

低速风洞横向开槽壁试验段性能的研究*

韩廷良 蒋金贵 袁建昆 周杰 张绵纯

中国科学院力学研究所, 北京(邮政编码 100080)

摘要 为探索减小洞壁干扰的试验方法, 用环境风洞做了二维横向开槽壁试验段性能的试验研究。槽壁由等宽度薄板条在相对模型的两侧壁以零攻角等间距排放而构成, 通过测量圆柱模型周向的表面压力对槽板宽度、驻室深度、试验段长度、模型在试验段中的轴向位置等与槽壁试验段性能有关的参量做了试验研究。模型堵塞比一直到0.25的试验结果与无干扰的参考曲线符合良好。结果表明低速横向开槽壁具有洞壁干扰小且结构简单的特点。

关键词 风洞, 二维, 开槽壁, 洞壁干扰。

符 号

V_∞ 风速	l 槽板间距
C_p 压力系数	OAR 开闭比 $= l/c+l$
Δp 洞壁干扰量	L 槽壁试验段长度(米)
ε 模型堵塞比	x 轴向坐标
H 半侧驻室深度(毫米)	x_1, x_2 槽壁试验段前后实壁试验段的长
D_s 模型轴心距槽壁试验段入口距离(毫米)	w 试验段宽
C 槽板宽度(毫米)	θ 周向角

引 言

洞壁干扰主要是由于固壁边界强迫性地限制了物体绕流的自由流动, 使试验状态下的流场并非自由流场所致。在试验手段上消除洞壁干扰大体有三种办法: 1. 减小堵塞比。缩小模型或加大试验段尺寸。然而, 前者会使雷诺数减小, 降低测量结果的精度, 而后者会使风洞建造及运行的耗资增加。2. 风洞壁可调自修正技术。这种方法能很好地产生自由流场, 但其结构复杂, 造价昂贵。3. 透气壁试验段。透气壁包括槽壁和孔壁两种, 开槽壁又分纵向槽壁和横向槽壁。纵向槽壁和孔壁已成功地应用于跨声速风洞消除洞壁干扰, 纵向槽壁近些年来在低速非经典钝头体如汽车降落伞等气动试验中得到了应用^[5, 6]。但是, 由于部分气流经纵向槽或孔进入驻室时是射流状态, 在槽或孔的附部产生流动分离, 洞壁处有横向流动, 存在一定的不均匀性, 其设计有一定的经验性^[1, 4]。与纵向槽壁不同, 加拿大哥伦比亚大学Parkinson G V教授于70年代首先提出了

* 国家自然科学基金资助项目。

本文于1992年8月22日收到, 1993年3月22日收到修改稿。

低速横向开槽壁，目前他仍在进行此项研究。

横向开槽壁是由等弦长对称翼型做槽板，以零攻角等间距排放的栅栏式透气壁。在试验状态下，模型绕流外层区域的流线以绕流方式流经槽板自由地进入驻室，再返回到下游试验段，使模型附近形成近似的自由流场。如果模型堵塞比适当，流经槽板的气流不会产生失速流动，避免了纵向开槽壁壁面附近存在的流动分离。

Parkinson 教授在单侧和双侧横向开槽壁试验段中，分别以翼型和圆柱为模型，对开闭比从 0 到 1 的范围做了详细的研究，得出了 $OAR=0.563$ 附近为最佳开闭比的结论^[4]。本文介绍了在 Parkinson 研究工作的基础上，对横向开槽壁性能进行的进一步研究。在最佳开闭比范围内并考虑槽板条数取整数，取 $OAR=0.565$ 。以二维圆柱模型对 Parkinson 教授没有报告而与槽壁性能又密切相关的参量(如驻室深度、槽板宽度、槽壁试验段长度及模型在试验段中的轴向安装位置等)做了系统的试验研究。目的是为了探索加大模型堵塞比同时又消除洞壁干扰的风洞试验技术，通过加大模型堵塞比在中等尺寸环境风洞中开展钝头体超临界雷诺数的实验研究，扩大风洞的应用范围。为低速横向开槽壁的设计提供技术依据。

一、设备与试验

1. 风洞。试验是在中国科学院力学研究所 $0.6\text{m} \times 0.4\text{m} \times 4.0\text{m}$ 下吹式小环境风洞中完成的。试验段如图 1 所示。空风洞的风速为 17m/s ，湍流度 0.45% ，槽壁试验段分 1m 和 2m 长两种，驻室深度 H 可调，槽板是等厚度薄板，开闭比等于 0.565 。测量仪器是 10° 倾斜式酒精压力计和标准皮托管。

