

石油化工厂的蒸汽系统设计

赵士杭

(清华大学)

【摘要】 本文叙述了石化厂蒸汽系统的特点、设计原则和热平衡方法等。对于蒸汽系统中大量应用的汽轮机采用了变工况模型,既提高了系统热平衡计算的精度,还能用在不同生产工况下蒸汽系统的热平衡计算。

关键词 蒸汽系统 热平衡 设计 汽轮机

分类号 TK212

1 石油化工厂的蒸汽系统

石油化工厂系指以石油和天然气来生产化工产品的化学工业,它包括乙烯和合成氨等的生产。这些化工生产的过程在热能利用方面有三个特点:首先是需要大量不同品位的蒸汽提供热量和作为生产用原料;其次是需要大量驱动动力来压缩气体和泵送流体;第三是有大量生产工艺热可供回收加热给水和产生蒸汽。其中压缩气体的耗功很大,例如年产30万吨乙烯厂和合成氨厂中的裂解气压缩机和合成气压缩机等耗功在1万千瓦以上,它们一般由汽轮机驱动。由于整个生产过程需用的机泵很多,故要用多台汽轮机来驱动。

因此,这类工厂需要有一个与生产过程紧密配合的、适应生产需求的蒸汽动力系统(简称蒸汽系统),以供给生产所需的工艺用热和作原料用的蒸汽,以及向各台汽轮机供

给蒸汽以产生动力驱动机泵。

图1为一有代表性的简化蒸汽系统,共有4个压力等级蒸汽母管(1#、2#、3#和4#),这是常见的型式。通常,蒸汽母管的压力,除第一根母管(图1中为1#)是系统的新蒸汽,参数由人工选定外,其余母管压力由工艺用热的需要来确定。图1中的工艺用热是多处用同一压力(包括相近压力)蒸汽之和,蒸汽用后成为凝结水被回收的部分归纳在一起,蒸汽不能回收的部分归纳在一起。此外,图中有两根母管要外供蒸汽。

图1中共画了7台汽轮机,包括抽汽凝汽式、抽汽背压式、凝汽式和背压式等。由2#母管供汽的三种汽轮机可各代表数台,由3#母管供汽的一台汽轮机则代表多台。1#母管供汽的汽轮机单机功率最大,常在1万千瓦以上,多用抽汽凝汽式和抽汽背压式,2#母管供汽的汽轮机为数千千瓦,3#母管供汽的为数百至数十千瓦的小汽轮机。

