

火电厂热系统节能理论

林万超 著

西安交通大学出版社

内 容 提 要

本书为1985年出版的《火电厂热系统定量分析》的修订本。10年来,作者所进行的有关科研在理论上取得了重要的进展,在应用中获得了明显的效益,并被国家列为重大科技项目,在全国推广。据此,作者在本次修订时,对原有内容进行了重要修订和补充。它从热系统的计算、分析方法,热经济性变化的表达及指标转换的计算,热系统变工况计算的原理,以及热系统定量分析的“等效热降理论”等方面系统地阐述了热系统节能的基本理论。重点讨论了火电厂热力系统及其设备的节能原理、节能技术,以及它们的定量分析方法和数学模型。主要内容有:热系统的简捷计算方法;热系统的变工况计算方法;等效热降的基本理论及其应用原则;热力系统及其设备的节能原理与节能技术的定量分析等13个章节组成。

这是一本研究火电厂热经济性及节能技术的专著,并可作为高等院校热能动力专业硕士生和本科生选修课程的教材或参考书。对从事热系统设计、研究、运行、改造以及节能管理的科技工作者,也是一本有价值的参考书。

(陕)新登字 007 号

火电厂热系统节能理论

林万超 著

责任编辑 早雪

*

西安交通大学出版社出版发行

(西安市咸宁西路28号 邮政编码:710049)

陕西省轻工业厅印刷厂印装

陕西省新华书店经销

*

开本:700×1000 1/16 印张:17.25 字数:326千字

1994年11月第1版 1994年11月第1次印刷

印数:1—4000

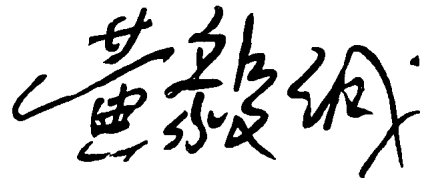
ISBN7-5605-0728-X/TK·58 定价:15.00元

黄毅诚为本书出版所作的题语

我国能源发展战略的重大方针之一,就是提高能源利用效率。多年来,经过不懈地努力,我国的能源利用效率已有所提高,至今约已达到了30%,还需要再经过10年、20年、30年的努力,使得全国的能源利用效率能达到40%~50%,接近目前发达国家的水平。

节约能源是全社会的事情,把现有能源用好也是每一位公民义不容辞的责任。我们赖以生存的地球赋予我们的资源有限,如何提高能源利用效率,成为摆在我们面前的重大课题,希望各有关学者、专家、工程技术人员能以此为已任,为之努力,攻克这一难关。

林万超教授与他的同事们长期致力于提高火电厂能源利用效率的研究及其应用,取得了很大的突破,作出了自己的贡献。其专著《火电厂热系统节能理论》是集20多年潜心研究之大成,很有指导价值,做到了教学面向生产,是理论联系实际典范,令人敬佩。

A large, stylized handwritten signature in black ink, reading '黄毅诚' (Huang Yicheng). The characters are bold and expressive, with a long horizontal stroke at the beginning and a vertical stroke at the end.

1994年于北京

序 言

〔等效热降法是 70 年代发展起来的一门热工理论,是热力系统分析,计算的一种新方法。这种方法在热力系统局部定量分析中,具有简捷、方便和准确的明显特点,在生产实践中效果显著,引人注目。〕近年来,这一方法得到了广泛的应用,深受工程界的好评。西安交通大学博士生导师林万超教授这项科研成果,取得了显著的经济效益,受到了有关部委的表彰。该项研究成果曾被能源部列为重点节能措施在全国推广,并被国家科学技术委员会列为“国家科技成果重点推广计划超亿元产值 100 例”的百强项目。

《火电厂热系统节能理论》一书,是作者林万超教授 20 多年来对等效热降理论、热系统定量分析和热系统节能技术研究与实践的成果结晶。本书是在作者所著《火电厂热系统定量分析》(1985 年西安交通大学出版社出版)一书的基础上修订补充而成,不仅增加了新的科研成果内容:如供热机组的等效热降及其应用,热系统变工况的计算方法以及热系统和设备的节能技术等;而且在理论上有了新的进展,系统深入地阐述了热系统节能的基本理论,并详尽地分析了火电厂热系统的组成、设备的热经济性与节能技术,以及等效热降法建立局部定量的方法和各类数学模型,为火电厂的节能与技术改进拓宽了途径,提供了定量分析的手段和可靠的理论依据。