2. 模型。试验模型是二维圆柱(有关参数见表 1。做了堵塞比为 0.02 、 0.10 和 0.25 三种模型的试验，由于篇幅所限本文只给出堵塞比 0.02 和 0.25 的结果)，展长稍小于风洞试验段的高为 398mm ，垂直安装在风洞轴线上，两端的转动轴由上下壁伸出洞外，上轴与角度转盘连接，在模型展长的 $1/2$ 处装有一个测压孔。



图 1 横向开槽壁试验段
Fig.1 Transverse slotted wall test section

表 1 模型参数及试验条件

Table 1 Model parameters and test conditions

模型	项目	堵塞比	雷诺数	测压孔径 (mm)	来流湍流度	试验段尺寸 宽(m) × 高(m)
1*		0.02	0.14×10^5	0.5	0.45%	0.6 × 0.4
2*		0.25	1.7×10^5	0.8		
Roshko		0.04	$0.145 \cdot 10^5$		低湍流度	0.51 × 0.51
William		0.02	2.0×10^5		低湍流度	2.28 × 0.9

3. 试验。在开闭比不变的条件下对 C 、 H 、 D 和 L 的影响作了系统的试验研究。对

于不同的 C 通过改变槽板条数确保 $OAR=0.565$ ；在其它条件不变的情况下改变 H 的大小，选 C 、 H 的最佳值后改变 D_x ， L 的变化暂时做了1m和2m长的两种。通过控制模型转动，测量周向的表面平均压力分布。

二、结果与讨论

1. 测量结果可靠性的评估

为了鉴别横向开槽壁试验段测量结果的可靠性，利用1*模型做了可靠性试验，与Roshko数据的比较示于图2。当驻室深度 $H=100\text{mm}$ 时，试验结果与参考曲线基本重合，这说明横向开槽壁试验段的试验结果是可信的。

2. 槽板宽度的影响

槽板宽度对试验结果的影响示于图3。槽板宽度的变化对试验段性能有一定影响，它主要是引起模型最低压力点前移。它对试验结果的影响要比驻室深度、模型安装位置等参数的影响小。其最佳宽度为90mm。

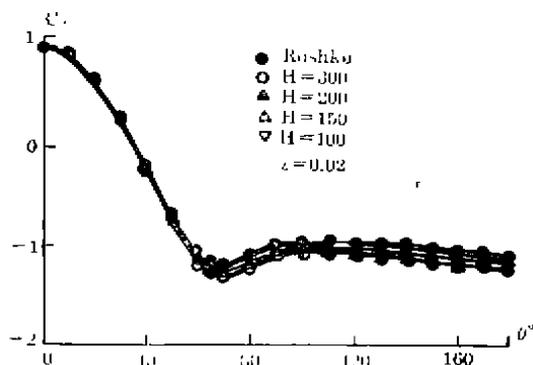


图2 压力随角度的变化曲线($C=90$)
Fig.2 Pressure vs degree($C=90$)

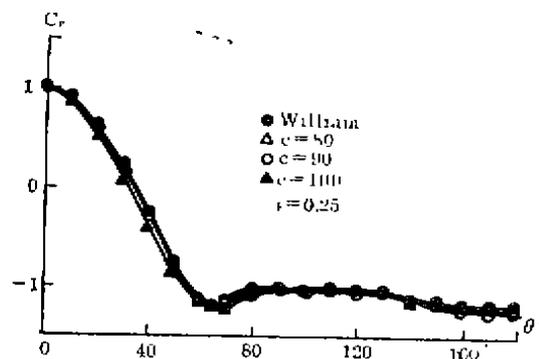


图3 压力随角度的变化曲线($H=100$)
Fig.3 Pressure vs degree($H=100$)

3. 驻室深度的影响

H 的大小对试验结果有明显的影。图2和图4分别给出了1*和2*模型压力曲线随

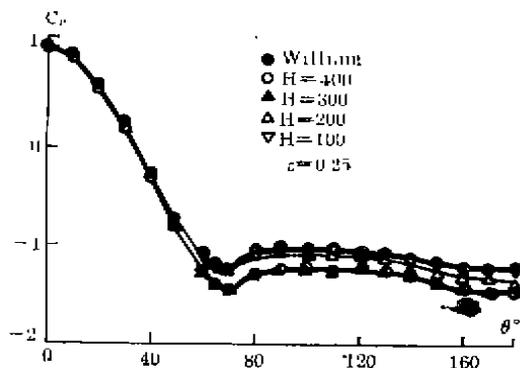


图4 压力随角度的变化曲线($C=90$)
Fig.4 Pressure vs degree($C=90$)

