降低，假如主动力矩 $M_e$ 应保持不变，则 $M_e - M_{e1}$ 不小于零， $(dw/dt)$ 不小于零，即转子的角加速度增长。反之则。

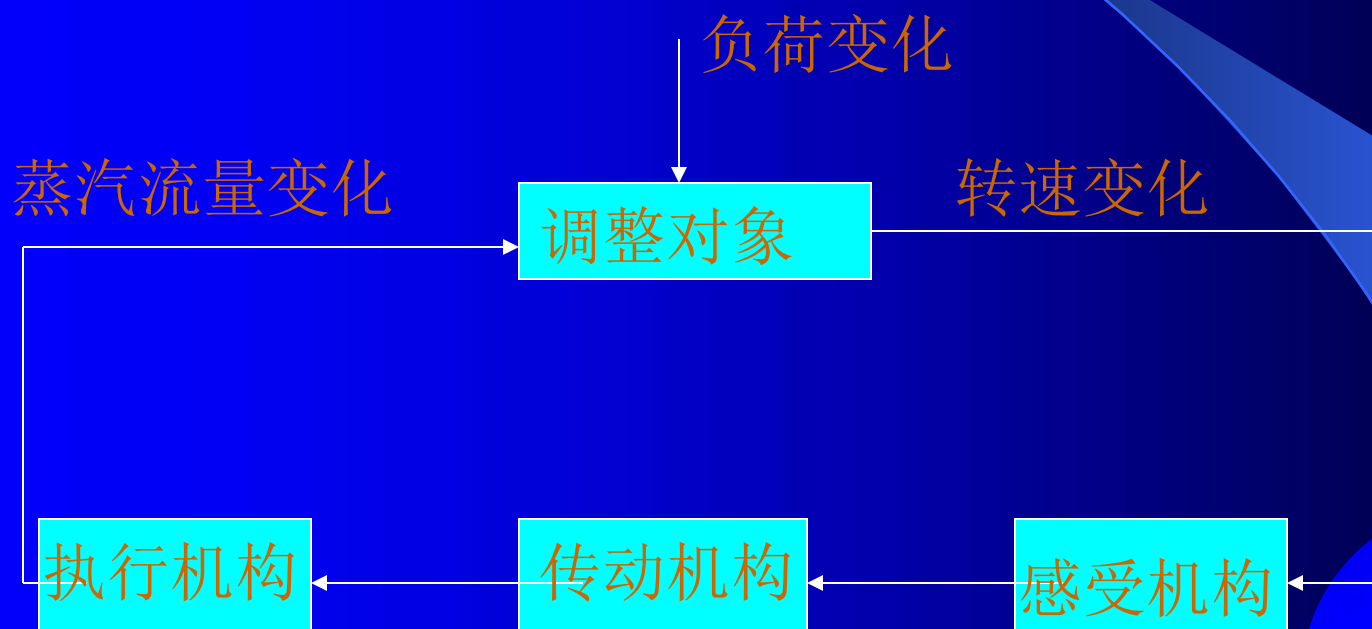
由此可见，汽轮机转速的变化取决于输入、输出功率的平衡，就能使转速稳定，不然转速就发生变化。汽轮机调整系统的功能就是感受转速的这种变化，控制调整汽阀，使输入和输出功率重新平衡，并使转速保持在要求范围内。



## 二、汽轮机调整系统的构成

(一) 直接调整

(二) 间接调整



## 第二节 国产经典凝汽式汽轮机调整系统

一、具有旋转阻尼调速器的液压调整系统

二、具有高速弹簧片调速器的液压调整系统

三、具有径向钻孔调速油泵的液压调整系统

四、凝汽式汽轮机调整系统的特点



### 第三节 汽轮机调整系统静态特征

整个调整系统的输入量是汽轮机的转速 $n$ ，输出量是汽轮机的功率 $p$ ，在静态下它们之间的相应关系即为调整系统的静态特征，其关系曲线称为调整系统的静态特征曲线。

调整系统的静态特征能够体现为

$$\frac{\Delta P}{\Delta n} = \frac{\Delta x}{\Delta n} \frac{\Delta m}{\Delta x} \frac{\Delta P}{\Delta m}$$

