

不同形式导流屏导流效果数值模拟

王海服¹, 曹思杰¹, 种小雷¹, 沈哲², 李永毅²

(1. 空军工程大学工程学院, 陕西西安, 710038; 2. 航空港第八工程总队, 辽宁沈阳, 110000)

摘要 导流设施可分为实体式和百页式2种类型。为了分析2种形式导流屏的导流效果,建立了飞机尾喷气流场的模型,分别模拟不同形式导流屏的导流效果。模型采用笛卡尔坐标系和结构网格,采用标准格式离散方程,采用SIMPLE算法来计算压力与速度的耦合。分析结果表明:设置导流屏导流效果明显,实体式屏若导流屏过高或过陡,并容易产生横溢气流;百页式导流屏让气流沿页板方向向后上方扩散,它对气流的阻力较实体屏小。

关键词 导流屏;尾喷气流;流场模型;导流效果

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2012.02.004

中图分类号 U417.9;TU761.1 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2012)02-0016-04

飞机尾喷气流是高温高速的喷射气流,会使在其后的工作人员、行人、车辆感到不适,降低工作效率,严重时还会危及人身安全。国际民航组织(ICAO)规定,喷气流速度超过15 m/s时,人员和车辆运行应当避免^[1]。为了防止或减轻尾喷气流对未铺筑道面地区的侵蚀,在停机坪和维修坪等飞机经常试车地区需要设置导流设施,将喷气流按一定的方向和角度导出。常用的机场导流设施形式多样,很有必要分析不同形式导流设施的导流效果,并找出各种类型导流设施的缺点,以便对其进行改进。本文通过计算机模拟计算,分析不同形式导流设施的导流效果,以综合两者的优点,为新型导流设施的设计提供一定的理论依据。

1 不同形式导流屏导流的计算机仿真

屏体的结构类型本质上可分为实体式和百页式2种^[2]。实体式导流屏以阻挡气流的前进而达到防吹的目的,构造相对简单,施工便于操作,一般内表面为圆弧形。百页式导流屏利用具有一定角度的页板给喷气流导向,让气流沿页板方向向后上方扩散,因此必须有页板框架、支架及稳定砣或较深的基础等构成,结构复杂,造价高,且施工也有相当的难度。

1.1 飞机尾喷气流场及导流屏模型

1.1.1 飞机尾喷气流场模型的建立

飞机发动机尾喷口的物理模型见图1。喷管形状为圆形,出口喉管面积为 $S(\text{m}^2)$,其轴心距离地面高度为 $H(\text{m})$;若为双发,2个喷管的轴心距离为 $a(\text{m})$,发动机喷管中心线下偏角为 θ 。其中, $L=H/\tan\theta$ 。

导流设施一般设置在飞机尾喷口后15 m左右,建模时为了简化计算、加快收敛,仅模拟飞机正后方的部分区域。因此,计算距离取喷口后30 m,计算区域为 $30\text{ m}\times 10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 的体积,采用笛卡尔坐标系。

1.1.2 加入导流屏后的流场模型

忽略屏前的坡度、屏的材料性质等次要因素,为简化模型,只用直立式结构形式模拟百页式导流屏,对于实体式导流屏也只考虑屏内弧度的影响。由于页板的厚度相对于整个计算区域来说可以忽略不计,因此模型中用固体壁面作为页板模型。为了实现对比的效果,2种屏的角度均取 75° ,高度均为2 m。2种形式导流

* 收稿日期:2011-10-09

基金项目:国家部委基金资助项目(ZHY10018)

