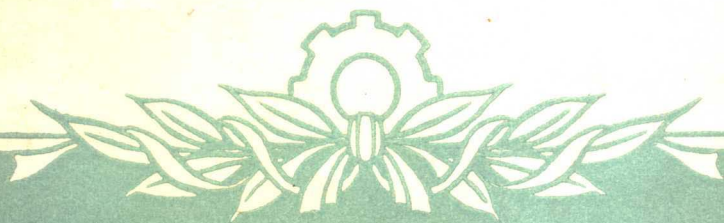


中等专业学校教学用书

水力机组的 辅助设备

(修訂本)

吉林水利水电学院編



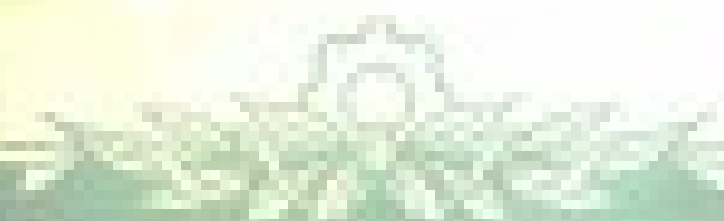
中国工业出版社

中国电力出版社出版

水力机组的 辅助设备

(第二版)

王德明 王德明



中国电力出版社

中等专业学校教学用书



水力机组的 辅助设备

(修訂本)

吉林水利水电学院編

中国工业出版社

本书是水利电力部教育司組織各地院校編写的教材之一，它是在原长春水利电力专科学校1959年編写的“水力机組的輔助設備”一書的基础上經過适当的增刪修訂而成的。

本書着重地介紹了水力机組調速系統的工作原理及其常見的設備；水力机組的水、氣、油、水力測量系統的工作與設計方法，也簡略地敘述了水力机組的自動控制與厂房布置工作的次序。

本書可作為中等專業學校水力動力裝置專業的教材，也可供水電站設計、施工、運行人員參考。

水力机組的輔助設備

吉林水利水电学院編

*

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可證出字第110号）

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 850×1168 毫米·印張 $8\frac{1}{2}$ ·插頁13·字數214,000

1960年1月水利电力出版社北京第一版

1961年7月北京新一版·1961年7月北京第一次印刷

印數0001—1,030·定價(9-4)1.15元

統一書號：15165·160（水電—26）

目 录

第一篇 水輪机調整

第一章 調速系統	5
§1-1 調速系統的概念	5
§1-2 水輪机的調速系統	7
§1-3 調速器	32
§1-4 油压裝置	54
§1-5 接力器	67
§1-6 調速系統的工作	68
§1-7 調速設備的選擇	88
第二章 水輪机調节保証計算	99
§2-1 水輪机調节保証計算的任务	99
§2-2 調整条件的計算标准	100
§2-3 水輪机过水系統的水錘近似計算	102
§2-4 机組負荷驟变时轉数变化的計算	106
§2-5 調节保証計算例題	107

第二篇 水电站的輔助系統

第三章 水电站水系統	112
§3-1 供水系統的一般概念	112
§3-2 技术供水的水源及供水方式	116
§3-3 供水系統	120
§3-4 供水系統的設計	126
§3-5 排水系統	144
§3-6 排水系統的設計	151
第四章 水电站压縮空气系統	157
§4-1 压縮空气系統的概念	157
§4-2 用气設備	158
§4-3 压縮空气站	164

§4-4	壓縮空气系統	167
§4-5	壓縮空气系統的設計	172
第五章	水电站透平油系統	180
§5-1	水电站用油种类及其作用	181
§5-2	潤滑油的种类、性质及其对运行的影响	184
§5-3	潤滑油劣化的原因及其預防	188
§5-4	透平油系統	190
§5-5	透平油系統的設計	193
第六章	水电站的水力測量系統	204
§6-1	概述	204
§6-2	測量系統中常用的几种仪表	205
§6-3	几种主要数值的測量	208
§6-4	水力測量系統的設計	218