收稿日期 1993-02-02 收修改稿 1993-04-15

本文联系人 赵士杭 男 58 教授 100084 北京 清华大学动力系

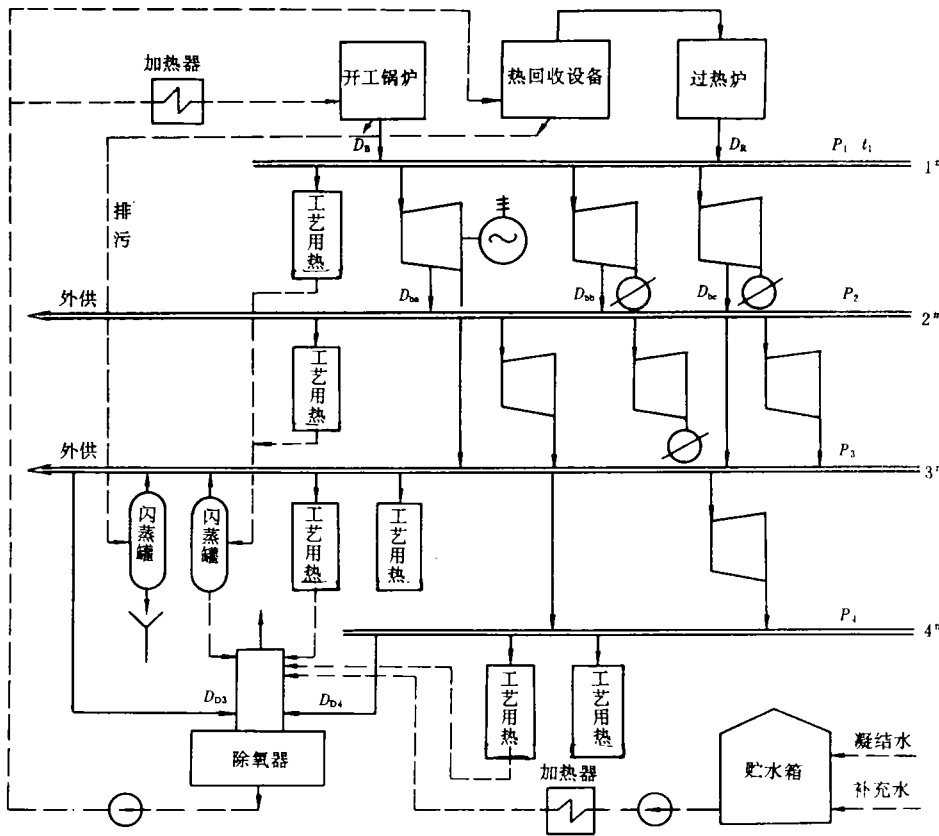


图1 蒸汽系统示例

从图1看出,诸蒸汽母管之间的联系是通过位于各母管之间的汽轮机来实现的。这些汽轮机还要满足机泵对驱动功率的需求,故它们的配置十分重要,若配置不当,不仅影响到整个系统的能耗,且可能无法达到热平衡。当汽轮机配置合理,各母管之间蒸汽能量实现梯级利用,其结果必然使系统的能耗降低。

图1中的热回收设备,系指利用生产过程的工艺热来加热水并产生蒸汽的设备,它包括给水加热器、余热锅炉(产生饱和蒸汽)和过热器等。开工锅炉的给水加热器在给水温度过低时设置,常用系统中的低压蒸汽来加热,有合适温度的可回收的工艺热时,可用它来加热。除氧器给水的加热器,常用可回收的低温热来加热。过热炉用来提高热回收设

备产生的蒸汽的过热度,或将产生的饱和蒸汽加热成为过热蒸汽。开工锅炉(或辅助锅炉)用来补充热回收设备产生蒸汽的不足,并要满足生产装置开工时对蒸汽的需求,故该锅炉的容量往往较大。

为组成一个完整的系统,尚需有除氧器等设备。为保证安全运行和增强蒸汽系统的适应性,诸相邻母管之间要设置减温减压器,这在图1中未画出,原因是设计时热平衡计算中减温减压器是停用的。

2 蒸汽系统的设计原则

通过对现有蒸汽系统的调查和开展研究工作,得到的设计原则可归纳为下述诸方面。

2.1 必须同时满足生产过程对驱动功率和

工艺用热需求,不同于一般的以功定热或以热定功的原则。

2.2 提高系统的蒸汽初参数以降低能耗。现用的范围:压力 10.5~12.5 MPa,温度 500~525 C。

2.3 合理确定蒸汽母管级数。由于生产过程所需工艺用热的压力和温度高低有很多种,若按此来设置母管将形成很多等级,使系统复杂化。因此,宜将压力相近的工艺用热加以合并,使母管级数合理。现常用的母管级数为 3~4 级,个别的是 5 级。

2.4 各级母管之间通过汽轮机的合理配置,满足驱动功率需求和各级母管的蒸汽流量平衡,实现能量的梯级利用。功率在 1 万千瓦以上的汽轮机用新蒸汽(图 1 中的 1# 母管蒸汽)驱动,功率为数千千瓦及其以下的汽轮机用其它母管的蒸汽驱动。

2.5 尽可能地回收生产过程中的工艺热,并做到按温度的高低来合理利用,温度低的加热冰,温度高的产生蒸汽或加热蒸汽。某型年产 30 万吨合成氨厂的蒸汽系统,产生蒸汽所需热量的 83.5% 是利用工艺热,相当可观。

