

计算机—设计者相互作用的 蒸汽动力装置热平衡分析

周 兵 (海军工程学院)

〔摘要〕 在对蒸汽动力装置热平衡分析法认真分析的基础上提出了一种计算机—设计者相互作用的计算机程序方案。该方案由一套算法组成，通常一个算法对应于蒸汽动力装置中的一个单元，设计者可以在相互作用的程序执行过程中自行选择某一单元，这种相互作用的程度取决于人们对热平衡分析法的理解程度。

关键词 蒸汽动力装置 计算机 热平衡分析

1 引 言

蒸汽动力装置(下简称汽力装置)设计分析的关键是“热平衡”，即画出推进系统和辅助系统中流体及能量流动示意图。原则上讲分析法很简单，但一个典型的汽力装置是十分复杂的，因而对于一个初学者来说，分析设计汽力装置是一个复杂、冗长和不易做好的事情。这里论述了一个用于汽力装置热平衡分析的计算机程序，它充分考虑了各种装置的不同之处，通过计算机与用户的相互作用，即在整个过程中用户必须同计算机一起工作，而不是输入数据后等待计算结果，给初学者以指导和设计者的帮助。

2 汽力装置热平衡基础

所谓热平衡就是对汽力装置各系统中工作流体和能量流程图的分析，所用的基本原

理主要是质量守恒、能量守恒和系统工程的原理。具体分析起来包含令初学者畏惧的大量数据，其基本方法是分解未知流体 W_i 于方程：

$$\begin{aligned} a_{11}W_1 + a_{12}W_2 + \cdots + a_{1n}W_n &= b_1 \\ a_{21}W_1 + a_{22}W_2 + \cdots + a_{2n}W_n &= b_2 \\ &\vdots \\ a_{n1}W_1 + a_{n2}W_2 + \cdots + a_{nn}W_n &= b_n \end{aligned} \quad (1)$$

其中： a_{ij} ——由工作流体的焓、效率等相关因素决定的系数。

b_i ——已知流体或与已知流体有关的常数。

类似地可以写出能量守恒方程。

某些 a_{ij} 是流体的函数，因而具有非线性。例如，给水汽轮机的蒸汽耗量是泵效率的函数(这是影响方程中系统 a_{ij} 的一个因素)，而效率又是给水流量的函数。由于这些非线性因素是一个相互作用的循环，因而必须将其体现在基本解之中。系数 a_{ij} 为常数时对应于某一稳定状态下流体流动情况，

当流体状态发生变化后,解将更新一次或多次。由于非线性的影响,采用完全迭代法更合适。这时方程(1)可以写成下面形式:

$$\begin{aligned} W_1 &= \frac{b_1}{a_{11}} - \frac{a_{12}}{a_{11}}W_2 - \dots - \frac{a_{1n}}{a_{11}}W_n \\ W_2 &= \frac{b_2}{a_{22}} - \frac{a_{21}}{a_{22}}W_1 - \dots - \frac{a_{2n}}{a_{22}}W_n \\ &\vdots \\ W_n &= \frac{b_n}{a_{nn}} - \frac{a_{n1}}{a_{nn}}W_1 - \dots - \frac{a_{n,n-1}}{a_{nn}}W_{n-1} \end{aligned} \quad (2)$$

方程(2)的初始解由用户提出估计值代入方程右端,解出左端的 W_i ,再用解出的 W_i 代入右端重新计算左端的 W_i ,重复此过程,直到 W_i 收敛到规定的精度范围内。非线性的影响体现在用新的 W_i 计算 a_{ij} 中,实践证明这种方法是很有有效的。系数 a_{ij} 初始值的选取是用户工作的一大内容,它关系到 W_i 的收敛速度,具体估计方法可参阅文献(2)。