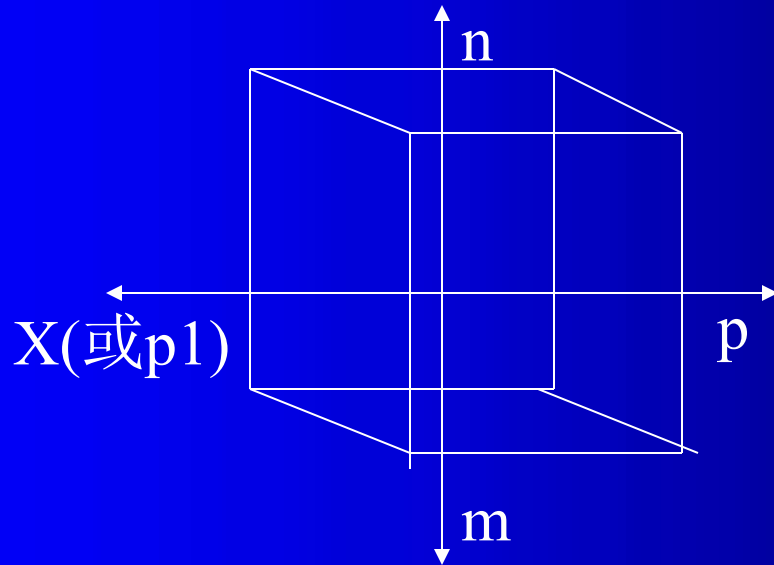
汽轮机调整系统的静态特征曲线能够近似地看做直线



## 一、调整系统静态特征曲线地绘制

调整系统静态特征曲线，不能直接求出，调整系统静态特征曲线一般是经过试验措施求得。即经过四象限图间接求得调整系统静态特征曲线。

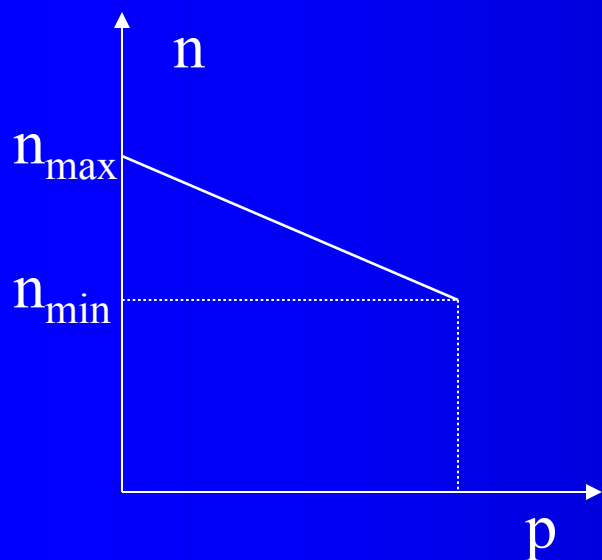
四象限图的绘制:





