

中等技术学校教材

水力机组的 辅助设备

长春水利电力专科学校編

水利电力出版社

水 力 机 組 的 輔 助 設 备

长春水利电力专科学校編

水 利 电 力 出 版 社

內 容 提 要

本书敘述了目前水电站水力机組的輔助設備过去、現在发展情况及将来的发展趋向，介紹了在掌握已有的原始資料的情况下进行油、水、风系統的設計工作及进行調节保証計算的方法，同时也介紹了自动控制原理、水电站水力机組的自动化程序，以及进行厂內設備布置工作的次序。另外它还給动力設備安裝課打下了基础。

本书是中等技术学校教材，但也可供水电站設計、施工、管理人員以及具有有关专业的高等学校师生参閱。

水力机組的輔助設備

长春水利电力专科学校編

*

2228 S 679

水利电力出版社出版（北京西郊科学路二里內）

北京市书刊出版业营业許可証出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

*

850×1168 $\frac{1}{32}$ 开本 * 9 $\frac{1}{2}$ 印張 * 244千字 * 定价(第9类)1,60元

1959年12月北京第1版

1960年2月北京第2次印刷(2,891—5,510册)

序 言

在党的“教育为无产阶级的政治服务，教育与生产劳动相结合”的方针下，我国的教育事业经历了深刻的革命。破旧立新的教学改革运动，使学校的教育面貌出现了崭新的局面。

在教育革命的发展过程中，我校采取了在党委领导下的“三结合”的方法，教师和学生一道共同进行了查编教学计划、教学大纲和教材的工作。这部新教材就是在这样的情况下诞生的。这是党的教育方针的胜利。

在编写本教材时，我们力求全面地体现党的教育方针，密切地结合我国的实际情况。在内容方面，我们希望能够尽量地引述先进的理论并在编排上竭力使前后各章具有科学的系统性和完整性。对于问题的阐述，我们努力以辩证唯物主义观点为指导思想，并贯彻“详中略外，厚今薄古”的精神。

参加本书编写工作的十八位同学，他们都是本校1959年的应届毕业生，工作热情非常高。他们把编写新教材，看作对母校的献礼。

为了编写这部教材，参加编写工作的教师和学生曾特地出外参观、访问和蒐集资料。若干设计部门和制造部门的工程师和技术人员，给了我们很大的帮助。若干兄弟学校也提出了极其宝贵的意见。谨在此向所有帮助过我们的单位和同志们致以深切的谢意。

但是尽管我们主观上如此要求自己，并且尽了最大的努力，然而限于本身学识的浅薄，以及编写时间的短促，这部教材仍会有很多缺点，甚至可能还有错误。我们诚恳地期望读者批评和指正，以便今后修改。

目 录

緒言.....	4
第一章 水輪机的調整.....	9
§1-1 調整的概念.....	9
§1-2 調節保證計算.....	11
§1-3 調整時間.....	19
第二章 調速系統.....	22
§2-1 調速系統的概念.....	22
§2-2 水輪机的調整系統.....	25
§2-3 調速器.....	49
§2-4 油压裝置.....	89
§2-5 接力器.....	103
§2-6 調速系統的工作.....	108
§2-7 調速設備的選擇.....	129
第三章 水电站透平油系統.....	141
§3-1 水电站用油种类及油在設備中的作用.....	141
§3-2 潤滑油的种类、性質及其对运动的影响.....	144
§3-3 潤滑油劣化的原因及其預防。对廢油的处理.....	149
§3-4 透平油系統.....	163
§3-5 透平油系統的設計.....	172
第四章 水电站水系統.....	186
§4-1 供水系統的一般概念.....	186
§4-2 机組用水設備的作用、构造及对給水設備提出的技术要求.....	187

