

燃气轮机箱装体排气引射通风冷却的试验研究

汤明玉 潘坤元 吴作民

(哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所)

〔摘要〕 本文通过一系列排气引射试验, 得出了引射系数和引射工作段几何参数配合、排气烟道阻力、被引射气流道阻力的关系, 得出了箱体内冷却气流的流场, 同时, 首次提出引射冷却时, 燃气倒灌入箱体的可能性。从这些试验曲线出发, 提出在设计燃气轮机排气引射通风冷却时, 几何参数选取原则及其最佳值的范围。

关键词 燃气轮机 箱体 通风冷却 气动力试验

一、前言

为了满足对动力装置的隔热、消音、减振、易于安装维修、快速更换等一些总体性能的要求, 目前, 设计师们倾向于将燃气轮机机组设计成包容在一个完整而独立的密封箱体和整体承力底座之内。

但是, 由于箱体是一个隔热件, 它把燃气轮机大量的幅射热蓄存在里面, 这部分幅射热在某些区域可能造成高达 200°C 左右的温度。LM2500 机组箱体设计成在 200°F (93°C) 下, 在非构架区具有小于或等于 $0.47\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 的当量导热率, 所以, 箱体内必须装有通风系统, 以带走发动机表面散发出来的热量, 防止箱体内温度过高危及附件及工作系统的正常工作。

早期的箱体通风冷却系统是在进气和排气导管上装设鼓风机和排风机, 如 42 型舰装奥林普斯 TM3B 机组。这种通风冷却系统的明显缺点是系统复杂, 并消耗功率。因此, 随后的研究是利用燃气轮机的排气动能

引射通风空气来冷却箱体, 采用这种方法将使通风系统结构简单、重量轻、减少安装工作量、降低生产成本。

为了获得最大的通风空气量以带走箱体内发动机的幅射热量, 需要对排气引射工作段的几何参数进行多方案的配合试验, 确定它们相互之间的影响, 从而推荐出最佳的几何参数配合。在这种几何参数配合下, 将获得满意的引射通风冷却效果。

二、符号和公式

符号

l	引射喷嘴至混合室距离	mm
L	混合室高度	mm
H	扩压器高度	m
α_0	扩压器当量扩张角	deg
F_1	引射喷嘴出口面积	m^2
F_2	混合室入口面积	m^2
F_3	扩压器出口面积	m^2
G_1	引射空气量	m^3/s
G_2	被引射空气量	m^3/s
u	引射系数	

收稿日期: 1990-02-06

- n 扩压器扩压比
- ζ_1 被引射进气管道阻力系数
- ζ_2 扩压器后烟道阻力系数
- P_1 被引射进气管出口气流平均静压
- P_2 扩压器出口气流平均静压
- P_{01} 被引射进气管出口气流平均全压
- P_{02} 扩压器出口平均全压
- P_a 环境压力

公式

$$u = G_2/G_1, \quad n = F_3/F_2$$

$$\alpha_0 = \arctg(\sqrt{F_3} - \sqrt{F_2}) / (H \cdot \sqrt{\pi})$$

$$\zeta_1 = (P_a - P_{01}) / (P_{01} - P_1)$$

$$\zeta_2 = P_{02} / (P_{02} - P_2)$$

三、试验装置及试验程序

试验以我所研制的某型燃气轮机机组为对象，在连续吹风式风洞上进行。模型的几何模拟比为4.26，试验引射气流马赫数与机组的马赫数相近。图1给出了试验模型总图及气流参数测量截面位置，图2是试验装置在试验台上的全景。

