

顶端壁轮廓成型对环状涡轮喷咀导叶内 三维流场的影响：第一部分——试验研究

〔比利时〕 E. Boletis

〔提要〕 顶端壁轮廓成型是改进低展弦比涡轮叶片性能最有方法之一。鉴于几何参数的宽广变化，看来唯有通过实际了解三维流场，才使我们有可能评价特定的端壁成型的可能得益。本文对一台具有子午面顶端壁轮廓成型的低速、低展弦比、高度转折环状涡轮喷咀导叶，介绍了它的三维流动试验研究。本试验的结果与以前在具有同样叶片和叶栅几何参数，但具有圆柱形端壁环状的涡轮喷咀导叶研究结果进行了比较，从而评价了顶部轮廓成型所带来的重大影响。在此同时，本文的试验研究为与先进的理论计算方法进行比较，提供了充分的三维试验例证。在从叶列远上游到下游的5个轴向平面内，利用双头四孔压力探针针对流动进行了测量，以等值线图和按节距平均的展向分布形式介绍了这些试验结果。

一 前 言

在低展弦比设计的高压涡轮中，二次流损失往往具有叶型损失同样的数量级，甚至成为主要的损失。

需要根据减少总损失的要求，对涡轮设计的若干方面进行重新审查并使其最佳；从而表明，考虑环状通流部分的形状是很重要的。子午面顶端壁轮廓成型作为减少涡轮静子叶片内总损失的一种有效的工具，首先是由苏联莫斯科动力学院的杰依其教授在六十年代提出的。根据杰依其的研究，该方法的

得益在于增加了叶片通道的收敛度，减少了叶片通道前半部节距方向的压力梯度，以及对叶片尾缘区域展向静压分布产生了积极的影响。鉴于几何参数的宽广变化，看来唯有通过实际了解三维流场，才使我们有可能评价特定的端壁轮廓成型的可能得益。本文对一台具有子午面顶端壁轮廓成型的低速、低展弦比、高度转折的环状涡轮静子叶栅，介绍了它的三维流动试验研究。本试验的结果与以前在具有同样叶片和叶栅几何参数，但具有圆柱形端壁的环状涡轮静子叶栅研究结果进行了比较，从而评价了顶部轮廓成型所

面流到后面。此水箱开式的流路设计将积存的无机物和灰尘冲出本系统，使空气的压降减到最少，小于15mm(0.6英寸)水柱。

水从上部介质分配座上面的水分配联箱导入。联箱内两列上流孔使堵塞的可能性降至最低，从而提供了均匀的水分配。分配管上面的一个半球形挡流板使水向下流到分配座上。

蒸发冷却器也被应用于潮湿地区。例如，它们已被指定用于得克萨斯州休斯敦的一

个大型燃气轮机联合循环发电装置中。密执安州未德兰的道氏化学公司在其位于路易斯安那州普莱克明的一个联合循环装置上安装了蒸发式冷却器，但在得克萨斯州弗里波特的大型联合循环综合设备上却未使用。这表明，经济上的考虑是在潮湿地区使用还是不使用这种冷却器的决定因素。

参 考 文 献 略

(英汉词典“Lewer”1335.9页未明校)