## 二、速度变动率和缓慢率

### (一) 速度变动率

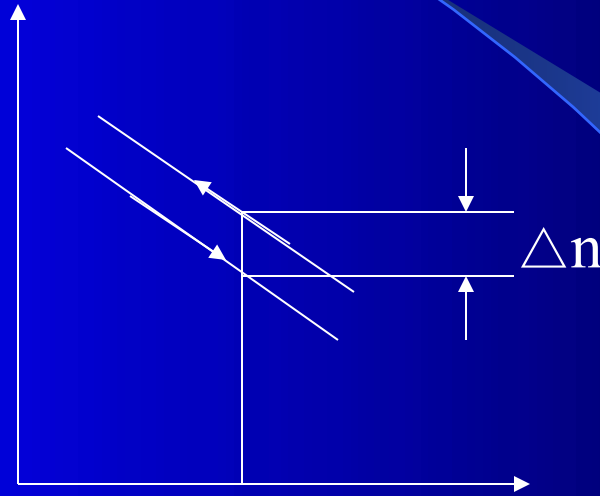


$$\delta = \frac{n_{\max} - n_{\min}}{n_0} \times \frac{100}{100}$$

速度变动率是衡量调整系统品质的一种主要指标，它反应了汽轮机因为负荷变化所引起转速变化的大小：速度变动率越大，反应在静态特征上越陡；反之静态特征曲线越平。



## (二) 缓慢率



$$\mathcal{E} = \frac{\Delta n}{n_0} \times \frac{100}{100}$$



缓慢率对汽轮机的正常运营是十分不利的，因为它延长了汽轮机从负荷发生变化到调整阀开始动作的时间，造成汽轮机不能及时适应外界负荷的变化。

假如缓慢率过大，在汽轮机忽然甩负荷后，将使转速上升过高以致引起超速保护装置动作；对孤立运营的机组，将产生较大的负荷摆动，对并列运营机组，将会产生较大的负荷漂移。

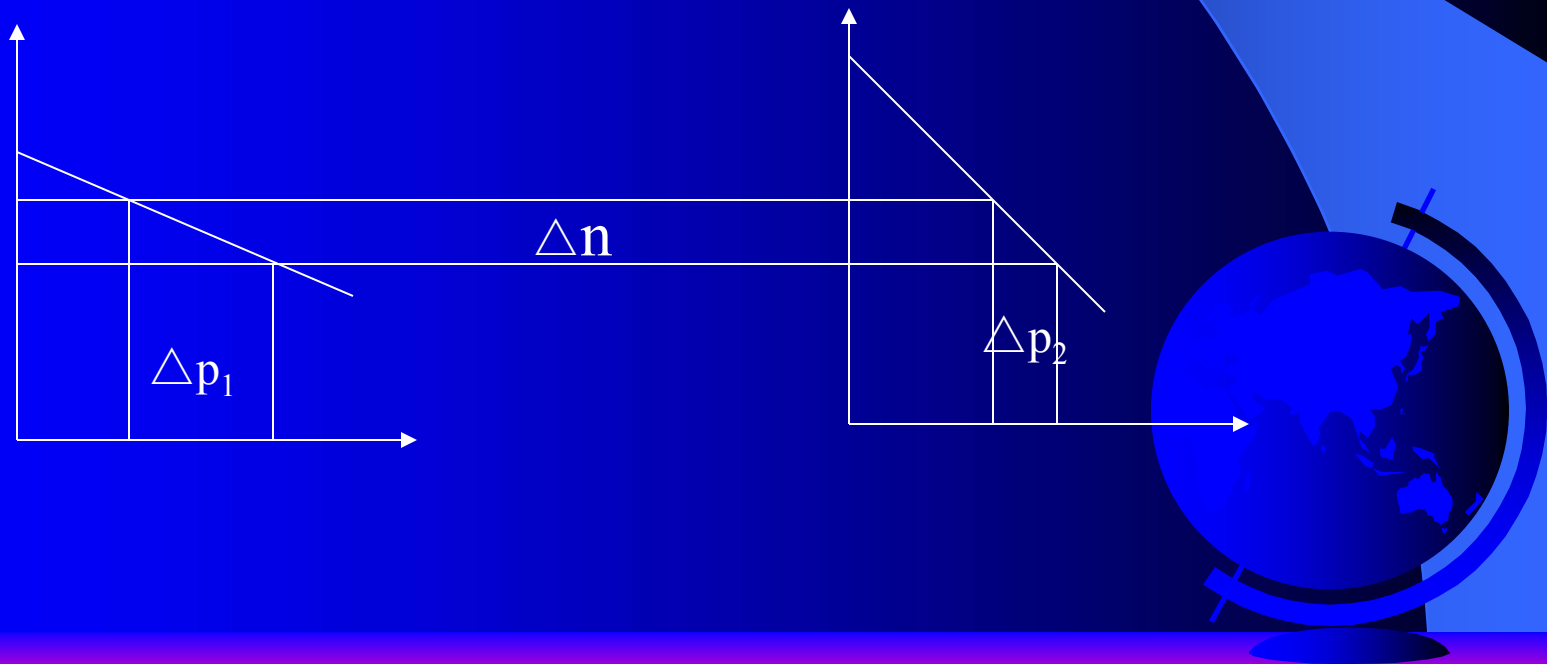
由此可见缓慢率是反应调整系统品质的又一主要指标。



### 三、速度变动率和缓慢率对并列运营机组的影响

#### (一) 速度变动率对并列运营机组负荷分配的影响

一次调频：当外界负荷发生变化时，将使电网频率发生变化，从而引起电网中各机组均自动地按其静态特征承担一定的负荷变化，以降低电网频率地变化。



**结论：** 并列运营机组当外界负荷变化时，速度变动率越大、机组的额定功率越小，分配给该机组地变化负荷量就越小；反之则越大。所以待基本负荷的机组其速度变动率应选大某些，使电网频率变化时负荷变化较小，即降低参加一次调频作用。而带尖峰负荷的调频机组，速度变动率应选小某些。