第三篇 水电站机組的自动化

第七章	机組自动化的一般概念	221
§7-1	自动化的任务与范围	221
§7-2	水电站自动化的技术經濟效益	222
§7-3	自动化水电站的分类	223
第八章	自动化元件	224
§8-1	总述	224
§8-2	灵敏元件类	225
§8-3	轉換元件类	234
§8-4	放大元件类	236
第九章	机組自动操作系統	240
§9-1	自动操作系統的图例及符号	240
§9-2	水力机械的自动控制	241

第四篇 厂房布置

第十章	水电站动力厂房及其設備布置	253
§10-1	厂房的一般概念	258
§10-2	厂房設備布置	259
§10-3	厂房主要尺寸的决定	264

第一篇 水輪機調整

第一章 調速系統

§1-1 調速系統的概念

一、調速的概念

水電站在運轉的過程中，它的出力是隨用戶負荷而改變的。而出力的增大或減小必然引起水輪機功率的不足或盈餘，使得機組轉速發生變化。

用戶對發電和生產電能質量的基本要求之一，就是交流電的周波應為常數，一般維持電流周波常數的偏差在額定值的 $\pm 2\%$ 範圍之內。

發電機所產生的電流之周波與發電機的轉速有如下的關係。

$$f = \frac{pn}{60} \quad 1-1$$

式中 f ——電流周波；
 n ——發電機轉速(轉/分)；
 p ——發電機磁極對數。

機組轉子的運動(轉速)決定於機組基本方程式，此方程式有下列形式

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_d - M_c \quad 1-2$$

式中 J ——機組轉動部分的慣性力矩；
 ω ——機組角速度；
 M_d ——動力力矩；
 M_c ——阻力力矩。

由方程式(1-2)得出機組工作的穩定情況，即當動力力矩等於阻力力矩時才能保證角速度不變 $\left(\frac{d\omega}{dt} = 0\right)$ 。

即

$$M_d = M_c \quad 1-3$$

当发电机负荷变化时为了维持机组平衡状态，必须相应的变更水轮机的动力力矩。动力力矩由水流作用到水轮机的功得到，其功率值为

$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{102} \eta, \quad 1-4$$

式中 N ——水轮机出力(瓩)；

Q ——水轮机流量(米³/秒)；

H ——水轮机工作水头(米)；

η ——效率；

γ ——重率(吨/米³)。

改变机组的动力力矩，即是改变上述水流作用到轮叶上的功的数值。由上式可以看出，改变 Q 值比改变 H 值容易。因为，通过调速器的操作，导水机构可以进行流量调节，来达到保持二力矩平衡及转速不变的目的。

调速工作的自动进行，就是调速器内的测量元件在机组工作过程中不断地测量机组转速的变化，并把测量转速所得的微小变化通过扩力机构扩大，再由调速器内的执行元件调节流量，以适应阻力力矩的要求，这样机组在新的负荷下，从以原来的转速工作，经过恢复机构的作用完成了调速工作。