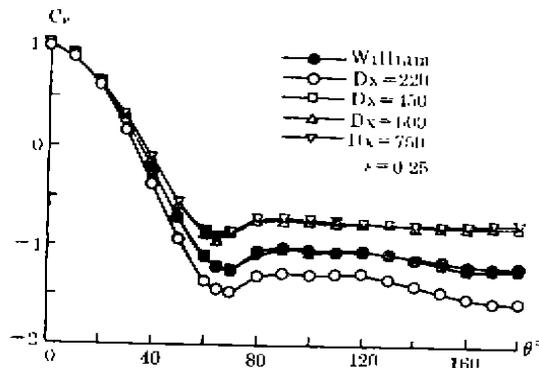


图5 压力随角度的变化曲线($C=90$, $H=100$)
Fig.5 Pressure vs degree($C=90$, $H=100$)

H 的变化。图中明显地说明：洞壁干扰随驻室深度的增加而增加。这是因为在驻室长度不变的情况下随着 H 的增加，在驻室内的前部和尾部区域分别产生越来越大的旋涡区，这种旋涡流动对试验段流场产生了干扰。驻室深度的最佳值 $H = 100\text{mm}$ 。

4. 模型安装位置的影响

图 5 给出了 2* 模型在不同轴向位置的试验结果。这些结果说明模型在轴向的安装位置是对横向开槽壁试验段性能影响的重要参数之一。压力曲线随 D_s 的变化表明槽壁试验段存在三个区域，可称之为 I 入口区，II 平衡区，III 出口区。如图 6 所示，模型位于入口区时它所感受的洞壁干扰具有实壁干扰性质，表面压力分布有负的增大，在这个区域内洞壁干扰随着轴向位移的增加而减小。在平衡区洞壁干扰是一小量，在此区域内可获得近乎无干扰数据。在出口区洞壁干扰逐渐增加。它与入口区相反，随轴向位置的后移表面压力分布有正的增大，呈现开口射流风洞的干扰性质。

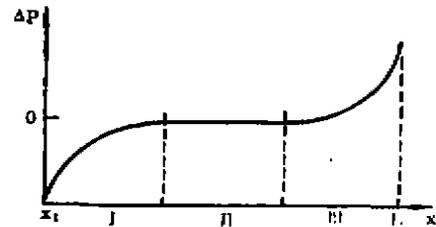


图 6 洞壁干扰特性不同的区域

Fig.5 The distinct regions of wall interference characteristic

5. 试验段长度的影响

图 7 是长度不同的两个试验段试验结果的比较。1m 长试验段的试验曲线从模型前驻点到周向 120° 之间与参考曲线完全重合，而 120° 到 180° 之间呈现上翘趋势，这说明在试验段短的情况下由驻室返回的气流对模型尾流产生了干扰。当试验段加长后，这个干扰消失了。

开槽壁的试验结果与实壁结果的比较示于图 8。实壁的结果远远偏离参考曲线，而

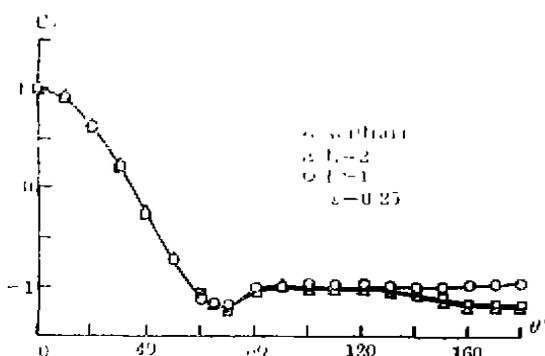


图 7 压力随角度的变化曲线 ($C = 90$, $H = 100$)

Fig.7 Pressure vs degree ($C = 90$, $H = 100$)