3 汽力装置热平衡—计算机程序设计

3.1 柔性平衡程序

由于汽力装置结构和形式的多样性,而热平衡计算程序必须具有通用性和多功能性,因而称此程序为柔性平衡程序,它由执行各种功能的子程序库组成,除了服务子程序,如计算工作流体特性(如焓等)的子程序,其它子程序一般是不能调用的,而只能由用户选择后才能使用。用户来做热平衡分析必须自己选择并利用程序实现许多的独立计算,因而程序的运行是根据用户的指令执行一个、几个或所有程序一次或重复执行多次。输入数据即用户对计算机进行了作用,而计算机的输出也往往有两种以上方案,选择哪一个由用户决定,相当于计算机对用户进行了作用。具体步骤如下:

第一步,用户可用独立子程序算出装置

中各独立单元的结果,用一般计算器对流量初始值进行估算,有了初始值则可用迭代法对各单元重新进行计算,最终得到迭代结果。每次迭代的结果应记录下来,用户须根据这些结果判断迭代是否会收敛。

第二步,用户须写出方程(2)形式的质量、能量平衡方程式,然后调用各单元计算程序,在这一步,用户要记录的是系数而不是结果,这些系数即方程组(2)的系数。接下来不是迭代计算,而是调用柔性平衡程序来解方程组(2)。用户须对它进行作用,即输入系数值,则由其子程序解出方程组(2)。如果系数是流体状态的函数,中途必须更新这些系统,则由用户操纵专用子程序对这些系数进行重新计算后再代入程序进行计算。

3.2 后续热平衡程序

这里所讲的“后续”是指热平衡的分析必须同汽力装置中各单元元件的特性相吻合的意思。例如,做一个热平衡分析的时候可能调用DFT子程序计算除氧器,而在后续热平衡计算时又须调用PDFT子程序来计算。因为前者计算时除氧器的压力是由用户给定的,而后者计算时除氧器的压力是依据输入能量的平衡计算得到的,后者为实际情况。

图1是该方案程序结构框图,计算“蒸汽参数图表”的程序没有列入。图中M表示可由用户通过上一级程序来调用的程序单,程序摘要见文献[3]。

3.3 实例

图2是一个最基本的热平衡线图,用助记符标出了未知流体的流量。

根据流体的流动轨迹即可写出流量平衡方程,调用各单元计算程序即可得各流量的初始值,再调用柔性平衡程序中DFT子程序即可求出系数值,见方程(3):

$$\begin{aligned} W_1 &= 0.45W_6 + 100 \\ W_2 &= W_1 + W_3 \\ W_3 &= 0.07W_4 \end{aligned}$$