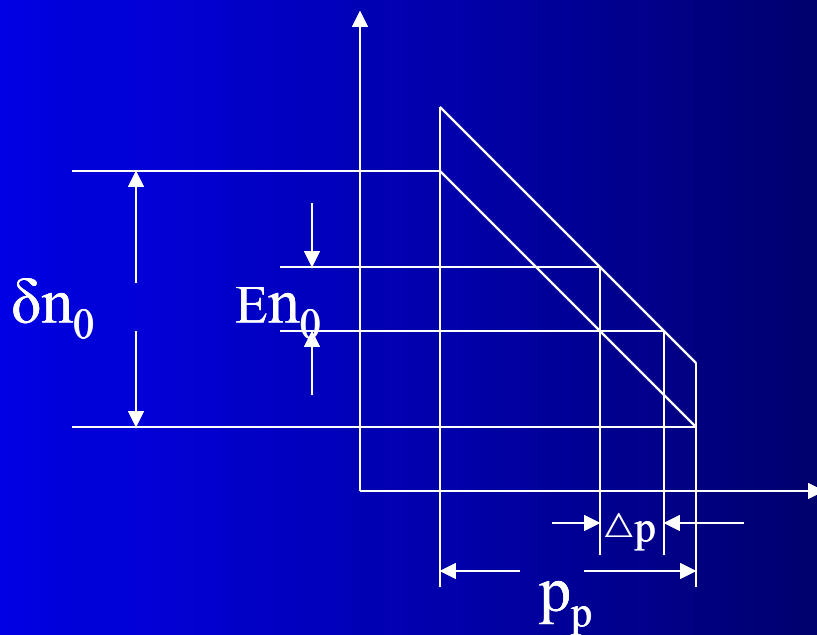
## (二) 缓慢率对运营的影响

(1) 机组孤立运营时，造成机组转速摆动，其波动范围（相对值）即为 $\varepsilon$

(2) 机组并列于电网运营时，因为转速决定于电网频率，不能任意摆动，这种单值相应关系的破坏则反应在功率上，造成功率可在一定范围内自发变化。

$$\frac{En_0}{\delta n_0} = \frac{\Delta p}{P_p}$$

$$\Delta p = \frac{E}{\delta} P_n$$



## 第四节 同步器

### 一、同步器的作用和原理

必须指出：一次调频不能维持电网频率不变，只能缓解电网频率的变化程度。这时需要同步器增、减某机组的功率，以恢复电网频率，这一过程称为二次调频。

只有经过二次调频后，才干精确的使电网频率保持恒定。

显然，因为有了一次调频的存在，二次调频的承担就大大减轻了。



## 二、同步器的类型

### 1.变化弹簧初紧力的同步器

具有旋转阻尼调整系统中的同步器即为变化弹簧初紧力的同步器

### 2.变化杠杆支点位置的同步器

具有高速弹簧片调速器的调整系统中的同步器即为变化杠杆支点位置的同步器





# 第五节 调整系统的动态特征及对调整系统的要求

## 一、调整系统动态特征简介

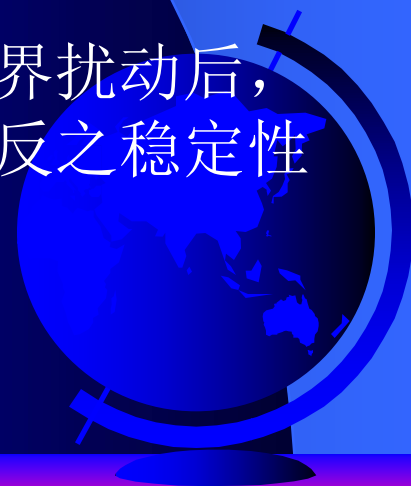
### (一) 调整系统的稳定性

#### 1. 速度变动率

理论和实践都证明：速度变动率越大，系统的动态稳定性越好，反之稳定性越差。

#### 2. 缓慢率

缓慢率越小，调整系统的反应越快，当有外界扰动后，系统就能不久的稳定下来，即稳定性越好。反之稳定性越差。



### 3.汽轮机转子飞升时间常数

转子飞升时间常数能够了解为当转子上受到额定蒸汽力矩的作用，转子从静止升至额定转速时所需要的时间。显然，转子飞升时间常数越小，越轻易升速，控制就越困难。系统稳定性就越差，反之则越好。

### 4.油动机时间常数

油动机时间常数的物理意义为：当滑阀油口在最大开度时，油动机从全开到全关所需要的时间。这一时间的长短决定了油动机动作的快慢。显然，油动机时间常数越小油动机动作越迅速，调整系统的稳定性也就越好，反之稳定性越差。

### 5.容积时间常数

汽轮机中有某些有害容积的存在，使得调整气阀开度变化后经过汽轮机的蒸汽流量不能立即变化到应由数值，这种现象对调整过程是不利的。这种不利的程度能够用容积时间常数来反应。



