

DCRLXTJNFXYLJYY

电厂热力系统 节能分析原理 及应用

阎水保 阎留保 著



黄河水利出版社

电厂热力系统节能分析原理及应用

阎水保 阎留保 著

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

电厂热力系统节能分析原理及应用/阎水保, 阎留保著. —郑州:黄河水利出版社, 2000. 6

ISBN 7-80621-420-8

I. 电… II. ①阎…②阎… III. 发电厂-热力系统-节能-基本知识 IV. TM621.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 25283 号

责任编辑:雷元静

封面设计:朱 鹏

责任校对:赵宏伟

责任印制:常红昕

出版发行:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 12 层 邮编:450003

发行部电话:(0371)6302620 传真:(0371)6302219

E-mail:yrpc@public2.zz.ha.cn

印 刷:黄委会设计院印刷厂

开 本:850 mm×1 168 mm 1/32

印 张:3.75

版 别:2000 年 6 月 第 1 版

印 数:1—2 500

印 次:2000 年 6 月 郑州第 1 次印刷

字 数:105 千字

定 价:12.00 元

前 言

一个好的理论不仅要求正确,而且要求简捷。“简单易学”正是本书的最大特点。本书建立了一整套电厂热力系统节能理论和定量分析方法。通过对热力系统的结构的抽象和概括指出:热力系统是一个“热功转换网络”,其中有若干个能级组成。这是热力系统在结构上的共同特征。可以用一个矩阵来描述热力系统的结构,书中将锅炉也作为一个能级,包含在热力系统的结构矩阵中。这与以前的方法有所不同。通过对热力系统中工质的运动规律的研究发现,工质在热力系统中的循环运动回路改变,不会影响工质在热力系统中某一具体位置时的实际作功能力。这样,工质作为“载体”的特征就明显地表现出来了。本书中将工质在热力系统中的运动规律概括为“回路作功能力原理”,并给出了数学表达式。热力系统从锅炉的吸热、向外输出的内功、汽水损失、散热损失,节流损失等,都是外部因素与热力系统作功网络之间的作用。这些外部作用可以用向量来表示,书中称为焓向量。焓向量是出发自凝汽器水侧焓,终于外部作用对热力系统作功网络的作用点的向量,可用向量在热力系统中各个能级上的投影来表示。因此,热功转换网络、回路作功能力原理和焓向量就构成了对热力系统及其与外界作用的完整的描述手段。正是由于本书提供了对热力系统描述的完整手段,才使得本书所建立的理论具有与等效焓降法、循环函数法和矩阵法所不同的特点。它不再需要根据机组的类型或外界作用的类型来建立数学模型,避免了由此而带来的计算公式数量的膨胀和方法的复杂化。

关于“能量”的度量问题,习惯的做法是仅仅从“数量”上度量

能量,这是属于热力学第一定律的范畴,用这种观点看待能量将会给节能工作带来不便。这是因为节能是属于热力学第二定律的范畴,若能从“实际作功能力”的角度来度量能量,则会给节能分析工作带来极大方便。本书给出了直接度量能量在一个实际热力系统中作功能力的方法。

热力系统节能分析理论发展的一个明显趋势是融合性和归一性。即各方法之间相互吸收优点,这也是本书的一个突出特点。

总之,本书力求在吸收现有方法优点的基础上,建立一套完整的、易于学习和使用的热力系统节能分析新理论,以求使电厂的热力系统节能分析工作普及化、大众化。本书的目的是否能够达到,还待读者作出评价。由于本人能力有限,时间仓促,不妥之处难免,敬请读者批评指正。

作 者

1999年12月20日

目 录

绪论	(1)
0.1 热力系统节能分析方法简述	(1)
0.2 回路作功能力原理	(2)
0.3 热力系统的两个基本特征	(4)
0.4 对矩阵法的新认识	(5)
0.5 对等效焓(热)降法的新认识	(5)
0.6 对循环函数法的改进	(6)
0.7 热力系统节能分析方法的分类	(7)