二、调速系统的组成

1. 调速器的组成

1) 自动调整机构 用以自动的调整转速，而且在水轮机正常回转时，这些机械也在不停的工作。

2) 自动控制机构 为了在调整和运转过程中，改变调速器之特性以及在水轮机并联运行时，调整负荷及手动操作。

3) 信号及仪表 用来指示调速器工作情况。

4) 其他机构 包括：机架、滤油器、油管路及电气线路。

2. 油压装置 供给调节系统压力油之用。包括：贮油设备、生产油压设备及油压装置附件等。

3. 接力器 用来操作导水叶和工作輪輪叶以調节流量。

4. 油管路及其傳动裝置 油管路用来輸送压力油和傳遞能量；傳动裝置用来回復正常工作。

三、对調速系統的要求

1. 調速系統应保証在各种負荷时使轉速不变。

2. 机組并列運轉时，能合理分配負荷，并能使机組自动启动，正常停車或事故停車。

3. 調速系統工作需穩定，接力器活塞不得“摆动”，同时負荷不变时活塞应固定不动。

4. 調速器应能任意改变其导水叶开度。

5. 要求油压裝置保証油压机各油槽內油的清潔。

6. 自动保护机构动作需灵敏。

§1-2 水輪机的調速系統

一、直接作用的調速系統

在图 1-1 上表示直接作用調速系統，离心振子套筒通过杠杆 AOB 作用于調整机构，机組在每一角速度即相当于套筒某一个稳定位置。

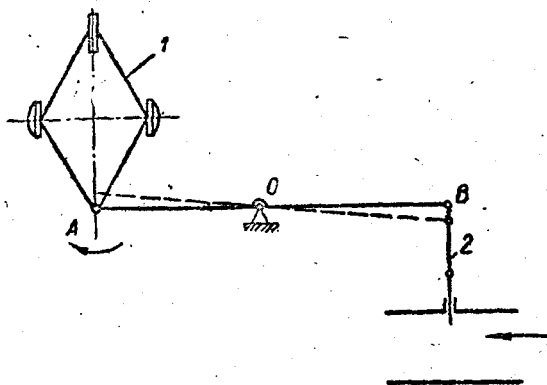


图 1-1 直接作用調速原理系統图

1—离心振子；2—調整机构。

事实上在稳定情况中，动力力矩等于阻力力矩，因此调整机构的一定位置相当于某一负荷值。但是因为画出的示意图中，离心振子与调整机构是硬性连接的，所以离心振子轴的一定位置相当于某一负荷值，因而水轮机的一定角速度值即相当于某一负荷值，而且随着负荷的增大，机组转速降低，离心振子的位置将愈降低。

直接作用调速系统的作用以下列方式进行。即在A点连接于杠杆AOB上的离心振子套筒，保证调整机构于一定的位置上，此位置适于机组的平衡状态。当负荷变动时(如负荷下降时)，调整机构仍在同一位置上，则机组角速度将增大，因之离心振子1的角速度将增大，这样便使离心振子套筒上移。杠杆AOB绕O点旋转，杠杆的一端B下降，使调整机构向关闭侧移动，因而减少水量，杠杆AOB新的位置如图上虚线所示。

由于调整机构略微关闭的结果，动力力矩开始减小，最后与发电机新的负荷相当。在调整过程完毕之后，机组角速度较其原来略高。如发电机负荷增大，调速器以相反的过程进行，在调整完毕之后，机组角速度较原来为低。

最大角速度将发生于机组空转时(无负荷时)，而最小角速度发生在发电机满载时。

离心振子起两个作用，即反应机组角速度的变更和移动调整机构的位置。

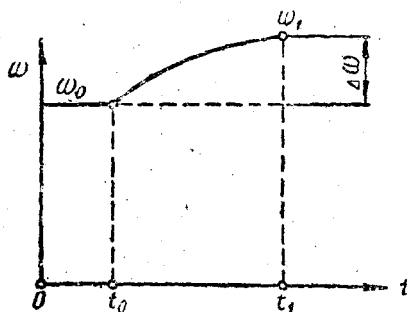


图 1-2 机组角速度变化图

但是，在直接作用的调速系统中，离心振子须传递很大的功，并且其质量较大，因此在调整过程中发生振荡。在大型机组中如果离心振子很笨重，那么调速器会不稳定的，因此在这种机组中直接作用的调速系统不宜采用。

直接作用的調速系統也沒有实际应用价值，首先是由机組的轉速变化在离心振子上产生的作用力是很小的，不可能直接关闭或开启調节水流的閘門。另外在不同負荷下机組轉速不同，不能符合机組轉速不变的要求。以下研究减負荷情况。机組正常工作时以 ω_0 角速度轉动，当发电机負荷甩掉，机組的角速度增加。当角速度增加 ω_1 时，由于离心振子作用使流入水輪机的流量减小，角速度停止上升，机組以 ω_1 角速度運轉，这时的角速度 ω_1 比調速以前的角速度 ω_0 增加 $\Delta\omega$ 。