作者简介:王海服(1985-),男,河北廊坊人,博士生,主要从事机场规划与设计研究。

E-mail:wanghaifu12@yahoo.com.cn

屏的模型见图 2。

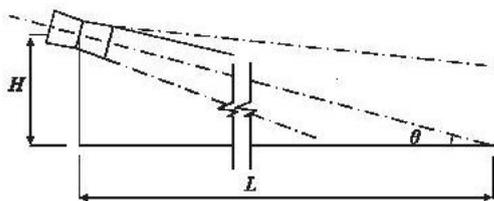


图 1 发动机尾喷气流物理模型

Fig. 1 Physical model of the engine

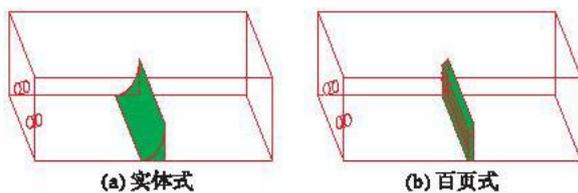


图 2 导流屏几何模型

Fig. 2 Geometric model of blast fence

1.2 网格的划分

鉴于本文的飞机尾喷气流场模型较其它流场计算相对简单的特点,在网格划分时采用结构网格^[3]。由于在尾喷口前方的区域存在圆形喷管,截面不规则,因此,在划分网格前先对截面进行处理,使计算区域的每个子区域都能生成结构网格。具体处理方法为:①将含有喷管的面划分为如图 3(a)所示的几个单元,这样 C、D、E、F 单元可以生成四边形网格;②将区域 A 分解为 4 个相同的区域,以上部区域为例,在正方形边长与 1/4 圆弧上选取相同的网格点数量即可生成四边形结构网格。网格点数量的选择依计算的精度而定,见图 3(b);③区域 B 的处理方法类似,只是在圆形区域内加入一个正方形,见图 3(c)。按照以上方法,整个计算区域均为结构网格,保证了后续计算的准确性与精度。

1.3 边界条件

将含有喷管的面设为入口,由于给出了流体入口的压力和流动的其他标量参数,所以选择压力入口条件。地面为壁面条件,默认为无滑移边界条件^[4-5]。正对着入口的方向为出口,由于无法知道出口速度或压力情况,出口类型为 outflow;其余面均为无穷远处压力远场条件。需要注意的是在压力入口的参数输入中,绝对压力等于总压加上操作压力,具体计算式见文献[6]。

1.4 模型的求解

利用有限体积法即控制体积法求解雷诺时均 N-S 方程,并采用 $k-\epsilon$ 湍流模型来封闭方程组。近壁流动采用标准的壁面函数法,方程的离散采用标准格式,压力与速度的耦合采用 SIMPLE 算法(压力耦合方程组的半隐式方法)^[7-10]。当计算各变量残差小于 0.000 1 或残差随迭代次数的增加基本不变时,可认为计算收敛。

2 模拟结果及分析

2.1 模拟结果

以某型飞机的尾喷气流为例,对含有 2 种结构形式的导流屏的飞机尾喷气流流场进行计算机模拟,结果见图 4-8。图 4 与图 5 为沿气流方向屏体上方切面速度云图,图 6 为 2 种导流屏流场中心剖面速度矢量分布图,图 7 与图 8 分别为 2 种屏上方速度矢量图细部。

