

技工學校交流讲义

汽輪机設備及运行

下 册

陕西省电力局技工学校編

学校内部使用



中国工业出版社

本书为“汽轮机设备及运行”的下册。书中介绍汽轮机调整系统和保护系统简单的工作原理和其主要设备的结构，说明汽轮机的油系统和主要部件，最后还介绍了汽轮机运行的基本知识及在变动工况下的运行知识。

本书由陕西省电业局技工学校石瑩紹、孙志文、李馥，贵州水利电力专科学校王明灿，辽宁电力技工学校方淑琴，望亭电力技工学校任有才编写和修订；并经陕西省电力设计院陈茂松，水利电力部技改局張游祖、李康、施維新、梁承猷审查，最后由山东电力技工学校管美荣修改。

本书作为电力技工学校内部教学用书。

汽轮机设备及运行

下册

陕西省电业局技工学校编

水利电力部办公厅图书编辑部编辑（北京阜外月坛南营房）

中国工业出版社出版（北京修麟园路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第116号）

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本787×1092毫米·印张69/16·插页3·字数145,000

1963年6月北京第一版·1963年6月北京第一次印刷

印数0001—4,440·定价(8-3)0.66元

*

统一书号：K15165·1264(水电-232)

目 录

第十二章 汽輪机的調整原理	3
第一节 汽輪机調整的基本概念	3
第二节 間接調整系統	13
复习思考題	26
第十三章 汽輪机調整系統的构件	27
第一节 調速器	27
第二节 錯油門	31
第三节 伺服馬达	32
第四节 調整系統的靜态特性	37
第五节 同步器	41
复习思考題	48
第十四章 汽輪机的保护装置	49
第一节 保护装置的一般說明	49
第二节 防止轉数升高的保护装置	50
第三节 防止油压降低的保护装置	60
复习思考題	63
第十五章 自动主汽門及配汽机构	63
第一节 自动主汽門	63
第二节 調节汽門	67
复习思考題	74
第十六章 油系統	75
第一节 油系統的一般說明	75
第二节 油箱	77
第三节 主油泵	80
第四节 輔助油泵	86

第五节	冷油器	88
第六节	减压油門	91
第七节	溢油門	93
第八节	油系統工作失常及处理	95
第九节	典型油系統介紹	95
	复习思考題	97
第十七章	汽輪机調整及保护系統	97
第一节	国产液压式調速器的調整系統	97
第二节	国产无絞节离心調速器的調整及保护系統	105
第三节	BK-50-3型汽輪机調整及保护系統	108
第四节	АПТ-12-1型汽輪机調整及保护系統	115
第五节	汽輪机調整系統的基本要求、常見缺陷及消除方法	119
	复习思考題	130
第十八章	汽輪机的起动和停机	130
第一节	汽輪机起动时的物理現象	130
第二节	汽輪机的起动	134
第三节	汽輪机的正常运行中的維護	156
第四节	汽輪机的停机	166
	复习思考題	173
第十九章	汽輪机的变工况及事故处理	173
第一节	級的变工况	174
第二节	多級汽輪机的变工况	175
第三节	蒸汽规范不合乎設計值时的运行	186
第四节	汽輪机事故处理	191
	复习思考題	208
	主要参考书	208

第十二章 汽輪机的調整原理

第一节 汽輪机調整的基本概念

一、汽輪机調整的原理和任务

发电厂的生产任务，就是为了滿足人們在生产和生活中的需要而生产电能。使用发电厂的生产成品——电能的人們或企业，称为发电厂的用戶。

因为生产交流电有許多优点，所以現代发电厂通常都是生产交流电。然而交流电是无法儲存的，不能象其他企业一样，生产出来的产品可以放在仓库中保存起来，当用戶需要这些产品的时候，随时可以运出。