二、間接作用的調速系統

1. 无复原机构的間接作用調速系統

在图 1-3 表示无复原机构的間接作用調速系統，操作水流調整机构不是离心振子直接作用，而是通过配压閥和接力器操作的。

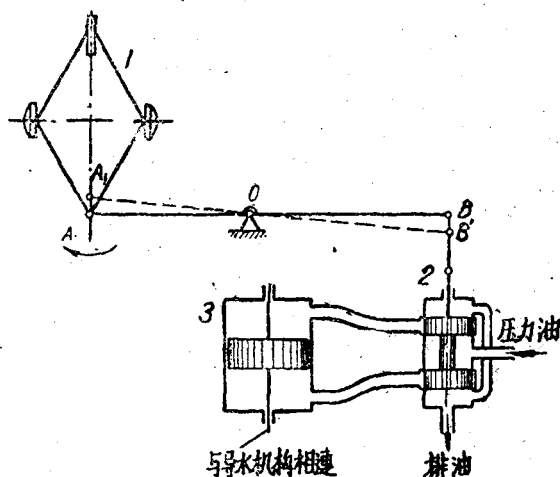


图 1-3 无复原机构的間接作用調速器原理系統图

当机組負荷改变时，由接力器带动导水机构，調整流量。无复原机构的間接作用調速系統以下列方式进行調整。即当机組負荷减小时，轉速增加如前所述的情况，B 点带动配压閥下降，压力油通过配压閥活門进入接力器活塞下部，活塞上部的无压力

油由配压閥的另外一腔排出，压力油推动活塞上移关闭导水机构。在增加负荷时相反。

但从上面看到另外一种情况，因为 B 点的位置是和转速对应变化的，转速增高配压閥到 B_1 位置，油口错开，因配压閥不能回到原来的位置，压力油不断的流入接力器下部，由于过多的调整流量，使配压閥向关车方向给油，接力器永远处于不稳定状态，使转速忽高忽低造成调速器工作不稳定。在水轮机中没有复原机构的间接作用的调速系统未予采用。

2. 具有硬性复原机构的间接作用的调速系统

图 1-4 表示具有硬性复原机构的间接调速系统，这种调速系

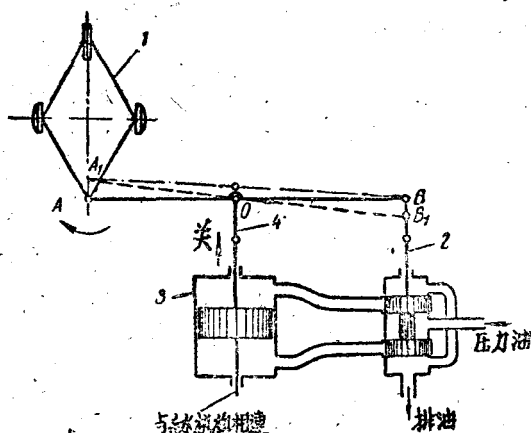


图 1-4 具有硬性复原机构的间接作用的调速系统图

1—离心振子；2—配压閥；3—接力器；4—联杆。

统是为了消除前一种存在的缺点，同时为了使接力器活塞位置和离心振子位置間保持一定的关系。它是在前一种结构的基础上配置有特殊机构，此机构称为回复杆或回复联杆。这个机构就是从离心振子配压閥上的传动杆和接力器 3 活塞之間的运动联杆 4。

具有复原机构的间接调速系统的作用以下列方式进行：在机组稳定情况下机组角速度与离心振子的角速度保持不变，离心振子套筒和杠杆 AOB 移动配压閥位于中间位置，为油压和调整机构的阻力所平衡的接力器活塞位于机组相应的平衡状态。