林万超教授这本著作无论在学术上还是应用上都很有价值,将为我国电力工业的建设和发展做出更大贡献。本人很高兴看到这本书的出版,并乐为之序。

陈学俊

1994 年 8 月 26 日

* 序言作者为中国科学院院士,西安交通大学教授——编者注。

目 录

第 1 章 热系统的简捷计算和热经济指标	(1)
1.1 简捷计算	(1)
1.2 反平衡计算	(4)
1.3 外部余热利用计算	(6)
1.4 汽动给水泵的计算	(7)
1.5 检验计算的方法	(9)
1.6 热经济指标的变化及其关系.....	(10)
1.7 热系统简捷计算举例.....	(14)
第 2 章 等效热降的理论基础	(22)
2.1 概 述.....	(22)
2.2 等效热降概念.....	(23)
2.3 H_i 和 η_i 的计算	(25)
2.4 新蒸汽等效热降.....	(29)
2.5 等效热降的条件.....	(30)
2.6 等效热降计算实例.....	(31)
第 3 章 等效热降应用的基本法则	(33)
3.1 概 述.....	(33)
3.2 内、外纯热量出入热系统	(34)
3.3 携带工质的内、外热量进出热系统	(36)
3.4 补水地点引起的做功差异及多种形式的计算公式.....	(40)
3.5 热系统辅助成分做功损失总和 $\Sigma\Pi$	(43)
第 4 章 再热机组的等效热降	(44)
4.1 概 述.....	(44)
4.2 定热量等效热降.....	(45)
4.3 定热量等效热降应用特点.....	(48)
4.4 变热量等效热降.....	(54)
4.5 变热量分析计算.....	(55)
第 5 章 供热机组的等效热降	(61)
5.1 概 述.....	(61)
5.2 供热机组的等效热降.....	(61)
5.3 供热抽汽的做功损失.....	(63)
5.4 供热机组的基本方程.....	(65)

5.5	供热机组热系统的局部定量方法	(71)
第6章	热系统变工况计算	(80)
6.1	概 述	(80)
6.2	变工况计算的理论基础	(81)
6.3	凝汽机组热系统变工况计算	(85)
6.4	供热机组热系统变工况计算	(91)
第7章	热力系统的定量分析	(98)
7.1	概 述	(98)
7.2	轴封渗漏及利用系统	(98)
7.3	抽气器系统	(106)
7.4	补充水系统	(109)
7.5	厂用蒸汽系统	(111)
7.6	除氧器系统	(113)
7.7	蒸发器系统	(117)
7.8	喷水减温系统	(120)
7.9	排污及其利用系统	(125)
7.10	再循环系统	(128)
7.11	疏水及凝结水回收系统	(131)
7.12	高压加热器的并联系统	(134)
第8章	热系统设备的定量分析	(137)
8.1	概 述	(137)
8.2	加热器	(137)
8.3	疏水冷却器	(154)
8.4	疏水泵	(158)
8.5	蒸汽冷却器	(161)
8.6	冷凝器过冷度及余热利用设备的定量分析	(168)
第9章	工业供汽方式及过热度利用的定量分析	(172)
9.1	概 述	(172)
9.2	工业供汽方式的定量分析	(172)
9.3	工业供汽过热度利用的定量分析	(176)
9.4	背压机供汽过热度利用的定量分析	(181)
9.5	举例	(187)
第10章	给水回热焓升的最佳分配	(191)
10.1	概 述	(191)
10.2	单级最佳抽汽压力的确定	(192)