§4-3 水源的分类与組成.....	190
§4-4 輸水管网.....	195
§4-5 供水系統.....	199
§4-6 供水系統的設計及其設備的選擇.....	204
§4-7 排水系統及其設備.....	226
§4-8 排水系統的設計.....	235
第五章 水电站壓縮空气系統	239
§5-1 壓縮空气系統的概念.....	239
§5-2 用气設備.....	239
§5-3 壓縮空气站.....	246
§5-4 壓縮空气系統.....	249
§5-5 壓縮空气系統的設計.....	254
第六章 水电站水力机組的自动控制系统	263
§6-1 概述.....	263
§6-2 自动控制器.....	270
§6-3 自动控制网、自动控制器、自动控制网的組織.....	285
§6-4 水力机械的自动控制.....	288
第七章 水电站动力厂房及其設備布置	301
§7-1 厂房的一般概念.....	301
§7-2 厂房設備布置.....	302
§7-3 厂房主要尺寸的决定.....	307

緒 言

电力工业是国家工业化的先行工业之一，是国民經济发展的基础；整个国民經济的发展速度与电力工业发展速度有着极其密切的关系。水力发电是我国电力工业中的一个重要組成部分，这是因为它具有許多优点。我国的水力資源是非常丰富的，而且分布均匀。水能总蘊藏量約在六亿瓩以上，居世界第一位。

水电事业在我国虽是一项年輕的事业，然而发展速度是很快的。旧中国的时期在国民党統治的地区內，电站总装机容量仅有12,000瓩，最大的水电站(四川下碛)的装机容量仅3,000瓩，而且全部設備都是外国貨，施工期限用了三年。农村水电事业的基础也是极为薄弱的，据解放初期的統計，全国农村水电站共有57座，装机容量为5,328瓩。

解放后，电力工业同其他建設事业一样，以飞跃的速度向前发展着。在第一个五年計划期間，根据1957年統計，投入生产和正在施工的水电站有22座，已投入生产的9座水电站的装机容量为519,400瓩。在这期間，农村水电站也有很大发展，計有544座，装机容量为20,324瓩。

在第一个五年計划胜利完成的基础上，更加宏偉的第二个五年計划建設在1958年开始了。在党的领导下，經過全民整风运动，全国工农业建設，包括电力建設在內出現了大跃进的高潮。1958年全国新增装机容量約180万瓩。

在中央提出的一套两条腿走路的方針的指导下，1958年我国农村水电事业有了极大的发展。人民公社运动大大地加速了农村水电事业的进程，被称为“农村的夜明珠的小型水电站”犹如雨后春笋一样在許多地方出現。可以預料，这一事业还将繼續发展，

在祖国的土地上将如星罗棋布，遍地开花。据1958年上半年的不完全统计，已建成的农村水电站有3,872处，容量为35,228瓩；连同正在施工的，总数达14,500余处，总装机容量达20万瓩以上。

我国电力工业的长期建设方针，中央确定以发展水电为主，火电为辅。这是一个根据我国实际情况所确定的长远建设方针。为了适应客观形势的需要，水利与电力两部合并为水利电力部。这一措施有利于河流水利资源的综合利用，有利于整个电力工业的统筹安排。

广泛发展农村水电站，这在我国社会主义建设中，是一件有着深远意义的事情。它可使农业逐步转到机械化、电气化的技术基础上来，从而大大地发展农业生产。

现在，兴修农村小型水电站，已形成一个声势浩大的群众运动。在进行大规模水电建设中，存在的一个主要困难，是建筑器材和设备的供应不足。我们决不能坐待材料和机电设备，必须坚决依靠群众，自力更生，土洋结合，就地取材，就地制造。这就要求我们破除迷信，大胆革新，发扬敢想敢干的精神，来战胜困难。

我国的水电建设事业有着广阔的发展前途。在党的鼓足干劲、力争上游、多快好省地建设社会主义的总路线的光辉照耀下，它一定会跃进再跃进，当好“先行官”，为祖国早日实现电气化贡献力量。