当机组负荷减小时，调整机构仍在原来的位置上，机组角速度开始增大，离心振子角速度亦将增加。这样使离心振子套筒向

上移，連接于杠杆 AOB 繞 O 点旋轉，杠杆另一端 B 点將下降，同时配压閥亦向下移，这时杠杆 AOB 是在新位置 A_1OB_1 上。

当配压閥下移时，压力油口被打开，通过其下端工作孔口，压力油便进入接力器的底腔內。由于油压的作用，接力器活塞便上移，頂腔內的油通过配压閥頂端工作孔口排出。接力器活塞作用于調整机构上，当关闭时减少引向水輪机的流量。接力器活塞向上移，調整机构关闭，杠杆 AOB 之 O 点將繞 A_1 点旋轉，配压閥便自中間位置移动，直到接力器活塞停止移动为止。此时 杠杆 AOB 新的位置是 A_1OB 。

当調整机构略为关闭时，动力力矩开始减小，因为在稳定情况下 B 点位于配压閥关闭相应的位置，接力器活塞在較高的位置，所以离心振子套筒在稳定情况下亦在較高的位置上，因此在調整过程完毕之后，机組轉速根据不平衡度要比原来略高。如果发电机电負荷增大，則調速机以相反方向进行，机組角速度在調整完毕之后較开始时为低。

图 1-5 表示机組角速度与時間关系的典型曲綫，此种曲綫是在負荷下降时調整过程中得出的。負荷不同轉数仍然不同，仍然产生振荡，但振荡小了。这种調速系統的靜态特性由图 1-6 示出，纵坐标以角速度表示，横座标以出力表示。由图可看出，

