

78.54
LWS

141420

汽轮机调节特性

[苏联] И. С. 列汶生 著

霍宏先 译



中国工业出版社

汽輪机調节特性

〔苏联〕И. С. 列汶生 著

霍 宏 先 譯

中国工业出版社

本书阐述各种类型汽轮机，包括凝汽式、单调整抽汽式、双调整抽汽式、背压式汽轮机等在调节系统方面的各种问题，如静态特性线的测繪方法，调节系统的試驗和整定，及其传递关系的确定等。

本书供从事汽轮机运行、调整、检修和安装的工程技术人员阅读，也可供中等技术专科学校动力专业学生参考。

И.С.Левенсон

ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ Москва 1960 г

* * *

汽 輪 机 調 节 特 性

霍 宏 先 譯

*

水利电力部办公厅图书編輯部編輯(北京阜外月坛南街房)

中国工业出版社出版(北京德胜门内大街10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 $3^{5/8}$ ·字数77,000

1965年5月北京第一版·1965年5月北京第一次印刷

印数0001—6,000·定价(科四)0.40元

*

統一书号: 15165·3883(水电-507)

序 言

在有关文献内，大都詳細地闡述了凝汽式汽輪机調节系統的試驗和整定問題（文献資料 1、2 和 3）。但对調整抽汽式和背压式汽輪机，在調节系統試驗和整定方面的有系統的論述資料却很缺乏。有些著作中部分地提了一些，其中如 A.B. 雪格里雅耶夫的著作（文献資料 1），可是現在已經很难找到了。全苏热工研究所 1953 年写过一本“抽汽式汽輪机調节系統調整导則”草案（И. И. 格里別林著），到現在尚未出版。

詳細闡述上述問題有着极为重大和迫切的意义，特别是抽汽式汽輪机使用了复杂的調节系統。过去几年內，列宁格勒金屬工厂的工作人員出版过一些叙述該工厂产品結構的书籍，这在調节系統方面也是很有价值的参考資料，可是它們只能用在自己工厂生产的調节系統上。

因此，本书系統地敘述了汽輪机主要类型調节系統的試驗和調整方法。

在試驗和調整工作中，采用了 И. И. 格里別林建議的抽汽式汽輪机部套 < 位置座标图 >，非常便于实际应用。

本书只敘述了調节系統的一般靜态試驗和整定問題，因为发电厂安装、調整、运行和检修工作人員都要直接从事这类工作。由于本书篇幅不大，不能涉及調节系統的动态問題（穩定、快速动作等性能），这类問題一般要由專門机构去解决。

IV

由于調节系統結構类型很多，因此必須将本书所引用的材料限制到最小程度。为了清楚起見，所有本书提到的試驗和調整方法，一般都是以杠杆連接离心調速器的調节系統为对象而进行分析研究的。

凝汽式汽輪机的調节系統問題，一般文献資料內叙述的很詳細，本书只在第一章內提到了它的主要定义、概念以及在书中其他各章准备推荐引用的一些方法。

目 录

序 言

第一章 凝汽式汽轮机 1

1. 调节系统的特性 1

(1) 调节系统静态特性线 1

(2) 调速器特性线 7

(3) 传递机构特性线 9

(4) 汽轮机配汽机构特性线 10

2. 调节系统特性线的测绘方法 11

(1) 在静止汽轮机上的试验 12

(2) 汽轮机空转时的试验 13

(3) 汽轮机带负荷和减负荷时的试验 14

3. 调节系统静态特性线的绘制和分析 15

(1) 调节系统速度变动率和迟缓率 16

(2) 同步器的整定界限 18

(3) 调速器滑环和伺服马达活塞行程方面的裕量 20

4. 传递关系 20

5. 调节系统和同步器动作界限的整定 22

6. 调节系统甩负荷试验 23

7. 对凝汽式汽轮机调节系统的要求 24

第二章 单调整抽汽式汽轮机 26

1. 非联动和联动调节系统 26

2. 工况图 30

3. 调压器 35

4. 调节系统的静态特性线 40

5. 传递关系 45

VI

(1) 联动调节的传递关系	45
(2) 自治调节条件下的传递关系	48
6. 调节系统部套位置的整定和试验	57
(1) 调速器的整定	57
(2) 调节系统部套位置的整定	60
7. 调节系统用负荷试验	62
8. 对调节系统的要求	63
第三章 双调整抽汽式汽轮机	64
1. 非联动式和联动式调节系统	64
2. 工况图	68
3. 调节系统的静态特性线	76
4. 传递关系	78
(1) 联动调节时的传递关系	78
(2) 符合自治调节条件时的传递关系	80
5. 调速器的整定和调节系统部套位置检查	96
6. 调节系统用负荷试验	97
7. 对调节系统的要求	98
第四章 背压式汽轮机	98
1. 背压式汽轮机的联结系统和它的调节系统的任务	98
2. 调节系统的静态特性线	102
3. 传递关系	103
4. 调节系统部套的整定	103
第五章 调整抽汽及背压式汽轮机	104
附录 消除汽轮机不能维持空转的措施	107
文献资料	110

