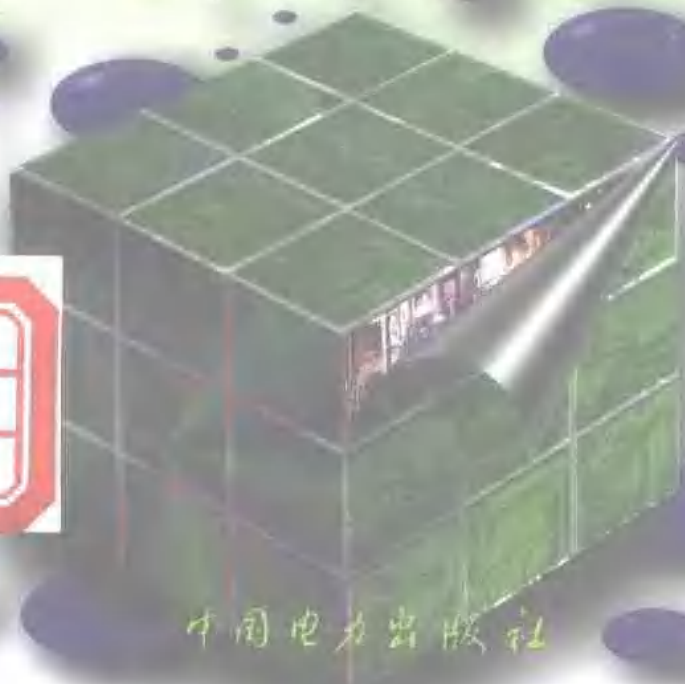


186

电力技术继续教育科目指南丛书

汽轮机及其辅助设备的经济分析

四川省电力工业局
四川省电力教育协会 编



中国电力出版社

汽轮机及其辅助设备的经济分析

四川省电力工业局
四川省电力教育协会 编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书主要讲述等效热降法的理论,用等效热降法分析汽轮机设备的经济性,用热平衡法和循环计算步步逼近的方法计算和分析凝汽器运行的经济性。其内容包括等效热降法的概念和计算式;出入系统的热量影响装置效率的计算法则;再热机组的等效热降;用等效热降法计算机组效率;计算了加热器端差、温升,给水湿度降低,凝汽器铜管清洁度,循环水温度、水量对机组经济性的影响;计算了加热器无水位运行的经济损失和循环水泵的经济运行方式。

本书作为汽轮机专业具有高中级职称的专业技术人员和专业管理人员继续教育的培训教材,也可作为大专院校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

汽轮机及其辅助设备的经济分析/四川省电力工业局,四川省电力教育协会编.-北京:中国电力出版社,2000

(电力技术继续教育科目指南丛书)

ISBN 7-5083-0377-6

I. 汽… II. ①四… ②四… III. ①蒸汽透平-经济-分析-技术教育-自学参考资料②蒸汽透平-辅助设备-经济-分析-技术教育-自学参考资料 IV. TK26

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第35860号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 http://www.cepp.com.cn)

水电印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2000年10月第一版 2000年10月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 32开本 4.5印张 76千字

印数0001~3000册 定价10.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

关于推荐使用 “电力技术继续教育丛书” 的通知

教成 [1998] 11 号

为了促进电力企业专业管理人员和专业技术人员的继续教育和岗位培训工作，四川省电力工业局、四川省电力教育协会组织编写，并由中国电力出版社出版了《电力技术继续教育丛书》（一套 12 册），谨向各单位推荐使用。

中电联教育培训部

一九九八年三月十六日

《电力技术继续教育科目指南丛书》

编委会

主任委员：晏玉清

副主任委员：王龙陵 沈迪民 李小白 凌廷亮

委 员：朱国俊 侯大明 覃友中 李小白

向 进 李克俭 李光宗 樊天龙

袁宏斌 杨胜渤 廖永纲 程树其

林文静 于康雄

总 编：李小白

副 总 编：熊维荣 丁福煜

主 审：王龙陵 侯大明 覃友中

《汽轮机及其辅助设备的经济分析》

编审人员

主 编：陈绍彬

审 稿：潘治平 张庆军

序

为贯彻《中国教育改革和发展纲要》中提出的职工教育要“把大力开展岗位培训和继续教育作为重点，重视从业人员的知识更新”的要求，使职工教育工作更好地为电力系统专业技术人员和管理人员拓展专业知识，提高专业技术水平和管理能力服务，为电力企业安全文明生产“双达标”、“创一流”服务，为促进电力事业的发展服务，在四川省电力公司的领导下，四川省电力教育协会与四川省电力公司人力资源部教育培训处组织一批专家、教授和工程技术人员，联系电力系统的实际，结合国内外电力技术现状及发展方向，贯彻继续教育面向现代化、面向世界、面向未来的方针，注重针对性、实用性、科学性和先进性，编写了第二批《电力技术继续教育科目指南丛书》，作为对电力系统专业技术人员进行继续教育的培训教材，也为电力系统的管理人员和生产人员提供一套学习资料。