2.6 小功率驱动机的选择。功率为数百千瓦至数十千瓦的汽轮机,效率约为(40~60)% 或更低,明显低于用电动机来驱动机泵时的效率。故这时以用电动机驱动为佳,数十千瓦的驱动机尤其如此,但要注意提高供电的可靠性。

2.7 系统中应减少凝汽量,即尽可能不用纯凝汽式汽轮机,减少冷却水耗量,这样可降低系统能耗。

2.8 提高系统的灵活性和适应性。为适应生产工况的变化,蒸汽系统中需有可调整环节。调节抽汽式汽轮机的抽汽是可调整环节,故应用很多,通常是大功率驱动机采用抽汽式汽轮机,以增大对生产工况变化的适应性。图 1 中的几台抽汽式汽轮机均在 1 万千瓦以上。

在系统中设置汽轮机发电机组,这既可满足工厂的用电,又能使它按以热定电的方式运行来为系统提供一个可调整环节。故现有石化工厂的蒸汽系统中很多都设置一台功率较大的发电机组,图 1 所示的即是。

2.9 提高系统的可靠性。这是指蒸汽系统在某些特殊情况和事故状态下,化工生产过程仍能连续进行。

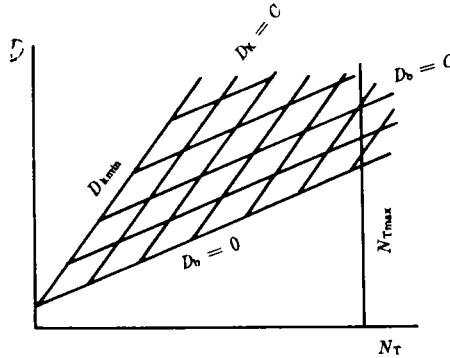


图 2 抽背式汽轮机的工况图

3 汽轮机模型

蒸汽系统中除汽轮机外的部件模型都是热平衡,较简单,文中不再叙述。汽轮机的情况较复杂,且是从现有产品系列中选购,其设计参数与在蒸汽系统中的实际参数一般是不同的,使在蒸汽系统的设计条件下汽轮机就在变工况下工作。因此,只有建立汽轮机的变工况模型,才能使系统的热平衡计算得到准确的结果。

汽轮机的变工况模型包括两部分,即在自身设计的进汽压力和温度、抽汽压力、排汽压力和转速下的模型(工况图),以及这些参数偏离设计值后的修正系数模型。图 2 是抽背式汽轮机的工况图,反映了进汽流量 D 、抽汽流量 D_k 与输出功率 N_T 的关系,从中还可得到排汽流量 D_k 。抽汽凝汽式汽轮机的工况

图与图 2 相似,背压式和凝汽式汽轮机即图中 $D_b = 0$ 线。因此,图 3 所示的工况图代表了四种汽轮机的模型。诸修正系数随参数偏离设计值的程度而变,不多叙述。

对于抽汽式汽轮机,考虑修正以后的实际进汽流量 D 、低压段流量 D_L 和抽汽流量 D_o 的计算式为

$$D = D_d K_{p0} K_{t0} K_{pb1} K_{n1}$$

$$D_L = D_{Ld} K_{pb2} K_{tb} K_{pk} K_{n2}$$

$$D_o = D - D_L$$

式中 D_d 和 D_{Ld} 为在设计的蒸汽参数下的进汽流量和低压段的流量,这时相应的抽汽流量 $D_{bd} = D_d - D_{Ld}$, D_d 和 D_{bd} 相当于图 2 中的流量。 K_{p0} 和 K_{t0} 分别为进汽压力和温度偏离对进汽流量的修正系数, K_{pb1} 和 K_{pb2} 分别为抽汽压力偏离对进汽和低压段流量的修正系数, K_{tb} 和 K_{pk} 分别为抽汽温度和背压偏离对低压段流量的修正系数, K_{n1} 和 K_{n2} 分别为转速偏离对进汽和低压段流量的修正系数。