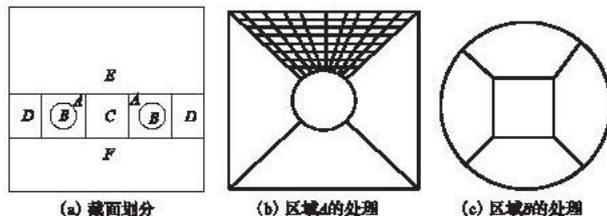


图 3 截面划分及区域 A 和 B 的处理

Fig. 3 Divide of cross-section and disposal of area A and B

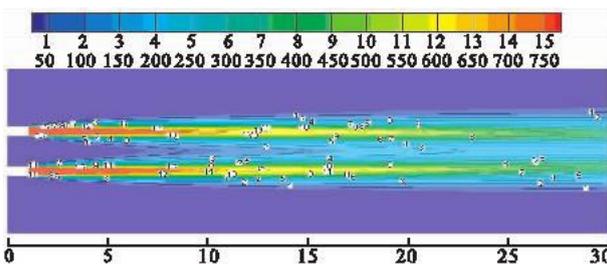


图 4 没有导流设施的流场速度分布云图

Fig. 4 Cloud picture of jetflow field without blast fence

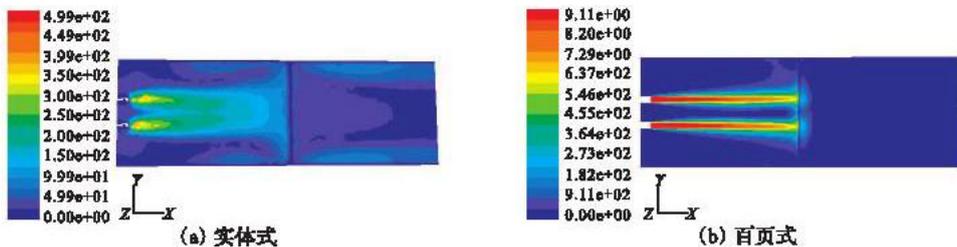


图5 设置导流屏屏流场速度分布云图

Fig. 5 Cloud picture of jet flow field with blast fence

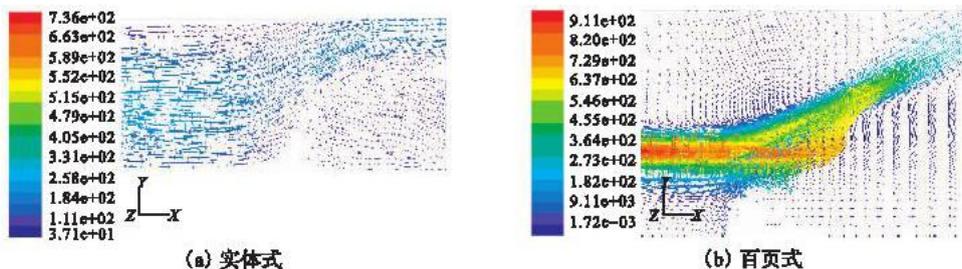


图6 剖面速度矢量图

Fig. 6 Velocity vector diagram of section

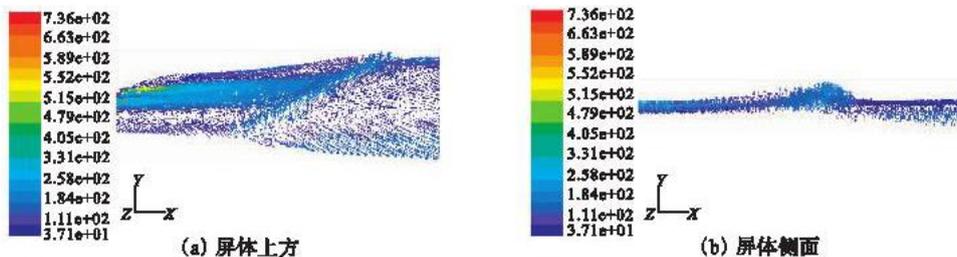


图7 实体屏上方速度矢量图细部

Fig. 7 Detail velocity vector diagram above integral fence

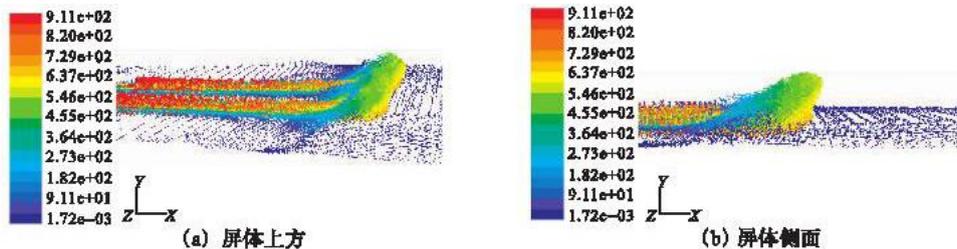


图8 百页屏上方速度矢量图细部

Fig. 8 Detail velocity vector diagram above louver fence

2.2 导流效果分析

对比图4与图5可以发现,在没有设置导流设施时,气流发展不受限制,呈锥形;在设置导流设施后,导流屏对气流的导流效果是比较明显的,气流受导流屏的阻挡而改变流动方向,屏后的气流速度很小,几乎为0。由剖面速度矢量图(图6),可以看到除小部分气流由于屏体的冲击而折回,大部分气流按照导流的方向流出,并且屏后由于气流的卷吸作用还存在部分速度很小的反向气流。

从图7可以看出,实体屏在屏前尤其是顶部存在明显的折回紊流,对导流产生不利影响。但由于上方气流的作用,经过一段距离后,气流最后还是沿后上方扩散。分析图6(b),气流到达百页式导流屏沿页板顺利导出,折回气流并不明显;结合屏上方速度矢量图(图8),可以看到气流速度方向切于板边缘,并明显无折回。