第一章 凝汽式汽輪机

1. 調节系統的特性

(1) 調节系統静态特性线

在稳定状况时，可以近似地认为汽輪发电机外部負荷即等于汽輪机发出的功率（沒有考虑机械損失和发电机內的电气損失）。当外界負荷改变时，平衡被破坏，隨即引起轉速发生变化。負荷增加时轉速降低，負荷减少时轉速增加。

調节系統的任务，是要使蒸汽在汽輪机內发出的功率和发电机外部負荷自动 保持平衡。采用带有調速器的 調节系統，根据轉速变化控制汽門开度，調节进入汽輪机的蒸汽流量，就能达到上述目的。

图 1 是凝汽式汽輪机調节系統的原則系統图。

当負荷增加时，由于蒸汽量还没有来得及改变，发出的功率不能滿足增加了的負荷需要。机組轉速将因而降低，离心調速器 1 开始使滑环 2 下降。上述动作将引起断流式錯油門 3 从它的中間位置移动。因而压力油进入伺服馬达 4 的两个油室中的一个油室，从而增大了調速汽門 5 的开度。这一过程一直延續到汽門 5 的开度增加到一个新的位置，使进入汽輪机的蒸汽量能够滿足增加了的負荷需要为止。同时当伺服馬达 4 的活塞移动时，反饋杆 6 将錯油門 3 恢复到它的中間位置，因而整个調节系統又进入平衡状态。