10.3	最佳分配的逐次逼近	(194)
10.4	再热机组的逐次逼近	(200)
10.5	多变量法求最佳分配	(203)
第11章	暖风器系统的定量分析	(207)
11.1	低温腐蚀与暖风器简述	(207)
11.2	抽汽加热空气的定量分析	(208)
11.3	暖风器系统的特性方程	(213)
11.4	暖风器系统的参数选择及其合理运行	(218)
11.5	暖风器与热风再循环的分析比较	(219)
11.6	暖风器系统的改进	(220)
第12章	低压省煤器系统的定量分析	(224)
12.1	低压省煤器系统概述	(224)
12.2	低压省煤器系统的定量分析	(225)
12.3	低压省煤器的防腐及系统的参数选择	(231)
12.4	有限腐蚀的低压省煤器系统	(232)
12.5	暖风器与低压省煤器的联合系统	(234)
第13章	重力自流接触式加热器系统的定量分析	(239)
13.1	概 述	(239)
13.2	接触式加热器的系统和结构	(240)
13.3	接触式加热器系统的定量分析	(244)
13.4	应用中的问题	(246)
13.5	应用前景	(250)
附录	国内汽轮机热力系统及等效热降	(251)

第一章 热系统的简捷计算和热经济指标

1.1 简捷计算

热力系统常规计算的目的在于确定热力系统各部分蒸汽或水的参数及流量,机组的功率和热经济指标(汽耗率、热耗率、热效率和煤耗率等)。它是火电厂设计、运行和技术改造的一项基本运算,也是热力工程的一件重要的技术工作。

热力系统常规计算的方法有两种:一是定功率计算,即功率给定后求解汽耗量;另一种是定流量计算,即预先给定或估计蒸汽消耗量,求解功率或逐步逼近给定功率。进汽流量的迭代初值,可按式选取:

$$D = k_p \frac{N_d}{H \eta_{jx} \eta_d} \quad [\text{kg/s}]$$

其中 N_d ——计算工况的电机功率 [kW];
 H ——1kg 新蒸汽的纯凝汽实际焓降 [kJ/kg];
 η_{jx} ——机械效率;
 η_d ——电机效率;
 k_p ——回热系数。

当初参数为:9MPa, 535°C 时, $k_p = 1.1 \sim 1.15$;

13MPa, 550/550°C 时, $k_p = 1.1 \sim 1.2$;

24MPa, 545/545°C 时, $k_p = 1.26 \sim 1.3$ 。

热力系统的计算方法及步骤请参阅《热力发电厂》等有关技术书籍,这里不再赘述。本章要讨论的是如何对这些计算进行简化,使计算简捷、明了,也就是讨论所谓“简捷计算”的方法。

简捷计算是在改进常规计算的过程中逐步完善形成的。它在计算方法和计算技巧上,对常规计算做了一些改进和加工。首先在原始资料整理上进行改进,把热力系统中繁多的热力参数整理为三类:其一是给水在加热器中的焓升,以 τ_j 表示,按加热器编号有 $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_z$;其二是蒸汽在加热器中的放热量,用 q_j 表示,按加热器编号有 $q_1, q_2, q_3, \dots, q_z$ 以及其它汽源的放热量 q_{fj} 等;其三是疏水在加热器中的放热量,用 γ_j 表示,按加热器编号有 $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots, \gamma_z$ 。

以图 1.1 系统为例,可将各种原始参数整理为:

$$\begin{array}{llll} \tau_1 = \bar{t}_1 - \bar{t}_n & q_n = h_n - \bar{t}_n & q_{f1} = h_{f1} - \bar{t}_n & \gamma_1 = \bar{t}_{i2} - \bar{t}_n \\ \tau_2 = \bar{t}_2 - \bar{t}_1 & q_1 = h_1 - \bar{t}_n & q_{f2} = h_{f2} - \bar{t}_{i2} & \gamma_3 = \bar{t}_{i4} - \bar{t}_2 \\ \tau_3 = \bar{t}_3 - \bar{t}_2 & q_2 = h_2 - \bar{t}_{i2} & q_{f3} = h_{f3} - \bar{t}_2 & \end{array}$$