水电站是将水能转化为电能的一种工厂，水力机组是水电站中将水能转化为电能的具体设备，其中包括了主要设备和辅助设备。主要设备由水轮机和发电机组成，而辅助设备则包括调速系统、油水风系统等。

水轮机将水能转化为机械能，发电机将机械能转化为电能。但仅有主要设备而没有辅助设备，机组仍然不能发出电来。简单的说，机组需要控制，即机组需要启动、并入系统、带负荷、调整负荷、保证一定的转速、作调相运行、停车等，为此就需要调

速系統等。機組運行時，轉動部分（如軸承）要潤滑，為此需要供油系統。機組運行時會產生一定的熱量，需要散熱、防止火災，停機檢修要排水，為此需要給水排水系統。機組停車時需要制動，作調相運行時需將水從水輪機室內壓下，為此需要供氣系統。

由此可見，輔助設備雖然不是直接生產電能的，但對保證機組出力，保證生產電能質量的優良，保證機組安全經濟的運行，均起着決定性的作用。當機組缺少必要的輔助設備，或雖有輔助設備，但其質量不良，它不僅要直接影響機組的運行，而且還要間接影響整個電力系統的電能質量、系統運行的經濟性及可靠性。

我國的具體條件決定了水電站在我國電力系統中將愈來愈占重要地位，而確保電力系統安全、經濟運行，對國民經濟具有極其重大的意義。因此，研究輔助設備對機組、對水電站、對電力系統的影響，探討如何發揮它的作用，對於我國水電事業和社會主義建設來說，是一件有積極意義的工作。

輔助設備在水電站中的作用誠如上述，但是也不能絕對化。

對於一些小型水電站、農村電站，輔助設備就不一定同大型水電站一樣，甚至一些系統（如油、水、風）可能沒有或者很簡陋。一般小型電站只有個調速機構，而且其作用也不象大中型電站那樣完整。

我國在製造輔助設備方面的成就是很輝煌的，幾年來從無到有，並且現在正向世界水平大步邁進。

解放前中國根本不能設計和製造調速器。但是，1954年我們就製造成功了W-400、W-900型調速器；1956年制成了K9-3000型調速器；1958年又制成現代先進的P-100型調速器。並且在簡化原系統的基礎上，着手創造自己國家調速系統的新系統。目前，電氣調速器正在研究和試驗。

水電站的自動控制，是在解放後經蘇聯專家的幫助建立起來的。現在，我國的大型水電站幾乎全部是自動化。

水电站的油水风等系统，我国已经完全能自己设计和施工了。

我们所以能在短短的几年里取得这些成就，应归功于党中央的正确领导和全国人民的努力。今后，在党的领导下，加上苏联和其他社会主义国家的无私援助，我国辅助设备的发展远景是非常可观的。

现在我国人民正满怀信心地建设社会主义。我国工农业发展的速度，为一切资本主义国家所望尘莫及。我们今天的一切学习，正是为了祖国更美好的明天。

学习本课程的目的：

1. 了解党在水电事业方面的方针政策，我国在水力机组辅助设备方面的先进技术和辉煌成就。并且通过这些，提高爱国主义、共产主义的觉悟和对于辩证唯物主义观点、群众观点的认识。

2. 对当代的水电站水力机组的辅助设备有个全面的完整概念，包括：

- 1) 有关辅助设备及其运用的知识；

- 2) 辅助设备是水电站中个别独立存在的但又是构成一个完整的水力机组的成分，它是水能转化为电能过程中的一个有机组成部分；

- 3) 辅助设备从过去到现在的发展情况，以及将来发展的趋向。

3. 能初步进行调节保证计算。

4. 能很好地掌握常用的大中小型调速系统的构造、性能、应用范围及调速系统的选择。

5. 能根据已有的原始资料进行油水风系统的设计工作。

6. 初步了解自动控制原理及水电站水力机组的自动化程序。

7. 能初步进行厂内设备的布置工作。

8. 给动力设备安装课打下基础。

本课程是在学生学过水电站概论、水力学、电工学、电气设

备、水輪机等課的基础上进行的。

为了完成本課程的学习任务，我們依次讲述下列几章：

1. 水輪机的調整。
2. 水电站的調速系統。
3. 水电站的透平油系統。
4. 水电站的水系統。
5. 水电站的压縮空气系統。
6. 水电站的自动控制系统。
7. 水电站厂房及其設備的布置。