新的汽輪机功率是在降低了的轉速之下建立起来的。当

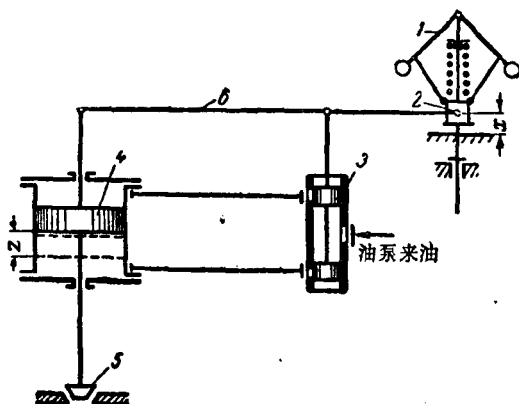


图 1 凝汽式汽轮机调节系统原则系统图

- 1—离心调速器； 2—调速器滑环； 3—断流式错油门；
4—伺服马达； 5—调速汽门； 6—反馈杠杆

负荷降低时，调节过程相反。

这类调节系统称为带有残余（静态）变动率的调节系统。它主要用来自动改变汽轮机的功率。

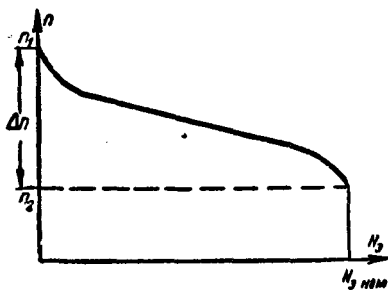


图 2 调节系统静态特性线

由于调节系统的作用，在不同转速时汽轮机的功率是不相同的。一定的转速相应于一定大小的功率。机组转速和功率之间的关系线称为调节系统的静态特性线（图2）。

调节系统静态特性线的外形，对单独运行的汽轮机或在

电网内并列运行的汽轮机，都具有重大的意义。

为了使汽轮机能稳定运行，转速和功率都不摆动，静态特性线上每一转速应该只有一个相对应的功率。因而汽轮机的转速和功率的关系，应经常是连续下倾的流畅线型(图2)。

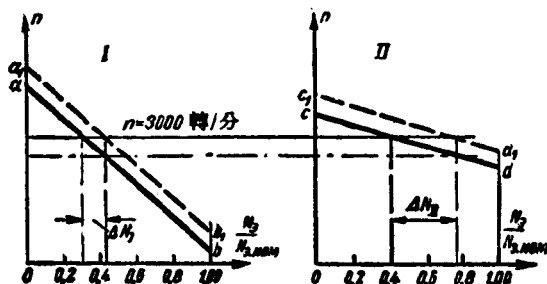


图 3 并列运行的汽轮发电机组

当机组单独运行时，直接反应了转速和功率的变化。因此可以从转速和功率的关系中直接求出调节系统的静态特性线。

当汽轮发电机组并列运行时，并入电网内的机组的转速是严格相同的（同步），和电网周波相一致。在这样情况下，改变负荷将引起所有并入电网的汽轮发电机组的转速发生变化。此时，如果不对调节系统部套施以特殊的操作，机组之间的负荷分配就只和这些机组调节系统静态特性线的外形有关。

例如两台并入电网的机组，它们的静态特性线分别为图 3 中的 ab 和 cd （为了简化起见，静态特性线均以直线表示）。在图 3 上并按照相应的转速大小，画出代表转速的水平线，水平线和特性线的交点决定每台机组带负荷的程度。在这一例子中，当转速为 3000 转/分时，I 号汽轮发电机组

帶額定功率的30%負荷，Ⅰ號汽輪發電機帶40%負荷。

如果電網負荷增加，機組轉速（周波）將稍微降低，由於汽輪機調節系統的作用，每台機組發出的功率將增加。

代表新的降低了轉速的水平綫和調節系統特性綫的交點，決定了機組之間新的負荷分配。如圖3所示，Ⅰ號汽輪發電機帶上額定功率的43%負荷，Ⅱ號汽輪發電機帶上額定功率的78%負荷。

可以看出，當電網周波改變時特性綫較平的機組，負荷增加的多，反過來特性綫較陡斜的機組，負荷變化小。

因此，若干台特性綫不同的汽輪發電機組在同一電網運行時，有時候可能使幾台機組過負荷，有時候正好相反可能使幾台機組全減負荷變為電動機運行。也可能使機組之間按不經濟方式分配負荷。還可能使電網周波變化過大，超過允許範圍。

為了改進上述情況，在每台機的調速器上都裝設了同步器，可以利用同步器在轉速不變時改變並列機組的負荷，或者在單獨運行的機組上當負荷不變時改變轉速。

實現上述要求的方式是變化同步器的位置以平行移動靜態特性綫（圖6和15）。操作同步器（手動或從主控制室電氣傳動）移動調節系統的靜態特性綫時，可以使並列運行機組之間的負荷重新分配，或恢復電網的額定轉速（周波），如同圖3所示（ a_1b_1 和 c_1d_1 綫）。

汽輪機空轉時，改變同步器位置，可以使轉速變化，也即可以調整到同步的轉速。同步器的名字，就是這樣得來的●。

● 本書作者把“同步器”均改稱作“控制器”。在翻譯時，為了便於和國內習慣叫法相一致，沒有使用“控制器”這一名詞，仍均譯作“同步器”。——譯者

有三种类型的同步器：輔助彈簧式（圖4a），伺服馬達錯油門採用活動套筒式（圖4b），變更反饋杠杆AB支掛點A的位置式（圖4c）。

採用帶輔助彈簧的同步器時，在不變更調速器滑環位置的情況下，改變彈簧緊度即能改變汽輪發電機的轉速。

採用圖4b和c的同步器時，在變更同步器的位置以變更轉速的同時也改變了調速器滑環的位置，即每一轉速相對於一定的調速器滑環行程。

靜態特性綫傾斜程度決定調節系統速度變動大小，即空轉時的轉速 n_1 和額定負荷時的轉速 n_2 之差。

$n_1 - n_2$ 和額定轉速 n_{nom} 之比稱為汽輪機調節系統速度變動率。速度變動率大小以百分數表示如下式：

$$\delta_r = \frac{n_1 - n_2}{n_{nom}} 100\% . \quad (1)$$

為了使汽輪發電機容易同步，靜態特性綫在空轉區內應較陡一些。在經濟負荷區一般應更傾斜一些，以提高在這一工况運行的穩定程度。

測繪每一台汽輪機的調節系統的靜態特性綫是非常必要的，可以用來評價調節系統運行質量，查清運行中發生的缺陷和分析它們發生的原因。

在單獨運行的機組上從零到100%變更負荷以變化轉速，是求調節系統靜態特性綫的最簡單的方法。實際上這一方法只能在容量不大的機組上在單機供電或使用水抵抗（水阻）時才有條件使用。多數情況下，求調節系統的靜態特性綫不得不用更複雜一些的方法，即通過試驗，順序求出下列三種特性綫：