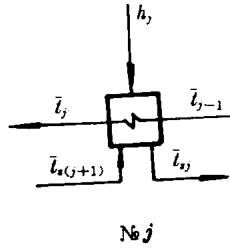


图 1.2 疏水放流式加热器

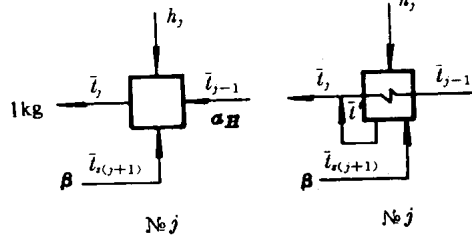


图 1.3 汇集式加热器

显然,其规定与常规计算完全相同。

对汇集式加热器:

$$\left. \begin{aligned} \tau_j &= \bar{t}_j - \bar{t}_{j-1} \\ q_j &= h_j - \bar{t}_{j-1} \\ \gamma_j &= \bar{t}_{s(j+1)} - \bar{t}_{j-1} \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

显然,这样的规定不同于常规方法。其特点在于将加热蒸汽与疏水在加热器中的放热,过度地放到加热器的入口水焓。这样的虚构处理,并不影响加热器的热平衡和物质平衡,却人为地造成了加热器进、出口工质相等的条件,因而消除了一个未知数 α_H 。这就简化了计算,避开了解联立方程的问题,使抽汽份额 α_j 的计算能由高到低(加热器编号采用由低压向高压依次编排为 1, 2, 3, ..., Z 的顺序)逐个地解出。

关于虚构过度放热能减少一个未知数问题,可由图 1.3 混合式加热器证明如下:

该加热器的热平衡方程为

$$\bar{t}_j = \alpha_j h_j + \beta \bar{t}_{s(j+1)} + \alpha_H \bar{t}_{j-1} \quad (1.3)$$

加热器的质量方程为

$$\alpha_j + \alpha_H + \beta = 1 \quad (1.4)$$

将(1.4)代入(1.3)并简化,得

$$\alpha_j = \frac{(\bar{t}_j - \bar{t}_{j-1}) - \beta(\bar{t}_{s(j+1)} - \bar{t}_{j-1})}{h_j - \bar{t}_{j-1}} \quad (1.5)$$

式中 β ——进入加热器 №j 的疏水份额。

由(1.5)式看出,若令

$$\left. \begin{aligned} \tau_j &= \bar{t}_j - \bar{t}_{j-1} \\ q_j &= h_j - \bar{t}_{j-1} \\ \gamma_j &= \bar{t}_{s(j+1)} - \bar{t}_{j-1} \end{aligned} \right\} \text{即简捷计算的规定}$$

则

$$\alpha_j = \frac{\tau_j - \beta\gamma_j}{q_j}$$

就是说,这样规定 τ_j, q_j, γ_j 后,求汇集式加热器的抽汽份额 α_j 就不必解联立方程组而能直接求得。

应当指出,计算中所用的加热器出口水焓,在带疏水泵的汇集式加热器中,是指混合后的焓值,即图 1.3 中的 \bar{t}_j ,而不是混合点前的 \bar{t}_j' 。 \bar{t}_j 焓值是一个未知数,通常比 \bar{t}_j' 高出 $1 \sim 3.5$ [kJ/kg],计算时可用逼近法渐次接近,即预先假定一个 \bar{t}_j ,然后反复迭代逼近到满意的近似程度为止。

再次,为了使整个计算更为简明,计算时把系统的各种附加成分,如轴封蒸汽的利用、抽气加热器、轴封加热器、泵的焓升以及外部热源的利用等,分别归并入相应的加热器内,一律不再单独自立。就是说,把加热器及其附加成分视为一个加热整体。其归并的原则是以相邻两个加热器的水侧出口为界限,凡在此界限内的一切附加成分都归并到界限内的加热器中。如图 1.1 中的 №1 加热器,就应当把包括各附加成分的虚线方块视为一个加热整体,以减少热平衡方程,使 τ_j 的含义明确而有规律。这样,无论对手算或电算都很有利。