第二批丛书共四册，分别是：《500kV 变电所》、《汽轮机事故分析及事故预防》、《汽轮机及其辅助设备的经济分析》、《水电站大坝安全管理与监测技术》等，全部由中国电力出版社出版发行。

本批丛书在编写与审稿全过程中，得到了四川省

电力公司领导及有关处室的大力支持与帮助。承担编写工作的四川电力试验研究院、成都电业局、内江发电总厂、龚嘴水力发电总厂、映秀湾水力发电总厂等单位为丛书的编写提供了良好的工作条件，给予了极大的支持，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，错漏在所难免，诚望读者指正。

《电力技术继续教育科目指南丛书》

编委会

2000年6月5日

前 言

为了搞好继续教育，提高专业技术人员的理论水平和技术水平，保证汽轮机设备的经济运行，特编写了《汽轮机及其辅助设备的经济分析》一书，以供汽轮机专业具有高、中级职称的在职技术人员和管理人员学习或参考。

本书的主要内容有：等效热降法的理论，用等效热降法分析汽轮机设备的经济性，用热平衡法和循环计算步步逼近的方法计算和分析凝汽器运行的经济性。

为了使学员提高分析能力和计算水平，以解决汽轮机设备的经济性问题，教学时应采用理论联系实际的方法，并组织学员对各类汽轮机的运行经济性进行调查和分析，提出解决其经济性问题的办法。通过学习，提高学员对汽轮机设备运行经济性的认识，纠正只重视安全性不重视经济性的片面思想。

本书应以 60 个学时完成。

编 者

1999 年 6 月

目 录

序

前言

第一章 等效热降法	1
第一节 概述	1
第二节 等效热降法的概念	2
第三节 等效热降的计算通式	5
第二章 出入系统的热量影响装置效率的 计算法则	11
第一节 纯热源的利用	11
第二节 工质携带热量入系统	13
第三节 工质携带热量出系统	14
第三章 再热机组的等效热降	18
第一节 再热机组的特殊性	18
第二节 定热量等效热降	19
第三节 定热量新蒸汽等效热降	21
第四节 工质出入再热系统前的等效热降	23
第五节 变热量等效热降	25
第六节 定热量与变热量计算等效热降和循环 吸热量的区别	29
第四章 用等效热降法计算机组效率	30
第一节 概述	30
第二节 数据整理	31

第三节	计算抽汽的等效热降及加热器抽汽效率	34
第四节	计算附加损失及装置效率	36
第五节	用变热量方法计算装置效率	39
第六节	计算机组的标准煤耗率	45
第七节	附加损失对机组标准煤耗率的影响	45
第八节	轴封漏汽损失大的原因分析及处理	49
第五章	加热器端差对机组经济性的影响	52
第一节	加热器端差计算原则	52
第二节	计算加热器端差对装置经济性的影响	57
第三节	加热器端差对装置经济性影响的分析	62
第六章	给水温度降低对装置效率的影响	63
第一节	概述	63
第二节	计算 No8 加热器引起给水焓降低的损失	63
第三节	计算旁路泄漏对装置经济性的影响	66
第七章	加热器温升对机组经济性的影响	69
第一节	试验数据	69
第二节	抽汽等效热降变化对装置效率的影响	70
第三节	汽轮机排汽流量变化对装置效率的影响	74
第四节	加热器温升不足的经济性分析及处理	79
第八章	加热器无水位运行的经济损失	82
第一节	概述	82
第二节	公式推导	84
第三节	计算举例	86
第四节	分析高压加热器无水位运行的经济损失	90
第九章	凝汽器铜管清洁度对机组经济性的影响	92