第一章 水輪机的調整

§1-1 調整的概念

当外負荷变化时，为保持机組轉速(n)不变，需打开或关闭导水机构，增加或减少流量(Q)。导水叶开启或关闭的过程称为調整。

投入电力系统工作的发电机，其轉速决定了电流的周波(f)，当发电机轉速发生改变时，电流周波也随之改变。但是，这种周波的改变是不允許的。因为电流周波改变，会引起电压不稳，与电力系统相接的一系列用电設備(如电动机)的轉速也随之变化。大家知道，用戶是要求設備(如电动机)有固定轉速的。所以，要求发电机的轉速保持不变，以达到周波穩定的目的。

$$\text{轉速与周波的关系为 } f = \frac{pn}{60} \quad 1-1$$

式中 f ——周波(我国电力系統的周波为50赫芝)；

p ——发电机磁极对数；

n ——发电机轉速(轉/分)。

发电机一經选定，磁极对数(p)就确定了。60为常数。只要轉速发生变化，周波就随之变化，它們是成正比例关系。

可是，发电机轉速为什么会变呢？

当流入水輪机的水流能量与用戶消耗的电能相等时，轉速稳定。如发电机的負荷发生变化，二能量不等，轉速就要增加或减少。

也就是說，动力矩(M_d)与阻力矩(M_c)相等时， $M_d = M_c$ ，轉速恆定。反之， $M_d \neq M_c$ 、轉速改变。

为使轉速不变，就要求 $M_d = M_c$ 。若外負荷变化，即阻力矩变化了，这时就必须改变动力矩，使两能量达到新的平衡。这样一来，轉速稳定，周波也稳定了。而要想达到这个目的就必须关闭或打开导水叶，調节流量。

然而，关闭或打开导水叶的过程会在輸水管、蜗壳与尾水管

中产生压力变化。因为，关闭或打开导水叶，会使水的流速增加或减慢，而流速的增减就会引起压力的变化，我们称此压力变化的现象为水锤。

水锤一般可分为二类。

直接水锤：导水叶关闭时间小于压力波传播一次的时间所产生之水锤。

间接水锤：导水叶关闭时间大于压力波传播一次的时间所产生之水锤。

直接水锤会使压力升高很大，而在水电站中是不允许产生很大的压力的；间接水锤是允许存在的。

此外，还有正水锤和负水锤两种。

判别产生直接或间接水锤的方法为：

$T_s \leq t_r$ 产生直接水锤； $T_s > t_r$ 产生间接水锤。

T_s ——导水叶关闭时间， t_r ——压力波往返一次的时间。

$$t_r = \frac{2L}{a} \quad 1-2$$

式中 L ——输水管长度(米)；

a ——压力波传播速度(米/秒)。

压力波传播速度，可依动量和冲量定理推得，即

$$a = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{E_0}{E} \frac{D}{\delta}}} \quad 1-3$$

式中 1425——水中声波的传播速度(米/秒)；

E_0 ——液体的容积弹性系数(公斤/厘米²)，对于水来说， $E_0 = 2.1 \times 10^4$ (公斤/厘米²)；

E ——管道的材料弹性系数(公斤/厘米²)，对于钢铁来说， $E = 2.1 \times 10^6$ (公斤/厘米²)；

D ——输水管直径(厘米)；

δ ——管壁厚度(厘米)。

在一定管道和液体情况下， a 和 δ/D 有关。一般 $\delta/D = 1/50 \sim 1/100 \sim 1/200$ ， $a = 800 \sim 1,000 \sim 1,200$ ，一般取 $a = 1,000$ (米/秒)。