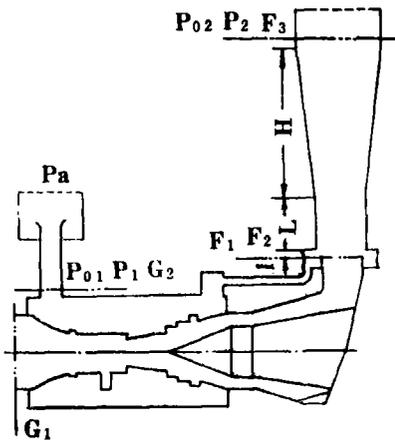


图 1 排气引射试验模型

试验用全压、静压复合探针及微压计进行多点测量，为保证精度，测点布置在测量截面的等环面上。

试验时，首先在混合室高度 $L = 210$ 下，



图 2 试验装置安装在试验台上
不装出口扩压器，变换 l 、 F_2/F_1 值，获得它们与引射系数 u 的关系。然后，在最佳的 l 值和 F_2/F_1 值下，装上出口扩压器，变换不同的扩压比 n 值，获得 $n-u$ 曲线。最终在最佳的 l 、 F_2/F_1 、 n 值下，变换排气烟道的阻力和被引射气进气阻力，获得这两种阻力对引射系数 u 的影响。为了使一定量的空气起最大的冷却效果，试验时还采用示踪纸屑和线簇来观察箱体内流场，并通过设置在被引射气进气管后的导流片来调整、组织气流。

四、试验结果与分析

1. l 、 F_2/F_1 和 u 的关系

为了在设计时正确选择 l 和 F_2/F_1 值，必须获得 $u = f(l \cdot F_2/F_1)$ 关系。在无出口扩压器和混流段高度 $L = 210$ 时，不同 l 和 F_2/F_1 值与引射系数 u 的曲线如图3所示。从曲线中可以看到：当面积比 $F_2/F_1 > 1.26$ 时，进一步增大 F_2/F_1 值，对引射系数 u 的增大影响很小，而且 l 值的变化对 u 值的影响很小。当面积比 $F_2/F_1 < 1.26$ 时， l 值的减小或 F_2/F_1 值的进一步减小都将使 u 值急剧

下降。

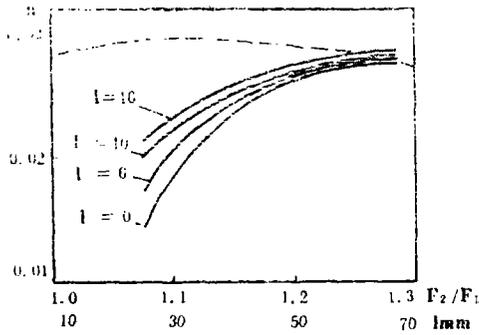


图3 当 $L = 210$ 时, u 随 l , F_2/F_1 值变化的试验曲线

在一定的面积比 F_2/F_1 值下, l 有一个最佳值, 图3虚线表示了当 $F_2/F_1 = 1.28$ 时, u 随 l 值变化的曲线, 这时最佳的 l 值约为30。这是因为在引射喷嘴出口到混合室入口范围内, 引射气流实际上是一股自由流束, 过大的 l 值将使气流撞击到混合室入口边缘, 由此产生倒流和与倒流相联系的附加损失, 造成 u 值的下降。

2. n 和 u 的关系

混流段后的扩压器对引射系数 u 影响较大, 因为采用扩压器后, 将使引射工作段的静压进一步降低, 从而使 u 值增大。但是, 扩压比 n 值的选择还与扩压器后消音器通道的流速、排烟道阻力和机组排气蜗壳损失、排烟道重量尺寸有关。图4表示了 $l = 30$, $F_2/F_1 = 1.28$, 当量扩张角 $\alpha_3 = 6.8$ 度时, 扩压比 n 和 u 的关系曲线, 从曲线可以看到: 当 $n < 1.8$ 时, 扩压比 n 的减小将使 u 迅速降低, 当 $n > 1.8$ 时, n 对 u 的影响不显著。所以, 扩压比应选择在 $1.8 < n < 2.0$ 范围内, 在这范围内, 上述各种要求能得到兼顾, 排气蜗壳的损失也不会因引射通风冷却而增加