上述特点，决定了发电厂必須随时根据用戶的需要，改变自己的生产量即输出的电能量，否則将引起电路上的周波变化。

发电厂供給用戶的电能，不仅在数量上要滿足用戶的需要，而且在质量上也必須合乎要求。其质量是以周波与电压来衡量的。

汽輪发电机的工作是由作用与反作用力矩的平衡关系所决定的，即决定于汽流在叶片上作用力的力矩 M_n 与发电机实际負載力矩 M_s 及汽輪机和发电机有害阻力所引起的力矩 M_m 之間的关系，以公式表示可写成：

$$M_n = M_s + M_m$$

或
$$M_n - M_s - M_m = 0.$$

如果破坏了上述平衡，汽輪发电机的轉速不是上升，就是下降。如电負荷改变，电网中某些电动机停止運轉，負載

力矩 M 减少时，若蒸汽流量及参数仍没有改变，这时由于出现了剩余的蒸汽力矩，将使汽轮机在另一新的较高的角速度下工作。

汽轮发电机在运行过程中，它的转速只允许在很小范围内变动，这是用户也是汽轮机本身提出的要求。因为汽轮发电机转速变化，必然引起电路中周波的变化，而周波的变化是不许可的。许多例子都可以说明这个问题，如周波变化时，用户所使用的感应电动机转速就要变化，电钟的指示就要不准确了；电影院上演的电影将要变快或变慢；电唱机的声音也要变化。对发电厂本身来说，周波变化将使电动机转速变化，那么水泵及风机的转速也一定要有变化的。更重要的是转速变化时很可能会引起汽轮机的工作叶片的不正常振动，甚至会因此损坏叶片。为了满足用户对电的品质（电压频率）的要求，同时也为了保证汽轮发电机组的运行安全性，必须设法对汽轮机进行调节。因此，为保证供电品质及保障机组安全，所有汽轮机都装设有调整系统。其基本任务是：当负荷改变时，能使转速的偏差不超过所规定的范围；而在正常工况下，又必须能保持转速不变。

为了完成上述任务，对调整系统动作要求就应该是：当负荷改变时，相应地改变蒸汽流量或参数，使蒸汽力矩与负载力矩相适应，机组仍在不超过所规定范围内的转速下稳定地工作，处于稳定工况。所谓稳定工况是指在这种工况下，该机组的所有参数——蒸汽的压力、温度、蒸汽流量以及外界负荷等——在长时间内，始终保持不变。

稳定工况只有当作用力矩和反作用力矩精确地平衡时才能达到。如这两个力矩未完全平衡时，则剩余力矩将使旋转部分产生角加速度。不难看出角加速度是与不平衡力矩成正比

比的。因此調整系統可以是这样：当外界負荷改变，力矩平衡被破坏，出現了角加速度时，它即动作，从而影响配汽机构产生相应变化，使蒸汽力矩与負載力矩的改变相适应。

在外界負荷已經改变，而蒸汽力矩尚未作相应的改变以前，汽輪发电机的轉数将会发生变化，調整系統正是利用这一轉数变化来作为改变蒸汽作用力矩的冲力的。因而，在調整系統中，應該有感受角速度变化的感应机构，感应机构的动作是与稳定工况被破坏的程度(即剩余力矩)成正比例的。

因此，調整系統必須能感受到轉数变化的影响，同时能够改变蒸汽力矩 M_n 的值。

近代汽輪机的調整系統，常采用离心調速器或直接装在汽輪机主軸端部的离心式油泵作为感应机构。

二、汽輪机調整系統的組成及分类

1. 調整系統的組成

图12-1表示汽輪机調整系統組成机构的簡图。

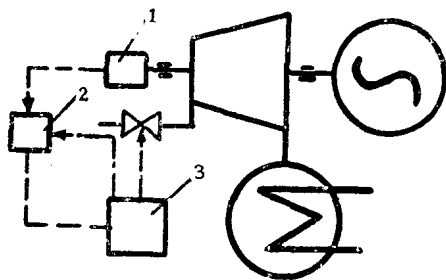


图 12-1 汽輪机調整系統示意图

1—感应机构；2—傳动机构；3—执行机构。

1 为感应机构，它是調整系統中的敏感元件，在汽輪发电机轉子上有不平衡力矩时，轉子轉数变化而使它动作，再通过傳动机构傳达到执行机构上。2 为傳动机构，它的作用是将感应机构所感受的外界負荷的变化，傳达到执行机构上去。一般調整系統中所采用的傳动机构是指錯油門系統。3 为执行机构，它的作用就是执行来自感应机构的全部指示。在汽輪机中，这一机构就是指伺服馬达。