应当注意,附加成分的标志标注应与加热器一致。如图 1.1 中 №1 加热器的轴封来汽和抽气器来汽采用 $\alpha_{f1}, \alpha_{s1}, h_{f1}, h_{s1}$ 表达。它们在加热器中的放热量,因汽流在加热器中放热的方式不同而异。当与加热器蒸汽混合而直接放热时,其放热量与该加热器的 q_j 规定相同。

以图 1.1 为例,有

$$q_{f3} = h_{f3} - \bar{t}_2 \quad q_{f2} = h_{f2} - \bar{t}_{12} \quad q_{f1} = h_{f1} - \bar{t}_n$$

当间接放热,即不与加热蒸汽混合时,其放热量就是该汽流的真实放热量,故图 1.1 中 α_{f3} 的放热为 $q_{f3} = h_{f3} - \bar{t}_{f3}$ 。

经过上述加工处理的计算,在本质上与热力系统的常规计算并无区别,但在计算形式和方法上做了一些技巧性的改进,从而收到了简单、明了的效果,且适宜于用计算机运算。

1.2 反平衡计算

热系统的反平衡计算系指机组的做功和热经济指标采用反平衡方法计算。这种反平衡计算的理论依据是热力学第一定律,即循环加入的热量扣除各种损失后所剩余的就是循环做功。据此,1kg 工质的循环做功,用反平衡方程表达为

$$N_i = Q - \Sigma Q_n \quad [\text{kJ/kg}]$$

式中 Q ——循环的吸热量 [kJ/kg];

ΣQ_n ——各种损失的总和 [kJ/kg]。

$$Q = h_0 - \bar{t}_g \quad [\text{kJ/kg}]$$

式中 h_0 ——蒸汽初焓 [kJ/kg];

\bar{t}_g ——锅炉给水焓 [kJ/kg]。

若用正平衡计算,则循环功等于膨胀功减去压缩功,

即 $N_i = N_{i_p} - \tau_b$ [kJ/kg]

式中 N_{i_p} ——汽轮机的膨胀功 [kJ/kg];

τ_b ——给水泵的压缩功,等于给水泵内的焓升 [kJ/kg]。

给水在泵内的焓升 τ_b 可按下式计算:

$$\tau_b = \frac{v_p(P''_b - P'_b) \times 10^3}{\eta_b} \quad [\text{kJ/kg}]$$

式中 v_p ——水在泵内的平均比容 [m³/kg];

P'_b ——水泵入口压力 [MPa];

P''_b ——水泵出口压力 [MPa];

η_b ——水泵效率,一般为 76% ~ 82%。

按各股汽流实际焓降计算膨胀功,则循环功为

$$N_i = \sum_{r=1}^z \alpha_r H_r + \Sigma \alpha_i H_i - \tau_b$$

式中 α_r ——汽轮机任意回热抽汽流的份额;

H_r ——任意回热抽汽流在汽轮机中的实际热降 [kJ/kg];

z ——回热加热级数;

α_i ——回热抽汽以外的其他汽流的份额;

H_i ——其他汽流在汽轮机中的实际热降 [kJ/kg]。

显然

$$Q - \Sigma Q_n = \sum_{r=1}^z \alpha_r H_r + \Sigma \alpha_i H_i - \tau_b$$

实际循环效率

$$\eta_i = \frac{Q - \Sigma Q_n}{Q} = \frac{\sum_{r=1}^z \alpha_r H_r + \Sigma \alpha_i H_i - \tau_b}{Q}$$

如果热力系统计算中忽略泵的耗功,同时也必须不计水在泵中的焓升,则有

$$\eta_{i(m)} = \frac{Q_m - \Sigma Q_n}{Q_m}$$

$$= \frac{\sum_{r=1}^n \alpha_r H_r + \Sigma \alpha_i H_i}{Q_m}$$

式中 $Q_m = Q + \tau_s$ 。

否则正、反平衡计算结果不能相符。

应当指出, ΣQ_m 是一个广义的冷源损失, 它不仅包括排汽 α_n 的冷源损失, 还应包括各加热器和管道的散热损失, 疏水自流在冷凝器中的放热损失, 轴封汽的散热损失以及漏入冷凝器的热损失等。