带来的重大影响。在此同时, 本文的试验研究为与先进的理论计算方法进行比较, 提供了充分的三维试验例证。

二、冯卡·门流体力学研究所的环状叶栅

试验是在冯·卡门流体力学研究所的开放式低速涡轮试验装置中进行的。本试验的试验段结构和叶栅的几何参数分别示于图1和图2。

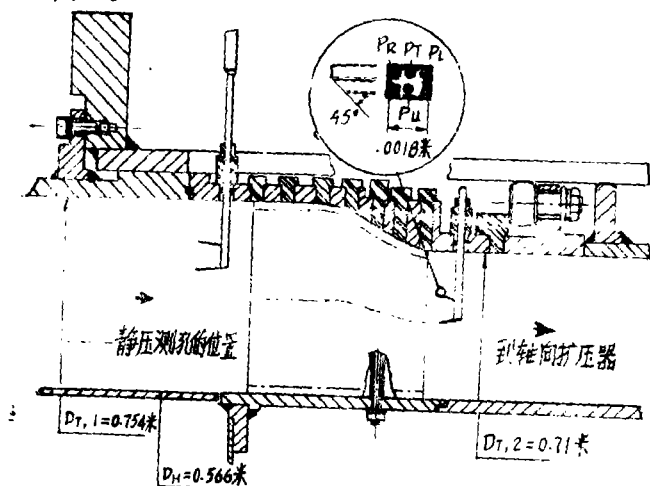


图1 试验段

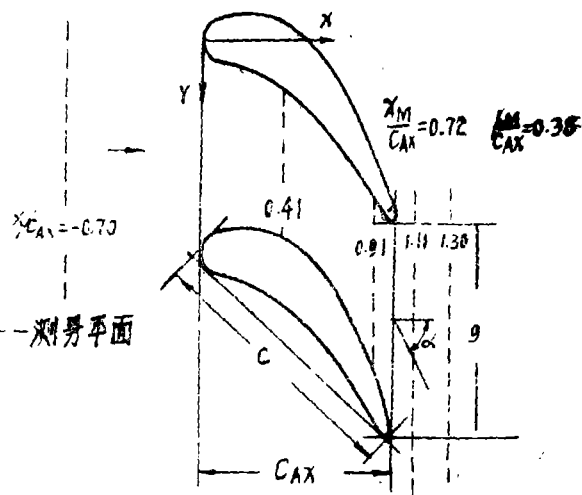


图2 叶高中部处叶栅的几何参数

压的测孔。

在从叶列远上游到下游的5个轴向平面内, 利用双头四孔压力探针对流动进行了测量。以等值线图和按节距平均的展向分布形式介绍了这些试验结果。

三、顶部端壁轮廓成型对三维流场的影响

在所有三个准正交方向, 环状叶栅内的压力梯度是严峻的。节距方向的压力梯度是产生二次流动的主要推动力, 而流向压力梯度主要影响端壁和叶片附面层的生长。径向压力梯度取决于(a)影响切向分速度的圆柱

低展弦比的静子叶栅($H_2/C=0.6$), 其轮毂直径是不变的, 为0.566米, 进口和出口处的顶部直径分别为0.754米和0.710米, 静叶出口的端壁直径与对比试验的相同。对比试验是具有同样叶片和叶栅几何参数, 但具有圆柱形端壁的环状涡轮静子叶栅试验。收敛度 CR (定义为出口和进口的高度之差与叶片出口高度之比) 是0.306。子午面轮廓是由一个三次函数式确定。在一个叶片叶高方向的三条准流线(分别为叶高的1/22, 11/22 (叶高中部) 和21/22处) 上开有测量静

形和轮廓成型端壁的周向曲率, (b) 影响轴向分速度的非圆柱形端壁的子午面曲率。

轮廓端壁成型设计的目的是(a) 消除高度转折区域内节距方向的压力梯度, (b) 在尾缘区域产生一个径向压力梯度, 使其抵消叶片设计施加的径向压力梯度。第一项取决于轮廓前面部分的曲率, 它主要是所要求的通道收敛度的函数, 而第二项取决于轮廓后面部分的曲率。图3介绍了沿1/12, 11/22 (叶高中部) 和21/22叶片高度的三条准流线轴向的叶片压力分布。叶片压力由压力系数 CP'_s 表示, 它定义为:

$$CP'_s = (P_{01,MS} - P_{s,L}) / (P_{01,MS} - P_{s,2}(r))$$

式中 $P_{01,MS}$ —叶高中部叶栅前的总压
 P_{SL} —当地的静压
 $P_{s,2}(r)$ —沿径向的栅后静压。

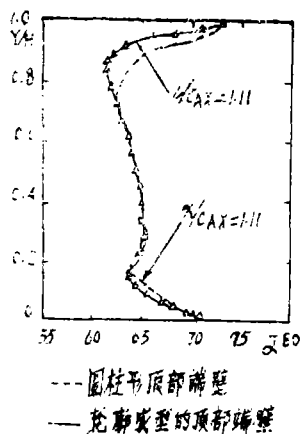


图3 沿轮毂(1/22H)、叶高中部和叶尖(21/22H)的三条准流线的叶片压力分布

由于对比情况没有试验资料,所以我们的测量数据是与用时间前进的三维无粘旋转流方法计算的圆柱形顶端壁的叶片压力分布进行了比较。已经证实,上述数值分析能精确地估算具有圆柱形端壁的进口导叶通道内的流场。

顶部轮廓成型的影响贯穿到整个叶片通道。顶部区域的影响比轮毂区域更为明显,叶片负压面处的影响比压力面更为强烈。在前60%轴向弦长处,轮廓成型使负压面的压力有了明显的增加(CP'_s 减小),但在压力面仅引起适度的变化。它明显地降低了叶片通道前面部分的负荷,从而减小了产生二次流动的推动力。在通道的后面部分,由于相反的壁面曲率,其轮廓成型的影响完全不同于前面部分。在叶尖区域,叶片负压面的压力明显地减小了(CP'_s 增加),在叶高中部处 CP'_s 适度增加,而在轮廓区域, CP'_s 的增加几乎为零。最明显的特点是在叶尖处,最大负压面速度移向尾缘,从而在叶片后面部分引起不利的大的压力梯度。毫无疑问,叶片附面层的发展将明显地受到这一变化的影响。

