

母型级在民用轴流式压气机 设计中应用的几点看法

郭扬杰

前 言

“东风1型”压气机母型级经过了20年的坎坷路程最近由上海成套设计所组织进行了技术鉴定,获得了很高的评价。尽管它设计于60年代中期,但是按照它设计出的压气机的气动性能指标还是能够和80年代国外同类型的产品相媲美。尤为可贵的是这个母型级不仅积累了叶栅资料、单级试验、多级试验、整机试验等宝贵的试验资料,同时还总结出了一套运用这个级设计压气机的计算方法,它给推广应用这个母型级提供了可靠的基础。随着我国国民经济的发展、冶金、化工等工业领域对于轴流式压气机的需求将日益增多,以最少投资,最短的时间,得出能够满足各种要求的最佳设备,这样一个严峻的任务将提到设计者和制造厂的面前。采用母型级来设计压气机能不能满足上述要求呢?本文就如下几个方面探讨一下这个问题。

一、母型级的应用范围

母型级法是苏联列宁格勒中央锅炉透平研究所压气机试验室A.И.哥夫林等人于40年代末开始逐渐发展完善的一种轴流式压气机的设计方法。在50年代末最终形成了比较完整的设计方法,并公开发表了K-50、K-70、K-100-1、K-100-2II、K-100-4等五个母型级的资料。利用这些资料,苏联列宁格勒金属工厂成功地设计了ГР-700-12燃气轮机中的压气机。但是应该指出的是这个方法也遇到不顺利的地方。例如在50年代末苏联列宁格勒涅瓦工厂的ГР-700-4燃气轮机的压气机就是迟迟地满足不了整机的要求,被迫只好重新设计。而这种情况并不是独此一家,还有其他例子可举。这就提出一个问题,一个母型级合理的应用范围是什么,这在选用这个母型级时是必须首先弄清楚的。要了解这个问题可以从压气机的流量、圆周速度、流量系数,反应度及压头系数之间的关系来得到。

压气机的流量是由第一级允许通过的能力所限制的。根据流量方程则

$$G = \frac{900n_H^3}{\pi n^2} r_1 \varphi_1 (1 - v_1^2) \quad (1)$$

式中 u_H —外径处的圆周速度、 n —转速、 r_1 —第一级进口处的比重、 φ_1 —流量系数、 v_1 —第一级的轮廓比。

考虑到所采用的级是亚音速级,因此第一级还受到叶片顶部临界 M 数的限制即

$$M_{k_p} = \frac{W_1}{a} = \frac{u}{a} \sqrt{\varphi^2 + \left(\theta + \frac{\psi_r}{4}\right)^2}$$

现举一实例来说明若 $\psi_r = 1$ 、 $M_{k_p} = 0.8$ 、 $a = 340$ 米/秒对于沿径等功、等轴速、等反应度的级为

$$\varphi_1^2 = \frac{73984}{u_H^2} - \left(\theta + \frac{1}{4}\right)^2 \quad (2)$$

式中 φ_1 —理论压头系数， θ —反应度。

当 n 、 ν_1 、 r_1 已定不同的 u_H 及 φ_1 时，根据方程 (1)、(2) 可以做出 $G-u_H$ 的曲线 (见图 1)，然后根据 θ 不变求出 u_H 及 φ_1 间的关系。假定一个 u_H 就可求出对应的 φ_1 ，有了 φ_1 、 u_H 就可求出 G ，因而在图 1 上可以作出 $\theta = \text{const}$ 的曲线。

从这个图中可以得出只要 θ 、 u_H 、 G 当中任一数值大于上述关系式中应有的数值，则 $M_{k_p} > 0.8$ 。

上面求出了最大流量的限制，而最小流量的限制是从能量损失的观点来考虑的。A. П. 哥夫林建议最后一级叶片高度不宜小于 35 毫米 (此时叶片的弦长为 30 毫米)。若在单缸中压缩比 $e = 4$ ， $\nu_1 = 0.6$ ， $\eta_{\text{пол}} = 0.85$ ，如此

$$G_{\text{мин}} = \frac{1.05 u_H^2 \varphi_n}{n} (1 - \nu_n) r_n \quad (3)$$

$$\nu_n = \sqrt{\frac{r_1}{r_n} \left(\frac{1}{\nu_1^2} - 1 \right) + 1} \quad \frac{r_1}{r_n} = \left(\frac{P_1}{P_n} \right)^{\frac{1}{m}} \quad \eta_{\text{пол}} = \frac{m-1}{K-1}$$

按式 (3) 可以得出对应于最小流量时 G 、 φ_n 、 u_H 间的关系如图 2 所示。

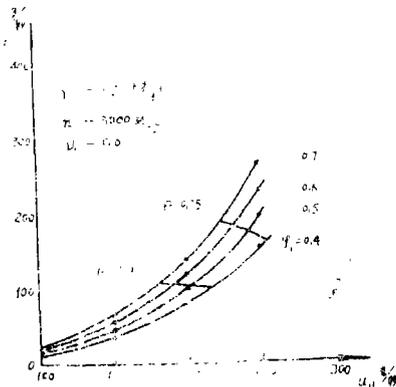


图 1 最大流量时 G 与 u_H 间的关系

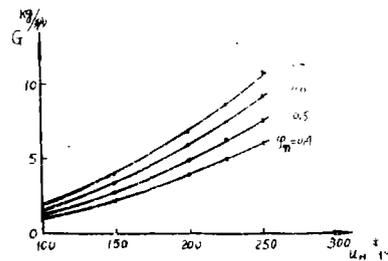


图 2 最小流量时 G 与 u_H 间的关系

从图 1、2 上可以看出对于某一种母型级来说只有满足上述条件时才有可能得出预期的结果，并不是在任何情况下都适用的。

特别值得注意的是这套计算方法是建筑在相似理论的基础上。由于多级压气机中空气的比容逐级发生变化，为了满足流量连续的需要，叶片要逐级切短。这就意味着相似条件的破坏。尽管有一系列的修正系数可供采用，但是这些系数只是取自多级试验的结