3. ζ_1 、 ζ_2 和 u 的关系

被引射进气管道阻力系数 ζ_1 和烟道阻力系数 ζ_2 直接影响 u 值的大小。图5表示了当 $n = 1.85$, $l = 30$, $F_1/F_2 = 1.28$ 时, ζ_1 、 ζ_2 和 u

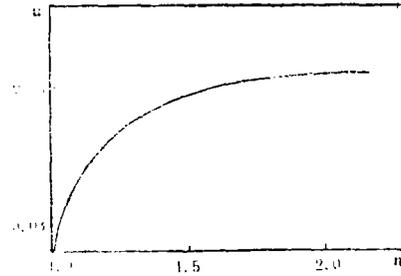


图4 u 随 n 变化的试验曲线

的关系, 曲线表明: 为了获得较大的引射系数, 应尽可能减小 ζ_1 和 ζ_2 值, 在实际设计过程中, 应该控制 $\zeta_1 < 1.5$, $\zeta_2 < 2.8$

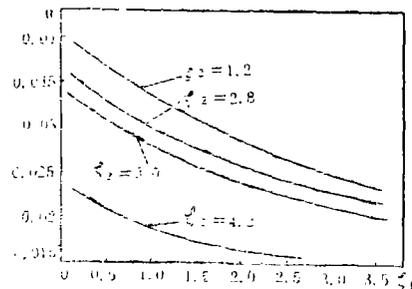


图5 u 随 ζ_1 、 ζ_2 变化的试验曲线

图6是当 $\zeta_1 = 0.1$ 时, u 和 ζ_2 的变化曲线, 在这条曲线上值得注意的一点是: 当 $\zeta_2 = 10.5$ 时, u 将降为零, 继续增大 ζ_2 , 箱体内部将倒灌入燃气轮机的排气, 极易引起火灾等严重事故。如此高的 ζ_2 值可能出现在由于高速、高温、高振颤而造成消音元件大量损坏或烟道由于受到意外破坏而大面积阻塞的情况下。因此, 应考虑由传感器输出信号控制的电磁速关阀安装在箱体到引射工作段的通道上。

4. 箱体内流场

箱体内通风冷却气体的流场对于箱体通风冷却效果有很大的影响, 希望箱体内有最小的逆流和滞流, 但是, 箱体内流场和复杂的机组外形和难以自由设置的通风冷却气流的进出口位置有关, 所以逆流和滞流仍难以避免。

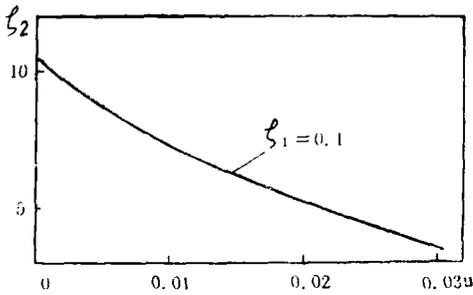


图 6 当 $\xi_1 = 0.1$ 时, u 随 ξ_2 变化的试验曲线

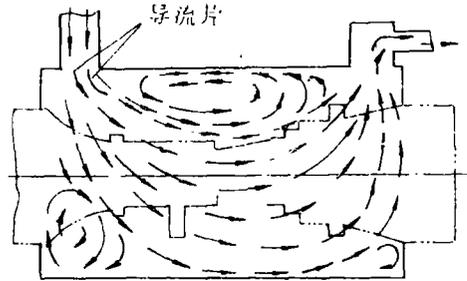


图 8 装置导流片后箱体内流场

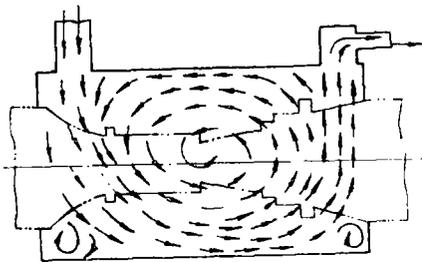


图 7 无导流片时箱体内流场

图 7 为我所研制的某型机组, 在没有进气管后导流片时箱体内的流场。从图中可以看到: 在箱体中部上端 1/3 区域出现很大的逆流, 而在中间 1/3 区域是一个大涡流, 这种流场对通风冷却显然是不利的。经过设置 5 种不同导流片的试验和观察, 图 8 是较为理想的流场, 机组外形附近已无明显的逆流和滞流, 从而保证了箱体通风冷却效果。