2. 調整系統分类

(1) 按感应机构的种类来分

1) 离心式調整系統。这种調整系統中的感应机构是离心式調速器，它感受汽輪机轉数的变化，当汽輪机轉数变化时，这种感应机构发出轉数变化的脉冲，通过傳动机构的放大，去操纵执行机构的动作。

2) 液体动力調整系統。这种調整系統是用安装在汽輪机軸端的离心油泵作为感应机构。因为离心油泵出口油压与轉数的平方成正比，当汽輪机轉数发生变化时，油压随着变化。这种系統就是利用这油压的变化，經過傳动机构的作用，去操纵执行机构。

(2) 按有无傳动机构来分：

1) 直接調节的調整系統，这种調整系統沒有傳动机构。感应机构的动作直接操纵执行机构。其簡图如图12-2所示。离心調速器 1 的滑环 2 直接通过連杆与調节汽門相連。当发电机端点上的功率增加时，汽輪机轉子上的力矩平衡被破坏，汽輪机轉子轉数降低。汽輪机的軸通过傳动齿輪 3 与离心調速器相連接，当汽輪机轉数降低时，离心調速器的飞錘向里靠攏，此时調速器的滑环 2 則帶着連杆的末梢 a 向下移动。此时連杆 ab 即以固定点 O 为中心而轉动，把調节汽門打开

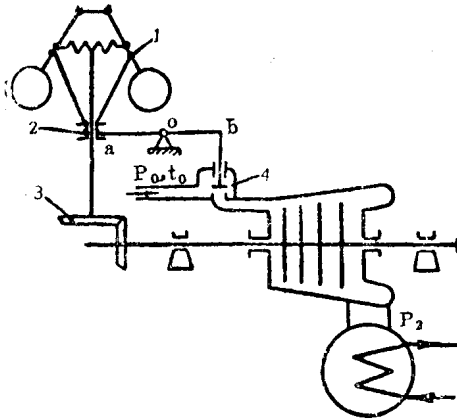


图 12-2 直接调节的调整系统简图

一些，进入汽轮机蒸汽量加大，作用在汽轮机转子上的蒸汽作用力矩因而加大，与新的外界负荷的力矩相平衡，使汽轮机恢复稳定的工况。

当外界负荷减少时，汽轮机的转速就要增加，而调节汽门此时则被关闭一些。

这种调整系统比较简单，但其缺点是用来操纵调节汽门的力量很小，因此这种调整系统只能采用在功率为50~60瓩以下的小型汽轮机中。因为在这些汽轮机中，调节汽门的尺寸较小，改变汽门的开度不需要很大的操纵力。