第一节	概述	92
第二节	试验数据	94
第三节	计算铜管冲洗前、后的传热系数	94
第四节	计算铜管冲洗前、后的清洁率 Φ_{p1} 、 Φ_{p2}	97
第五节	计算 Φ_{p2} 代替 Φ_{p1} 后的排汽压力	99
第六节	分析冲洗凝汽器铜管的经济性	102
第十章	循环水温度对机组经济性的影响	104
第一节	概述	104
第二节	定量计算循环水温度对机组经济性的 影响	105
第三节	循环水进水温度对凝汽器真空影响的 分析	110
第十一章	循环水水量对机组经济性的影响	111
第一节	计算原则	112
第二节	四台循环水泵运行时增加循环水量 提高的真空	113
第三节	三台循环水泵运行时增加循环水量 提高的真空	115
第四节	分析及处理	119
第十二章	循环水泵的经济运行方式	121
第一节	概述	121
第二节	真空较低时增加循环水量的经济性	121
第三节	真空较高时增加循环水量的经济性	125
第四节	分析循环水泵运行方式的经济性	130
结束语	131
参考文献	133

第一章

等效热降法

第一节 概 述

火力发电厂不但要重视汽轮发电机组运行的安全性，而且还要重视其经济性。要提高汽轮发电机组运行的经济性，就应对汽轮机热力系统和设备进行经济性分析。不但要进行定性分析，而且还应进行定量分析。只有通过定量分析，才能够看清机组经济性的本来面目，以便对缺陷进行处理和对设备进行技术改造。

定量分析热力系统的方法很多，其中最适用的方法是等效热降法。

等效热降法于 20 世纪 60 年代后期首先由库兹涅佐夫提出，在 20 世纪 70 年代，这种理论逐步完善和成熟，并形成了完整的理论体系。

等效热降法是基于热力学的热功转换原理，考虑到设备质量、热力系统结构和参数的特点，经过严密地理论推演，导出热力分析参量 II_j 及 η_j 等。等效热降

法就是用这些参量研究热工转换及能量利用程度的一种方法。

等效热降法既可用于整体热力系统的计算，也可用于热力系统局部的定量分析。它的实质仍然是热平衡法，但在计算方法上，不需要对机组整体进行热力计算，就可定量分析局部热力系统的经济性。

利用等效热降法分析热力系统的经济性，具有简捷、方便和准确的特点。因此，在最近几年中，等效热降法的应用越来越普遍，对于分析和改造热力系统等工作，具有重要的指导意义。

电力系统进入市场后，提高汽轮发电机组的经济性，具有更加重要的意义。应用等效热降法分析热力系统，为技术改造提供科学依据；也可用等效热降法分析改造后的热力系统的节能效果；等效热降法是管理电厂经济运行的好方法，对于电厂的降耗节能必将起着重要的作用。

第二节 等效热降法的概念

一、等效热降的含义

对于纯凝汽式机组，1kg 新蒸汽进入汽轮机后，其热降为

$$H = h_0 - h_n \quad \text{kJ/kg} \quad (1-1)$$

式中 h_0 ——新蒸汽焓，kJ/kg；

h_n ——汽轮机排汽焓，kJ/kg。

对于回热抽汽式汽轮机，1kg 新蒸汽进入汽轮机，其热降为

$$\begin{aligned} II_i &= (h_0 - h_r) - \alpha_1(h_1 - h_n) \\ &\quad - \alpha_2(h_2 - h_n) - \dots - \alpha_z(h_z - h_n) \\ &= (h_0 - h_n) \left(1 - \sum_{r=1}^z \alpha_r y_r \right) \quad \text{kJ/kg} \quad (1-2) \end{aligned}$$

式中 $y_r = \frac{h_r - h_n}{h_0 - h_n}$;

α ——抽汽份额；

y ——抽汽做功不足系数；

r ——任意抽汽级的编号；

z ——抽汽级数。

比较式 (1-1) 和式 (1-2) 可知， $H_i < H$ 。但是， H_i 与 H 又相类似，都是 1kg 蒸汽的实际做功。为了使 H_i 和 H 相区别，称 H_i 为等效热降。等效的数量含义是回热抽汽式汽轮机 1kg 新蒸汽所做的功，等效于 $\left(1 - \sum_{r=1}^z \alpha_r y_r \right)$ kg 蒸汽直接到达凝汽器的热降，故称之为等效热降。

二、抽汽等效热降

在某回热系统图中，假设有一个纯热量 q 进入 No3 加热器，使 No3 加热器抽汽刚好少抽 1kg 蒸汽。由于 No3 到 No2 加热器的疏水少了 1kg，疏水在 No2 加热器中少放热量为

$$\gamma_2 = \bar{i}_{s3} - \bar{i}_{s2}$$

式中 \bar{i}_{s3} ——No3 加热器疏水焓, kJ/kg;