其他汽流的作功 $\Sigma \alpha_i H_i$, 包括直达冷凝器的凝汽流的作功, 各种轴封漏汽在渗漏前的作功, 以及暖风器、抽汽加热燃料和其他厂用汽的作功等。

显然, 正确计算 ΣQ_m 和 $(\sum_{r=1}^n \alpha_r H_r + \Sigma \alpha_i H_i)$ 时, 正平衡与反平衡计算出的循环功和实际循环效率 η 应当完全一致。

反平衡计算方法, 就其本身而言是无可非议的, 且具有一定特色。但是, 对 ΣQ_m 的计算往往易出现考虑不周和遗漏, 对于一个不太熟练的热力工作者尤其如此。因此, 计算时要特别细致, 建议一般计算仍用正平衡方法, 而以反平衡方法作为检验。还应当指出, 用反平衡研究某些问题, 有它的独特效果, 因而懂得和掌握反平衡计算方法是完全必要的。

1.3 外部余热利用计算

火电厂热循环的外部存在各种余热, 如冷却发电机的热量、冷油器带走的热量等, 均属热力循环外部余热。把外部余热引入热系统, 给以合理的利用是提高电厂经济性, 节约能源的一条途径。

发电机冷却热量利用的计算, 在发电机损失功率 ΔN_d 或电机效率 η_d 已知时, 可按下式计算:

$$Q_{dy} = \Delta N_d \zeta \quad [\text{kW}]$$

或

$$Q_{dy} = N_d \left(\frac{1}{\eta_d} - 1 \right) \zeta \quad [\text{kW}]$$

式中 ΔN_d ——发电机损失功率 [kW];

η_d ——发电机效率;

ζ ——电机损失热量的利用系数, 可取 0.85 ~ 0.9。

外部余热引入热系统时, 在正平衡计算中自然反映了它的作功, 在反平衡计算中, 该余热利用产生的冷源损失也自然反映在冷源损失的计算中了。这时, 如果把余热利用视为加入热量的一部分, 则循环加入热量

$$Q' = Q + \Sigma Q_y, \text{ [kJ/kg]}$$

式中 Q ——循环加入热量,即锅炉加入的热量;

ΣQ_y ——循环外部加入的各种余热。

这时循环效率的计算:

对反平衡

$$\begin{aligned} \eta_i &= \frac{Q' - \Sigma Q_n}{Q'} \\ &= \frac{Q + \Sigma Q_y - \Sigma Q_n}{Q + \Sigma Q_y} \end{aligned}$$

对正平衡

$$\begin{aligned} \eta_i &= \frac{\sum_{r=1}^n \alpha_r H_r + \Sigma \alpha_i H_i - \tau_b}{Q'} \\ &= \frac{\sum_{r=1}^n \alpha_r H_r + \Sigma \alpha_i H_i - \tau_b}{Q + \Sigma Q_y} \end{aligned}$$

由此求得的循环效率 η_i 一般是降低的,原因是余热一般属于低能级热量,可转变为功的部分不大,其份额比原循环小,大部分变成了冷源损失,因而冷源损失相对增大,循环效率降低。如果把余热作废热处理,即只计它的做功,而不计循环热量的增加,这时循环效率就表现为增加了。这是由于只计做功收益而不计热量支出的缘故。显然,这样的循环效率已不是热力学所讨论的循环效率,它们之间有本质的区别。这样处理的好处在于余热利用表示的经济指标的提高,有利于节能的开展和促进余热利用。其循环效率的计算如下:

正平衡计算

$$\eta_i = \frac{\sum_{r=1}^n \alpha_r H_r + \Sigma \alpha_i H_i - \tau_b}{Q}$$

反平衡计算

$$\eta_i = \frac{Q + \Sigma Q_y - \Sigma Q_n}{Q}$$

1.4 汽动给水泵的计算

大功率机组给水泵的拖动方式,多数采用汽轮机。该汽轮机称驱动汽轮机,其功率可按下式计算:

$$N_b = \frac{D_{gs} (P''_b - P'_b) v_p \times 10^3}{\eta_b \eta_{qjz}} \text{ [kW]}$$