对于大型汽轮机，改变调节汽门的开度需要很大的操纵力，直接调节的调整系统就不能适应这种需要，因此必须采用如下面所述间接调节的调整系统。

2) 间接调节的调整系统，这种调整系统设有传动机构。感应机构发出的脉冲，要经过传动机构放大后，才能作用到执行机构上。其传动机构一般都是采用伺服马达(继电器)。

其簡图如图12-3所示。在該图中可以清楚看出离心式調速器与蒸汽分配机构的連接方式。

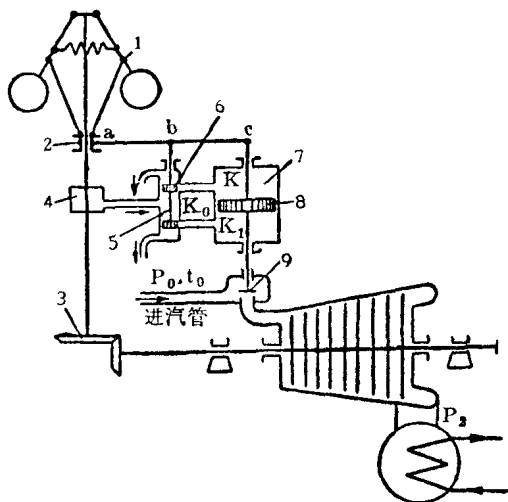


图 12-3 間接調节的調整系統簡图

在汽輪机的稳定工况下，錯油門 5 的活塞位于中間位置，正好盖住通向伺服馬达 7 的油路。这时調节汽門 9 是位于某一固定位置。

当汽輪机轉数增加或减少时，滑环 2 沿离心調速器軸向上或向下移动。由于滑环的位移，使杠杆 ab 以 c 为支点轉动，带动了錯油門 5 中的活塞 6 向上或向下移动，于是打开了通向伺服馬达 7 去的油路，使从油泵 4 打出的油經過錯油門流入伺服馬达上部油室 K 或下部油室 K_1 ，当油进入 K 室时，調节汽門就要关闭些，减少通到汽輪机的蒸汽量，使蒸汽在汽輪机轉子上的作用力矩减少。若油进入 K_1 室，則此

时调节汽門就要打开一些，增加通到汽輪机的蒸汽量，使蒸汽在汽輪机轉子上的作用力矩增大。

在伺服馬达活塞 8 向下移动时，連杆的末梢 c 要带着錯油門的活塞 6 向下位移。当活塞 6 走到它的中間位置时，K 室立刻停止进油，伺服馬达活塞停止移动，调节汽門也达到一定的开度后稳定下来。

在这种調整系統中，活塞 6 的重量輕，移动方便，不需要很大的力量，操纵调节汽門所需要的力量，可以通过改变伺服馬达活塞面积和油系統中的油压来获得。

三、汽輪机的调节方式

为了适应外界負荷变化的要求，必須按照外界負荷的变化經常调节汽輪机的功率，使汽輪机轉子上的各个力矩經常处于平衡状态，汽輪机在稳定的工况下面运轉。

调节汽輪机功率的方法很多，但其实质可用蒸汽在汽輪机內工作的方程式加以說明。

汽輪机的功率：

$$N_e = \frac{D \cdot H_0 \cdot \eta_{oe}}{860},$$

式中 N_e ——汽輪机的功率；

D ——蒸汽流量；

H_0 ——每公斤蒸汽在汽輪机內的絕热焓降；

η_{oe} ——汽輪机的相对有效效率。

由上式得知，要改变汽輪机的功率，可以通过改变 D ， H_0 ， η_{oe} 这三个因素来得到实现。但是任何一种改变功率的方式都和蒸汽流量 D 的改变分不开。在实际上，汽輪机的功率可以用下述方法之一改变之：