第一部分 热力系统节能的基本理论

第一章 回路作功能力原理及应用	(11)
1.1 工质的局部作功效率	(11)
1.2 工质流过加热器时的作功能力变化	(12)
1.3 回路作功能力原理	(13)
1.4 热力系统的能级和焓的向量表示	(13)
1.5 热力系统的作功效率方程	(15)
1.6 热力系统的流量分布方程	(17)
1.7 外部作用在热力系统中的作功能力计算	(18)
第二章 作功效率分析法	(21)
2.1 作功效率法与等效热降法的区别	(21)
2.2 作功效率的递推算法	(22)
2.3 作功效率递推算法的变形	(23)
2.4 用矩阵运算求 η_j 的方法	(25)
2.5 热力系统经济性指标的计算	(26)

2.6	给水泵焓升和功耗对锅炉能级效率的影响	(28)
第三章	改进的循环函数法	(32)
3.1	回热系统简化原理	(32)
3.2	加热单元的通用函数	(36)
3.3	回热系统流量分布计算	(39)

第二部分 节能理论的验证和应用

第四章	流量分布算法的应用	(43)
4.1	算法设计	(43)
4.2	用流量分布算法计算非再热机组的热经济性	(49)
4.3	用流量分布算法计算再热机组的热经济性	(56)
第五章	作功效率算法的应用	(65)
5.1	算法设计	(65)
5.2	非再热机组的热经济性计算	(71)
5.3	再热机组的经济性计算	(76)
第六章	改进的循环函数法的应用	(82)
6.1	算法设计	(82)
6.2	纯凝汽式机组举例	(89)
6.3	再热机组举例	(92)
6.4	供热机组举例	(95)
第七章	典型实例分析	(100)
7.1	锅炉过热器喷水减温系统	(100)
7.2	再热器喷水减温系统	(102)
7.3	锅炉排污扩容系统	(106)
7.4	热力系统结构矩阵 A 微小变化时的经济性分析	(108)

绪 论

0.1 热力系统节能分析方法简述

火电厂的经济效益和社会效益具有极重要的意义,提高火电厂的热经济性(即减少能耗),不仅是降低发电本身成本的需要,而且减少一次能源的消耗,有利于对资源和环境的保护,实现可持续性发展。所以,火电厂的节能工作一直是一项经常要做的重要工作。

热力系统节能概念属于热力学第二定律的范畴。实际中发生的热过程都是不可逆过程,必然存在作功能力损失,这个损失了的作功能力是无法恢复的。热力系统节能就是通过合理的设计和改造热力系统,使热力系统的热力学不可逆性在现有的技术经济条件下为最小。热力系统节能分析理论的任务就是提供对热力系统的分析手段,即时发现机组在制造、安装、运行中的缺陷和不足,提出机组改造方案,指导机组运行管理,从而实现节能。

热力系统节能理论的发展,国外在 20 世纪 60 年代已开始,我国则在 20 世纪 70 年代才起步并得到了迅速发展,对于提高电厂热经济性发挥了重要作用。热力系统的节能分析方法有热平衡法、等效焓降法、循环函数法和矩阵法等。

热平衡法是最基本的分析热力系统的方法。热平衡法一般用来验证其他方法的正确性,而较少直接用于热力系统节能分析。这是因为,当热力系统比较复杂时,或对热力系统进行多方案比较时,直接应用热平衡法往往很繁琐。这时,一般采用与热平衡法等价的其他算法,例如循环函数法、等效焓降法和矩阵法等。

到目前为止,这些方法还不够完善。主要表现在以下几个方面:(1)这些方法较复杂,处理辅助系统常需要分类。

(2)对计算公式的推导需要依赖具体的热力系统模型进行,计算公式较多、通用性差。

(3)这些方法基本上是用归纳的方法建立起来的,系统性方面存在缺陷。

因此,寻求一种更为系统、更为简便、适合于计算机求解的热力系统节能分析理论,对于电厂热力系统节能工作的深入开展具有重要意义。

0.2 回路作功能力原理

热力系统中,从总体上讲,工质的运动是分布在各个不同的子回路中作循环运动的。但是,对于一个流体微团而言,在同一时刻只能出现在一个回路中。研究一个流体微团的运动规律,有助于了解热力系统的整体特征。不失一般性,我们以 1kg 工质的流体微团作为研究对象。