果,不能完全反映实际的情况。这亦就是为什么有些按这种方法设计的压气机会失败的原因之一。为使相似条件不致有太大的破坏,对于一个母型级不仅要考虑到流量的限制,还要考虑到压比的限制。

二、母型级的级压比

采用母型级的方法来设计压气机时,我们不能只是看到母型级本身的级压比,还应看到在多级设计中级压比逐级下降这一点。以“东风I型”应用在580压气机中为例,第一级的压比为1.274,而第九级(末级)的压比仅达1.14。又以苏联涅瓦工厂的ГТ-700-4燃气轮机中的压气机为例,它采用了K-100-2J作为母型级,压气机第一级的级压比为1.144,而第17级(末级)的压比亦只达1.07。由于设计方法本身固有的问题导致要采用较多的级才能满足所需的压比,这无疑是要增加设计和制造工作量及成本的。

苏联列宁格勒中央锅炉透平研究所及其他单位中的有关人士亦早已认识到这个问题。当时他们采用的办法归纳起来有三种:一是设计新的母型级以适应新机型的需要。二是采用“移动级”的方法,即把已设计好的母型级逐级或逐段增加计算直径来达到增加级压比的目的。三是采用不同母型级的组合,即在前一级(段)采用一个母型级,而在后面采用另一个母型级。但是这些办法只是一种改进,并没有从根本上解决这种设计方法固有的问题。

从60年代开始,在苏联公开的杂志上很少再见到有关母型级这方面的报导。取而代之的是利用母型机按相似法来设计民用的压气机。为了满足各自的需要,在母型机的基础上再进行前加级,后加级或减级等方法与之相适应,所以会产生这种趋势可能是一旦找到理想的母型机后,按母型机将比按母型级来进行设计更较为有把握。随着航空和其他工业部门中设计出了许多成功的压气机,已有足够的母型机可供选用,这也许是一些单位采用母型机法进行设计的一个原因吧!

三、平面叶栅法的应用

从上面两个问题中可以清楚地看出,利用平面叶栅资料,根据每一级的要求来进行设计,从气动的角度来说是比较自由的方法。但是遗憾的是它不能像用母型级法或母型机法设计出的压气机那样预先知道比较接近实际的性能。但是有一点却需要说明,这就是采用平面叶栅法来设计压气机也能简化工艺,即做成同型级或导叶做成直叶片等等。例如苏联列宁格勒基洛夫工厂的ГРП-20燃气轮机中压气机的导叶就是直叶片,各级动静叶片相同直径处的型线一致,只是长度和安装角不同而已。要想达到这个目的,关键是各级气动参数及系数的选择和采用什么流型。至于计算工作量的增加在计算机技术已经发展到今天的水平,无疑已不是什么问题了。目前世界上一些工厂就是采用平面叶栅的设计方法设计出了许多符合要求的压气机。这是由于他们掌握了大量有关这方面的经验和资料。而对我们来说还需要努力学习、总结和积累。因为一旦掌握了这套方法以后,在设计一台压气机时,即使在样机上可能要做一些调整工作,但要较母型级

法(这里是指设计新的母型级而言)省去不少试验工作量。这一点无疑是吸引人的。

母型级法已经有很多前辈做了不少工作,给了我们许多宝贵的经验可以遵循和借鉴。利用母型机法设计压气机,对于一些试验条件较差,设计经验较少的单位来说,只要能选到合适的母型级无疑是有它的可取之处的。但是能不能在总结前人经验的基础上把这些经验理论化,系统化,使在设计新的母型级时试验工作量大为减少呢?上海成套设备所的同志们已经做了一个良好的开端,相信只要坚持走下去总会有成效的。

四、结 束 语

在设计压气机时采用那一种设计方法最为合理是应该具体分析的。前面所说的那些只是想提出它们存在的问题,绝对不是想肯定或否定那一种方法。希望在实践中共同找出解决这些问题的方法,使若干更为完美的压气机的设计方法能够提供给广大设计者所采用。

目前由国外进口了一批鼓风机供给冶金和化工行业使用。尽管气动性能的水平和我们自己设计的相差无几,但是在总体上如控制、自动化、保安措施等我们还需作大量的工作。以上几点看法很可能有片面、错误的地方愿与同志们讨论。

参 考 文 献

1. А.П. Гофлин, Аэродинамический Расчет Проточной Части Осевых Компрессоров для Стационарных Установок 1959
2. <东风 I 型>在<580>轴流压气机中的应用,上海发电设备成设计套研究所 86.9

(上接第43页)

结 论

1. 无论理论求解或实测温度应力,温度场资料都是最基本和最重要的,而变温场的测量,将对开展求解温度应力理论的研究提供最重要的基础资料。以微机为主体的温度数据采集系统具有处理速度快、精度高、功能强以及可以实时处理等优点,为结构热部件温度场及变温场随机测量,提供了一个非常有效的测试方法。

2. 机组经150小时并车试验后,对热部套分解检查,见火焰筒壁面清晰,无鼓包及烧裂现象,内层无变形,气膜冷却环道正常,充分说明了温度场实测结果与筒体燃烧后的壁面情况是完全一致的。

试验工作得到密尚群、唐乾扬、王洪明等工程师的指导和帮助。

参加试验人员有金丽敏、王小艳等同志。