(1) 节流调节法；

- (2) 噴管調節法;
- (3) 旁通調節法;
- (4) 內部旁通調節法。

汽輪機中的蒸汽分配簡圖如圖12-4所示。

1. 节流調節法

节流調節法的示意圖如圖12-4, 甲所示。

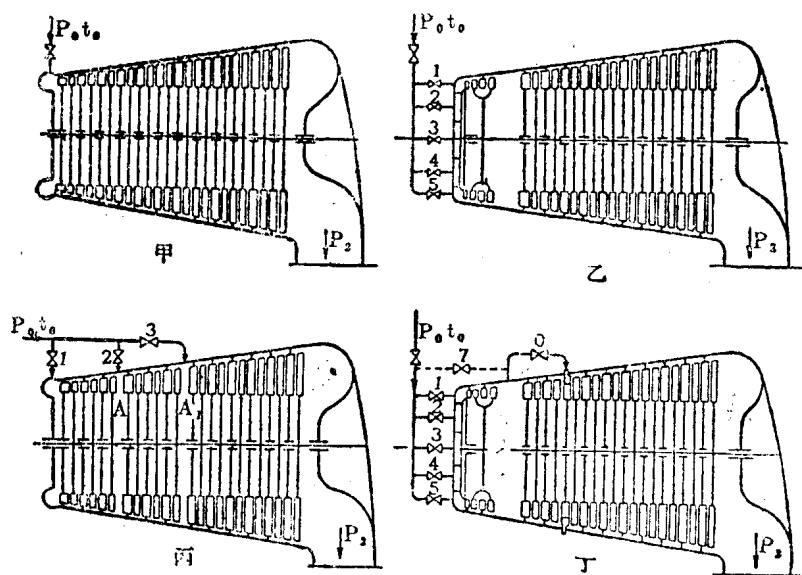


圖 12-4 汽輪機內部的蒸汽分配示意圖

甲—节流調節; 乙—噴管調節; 丙—旁通調節; 丁—內部旁通調節。

在這種調節法中, 全部蒸汽由全圓周進入噴管($\varepsilon=1$)。蒸汽進入噴管前, 通常都是經過一個或兩個同時開放的汽門。

採用這種調節法時, 只有在汽輪機的額定負荷下, 調節

2. 噴管調節法

噴管調節法的示意图如图12-4, 乙所示。

在用噴管調節時, 新蒸汽要經過數個(3~10個), 調節汽門才達到第一級的噴管。每一個調節汽門管着它自己的一組噴管。在汽輪機額定負荷下, 開放的調節汽門都是完全開啟的。

在汽輪機負荷改變時, 調節汽門即依次開啟或者關閉。每個調節汽門管着自己的一組第一級噴管。因此進入汽輪機調節級的蒸汽量隨着汽門開啟的數目而變更。在每個調節汽門處於非全開位置時, 蒸汽發生節流現象, 這也同樣引起節流損失。但必須指出, 在噴管控制調節法中, 蒸汽在其內產生節流損失的調節汽門始終只有一個, 通過每個調節汽門的蒸汽, 是汽輪機整個蒸汽量的一部分, 所以產生的節流損失比節流調節時小一些。

3. 旁通調節法

旁通調節法的示意图如图12-4, 丙所示。

在採用節流調節的汽輪機中, 一般都聯合使用旁通調節。當這種汽輪機的主節流閥全開時, 通常都相當於汽輪機發出經濟功率。這時第一級噴管前的壓力達到最大值, 即使汽輪機功率再增加, 此壓力也保持不變。

為了使汽輪機能超經濟負荷運行, 可以將新蒸汽引入到汽輪機的中間數級的過載室 A 及 A_1 。當把部分新蒸汽引入蒸汽室 A 時, A 室的壓力將升高, 這就使經過汽輪機後部各級的蒸汽量增加。此時在過載室 A 以前各級的蒸汽流量減少, 而汽輪機的功率則增加。當旁通汽閥 2 完全打開時, 室 A 中的壓力就達到某種最大壓力。

如果汽輪機要繼續過載到額定功率時, 可以將蒸汽引入

到第二个过载室 A_1 。此时第二过载室 A_1 以后各级中通过的蒸汽量增加，但在蒸汽室 A_1 以前各级的蒸汽量则减少。

在额定功率时，室 A 内的汽压应该较第一级喷管前的汽压低，室 A_1 内的汽压也应较室 A 内的汽压低，只有这样才能保证有足够的蒸汽量流经前部各级，以便产生使该部分空转所需要的功率。

用旁通法调节的汽轮机，在经济功率下运行时其效率最高，此时节流损失最小。在汽轮机其它负荷下运行时，汽轮机效率将显著降低。

近代节流调节汽轮机都备有一个旁通过载汽门。

有时在喷管调节汽轮机中，也采用一种内部旁通调节，蒸汽从某一中间级，通常是从第一级引向另外一级，它的示意图如图12-4，丁所示。

第二节 间接调整系统

一、伺服马达的功用

移动汽轮机的配汽机构通常要消耗很大的功，但调速器的工作能力是不足以完成这个任务的。因此，操纵汽轮机时需要借助于有更大作功能力的辅助机构。这个机构在汽轮机中通常叫做伺服马达（或继电器、油动机）。