我们知道,机组热效率的定义式为

$$\eta_{\text{av}} = \frac{w_t}{q_1} \quad (0-1)$$

式中: w_t 为 1kg 工质的循环净技术功; q_1 为 1kg 工质在循环中从高温热源的总吸收热量。

热效率 η_{av} 表示了总吸热在热力系统中的平均作功能力。但是,我们发现, 1kg 工质在热力系统中的作功能力是工质在热力系统中沿吸热过程运动时逐渐获得的。其中,工质在热力系统中不同部位吸热对作功能力的贡献是不同的。为了描述工质在热力系统不同部位吸热时所吸热量能够转化为功的能力的大小,需要引入一个新的变量。我们暂时把这个变量定义为

$$\eta = d\varphi/dq \quad (0-2)$$

式中: dq 为 1kg 在热力系统中某空间位置 (M) 吸收的热量; $d\varphi$ 为 1kg 工质吸收 dq 热量的作功能力增加量; $\eta = \eta(M)$, 是热力系统空间位置 M 的函数。

在热力系统中, 工质吸热是在定压条件下进行的, 吸热时不作技术功。由热力学第一定律得: $dq = dh$ 。所以, 对于吸热过程, 式 (0-2) 可以写成

$$\eta = d\varphi/dh \quad (0-3)$$

工质作功是在汽轮机通流部分中进行的。根据热力学第一定律有: $dw_t = -dh$ 。 dw_t 为工质在汽轮机通流部分一微元过程对外作的技术功。工质对外作功 dw_t , 工质本身所具有的作功能力就减少 $d\varphi$ 。所以对于汽轮机通汽部分有 $d\varphi = -dw_t = dh$ 。即

$$d\varphi/dh = 1 \quad (0-4)$$

比较式 (0-3) 和式 (0-4) 可以发现, 式 (0-3) 从形式上可以推广到汽轮机通流部分, 这时, $\eta = 1$ 。

对于凝汽器, 工质在其中吸热不增加其在热力系统中的作功能力, 可以表达为: $d\varphi/dh = 0$ 。因此, 式 (0-3) 从形式上还可以推广到凝汽器中, 有 $\eta = 0$ 。

在本书中将式 (0-3) 作为描述热能在热力系统中局部的作功能力, 称为局部作功效率。所以, 局部作功效率概念对于热力系统的各个部分都是有意义的。

将 (0-1) 式改写为:

$$\eta_{av}q_1 - w_t = 0 \quad (0-5)$$

$$\text{由于} \quad \begin{cases} \int_{(\text{吸热过程})} \eta dh = \eta_{av}q_1 \\ \int_{(\text{汽机作功过程})} \eta dh = -w_t \\ \int_{(\text{凝汽器放热过程})} \eta dh = 0 \end{cases}$$

所以式(0-5)可以写成

$$\int_{(\text{吸热过程})} \eta dh + \int_{(\text{汽机做功过程})} \eta dh + \int_{(\text{凝汽器放热过程})} dh = 0$$

即
$$\oint \eta dh = 0 \quad (0-6)$$

式(0-6)可以表达为:1kg 工质沿热力系统中任意回路运动一周,其做功能力不变,称之为回路做功能力原理。

0.3 热力系统的两个基本特征

回路做功能力原理揭示了热力系统的一个基本的特征——工质的载体特征。尽管热力系统中热能向机械能的转换必须借助工质来完成,但工质仅起着载体的作用。工质在热力系统中的循环运动不会增加实际做功能力。热力系统既接受来自外界的做功能力,又以各种方式向外界输出做功能力。热力系统通常从锅炉获得做功能力,以内功率、供热、散热、节流、泄漏等方式输出做功能力。在稳定工况下,热力系统既不储存,也不消耗实际做功能力。有了回路做功能力原理,分析实际机组的做功能力,就如同在可逆机中分析做功能力一样方便,这都是归功于局部做功效率概念的引入,因为在局部做功效率中已考虑了热力系统内部的不可逆性。节能就是减少无用的做功能力输出,增加以内功率方式的做功能力输出。

热力系统的另一个基本特征是网络特征。无论是纯凝汽机组、再热机组,还是供热机组,都可看做是热功转换网络,这是机组的共同特征。做功网络由若干个能级组成,不同的机组能级的构成不同。高参数机组包含的能级较多,且存在较高的能级;低参数机组只包含较少的低能级。因此,高参数机组的高能级从锅炉吸收的热量具有较强的做功能力,这与机组向大容量高参数化发展是相一致的。另外,热力系统的网络并不一定是由设备和管道的