§1-2 調節保證計算

一、压力变化

由于关闭或打开导水叶，在輸水管、蜗壳和尾水管中产生压力变化。当关闭导水叶时，分别以下列公式計算压力变化值。

1. 压力水管 压力的大小与管长和水流速度有关。

$$\text{相对压力升高} \quad \xi_T = \frac{\sum L_T V_T}{\sum LV} \xi. \quad 1-4$$

$$\text{绝对压力升高} \quad \Delta H_T = \xi_T H_0. \quad 1-4'$$

式中 $\sum L_T V_T$ ——压力水管各段中 $L_T V_T$ 的乘积总和；

$\sum LV$ ——总长与平均速度乘积之和；

ξ ——发生在某相的最大压力升高；

H_0 ——静水头。

2. 蜗壳

$$\text{相对压力升高} \quad \xi_0 = \frac{\sum L_0 V_0 + \sum L_T V_T}{\sum LV} \xi. \quad 1-5$$

$$\text{绝对压力升高} \quad \Delta H_0 = \xi_0 H_0. \quad 1-5'$$

式中 $\sum L_0 V_0$ ——蜗壳各段中 $L_0 V_0$ 的乘积总和。

3. 尾水管

$$\text{相对压力降低} \quad \eta_B = \frac{\sum L_B V_B}{\sum LV} \xi. \quad 1-6$$

$$\text{绝对压力降低} \quad \Delta H_B = \eta_B H_0. \quad 1-6'$$

式中 $\sum L_B V_B$ ——尾水管各段中 $L_B V_B$ 的乘积总和。

ξ 值根据不同水锤有不同值，并且間接水锤最大压力升高发生在某一相也不同。

直接水锤之最大压力升高值为

$$\xi = \frac{a \Delta V}{g H_0}. \quad 1-7$$

式中 $\Delta V = V_0 - V$ ，流速变化值(米/秒)；

V_0 ——起始流速(米/秒)($\tau = 1$ 时)；

V ——末了流速(米/秒)(全关时 $V=0$)。

$$\text{又} \quad \xi = \frac{a \Delta V \tau}{g H_0} \quad 1-7'$$

应用于导水叶开度 $\tau \leq 1$ 时。

間接水錘的最大压力升高发生在第一相时, 其最大压力升高

$$\text{值为} \quad \xi_1 = \frac{2\sigma}{1 + \rho\tau_0 \mp \sigma} \quad 1-8$$

式中: τ_0 ——起始开度;

σ 、 ρ ——水管特性系数。

导叶开启时为正, 关闭时为负。

最大压力升高发生在最末相时, 間接水錘的最大压力升高值

$$\text{为} \quad \xi_m = \frac{\sigma}{2} (\sqrt{\sigma^2 + 4} + \sigma) \quad 1-9$$

判別最大压力升高的准則:

$\rho\tau_0 > 1$, 則 $\xi_m > \xi_1$, 最大压力升高发生在末相;

$\rho\tau_0 < 1$, 則 $\xi_m < \xi_1$, 最大压力升高发生在第一相。

出現最大压力升高的可能性是有的, 但不多。产生与否, 决定于水輪机的空轉开度(τ_x), 如空轉开度大于临界开度($\tau_{KP} = \frac{\sigma}{\rho}$), 起始开度(τ_0)就更大于临界开度了。因此, 在用負荷时最大压力升高不会大于与 τ_0 相对应的值。所以, 一般水电站中不会产生最大压力升高的。