四、对气流角展向分布的影响

图4介绍了节距平均的气流角 α 的展向

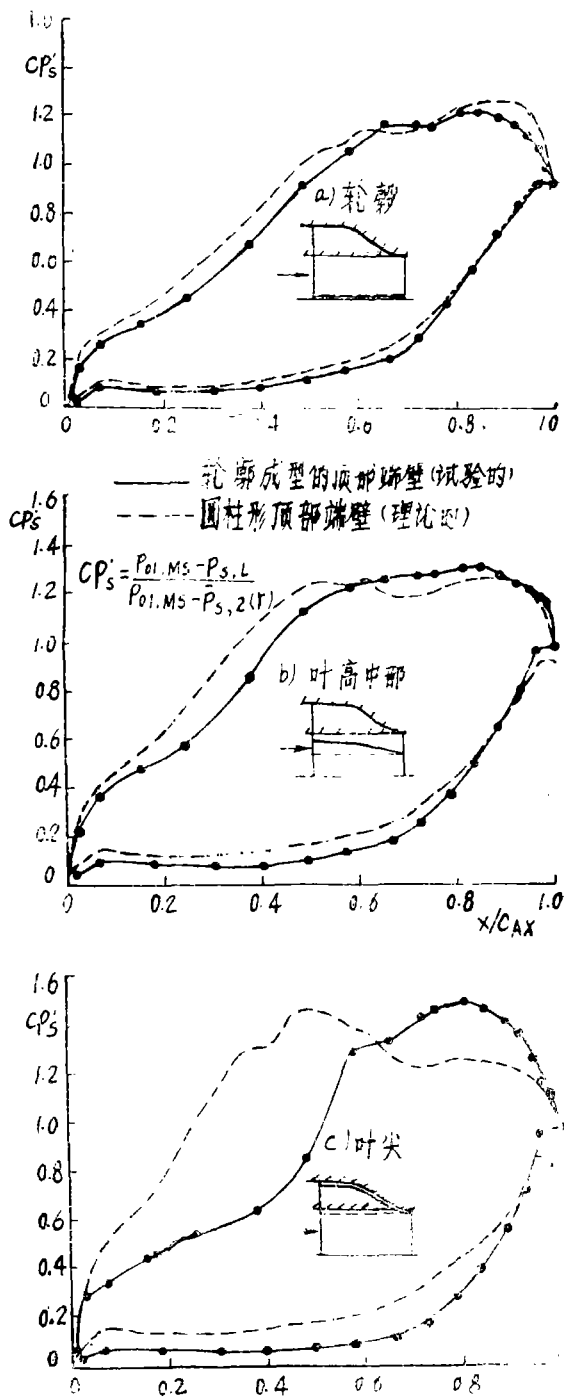


图4 节距平均的气流角的展向分布

分布。顶部轮廓成型的影响是相当有限的，上半叶展处影响较为明显。

五、叶栅下游平均损

失的展向分布

图5介绍了二个下游平面处平均总压损失的展向分布。壁面轮廓成型减少了大部分叶高处的总压损失。与对比情况相反，顶端壁轮廓成型的叶栅在相对叶高 $Y/H = 0.25$

少也是很明显的。在 $Y/H \geq 0.90$ 区域，顶部轮廓成型的叶栅，其顶端壁损失是很高的。

在二个下游平面处，顶部轮廓成型叶栅的总损失 $\overline{CP_0}$ 分别为4.6%和6.3%，而圆柱形顶部端壁叶栅的总损失分别为5.4%和6.9%。在叶高二半部分的损失都减小了，但是上半部分叶高损失的减少更为明显。

六、结论

1. 叶尖轮廓成形对通道流场产生了积极的影响，叶片通道前面部分的横向压力梯度明显减小了，而且由叶片设计施加的径向压力梯度也由顶端壁负压面角隅处产生的低静压区域所抵消。槽道收缩和顶部曲率的影响贯穿到整个叶片高度。

2. 从 $Y/H = 0.25$ 到0.80的叶高区域，出口流场的尾流区明显地减小。与圆柱形顶端壁情况相比较，总损失显著减少。

3. 顶部轮廓成型对气流角的影响是相当有限的，而且这一影响在静子叶片尾缘的下游迅速减小。

吉桂明摘译自《ASME Power 1985, 107(4)》。

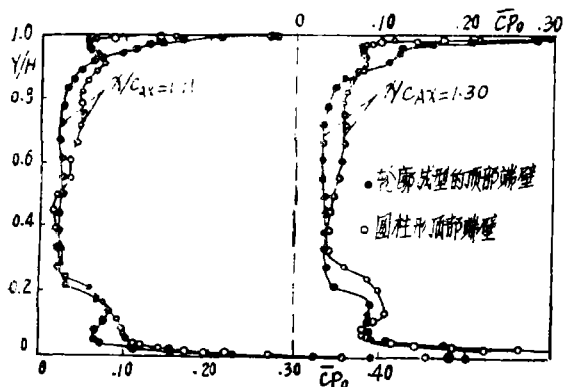


图5 二个下游平面处展向的总压损失分布

和0.80之间的总压损失几乎是不变的。这意味着，与圆柱端壁情况相比较，顶部损失的径向迁移是相当小的。 $Y/H = 0.05$ 和0.25（下半叶展二次流损失区域）之间损失的减

技术动态

联合生产锅炉的协议在北京签字

美国Babcock & Wilcox 国际分部和北京锅炉厂之间的共同开发协议已在北京签字。共同开发公司将称做Babcock & Wilcox北京有限公司（中国）。其目标是使中国制造锅炉的能力提高到世界标准。该合作公司也将增加中国的锅炉制造能力。目前中国只能满足其电力需要的80%。

摘自“Turbomachinery” Vol 2b. No 9. 1985