边界所组成的,有时环境也是网络的一部分。例如,工质由泄漏点离开机组到从补充水返回热力系统这一段也是网络的一个分支。

这两个基本特征是热力系统所共有的。根据这两个特征可运用演绎推理导出热力系统的节能分析理论。这与以前的节能分析理论有很大的不同,因为以前的节能理论都是通过归纳方法建立起来的。

0.4 对矩阵法的新认识

一般认为,矩阵法是一种并联算法,这主要是因为矩阵法中存在着矩阵求逆运算。但是若细致的分析一下就会发现,热力系统的结构矩阵是一个三角阵,故求解各非调节抽汽量时,并不需要作矩阵求逆运算。采用递推算法更为方便,这实际上是将并联算法转化为了串联算法。因此,矩阵算法也可以归为串联算法。但是,在进行公式推导时,矩阵法以其简捷的形式而具有明显的优越性。

0.5 对等效焓(热)降法的新认识

到目前为止,等效焓降法被认为是一种串联算法。但是,等效焓降法同样可以用矩阵表示,所用的结构矩阵与矩阵法所用的矩阵完全相同,而且用矩阵表示可以使公式推导非常简捷,这是以前人们所未注意到的。等效焓降法的使用条件中要求限定新蒸汽流量不变,这个条件在机组的实际运行中常常不易满足。当新汽流量变化时,各辅助汽水损失一般不与新汽成比例变化,这使得节能分析过程很复杂。究其原因,是因为“等效焓降”概念本身包含有“质量”量纲,而局部做功效率(等效焓降法称抽汽效率)则不包含“质量”量纲,且与热机中的两种基本能量形式“热”和“功”密切相关,所以用局部做功效率来构筑节能分析理论更为合理,这样构筑

的理论就不再受定新汽流量的限制。更进一步,局部作功效率概念对抽汽效率进行了拓宽,使之可以适用于锅炉、汽轮机、凝汽器等。因而,字面上已不再是“抽汽”的效率的意思。所以,本书命名为局部作功效率。