开启导水叶时所产生的压力变化值, 其計算方法同上, 唯符号相反。这种計算在小型水电站中不考虑。

管道特性系数 σ 、 ρ 可依下式求得。

$$\rho = \frac{a_{CP} V_{CP}}{2g H_0} \quad 1-10$$

$$\sigma = \frac{L V_{CP}}{g H_0 T_s} \quad 1-11$$

式中 a_{CP} ——压力波傳播速度的平均值(米/秒);

V_{CP} ——平均流速(米/秒);

g ——重力加速度(米/秒²);

H_0 ——静水头(米);

T_s ——导水叶关闭时间(秒)。

平均流速 V_{CP} 可按式求得。

$$\dot{V}_{CP} = \frac{\Sigma L_T \dot{V}_T + \Sigma L_C \dot{V}_C + \Sigma L_B \dot{V}_B}{L_T + L_C + L_B} = \frac{\Sigma L \dot{V}}{\Sigma L} \quad 1-12$$

式中 L_T ——压力水管的长度(米);

L_C ——蜗壳的长度(米);

L_B ——尾水管的长度(米)。

尾水管中绝对压力降低值 ΔH_B , 能引起尾水管内的额外真空现象。

真空值以水柱高计。

$$H_B = H_s + \frac{V^2}{2g} + \Delta H_B \quad 1-13$$

式中 H_s ——尾水管吸出高程(米);

$\frac{V^2}{2g}$ ——当尾水管上部断面内的水流速度为 V 时的速头(米)。

真空值 H_B 不应超过(8~9)米的水柱高度。

应该指出, 公式中测得的 $\frac{V^2}{2g}$ 与求得之 ΔH_B 发生的时间不符合。 $\frac{V^2}{2g}$ 发生在导水叶刚关闭时, 而 ΔH_B 发生在导水叶关闭

完了。因而, 为了精确的求得最大真空值, 必须利用 $\frac{V^2}{2g}$ 和 ΔH_B 的时间关系曲线, 求出在同一时间的最大总值。

压力升高值不能太大, 其大小与水头有关。产生之压力升高值不允许大于应用范围。

当水头大于 100 米时, $\xi = 0.15 \sim 0.30$;

当水头为 40~100 米时, $\xi = 0.30 \sim 0.50$;

当水头小于40米时, $\xi = 0.50 \sim 0.60$ 。

二、效率变化

当负荷变化时, 水轮机的出力可能大于或小于机组所担负的负荷。要使水轮机出力与机组所担当的负荷相适应, 需要一定的时间。此时间的长短与调整方法(手动或自动)有关。

在调整时间内, 若丢弃部分负荷时, 水轮机出力会比机组所带之负荷大; 反之, 当负荷增加时, 出力则会比负荷小。在丢弃部分负荷时, 水轮机之剩余出力使发电机转速增高; 即消耗在增大发电机的动能上。反之, 转速降低。

可见, 在调整水轮机时, 发电机某些暂时的变化是不能避免的。此变化仅能以一定的范围和短促的调整时间来加以限制。

发电机负荷变化时, 可能的转速变化可以用下述方法确定。假定发电机的负荷突然由 P_1 降至 P_2 (公斤·米/秒), 而水轮机的出力需在 T 秒后方能与新负荷相适应。