通常不是将调速器（感应机构）的脉冲直接给伺服马达而是给它的控制机构，再由控制机构使伺服马达动作，改变配汽机构的位置。伺服马达应当在调速器的滑环停止移动时，本身的动作也应迅速停止，并以自己的力量十分可靠地保持静止状态，同时应使这机构能十分精确地依照调速器的指示来动作、减速、加速或改变其方向。

和直接调整比较，具有伺服马达的间接调整，其主要优

点之一是其不灵敏度較小，因为在这种調整中，移动伺服馬达的控制机构(伺服馬达的錯油門)，只需要很小的力量。

为了能产生出大的功率，每个伺服馬达应具有相当的能量来源，这个能量来源可以从汽輪机本身，也可以从別的地方取得。在汽輪机制造业中，广泛使用着能量取自于汽輪机本身的液力伺服馬达。

二、带杠杆的間接調整原理图

如图12-6所示为带双动伺服馬达的間接調整的簡图。

該系統的調整原理与图12-3所介紹的調整系統示意图的原理没有什么区别，这里不詳述。

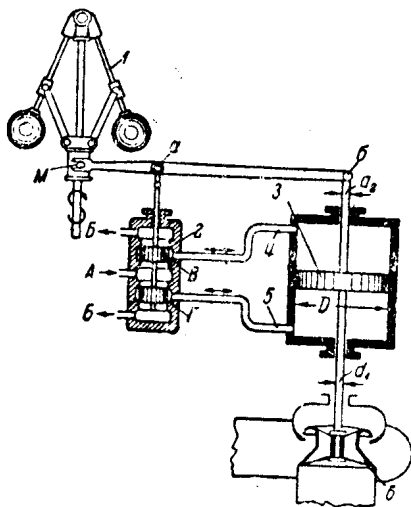


图 12-6 带双动伺服馬达的間接調整簡图

1—調速器；2—錯油門；3—伺服馬达活塞；4，5—油管；6—閘門。

为了使調节过程稳定，不致造成伺服馬达活塞的移动无限制进行，必須采用一称为反調整裝置的机构。这一机构的

作用是使伺服馬達錯油門能在伺服馬達移动过程中返回到中間位置，即切断通向伺服馬達的油路，使伺服馬達活塞移动到新的与調速器滑环位置相适应的位置时，即停止下来。

伺服馬達的反調整裝置有各种不同的形式。图12-7所示为一反調整裝置的例子，此反調整裝置是把活塞1的运动傳至錯油門3的套筒2。活塞1的向下移动相当于錯油門在調速器的影响下向上速动，这亦就通过 rod 傳动杠杆来强迫套筒2遵照錯油門运动的方向而运动。图12-6和12-7所示的反調整裝置簡图只在构造形式有所不同，但在他們的动作原理方面并没有什么大的不同。

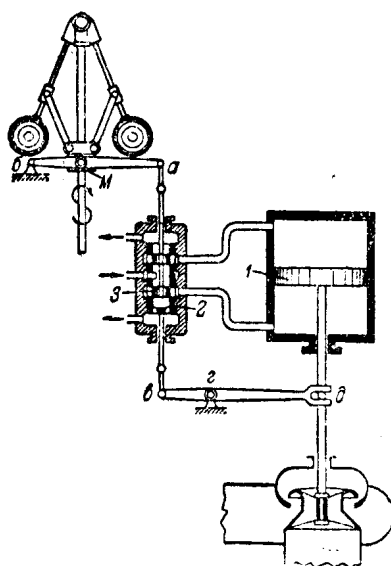


图 12-7 具有可移动的錯油門套的間接調整簡图

1—伺服馬達活塞；2—錯油門套筒；3—錯油門。