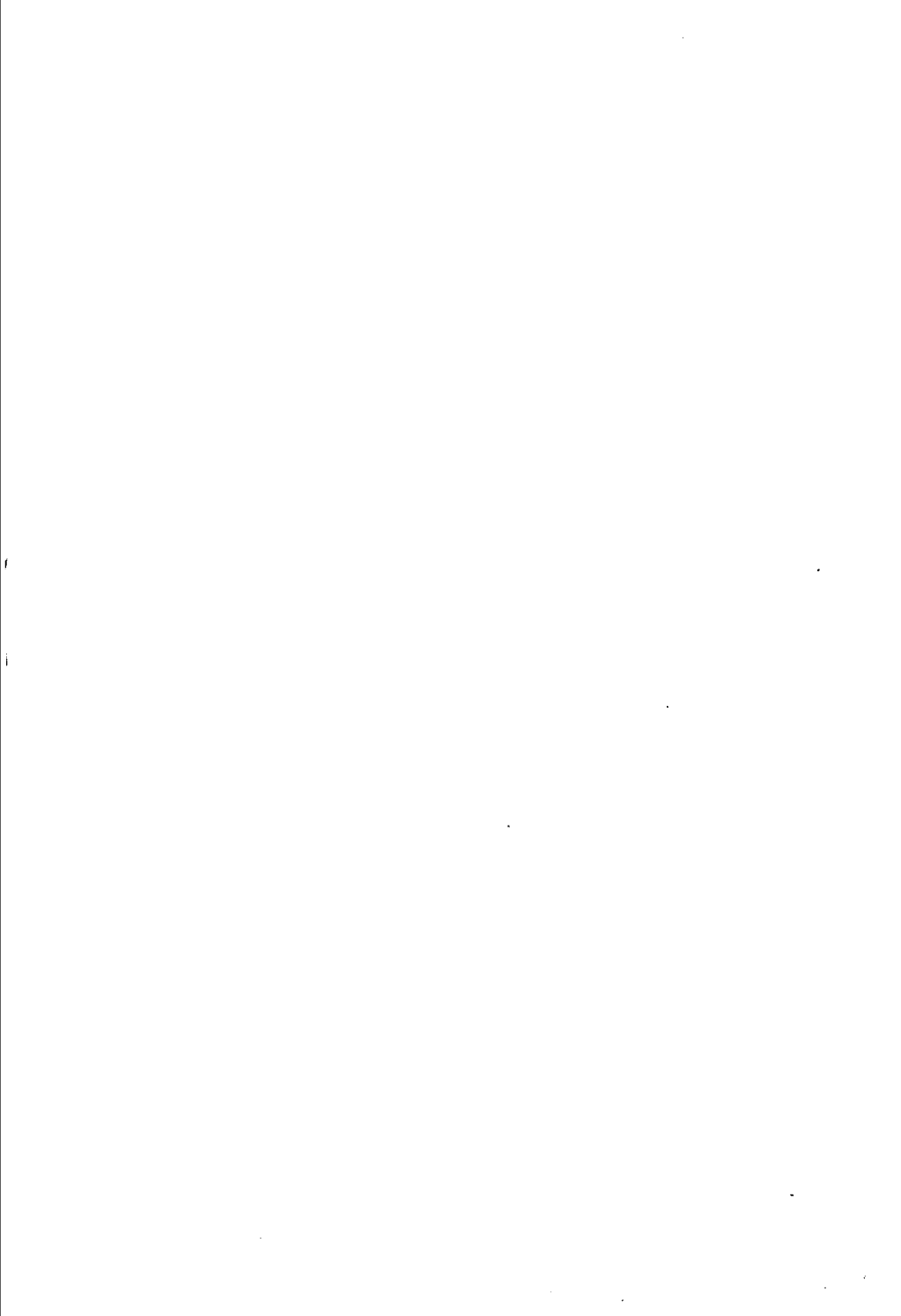
对于再热机组的等效焓降法,有“定热量”和“变热量”之分,这主要是因为对再热器吸热量所带来作功能力的处理方法不同所引起的。如何看待再热器吸热量的作功能力是再热机组所必须认真研究的独特问题。等效焓降法将再热器吸热的作功效率取为汽轮机装置的效率,由热系统计算获得。这动摇了等效焓降法作为一种独立的节能分析方法的基础。因为在等效焓降法中所用到的重要数据需要通过其他的分析方法来获得。不仅如此,汽轮机装置的效率是随着机组损失构成和负荷的变化而变化的,将不易获得和确定的数据来作为再热器吸热的作功效率显然存在技术上的问题。本书取锅炉能级的作功效率作为再热器吸热的作功效率,可以避免此问题。由于再热器是从锅炉吸热的,故这种取法也是合乎常理的。再热机组节能分析的另一个独特问题是需要确定排挤单位非调节抽汽流经再热器的份额。等效焓降法所提供的公式不适用于锅炉能级。本书所导出的公式可以适用于锅炉能级,这是等效焓降法所做不到的。当热力系统中参数的变化影响到结构矩阵时,各能级的作功效率会变化,这时等效焓降法是近似的。

0.6 对循环函数法的改进

对循环函数法的改进主要表现在对公式进行压缩处理上。对热力系统中各种损失的考虑是并行的,不再将热力系统分解为若干子系统的叠加。热力系统的流量分配计算,最终可以通过调用一个加热单元通用函数来完成。此外,还规范和简化了原始数据的处理方法,使计算程序大大简化。

0.7 热力系统节能分析方法的分类

目前,一般将热力系统节能分析方法分为串联算法和并联算法。这种分类方法是不够恰当的。例如,矩阵法一般认为是并行算法,但它可以用串联递推算法来实现;等效焓降法一般认为是串联算法,但若用矩阵来推导和表示这种方法却更为简捷。因此,一种好的算法常常需要取串联算法和并联算法之长。本书根据直接求解的未知量的类型,将热力系统节能分析方法分为流量分布型和作功效率型。等效焓降法属于作功效率型,因为其直接求解的未知量是作功效率。矩阵法和循环函数法属于流量分布型,因为其直接求解的未知量是各非调节抽汽量。



第一部分

热力系统节能的基本理论