汽轮机的抽汽温度和排汽温度,取决于各段蒸汽进口压力和温度、出口压力和各段级组的效率 η_r , 而 η_r 取决于各段的蒸汽流量和转速偏离设计值对效率的修正系数 K_n 。图 3 为各段汽轮机效率随其蒸汽流量的变化,但从该图得到的是 η'_r , 实际的 η_r 为

$$\eta_r = K_n \eta'_r$$

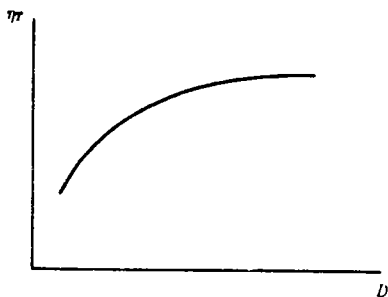


图 3 汽轮机效率

4 蒸汽系统热平衡

设计蒸汽系统时首先要确定系统的构成,通常这是在给定各处工艺用热、诸机泵所需驱动功率和转速、各处可回收的生产工艺热的条件下,参照前述设计原则选定母管级数和压力、诸驱动汽轮机和其它部件等得到初步的蒸汽系统。之后要对该系统进行热平衡计算,以观察系统构成的合理性。

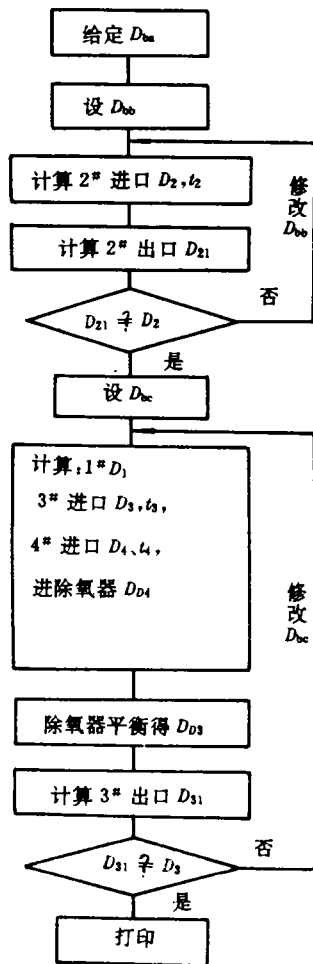


图 4 蒸汽系统热平衡计算顺序

蒸汽系统热平衡计算的基础是诸部件的模型。本文推荐从高压母管向低压母管的计算顺序。计算时要先分析系统的自由度,以便

确定计算中需设定的参数数目。下面以图1所示系统为例来说明。

该系统在给定发电汽轮机的功率时,还有 D_{ba} 、 D_{bb} 和 D_{bc} 三个可调整的抽汽量,但经分析可看出在给定其中一个抽汽量后,其余两个抽汽量将随之而定,故系统只有一个自由度。如果发电功率可任意,则系统变为两个自由度。图4是在发电功率给定时该系统的热平衡计算顺序。显然,这时系统可有多种热平衡方案,可经多次计算来选定三个抽汽量的最佳配合值。

通过热平衡计算,可得到各级母管的蒸汽温度,得到诸汽轮机的进排汽和抽汽流量以及抽汽和排汽温度,得到进除氧器的蒸汽流量 D_{D3} 和 D_{D4} 、开工锅炉应供给的蒸汽流量 D_b (热回收设备产生的蒸汽流量 D_R 已知)等。

若经计算,配置的蒸汽系统无法达到热平衡,表明该系统不合理,应加以调整并重新计算至能达到热平衡为止。对图1所示系统4#母管的热平衡要给以更多注意,因该母管进汽是多台背压汽轮机排汽,不能调整,使 D_{D4} 实际上是扣除工艺用热后母管剩余的蒸汽量。若它大于除氧器加热所需蒸汽量,4#母管蒸汽将过剩,这时只有与其它母管一起调整汽轮机的配置,减少排至4#母管的背压汽轮机台数来减少母管进汽量,使 D_{D4} 小于除氧器加热所需蒸汽量。