式中 D_{gs} ——通过给水泵的水量 [kg/s];

- P_b'', P_b' ——给水泵出口、进口压力 [MPa];
- v_p ——给水在泵内的平均比容 [m³/kg];
- η_b ——给水泵效率;
- η_{qiz} ——驱动汽轮机的机械效率(一般在 0.975 ~ 0.98)。

驱动汽轮机的汽耗量

$$D_q = \frac{N_b}{H_q} \quad [\text{kg/s}]$$

式中 H_q ——驱动汽轮机的实际焓降,可按汽轮机的效率 $\eta_{oi} = 0.78 \sim 0.8$ 确定。

驱动汽轮机的进汽份额

$$\alpha_q = \frac{\alpha_g \tau_b}{H_q \eta_{qiz}}$$

热系统计算中,拟把驱动汽轮机的作功也视为主汽轮机膨胀功的一部分,即

$$N_{ip} = \sum_{r=1}^i \alpha_r H_r + \Sigma \alpha_i H_i + \alpha_q H_q \quad [\text{kJ/kg}]$$

其中, $\Sigma \alpha_i H_i$ 应包括 α_q 在主汽轮机中的作功 $\alpha_q H_q$ 。

这时循环内功为 $N_i = N_{ip} - \tau_b \quad [\text{kJ/kg}]$

反平衡计算时为 $N_i = Q - \Sigma Q_n \quad [\text{kJ/kg}]$

这时, ΣQ_n 中应包括驱动汽轮机的冷源损失 $\alpha_q q_{nq}$, 其中 $q_{nq} = h_{nq} - i_{nq}$, 符号意义见图 1.4。

当采用汽动泵时,计算机组热经济指标有两种表达方式:

一种方法是把驱动汽轮机的功率视为汽轮机装置发出功率的一部分,如同采用电动泵一样,称为毛热耗率。即

$$q_M = \frac{3600QD_0}{N_d + N_b} \quad [\text{kJ}/(\text{kW} \cdot \text{h})]$$

相应的毛装置效率为

$$\eta_{i(M)} = \frac{3600}{q_M \eta_{jz} \eta_d}$$

另一种是不把驱动汽轮机的功率算作汽轮机输出功率的方法,

相当于在发电机输出功率中扣除给水泵耗功,故称半净热耗率。即

$$q_{\mu} = \frac{3600QD_0}{N_d} \quad [\text{kJ}/(\text{kW} \cdot \text{h})]$$

相应的半净装置效率为

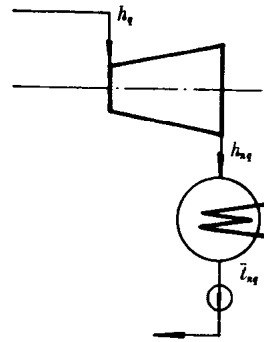


图 1.4 驱动汽轮机示意图

$$\eta_{i(\mu)} = \frac{3600}{q_{ji}\eta_{jz}\eta_d}$$

上述各式中 D_0 ——汽轮机的进汽量 [kg/s]。

1.5 检验计算的方法

热力系统计算结果需要做两方面检验：一方面通过计算结果检验热力系统能否正常工作；另一方面要检验计算结果本身是否正确。这两方面的检验在《热力发电厂》书籍中都有叙述，这里就不重复了。本节主要讲述计算结果检验的其它方法。

计算结果的正确性有两个含义。一是指它计算的数字结果是正确的，即求解计算正确，精度符合要求。这可以通过回代方法得到检验，就是把求解得出的结果代回热平衡式、功率方程式或物质平衡式进行检算。二是指计算的热力结果是正确的，即计算的方法和过程在热力学上正确无误。后一检验往往更为重要，因为这方面的错误比较难于发现。比如计算中由于计算公式、计算方法或原始数据整理有错，但只要运算正确，其计算的数字结果是可以验证通过的。显然，这时数字结果虽然正确，但热力结果还可能错误，还应进行热力结果是否正确的检验。