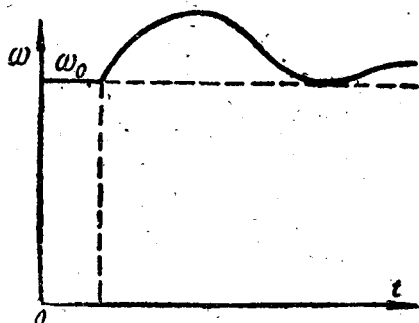


图 1-5 机組角速度变化图

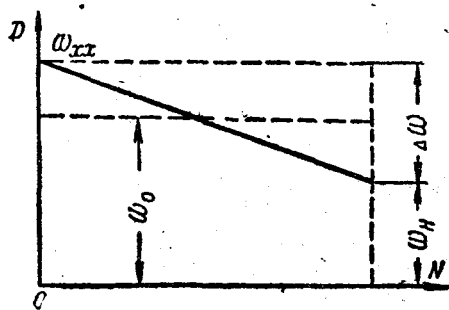


图 1-6 調速器的靜态特性

不同的轉速对应不同的負荷，不能滿足对調速器的要求。此靜态特性的殘留不平衡数值，将在以后詳細讲述。

在带有回复联杆的間接調速系統与直接調速系統中，具有相似之处，即两个系統均具有正值的殘留不平衡度的靜态特性。

如果为了支持回轉速之原来的状态，系統中尚应包括等速机构。

三、間接作用并带有等速机构的調速系統

水輪机調速过程应在較小的不平衡度下进行。具有等速机构的間接作用調速器(图1-7)滿足了这个条件。

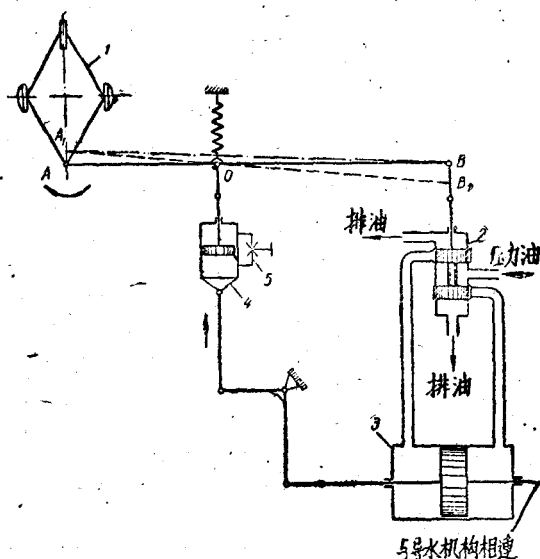


图 1-7 具有緩冲器的間接作用調速器原理系統图

1—离心摆子；2—配压閥；3—接力器；4—緩冲器；5—測路管。

这种調速器的系統图在調整过程完毕后使机組可以获得和調整以前一样的角速度。因在硬性回复机构的复原机构鏈內装有等速机构或叫正常回轉速支持机构。在原理上是这样的一种裝置，它能离开原来的中間位置，然后又以所規定的速度重新返回原来的中間位置。等速机构有很多种型式。現以带有緩冲器式等速机

构为例，說明帶有等速机构的調速系統。图 1-7 示出帶有緩冲器式等速机构調速系統。

在机組穩定情况时，动力力矩等于阻力力矩，机組角速度和离心振子角速度保持不变。离心振子套筒及和它相联的配压閥杠杆 AOB 此时位于中間位置，为調整机构阻力和油压所平衡的接力器活塞位于相当于机組平衡状态的位置。

AOB 在发电机負荷减小时，調整机构仍在同一位置上，机組角速度开始增大，离心振子的角速度也增大，使套筒向上移。和套筒相联的杠杆 AOB 繞 O 点旋轉（此支点通过緩冲器連接于接力器活塞），杠杆的 B 端向下降，使配压閥向下移，此时杠杆在 A_1OB_1 的位置。配压閥向下移动时开放出油孔，油經過配压閥下端工作孔口，在压力之下流入接力器右腔，在油的压力之下接力器活塞向左移动，油由左腔經過配压閥上端工作孔口排出去，接力器活塞作用于調整机构，使之关小导水叶，因而减少水量。

在活塞向左移动时調整机构关闭，同时，活塞的移动轉动了回复机构的角杆，傳到緩冲器上，緩冲器是由套筒及活塞組成。套筒与角杆相連接，活塞与彈簧相接，并組成 AB 的支点，在緩冲器的活塞上下腔內都充滿油，由旁通閥联通，角杆傳动时套筒向上移，由于套筒內油的惰性促使活塞随套筒一同上移，因为油来不及通过旁通管內的节流孔。杠杆 AB 以 A_1 点为中心轉动，主配压閥回复到中間位置并向上一些，彈簧被压縮。此时机組的轉速停止上升。在压縮彈簧的作用下主配压閥又一次下降，关闭导水机构，由于流入水輪机流量是又一次减小的緣故，机組轉速下降。在彈簧向下作用的同时，緩冲器的活塞被压向下移，这时活塞下腔的油通过旁通閥流入活塞的上腔。

由于緩冲器的动作， O 点永远保持在原来的中間位置，其他机构随之回复到中間位置，这里可明显的看出，机組的轉速与負荷无关，即与位置无关。因此，机組用負荷时的調整曲綫如图 1-8。由于轉速增高，經過几次的反冲回复到 ω_0 ，角速度轉回到需要的时间及特性，可以通过旁通閥 5 来調整。机組的靜特性曲