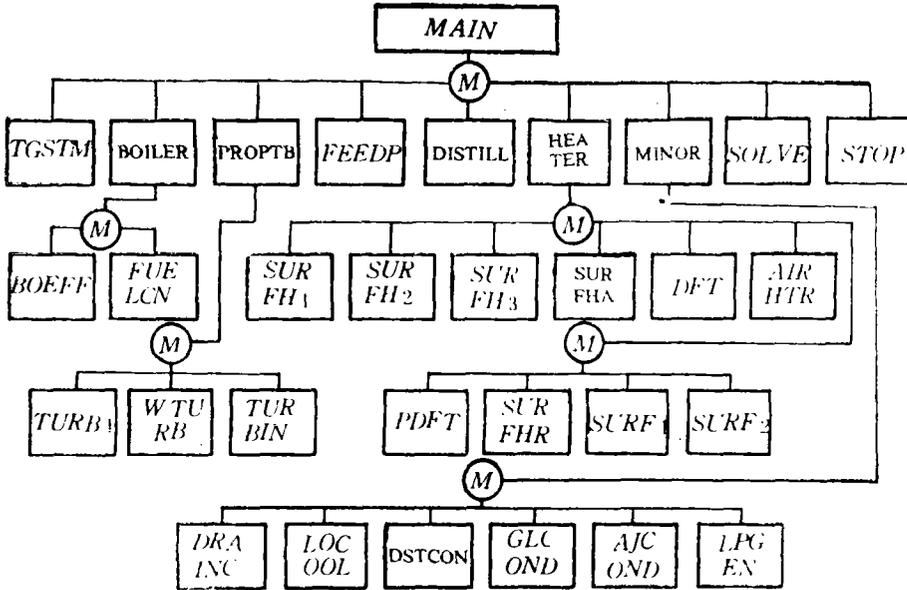


图 1

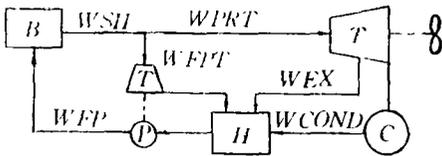


图 2

WPRT—进入主机的蒸汽流量。
 WSH—锅炉蒸汽产生量。
 WFPT—锅炉给水泵蒸汽耗量。
 WFP—锅炉上水流量。
 WEX—除氧器所需的从主机抽出的蒸汽量。
 WCOND—进入除氧器的凝水流量。

$$\begin{aligned}
 W_4 &= W_3 + W_5 + W_6 \\
 W_5 &= -0.9W_3 + 0.105W_6 \\
 W_6 &= W_1 - W_5
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

考虑非线性影响，中途更新各系数值，并调用后续热平衡程序可求得变负荷时各未知流量值。方程（3）在稳态情况下的解如下：

$$\begin{aligned}
 \text{WPRT} & \quad W_1 = 101.540 \\
 \text{WSH} & \quad W_2 = 109.183 \\
 \text{WFPT} & \quad W_3 = 7.643
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{WFP} & \quad W_4 = 109.183 \\
 \text{WEX} & \quad W_5 = 3.424 \\
 \text{WCOND} & \quad W_6 = 98.117
 \end{aligned}$$

4 结 论

本方案中程序按不同功能分若干单元子程序承担计算工作，但计算的管理由用户执行，便于组合、构成不同的装置热线图方案，设计思路清晰，程序使用方便，因而可以给初学者以提示和指导，对设计者在资料积累、数据存贮和装置热平衡线图结构选择、单元配置、优化设计等方面提供方便和帮助，具有服务于教学与科研的双重功能。

参 考 文 献

- 1 朱树文. 船舶动力装置原理与设计. 上海交通大学出版社, 1985, 440页
- 2 罗云. 舰用蒸汽动力装置原理与设计. 武汉: 海军工程学院出版, 1979, 374页
- 3 Society of naval architects and marine engineers. Technical & Research Bulletin 3-11, 1982年

Steam Power Plant Heat Balance Analysis with Computer-Designer Interaction

Zhou Bin

(Naval Academy of Engineering, Wuhan)

Abstract

The fundamentals of the steam power plant heat balance analysis are reviewed with a computer program for performing such an analysis being outlined. The program consists of a set of routines, generally one routine for each component likely to be found in the power plant, which is to be chosen by the user during the interactive execution of the program. The degree of the interaction depends on the general understanding of the heat balance analysis by the user.

Key words: steam power plant, computer, heat balance analysis

简 讯

延长工业汽轮机的使用寿命

据“Power Engineering”1990年5月号报道,采用新技术可以加大老的汽轮发电机组的输出功率、提高效率并延长其使用寿命。文章详细论述了这些方法,其中包括:

- 采用先进的蒸汽流路设计,如Schlict叶片设计,这种叶片能使流动分离和附面层损失减到最小,与常规叶片设计相比较,可使每级的效率提高1%以上。
- 使转子叶片叶尖倾斜 10° ,可减少叶尖漏泄损失及动叶入口处的切向逸出损失,使某些级的效率增加0.75%。
- 在隔板径向部位和/或在转子叶片根部轴向位置处加上密封条,可以使级效率提高(0.2—0.9)%。

采取上述措施以后,先进的蒸汽流路设计,可以使汽轮机效率提高3%以上。此外,还介绍了在转子、隔板、控制系统、轴承、密封环、发电机定子和现场重新绕组等方面的改进措施。

(吉桂明 供稿)