# 第二章 中间再热式汽轮机的调整

## 第一节 中间再热式汽轮机的调整特点

### 1、凝汽式汽轮机的调整系统特点

- （1）用高压调整汽门动态过调措施来弥补中、低压缸功率滞后。
- （2）设置中压调速汽门以降低甩负荷时中间再热容积中蒸汽造成的超速。
- （3）设置旁路系统以处理负荷机炉特征不匹配的问题。

### 2、抽汽式汽轮机的调整系统特点

为了确保电热两种负荷分别变化时，调整一负荷而不影响另一负荷，调整系统应满足某些自治条件：第一静态自治条件—电负荷变化热负荷不变时的自治条件；第二静态自治条件—热负荷变化电负荷不变的静态自治条件。

如图7-3所示



[返回](#)

## 第二节 经典调整系统

### 一、上海汽轮机厂生产的N300汽轮机调整系统

在运营时，由连接于转子前端的旋转阻尼出来的一次油压 $P_1$ 信号送至放大器，一次油压变化经放大后形成二次油压 $P_2$ ，送至低油压选择器，与负荷限制器输出油压 $P_x$ 在低油压选择器中进行低值比较，比较后的低油压信号 $P_A$ ，经1:1流量放大器流量放大后输出控制油压 $P_a$ ，经磁力断路油门控制8只油动机用以操纵高压调整汽门的开度。

中压调整汽门的控制是由主汽门油动机控制油压 $P_K$ 与高压油动机控制油压 $P_a$ 在低油压选择器B中进行低值比较，比较后的低值油压信号 $P_B$ 经1:1流量放大器流量放大后得到控制油压 $P_b$ ，经磁力断路油门控制4只中压油动机，操纵中压调整汽门的开度。

- 在冷态开启时，由主汽门开启，高压调整汽门的控制油压很高，所以高压调整汽门全开，而中压调整汽门就随主汽门进行调整。当主汽门切换到调整汽门控制后，主汽门油压升高，主汽门全开，而由高压调整汽门控制机组，当机组负荷到达30%额定负荷后，中压调整汽门全开，就不进行节流调整了，以提升经济性。
- 中压主汽门受安全油控制，只要安全油一建立，中压主汽门就全开，所以中压主汽门只能全开或全关，不参加调整。



- 二、哈尔滨汽轮机厂生产的N600型汽轮机调整保安系统
- 按设计，600MW机组正常运营时，是以电调系统为主进行工作的，液压调整系统处于备用状态。当电调系统出现故障时，能自动切换到液压调整系统控制运营。为了使切换时不出现功率扰动，造成冲击，要求液压调整系统一直跟踪电调系统。为此，在中间错油门上设有一种模拟油口c，并设计有切换跟踪错油门。当液压调整系统的状态与电调系统的状态不相符时，跟踪错油门上的电触点便接通了同步器上的电机，使之转动，变化液压调整系统（给定）状态，以与电调系统的状态想一致。
- 为了确保汽轮机在甩掉全负荷时动态超速能维持在允许的数值下列，故在系统中设计有超速限制错油门。



## 第三节 功率—频率电液调整

### 一、功率—频率电液调整的提出

液压式调整系统由调速器感应转速（频率）的变化，经过调整系统去控制调整汽阀的开度，是一种单冲量的转速调整或频率调整。

伴随机组功率的增长，单元制和再热机组的采用，这种单冲量调整已经不能满足电网的要求，给汽轮机调整提出某些列问题。



(1)再热汽轮机采用单元制后，在机组负荷变化较大时，汽轮机进汽压力也发生变化(直流炉更明显)，造成汽阀开度相同的条件下，蒸汽流量发生变化，再加上蒸汽压力变化引起的蒸汽做功变化，使得汽阀开度与功率之间的百分比关系发生较大的变化。而这个恒定的百分比关系是单冲量频率调整的一种主要前提，因为只有满足这个前提，才干满足在