綫如图 1-9 所示，其轉速是一平行橫軸的直綫，即其轉速与出力无关，保持为一常数。

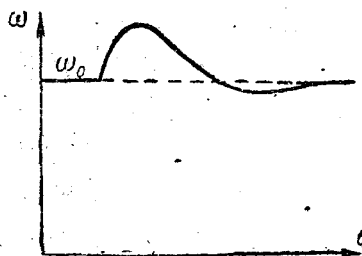


图 1-8 机組角速度变化图

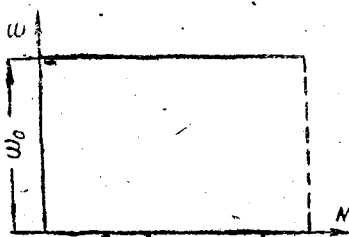


图 1-9 有緩冲器的間接
作用調速器靜特性曲綫

当緩冲器的彈簧力量愈弱和緩冲器活塞內的活塞制動愈强（即側路管內节流孔愈小），則緩冲式調速器的作用愈趋于硬性回复杆的調速器的作用；緩冲器的彈簧力量愈强和緩冲器油缸內活塞制動作用愈弱（即側路閥內节流孔愈大），則緩冲式調速器的作用愈趋近于无回复杆調速器的作用。

四、有操作机构的調速系統

为了保証水輪机在电力网中能够并联運轉，滿足運轉的各种要求，水輪机調速系統裝置了輔助机构（殘留不平衡机构、轉速变更机构、开度限制机构）。图 1-16 表示具有这些机构的調速器原理系統图。

1. 殘留不平衡机构

1) 靜态特性 自动調速器在若干台水輪机平行工作时，应保証当机組在調整后工作情况稳定时，能够合理的把負荷分配給各个机組。要想作到这一点，就要利用調速器所能保証的机組轉速在調整以后的殘留不平衡度。

殘留不平衡度可由調速器的靜力特性綫决定。靜力特性綫是水輪机的負荷（即导水叶的开度）和机組轉速之間的关系（图 1-10）。

当一台机組独立的工作时，全部負荷不可避免的要求一部机

組承擔，在這種情況下就無須在負荷變化時考慮殘留不平衡度問題。可以採用純等速式調速器，它的靜力特性線是一條平行於橫座標軸的直線。

如果在水電站中有兩台或兩台以上的機組，則負荷的任何變化通常都是均勻的分配給所有機組。在這種情況下若採用純等速式自動調速器，會使各機組之間負荷分配既不均勻又不穩定，因此個別機組有可能自行丟卸負荷，所以只有採用帶有殘留不平衡度的等速調速器，才能按着要求把負荷分配給機組。這種調速器的靜特性是一條斜線 $a'B'$ ，見圖 1-10。一般都希望此特性線近似直線，若為曲線，機組的轉速或負荷就可能發生有害的變化。

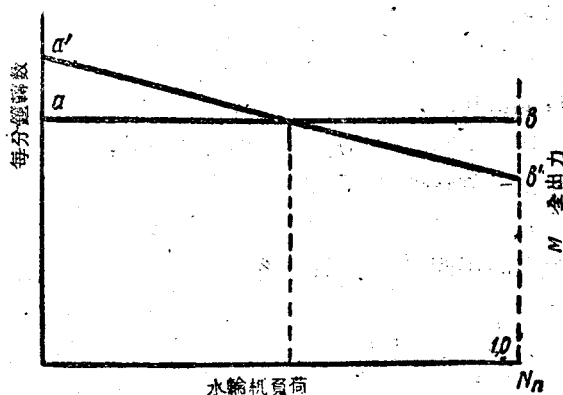


圖 1-10 調速器的靜特性線

斜線 $a'B'$ 的斜度是由調速器中所採用的殘留不平衡度決定的。

2) 殘留不平衡度的概念 當機組並列運行時，為了均勻的（或按着規定）分配機組之間的負荷，我們要求靜特性為一斜線，即機組在調整以後轉速略有變化，

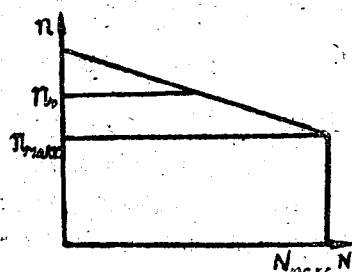


圖 1-11 調速器靜特性圖