此外,由于计算中采用了汽轮机变工况模型,故还可对生产工况变化后的系统热平

衡进行计算,从而检验系统在不同生产工况下实现热平衡的适应性。当发现有不能达到热平衡的工况时,可通过调整系统配置或增大可调整参数的调节范围等措施来消除。

5 小结

1. 热平衡计算是蒸汽系统设计时必须做的工作,它是在满足生产过程所需的工艺用热和驱动机泵所需动力,以及尽可能地回收生产工艺热的条件下确定系统配置后进行的。

2. 采用汽轮机的变工况模型,有效地提高了蒸汽系统热平衡计算的精度,且能计算生产工况变化后系统的热平衡。

3. 按照本文所述的原则和方法来设计蒸汽系统,可得到配置合理、能耗较低、对生产工况适应性较强和可靠性较高的蒸汽系统。

参 考 文 献

- 1 北京石油化工总厂编·轻柴油裂解年产三十万吨乙烯技术资料,第一册. 综合技术. 北京:化学工业出版社,1979
- 2 大连工学院编,袁一、曹宪龙修订. 大型氨厂合成氨生产工艺. 北京:化学工业出版社,1984
- 3 邹仁益. 石油化工裂解原理与技术. 北京:化学工业出版社,1982
- 4 Pilavakis P A, Perrin M A, Energy and capital savings in a steam distribution system. Hydrocarbon Processing, 1983. 7
- 5 Peterson J F, Mann W L. Steam-system design, How it evolves. chemical Engineering, 1985. 92(10)

欢迎来稿!
欢迎刊登广告!

- (18) **The Design Principle of a Flame-Holding Cavity Burner with Orthogonal Jet Flows and the Exploratory Study of its Flame-Holding Mechanism** Xu Minghou, Hu Pingfan, Sheng Changdong, Zhang Mingchun and Han Caiyuan (*Huazhong University of Science & Technology*)

On the basis of a flame-holding cavity bluff-body burner the authors have proposed a new type of pulverized coal burner with a flame-holding cavity and orthogonal jet flows. By the use of aerodynamic principles the burner features a reverse flow of high-temperature flue gases with a resulting intensified ignition of pulverized-coal gas flows and a stabilized combustion process. The results of cold and hot state test results are reported. Also proposed is the design principle of such burners with a detailed discussion of their flame-holding combustion mechanism being presented. **Key words:** *pulverized-coal burner, flame-holding, orthogonal jet flow*

- (23) **A Preliminary Analysis of the Factors Affecting Solid Material Circulation Ratio** Yan Guizhang (*Institute of Thermo-physical Engineering*)

Based on the experimental test results of a circulating fluidized bed cold state flows, the author has made an analysis of the effect of gas velocity and solid particle distribution on solid material circulation ratio. Proceeding from a balance of solid materials, a quantitative relationship has been identified regarding the effect of flyash separation efficiency and raw coal ash content on circulation ratio with relevant computations and discussion being performed. Also discussed and evaluated in the present paper is the quantitative analysis of a multi-stage circulation system and circulation ratio. **Key words:** *circulating fluidized bed, boiler, solid material circulation ratio*

- (27) **A Steam System Design for Petrochemical Plants** Zhao Shihang (*Tsinghua University*)

The specific features, design principles and heat balance of a steam system for petrochemical plants are described. An off-design performance model for steam turbines, which find wide applications in steam systems, has been introduced, resulting in an enhanced accuracy of the system heat balance calculation. The said model can also be used in heat balance calculations for steam systems with varying production conditions. **Key words:** *steam system, heat balance, design, steam turbine*

- (32) **Determination of Low-Vacuum Heat Supply Parameters for Condensing Steam Turbines** Xie Ming, Zhu Zhenjun, et al (*Harbin Institute of Technology*)

This paper discusses the issues concerning the computation of steam turbine low-vacuum heat supply thermal loads, off-design performance, thermification factors, heat supply network feeding and return water temperatures, etc. The author proposed that the optimum thermification factor should be 0.53-0.55 irrespective of the network feeding and return water temperatures, which can be taken as a reference value for engineering designs. **Key words:** *cogeneration, heat network, heat supply*