计算水轮机的调整问题时, 时常把水轮机出力的变化规律看做直线性的, 即认为, 在 T'_s 时间内, 水轮机出力是以直线关系由 P_1 降至 P_2 的。

水轮机出力按直线关系变化时, 水轮机过剩出力所做的功, 即图 1-1 内画有阴影线的三角形面积。此三角形的面积为

$$\frac{P_1 - P_2}{2} T'_s \quad 1-14$$

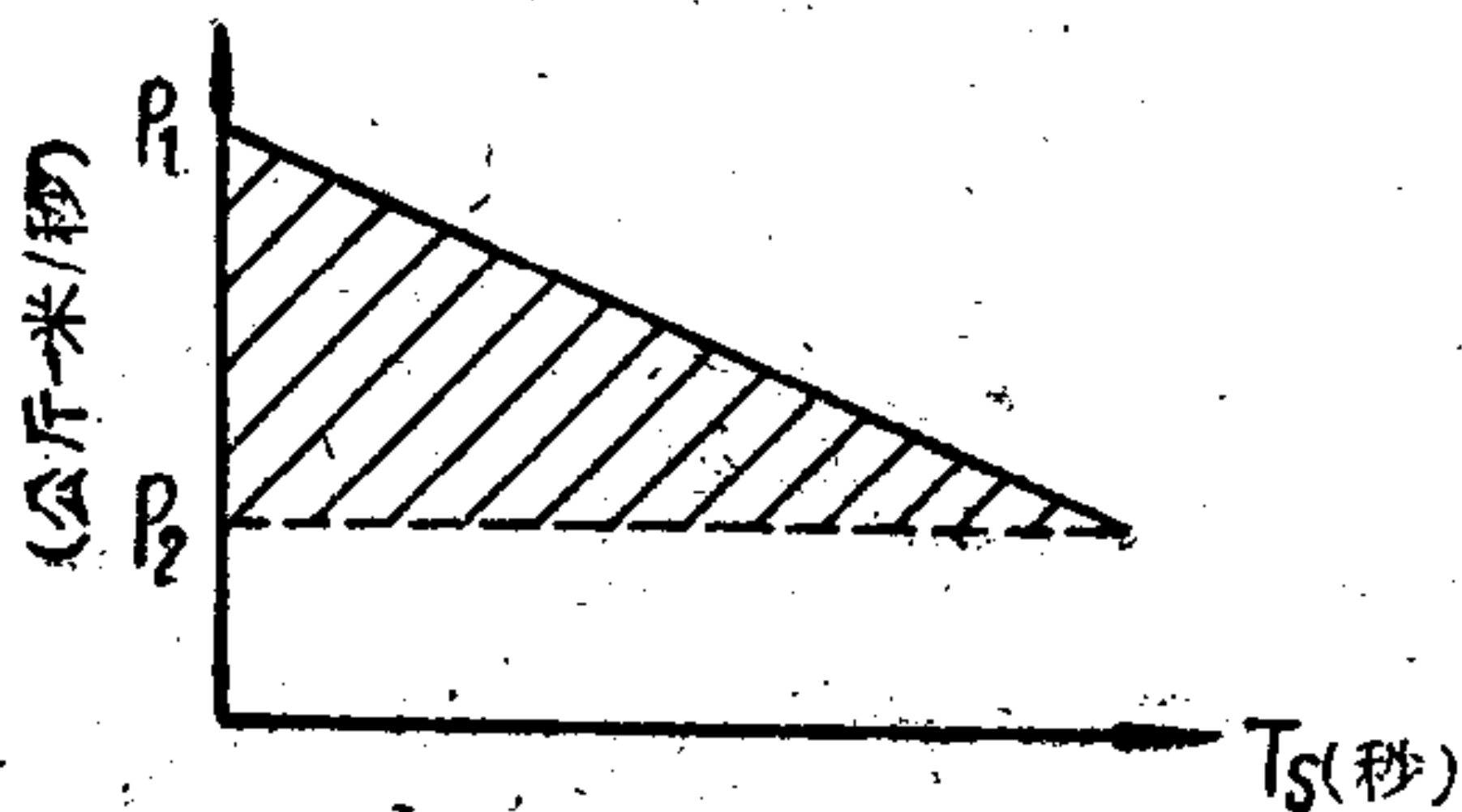


图 1-1

通常认为, 这个功仅消耗在增加旋转体动能上。此时认为发电机的负荷在调整时间内是不变的。必须指出, 在丢弃部分负荷时, 发电机的转速增加, 电网内的周波增高了, 与电网相接的

电动机转速也增高, 这样就消耗了一部分用以增加旋转体动能的功。所以, 一般说来, 在进行调整过程中, 水轮机的负荷略有变