\bar{i}_{s2} ——No2 加热器疏水焓, kJ/kg。

这个减少的热量由 No2 加热器多抽汽来进行补偿。多抽汽份额为

$$\alpha_{32} = \frac{\gamma_2}{q_2}$$

式中 q_2 ——1kg 抽汽在 No2 加热器中的放热量, kJ/kg。

被排挤的 1kg 抽汽, 除 No2 加热器多抽汽外, 还有 $(1 - \alpha_{32})$ kg 蒸汽。这部分蒸汽凝结成水, 通过 No1 加热器时, No1 加热器要多抽汽, 多抽汽份额为

$$\alpha_{31} = \frac{(1 - \alpha_{32})\tau_1}{q_1}$$

式中 q_1 ——1kg 抽汽在 No1 加热器中的放热量, kJ/kg;

τ_1 ——No1 加热器中 1kg 凝结水的焓升, kJ/kg;

α_{32} ——No3 加热器排挤 1kg 抽汽被分配到 No2 加热器中的份额;

α_{31} ——No3 加热器排挤 1kg 抽汽被分配到 No1 加热器中的份额。

No3 加热器排挤 1kg 抽汽, 在 No1、No2 加热器有抽汽份额, 产生了汽轮机做功不足。所以, No3 加

热器排挤 1kg 抽汽在汽轮机中的做功为

$$H_3 = (h_3 - h_n) - \alpha_{32}(h_2 - h_n) - \alpha_{31}(h_1 - h_n) \quad \text{kJ/kg} \quad (1-3)$$

式中 h_3, h_2, h_1 — No3、No2、No1 加热器的抽汽焓, kJ/kg。

H_3 就是等效热降, 其符号为 H_j 。

为了计算方便, 把 No j 加热器排挤 1kg 抽汽在汽轮机中所做的功 H_j 与抽汽在该加热器中放热量 q_j 之比, 称为该加热器的抽汽效率 η_j , 其计算式为

$$\eta_j = \frac{H_j}{q_j} \quad (1-4)$$

第三节 等效热降的计算通式

抽汽等效热降的计算从凝汽器开始, 以图 1-1 为例进行分析。

No1 加热器获得热量 q_1 后, 恰好使其抽汽减少 1kg, 被排挤的这 1kg 蒸汽返回汽轮机继续做功到凝汽器, 其等效热降等于实际焓降, 等效热降为

$$H_1 = h_1 - h_c \quad \text{kJ/kg} \quad (1-5)$$

No2 加热器获得热量 q_2 后, 恰好排挤了 1kg 抽汽, 由于进入 No1 加热器的疏水少了 1kg, 疏水在 No1 加热器中少放热量 γ_1 , 因而 No1 加热器要多抽汽, 以便进行补偿。No1 加热器多抽汽份额为

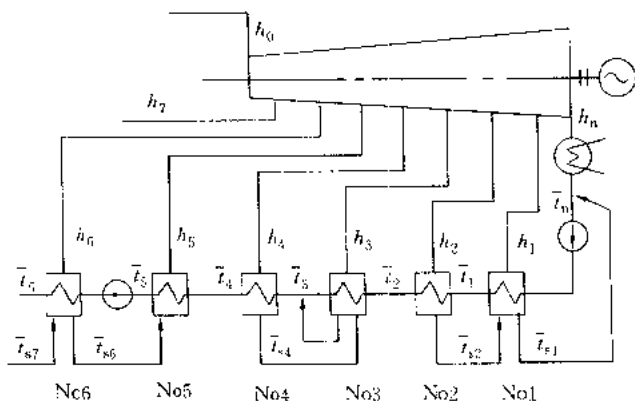


图 1-1

$$\alpha_{21} = \frac{\gamma_1}{q_1} \quad (1-6)$$

No2 加热器被排挤的 1kg 抽汽除分配一部分给 No1 加热器外，其余被排挤的抽汽 $(1-\alpha_{21})$ 继续做功到凝汽器。其等效热降为

$$H_2 = (h_2 - h_n) - \frac{\gamma_1}{q_1} H_1 \quad \text{kJ/kg} \quad (1-7)$$

No3 加热器获得热量 q_3 后，恰使其抽汽减少 1kg，其中一部分做功到凝汽器，另一部分分别做功到 No2 和 No1 加热器的抽汽口被抽出，用以加热增加的 1kg 凝结水。

No3 汇集式加热器被排挤 1kg 抽汽，经过不同途径最终到达凝汽器，主凝结水增加了 1kg，故 No2 加热器抽汽将增加，增加的抽汽份额为