1) 調速器特性綫；

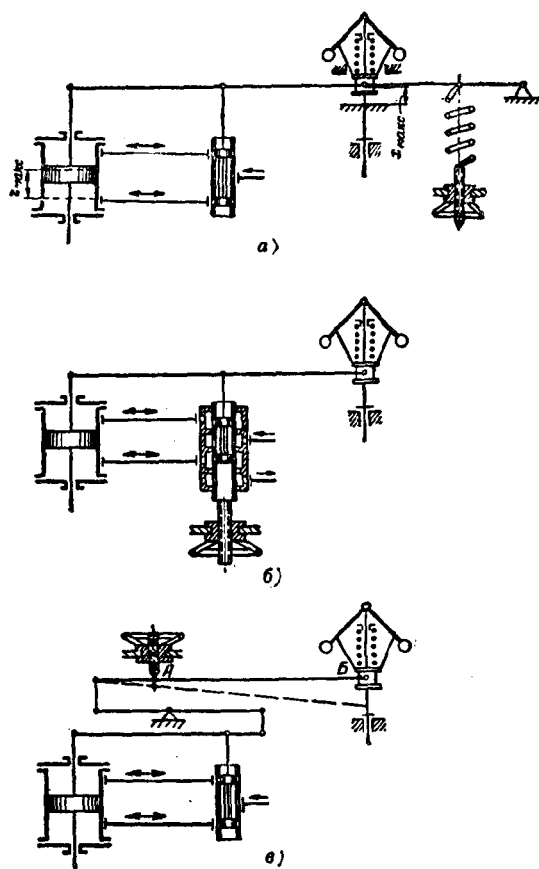


图 4 同步器系统图

- a—辅助弹簧式同步器;
 b—活动套筒式同步器;
 c—活动支挂点式同步器

- 2) 传递机构特性线;
- 3) 汽轮机配汽机构特性线。

在試驗过程中,一般还求出一些补充的特性线,能够更全面细致地说明调节系统的运行情况。

(2) 调速器特性线

汽轮机转速 n 和调速器滑环位置 x 之间的关系线称为调速器特性线。这一关系线一般为接近直线的曲线,如图 5 所示。图中以滑环在低限位置时作为零点。

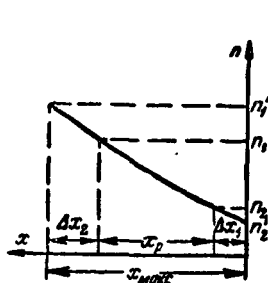


图 5 调速器特性线

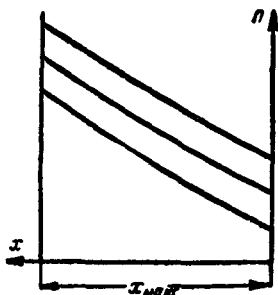


图 6 调速器特性线的移动

带辅助弹簧的同步器,改变弹簧紧力能使调速器特性线几乎是平行地移动(图 6)。较高位置的曲线(高转速)相应于较大的同步器弹簧紧力。如果同步器采用活动套筒式,则调速器特性线只有一条曲线。

调速器滑环在两个极限位置时的转速差 $n_1' - n_2'$ 和额定转速 n_{nom} 之比称为调速器的全部速度变动率

$$\delta'_p = \frac{n_1' - n_2'}{n_{nom}} 100\% \quad (2)$$

調速器的全部速度变动率 δ_p 永远大于汽輪机調节系統速度变动率 δ_r 。因为調速器滑环在关闭以及开启汽門方向的行程上都要有裕量。

在額定参数下，从空轉到額定功率之間变化負荷，不需要滑环作全行程移动，只需移动一部分就可以了，这一部分称为工作行程。因此調速器工作行程部分的速度变动率才是調速器的重要的特性綫。