对比图7和图8可以得到,实体屏由于屏体对气流的阻挡作用,会产生一定的横溢气流。横溢气流的多少与屏体的高度以及屏内的弧度有关,如果屏体过高或过陡,则对气流的阻力较大,产生较多的横溢气流。

而百页式导流屏对气流的阻力较小,横溢气流不明显。

3 结论

通过对2种结构形式的导流屏进行计算机仿真计算,对屏后气流的特性进行对比分析可得到以下结论:

- 1) 导流屏对气流的导出效果是比较明显的,屏后的气流速度几乎为0,但由于气流的卷吸作用还存在部分速度很小的反向气流;
- 2) 实体式屏发挥作用的关键在于其高度及选用弧面的角度。如果导流屏过高或过陡,则由于声波反射或气流阻力过大,产生不利影响,并容易产生横溢气流;
- 3) 百页式导流屏的基本原理是利用具有一定角度的页板给喷气气流导向,让气流沿页板方向向后上方扩散。它对气流的阻力较实体屏小,对飞机影响不大。

参考文献:

- [1] FAA. Airport Design Advisory Circular[S]. AC:150/5300-13.
- [2] 蔡良才. 机场规划设计[M]. 北京:解放军出版社,2002.
CAI Liangcai. Airport planning and design[M]. Beijing: PLA press,2002. (in Chinese)
- [3] 王瑞金,张凯,王刚. Fluent 技术基础与应用实例[M]. 北京:清华大学出版社,2007.
WANG Ruijin,ZHANG Kai,WANG Gang. Fluent technology base and application examples[M]. Beijing: Tsinghua university press,2007. (in Chinese)
- [4] 李玉柱,贺五洲. 工程流体力学[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
LI Yuzhu, HE Wuzhou. Engineering fluid mechanics[M]. Beijing: Tsinghua university press,2006. (in Chinese)
- [5] Gribben B J,Badcock K J, et al. Numerical study of shock - reflection hysteresis in an under expanded jet [J]. AIAA journal,2000,38(2):275-283.
- [6] 陈延南. 应用流体力学[M]. 北京:航空工业出版社,2006.
CHEN Yannan. Practice fluid mechanics[M]. Beijing: aviation industry press,2006. (in Chinese)
- [7] Erina Murakami,Dimitri Papamoschou. Eddy convection in coaxial supersonic jets[J]. AIAA journal,2000,38(4):628-635.
- [8] Srinivasan K,Rathakrishnan E. Studies on polygonal slot jets[J]. AIAA,journal 2003,41(10):1985-1987.
- [9] 徐学邈,王如根,张相毅,等. 射流角度对流体控制矢量喷管的影响[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2008,9(1):5-8.
XU Xuemiao,WANG Rugen.ZHANG Xiangyi, et al. Research on the influence of the jet injection angle on nozzle flow field [J]. Journal of air force engineering university:natural science edition, 2008,9(1):5~8. (in Chinese)
- [10] 王旭,谷传纲. 一种同位网格上的迎风 Galerkin 有限元方法[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2000,1(3):19-22.
WANG Xu, GU Chuangang. A Co - located upwind scheme - based galerkin finite element method[J]. Journal of air force engineering university:natural science edition, 2000,1(3):19-22. (in Chinese)

(编辑:徐敏)

Numerical Simulation of Different Blast Fence Forms' Effect on Jet Flow Field

WANG Hai - fu¹, CAO Si - jie¹, CHONG Xiao - lei¹, SHEN Zhe², LI Yong - yi²

(1. Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. No. 8 Engineering Department of Airport Construction, Shenyang 110000, China)

Abstract: The blast fence can generally be divided into integral fence and louver fence. Based on the purpose of analyzing blast fence's effect, the paper builds jet flow field model, simulated effect on jet flow field of different installation forms. Equation is scattered by standard format, and coupling of pressure and velocity use simple algorithm. The model applied Cartesian co-ordinates, and used structural grid. Simulation results indicate that blast fence's effect is obvious. And if the integral fence is too high or too steep, it can produce abundant airflow. The louver fence make airflow spread towards the back and above along the blade, and its air resistance is lower than the other ones.

Key words: Blast fence; jet flow; model of jet flow field; blast fence's effect