计算结果的热力检验可以用热耗率平衡进行检验。根据热力学第一定律有

$$q = 3600 + q_{om} + q_{jd} + q_{sz} - q_{ob} \quad [\text{kJ}/(\text{kW} \cdot \text{h})]$$

式中 q ——热耗率；

q_{om} ——在冷凝器表现出来的冷源损失；

q_{jd} ——汽轮发电机的机械损失和电机损失；

q_{sz} ——各种热力设备和管道的散热损失；

q_{ob} ——给水在泵内焓升的热量。

它们的计算公式是：

$$q_{om} = d(\alpha_n q_n + \sum \alpha_i q_{in}) \quad [\text{kJ}/(\text{kW} \cdot \text{h})]$$

$$q_{jd} = 3600 \left(\frac{1}{\eta_{jz}\eta_d} - 1 \right) \quad [\text{kJ}/(\text{kW} \cdot \text{h})]$$

$$q_{sz} = d \left(\sum_{r=1}^z \alpha_r q_r \xi + \sum q_i \right) \quad [\text{kJ}/(\text{kW} \cdot \text{h})]$$

$$q_{ob} = d\tau_b \quad [\text{kJ}/(\text{kW} \cdot \text{h})]$$

式中 α_n ——汽轮机的纯凝汽流份额；

q_n ——汽轮机 1kg 排汽在冷凝器的放热量；

α_i ——进入冷凝器的其他汽、水流份额；

q_{in} ——1kg 其他汽、水流在冷凝器中的放热量；

η_{js}, η_d ——机械效率和电机效率；

ξ ——散热损失系数, $\xi = 1 - \eta_m, \eta_m$ 为加热器利用系数；

Σq_i ——其他散热损失；

d ——汽轮机的汽耗率。

这样计算出的 q 应与热力系统计算的热耗率一致。由于计算误差可能不会完全相符,但偏差不应大于 $4[\text{kJ/kg}]$ 。

检验的另一个方法是用 1.2 节的反平衡法。如果反平衡计算与正平衡计算结果相符,则不仅表明数字计算是正确的,而且表明计算的热力结果也是正确的,即计算方法和计算公式在热力学上都完全正确。这是反平衡法的一个重要应用。

1.6 热经济指标的变化及其关系

热力设备的完善程度,电厂热经济性的好坏,通常用热经济指标来表征。常用的热经济指标有:实际循环效率 η_i ,汽轮机装置的热耗率 q 和电厂标准煤耗率 b_b 。

1.6.1 热经济指标变化之间的关系

热力设备经济性的变化可以用上述指标的绝对变化和相对变化来表示。

所谓绝对变化是

$$\left. \begin{aligned} \Delta\eta_i &= \eta_i' - \eta_i \\ \Delta q &= q' - q \\ \Delta b_b &= b_b' - b_b \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

它表示这些指标变化的绝对量。这是工程中常用的方法,即通常所说的煤耗降低了多少 g,热耗降低了多少 kJ。

所谓相对变化是

$$\left. \begin{aligned} \delta\eta_i &= \frac{\Delta\eta_i}{\eta_i'} \times 100 \quad \text{或} \quad \delta\eta_i' = \frac{\Delta\eta_i}{\eta_i} \times 100 \quad [\%] \\ \delta q &= \frac{\Delta q}{q'} \times 100 \quad \text{或} \quad \delta q' = \frac{\Delta q}{q} \times 100 \quad [\%] \\ \delta b_b &= \frac{\Delta b_b}{b_b'} \times 100 \quad \text{或} \quad \delta b_b' = \frac{\Delta b_b}{b_b} \times 100 \quad [\%] \end{aligned} \right\} \quad (1.7)$$

它表示这些指标变化的相对量,即变化的百分数。这就是工程中常说的经济性提高了百分之几,煤耗降低了百分之几,热耗下降了百分之几等。

在经济性变化不大时,有

$$\left. \begin{aligned} \delta\eta_i &\approx \delta\eta_i' \\ \delta q &\approx \delta q' \\ \delta b_b &\approx \delta b_b' \end{aligned} \right\} \quad (1.8)$$