調速器的工作速度变动率是在相应于伺服馬达活塞工作行程的調速器滑环行程的情况之下，它們所对应的轉速变化 $n_1 - n_2$ ，和額定轉速 n_{HOM} 之比（图 5）：

$$\delta_p = \frac{n_1 - n_2}{n_{HOM}} 100\% . \quad (3)$$

因此，調速器工作速度变动率等于汽輪机調节系統速度变动率。

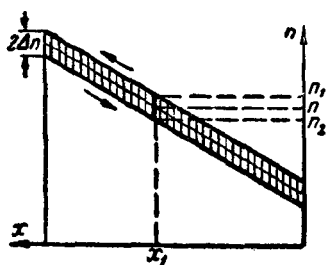


图 7 調速器的迟緩度

升轉和降轉过程中所求出的調速器特性綫并不互相重合，也即不是一条曲綫而是两条曲綫。两条曲綫之間部位表示調速器的迟緩区（图 7）。这是由于在調速器中存在有摩擦阻力，它力图阻止滑环的移动而造成的。

因此在升速时調速器滑环要在轉速提高 Δn 时（升到 n_1 ）才开始从位置 x_1 移动；反之，当降速时，調速器滑环要在轉速降低 Δn 时（降到 n_2 ）才从原来平衡位置开始移动。带阴影綫的 $2\Delta n$ 范围表示調速器的迟緩区。

調速器的遲緩率，系指为了使調速器滑环从它原来平衡位置开始移动而需要的汽輪机轉速变化数值的两倍，和額定轉速 n_{HOM} 之比，即：

$$\varepsilon_p = \frac{2\Delta n}{n_{HOM}} 100\% . \quad (4)$$

整套調节系統的遲緩率大于調速器的遲緩率，因为又增加了在杠杆系統中的有害的阻力，以及由于有重迭度而产生的錯油門的死行程。調速器的以及整套調节系統的遲緩率的大小，在一定程度上和調节系統組裝质量有关。

(3) 传递机构特性线

传递机构的特性线表示調速器滑环行程 x 和伺服馬达活塞行程 z 之間的关系，它說明由調速器到伺服馬达之間的传递作用。

对于輔助弹簧式同步器，这一关系很简单，由一条直线表示（图8a）。

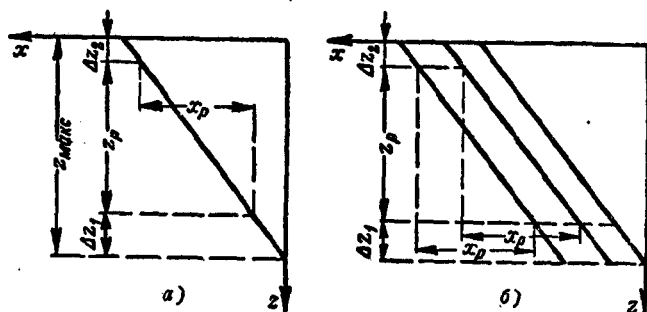


图 8 传递机构特性线

a — 輔助弹簧式同步器；

б — 錯油門采用活动支点式同步器

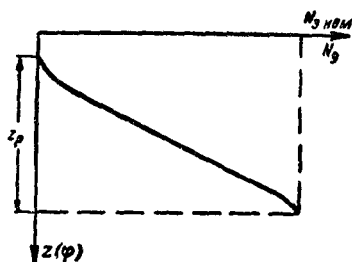


图 9 汽轮机配汽机构特性线

对錯油門采用活动套筒式的同步器，每一个套筒位置有它的一条相应的传递机构特性线（图86）。

(4) 汽轮机配汽机构特性线

汽轮机配汽机构特性线表示汽轮机所发出的功率 N 和决定汽門开度的伺服馬达活塞行程 z 之間的关系。如果伺服馬达采用旋轉活塞式，則汽門的开度取决于活塞的旋轉角 φ （图 9）或取决于沿反饋盘滑动的杠杆在滑动点处的行程。

汽轮机配汽机构特性线和汽門門口形状或伺服馬达到汽

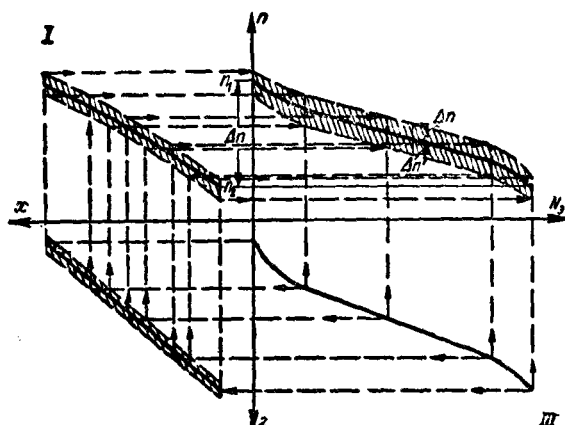


图 10 调节系統静态特性线的繪制