一定的转速变化下，有一相应固定不变的功率变化，适应外界负荷变化的要求。不然势必引起转速(频率)的进一步变化，延滞调整的过渡过程，造成电网频率和调整系统的不稳定





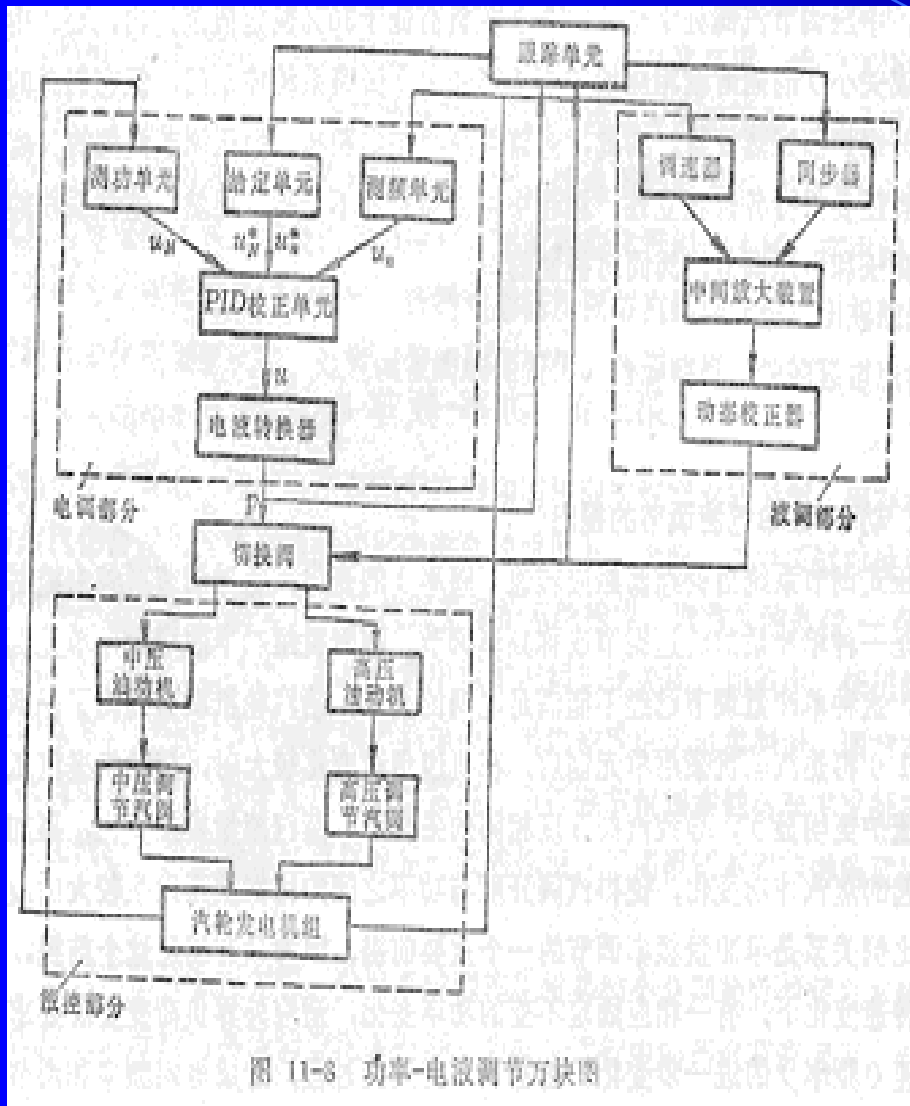
(2) 因为再热汽轮机存在中间再热容积，使得中、低压缸的功率变化滞后于调整汽阀的变化，这也破坏了汽阀开度与功率之间的变化关系，使得单冲量的频率调整难于适应电网对汽轮机调整系统的要求。



(3) 此前所讲的调整，都是假定在汽轮机的初、终参数不变的条件下外界负荷变化进行的调整。但汽轮机运营时，凝汽器真空，蒸汽的初参数的任何变化也会造成汽轮机功率的变化。汽轮机初、终参数的变化对汽轮机的干扰称为内部扰动，简称内扰，外界负荷的变化对汽轮机的干扰称为外部干扰，简称外扰。单冲量的频率调整在外扰时可借助于调速器的动作，调整汽轮机的功率。但产生内扰时却不能借助调速器来调整汽轮机的功率，这就是说单冲量的频率调整没有抗内扰的能力。而双冲量的功率—频率调整采用功率和频率两个冲量综合起来去控制调整汽阀，取得了比频率调整要好得多的效果。



## 二、功频—电液调整的基本原理



图示为功频电液调整的原则性方框图。主要由电调和液控两大部分构成。液控部分即错油门和油动机构造，电调部分由测频单元，测功单元，给定单元，百分比微分积分校正单元（PID）和电液转换器等构成。对于电调、液调并存的机组还设有液调部分和电液跟踪单元，确保电调和液调一直同步，以便随时切换之用。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/678134064120006116>