五、结束语

本文通过模型试验所获得的 $u = f(l, F_2/F_1, n, \xi_1, \xi_2)$ 曲线在燃气轮机排气引射冷却箱体的类似结构下, 可以作为设计人员选择排气引射工作段几何参数的依据。从模型试验获得的引射系数 u 换算到实际机组的冷却空气量的公式可以见文献[2]。在设计排气引射冷却时, 对排气倒灌入箱体的可能性需要给予重视。箱体内流场在模型试验时, 忽略了对流的影响, 应在机组实际运行时进行校核。

最后, 对在百忙中关心本试验研究和审阅本文的总工程师闻雪友同志, 高级工程师陆行肃同志, 对指导本文写作的李乡复同志表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 索科洛夫, 津格尔. 喷射器. 科学出版社, 1977
- [2] 朱士绿. 船用燃气轮机短尺寸排气引射装置模型试验研究. 上海交大论文, 1984
- [3] 闻雪友, 马治和. 船用燃气轮机箱装体. 哈尔滨 703 研究所情报室, 1983

Experimental Study of Air Cooling of Gas Turbine Package through Turbine Exhaust Gas Ejection

Tang Mingyu, Pan Kunyuan, Wu Zuomin

(Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute)

Abstract

By conducting a series of exhaust gas ejection tests a proper coordination of ejection factor and ejection geometric parameters has been attained and the relationship between the ejection factor and the exhaust gas duct resistance as well as the relationship between the said factor and the ejected gas flow duct resistance have been ascertained. Also determined is the cooling air flow field in the turbine package. In this paper the authors have pointed out for the first time the possibility of turbine exhaust gas reverse flow into the turbine package. Based on the test curves obtained, the authors offer a basis or guiding principle for selecting proper geometric parameters and a range of their optimum values during the design of air ventilation cooling by use of turbine exhaust gas ejection.

Key Words: gas turbine, package, ventilation cooling, aerodynamic test

新 产 品、 新 技 术 信 息

№R88-21 SAT-25 型双色水位表 是一种直读式新型水位表,颜色鲜明,界面清晰准确,视读简易。满水显全绿色,无水显全红色,红绿分界面即为水位线。运行人员能在远距离(60米)监视水位,可应用于锅炉和存贮器以监视水位。工作压力 $p \leq 2.5\text{MPa}$, 介质温度 $t \leq 225^\circ\text{C}$, 影屏高度200mm, 外形尺寸 $325 \times 120 \times 255$, 重量14.8kg。1987年9月15日通过省级技术鉴定,达到国内同类产品水平。产品销售。

№R88-22 催化裂化再生烟气能量回收工程设计 该项节能技术具有明显的经济效益,可降低装置的单位能耗、提高商品率。该工程投资的年平均盈利率不低于50%,投资的净回收期不超过二年。1981年以来,先后为哈尔滨、吉林、天津、林源、沧州等炼油厂进行了能量回收工程设计,效果显著。对该工程的再生烟气系统、蒸汽发生系统、热工仪表及自控系统、电气、土建等方面设计合理,特别对该工程配套的主要设备:第三级多管式旋风分离器、烟气轮机、传动齿轮、轴流式压气机、余热锅炉、蒸汽轮机等设备能全部配套设计。服务方式:提供总体及全部配套设计、技术咨询。

(如需以上技术或产品请与编辑部联系)