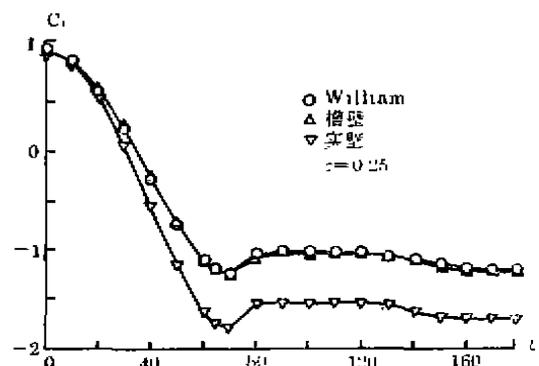


图 8 压力随角度的变化曲线

Fig.8 Pressure vs degree

开槽壁的结果与参考曲线几乎完全重合。这说明横向开槽壁消除洞壁干扰的效果是相当令人满意的。

三、结 论

利用环境风洞进行了横向开槽壁试验段性能的试验研究,可得出如下结论:

1. 槽板宽度的最佳值为90mm。
2. 模型安装的轴向位置是横向开槽壁重要的性能影响参数之一。槽壁试验段存在洞壁干扰特性不同的三个区域,模型只有位于平衡区才能得到近乎无干扰数据。
3. 随着驻室深度的增加,驻室内的前部和尾部产生越来越大的旋涡流动,这是使试验段存在三个不同区域的主要原因。旋涡流动起着使试验段缩短的不良作用。最佳驻室深度 $H=100\text{mm}$ 。
4. 用等宽度薄板做槽板得到了满意的结果,它可以取代翼型槽板。在横向开槽壁试验段的设计中可以采用等宽度薄板做槽板,以便加工。
5. 横向开槽壁具有良好的消除洞壁干扰的特点,且结构简单。研究结果可供国内中等尺寸环境风洞和低速风洞的设计及性能改造时参考。

四、结束语

本文叙述了对低速横向开槽壁试验段性能的初步研究,获得了一些有益结果。对于模型的轴向安装位置与堵塞比的定量关系、洞壁干扰特性不同的三个区域的定量长度及堵塞比与试验段长度的定量关系等有待进一步研究。

参 考 文 献

- 1 Parkinson G V. On the Use of Slotted Walls in Two-dimensional Testing of Low Speed Airfoils. *C.A.S.I. Transactions*, 1971, 14(2):81~87
- 2 Hameury M, Parkinson G V. Development of Tolerant Wind Tunnel, International Congress on Instrumentation in Aerospace Simulation Facilities, 1985, 227
- 3 Parkinson G V. The Tolerant Tunnel-Concept and performance. Canadian Symposium on Aerodynamics, 1st, Ottawa, Canada, 1989.
- 4 Parkinson G V, Hameury M. Performance of the Tolerant Tunnel for Bluff Body Testing. *Journal of wing Engineering and Industrial Aerodynamics*, 1990, 33:35~42
- 5 Ramiondo S, Clark P J F. Slotted Wall Test Section for Automotive Aerodynamic Test Facilities. AIAA Paper-82-0585, 1982.
- 6 Macha J, Buffington R, Henfling J. Slotted-Wall Research with Disk and Parachute Models in a Low-Speed Wind Tunnel. AIAA 90-1407, 1990.
- 7 William J, Bursnall, Laurence K et al.. Experimental Investigation of the Pressure Distribution about a Yawed Circular Cylinder in the Critical Reynolds Number Range. NACA TN-2463.
- 8 Roshko A. On the Drag and Shedding Frequency of Two-Dimensional Bluff Bodies. NACA TN-3169.

Research of the Performance on the Transverse Slotted Wall Test Section of Low-Speed Wind Tunnel

Han Yanliang Jiang Jingui Yuan Jiankun

Zhou Jie Zhang Mianchun

(Institute of Mechanics, Academia Sinica)

Abstract In order to decrease the wall interference, the performance of two-dimensional transverse slotted wall test section was experimentally investigated in environmental wind tunnel. The slotted wall consist of arrays of evenly spaced thin slat at zero incidence on the two boundaries oppsite the model under test. The length of slotted wall test section, the slat width, the plenum deep and the distance between the model center with the entrance of slotted wall test section was experimentally investigated individually by measuring the circumferential pressure on the surface of circular cylinders. The pressure distributions for the blockage up to 0.25 collapse onto or very close to appropriate reference curves unconfined flow conditions. It shows that the transverse slotted wall has the advantage of self-correcting wall interference and simple structure.

Key words wind tunnel, two-dimensional, slotted wall, wall interference.