

不同叶片翼型可逆转地铁轴流通风机的数值模拟

郭青陇

山西省安瑞风机电气股份有限公司

DOI:10.12238/jpm.v3i11.5411

[摘要] 地铁轴流风机是一种广泛应用于地铁车站隧道通风系统中的通风设备, 它能有效地消除车站车厢内的空调冷却器散热、车轮摩擦、刹车产生热量、车辆运转所产生的热量, 同时还能对停站火灾时的列车排烟, 为站台层公共区火灾提供排烟。利用 CFD 与 CAA 相结合的方法, 就三种不同的叶形结构对可逆转地铁风机的特性和噪音进行了研究。结果表明, 在低流速区域, 新型叶片对气喘的影响不大且脱离喘振区后, 其效率仍可维持 3~5% 的提高。

[关键词] 轴流式; 地铁风机; 可逆转翼型; 数值模拟

Numerical simulation of subway axial ventilator by different blade airfoil

Guo Qinglong

Shanxi rui Fan Electric Co., Ltd., Yuncheng City, Shanxi Province, 044002

[Abstract] subway axial flow fan is a kind of widely used in subway station tunnel ventilation system, it can effectively eliminate the station compartment air conditioning cooler cooling, wheel friction, brake heat, the heat generated by vehicle operation, at the same time can also for the stop fire train exhaust smoke, for the platform layer public area fire exhaust smoke. The method of CAA method between CFD and C A A. The results show that the efficiency of the low flow rate area.

[Key words] axial flow; subway fan; reversible airfoil; numerical simulation

目前, 我国经济高速发展, 交通压力日益增大。地铁作为一种新型、高效的交通方式, 在缓解陆地交通的压力方面起着举足轻重的作用。由于地铁建于地下, 因此大多数的空气流通都由电扇提供。地铁隧道日常通风、列车阻塞及火灾排烟时, 均需正、反向送风, 其风量 Q 与全压力 P 值相当。因此, 在地铁隧道通风系统中, 采用了许多可反向旋转的轴循环风机。为了确保在正、反向两种情况下, 可逆旋转风机的叶片形状也有特别的要求, 因此, 在正、反向两种情况下, 均能获得较好的空气动力特性。寻求一种能更好地适应这种特殊需要的可逆翼型, 对于改善地铁通风系统的效率、减小噪音具有十分重要的意义。利用商业软件 FLUENT, 对同机型三种可逆翼型叶片地铁风机进行了流畅和声场仿真, 并进行了比较。

1 具体算例

以 10 号地铁 10 号风机为实例, 叶轮结构的几何参数即: 1000 毫米的叶轮, 0.5 的轴心比率, 12 个桨叶的数目, 沿着叶片的径向方向分成 5 个截面。

根据地铁可逆循环通风机翼型的应用需求, 确定了其曲线不能为普通机翼的中弧。通常翼型中弧线为单一的弓形, 而可逆翼型的中弧线为“S”形, 翼型的前端呈弓形, 翼型的尾部呈弓形, 翼型的中弧线呈“S”形。由于只有这样的外形, 在

相同的迎角条件下, 前、后两种情况下, 绕过机头的气流都更“顺流”, 更接近。这种翼型的典型特征有三种: S 型、S 型圆弧板型、扁平平板型。

为了保证计算的可比性, 在不改变叶片的几何参数、截面的安装角度、弦长的情况下, 采用 S 型、S 型圆弧板型和扁平平板型。本文采用数值仿真方法, 对上述三种不同类型的机翼对风扇的特性及噪音的影响进行了分析。

2 数值模拟

2.1 流场数值模拟

采用有限体积法离散控制方程, 采用分立的隐式方法, 对风机的三维定常流进行了数值模拟。本文应用标准 $K-\epsilon$ 两方程紊流模型, 在近壁区采用标准壁函数, 差分格式为二次差分格式。采用商用 CAD 绘图软件对其进行了建模, 并对其进行了建模, 并对其边界条件进行了界定。利用 gambit 进行网格划分, 3 种不同的机翼面积均为同一网格类型及分布。

2.2 声场数值模拟

空气声学是许多行业研究的热点, 其仿真难度较大。利用 FLUENT 技术可以计算非稳态压力脉动所产生的噪声, 采用 FLUENT 傅立叶变换 (FFT) 方法, 对瞬态大涡仿真进行了频谱分析。FW_H 模型能够很好地模拟各种噪声源, 如非流线型的实

体,如旋风风扇的叶片,而宽频噪声源模型则可以基于稳定状态下的仿真,它是一种非常实际的方法,可以迅速地评价设计的改善。轴流风机的空气动力特性主要有旋转性和涡流性。旋转噪音也称为分立频率噪音,是指叶片在自由空间内转动时,在叶片附近一定的位置,通过叶片和压力场的周期性激发,产生声音。转动噪音的频率(Hz)是:

$$f=nZ/60i$$

公式中: n 是叶轮的速度, r /分钟, Z 是叶片的数量; i 是谐波序列, $i=1, 2, 3, \dots, i=1$ 是基本频率,因为三种不同的叶片具有相同的几何参数,也就是 n, Z 是一样的,从上面的公式可以看出,风扇转动的频率是一样的。通过对三种不同类型的风扇进行对比,得出了不同的结果。由于空气中的随机压力脉动而产生的涡流噪声,也被称为宽带噪声。通过对流场的数值模拟,采用宽带噪声源 FLUENT 方法估计出涡流噪声。

3 数值模拟结果及分析

研究发现, S 型翼型风机的效率最高,而最大的涡流噪音则是最低的。S 形圆弧板翼型风机在相同的几何形状下,其总压力和风量最大,效率居中,而涡流噪音最大。扁平平板式风机的总压力、流量、效率均为最低,而涡流噪音居中。

3 种翼型风机的出口面上的流场速度对比结果为,机翼翼型风机出口速度分布比较均匀,而且速度偏转相对较小,损失最小。

三种不同的机翼风机叶片在直径 350 mm 的截面上的流场相对速度矢量分布。结果表明: 3 种不同的机翼叶片均未出现气流分离现象,这表明叶片的安装角度是合理的。翼面前缘和后缘的流场具有最佳的流场特性和最小的流损。平板机翼的流场特性最差,流场损失最大。

三种不同的机翼风扇叶片的表面声功水平分布结果表明: 桨叶前缘的涡动噪音最大,而高涡噪声区的面积则小于其它两种类型,而圆弧板翼型的高涡噪声区最大。

4 新型风机叶片的研发及其在地铁工程中的应用

新式叶片是地铁轴流风机的直接能量传输元件,其叶型对其作功性能及效率有重要影响。当前地铁轴流风机叶型基本采用美国 NACA 叶片,至今未做任何改良,叶轮的流率(不考虑机械损耗和通道损耗)约为 85%,但在确保工艺要求的情况下,其实际效率很难达到 1 级。因此,研制一种新型的高效叶型是十分必要的。

4.1 叶型设计理论基础

在叶片扭转规律的设计中,常采用变循环的设计方法,以最大限度地利用大周向转速,从而有效地提高风机的全压。叶轮高度上的全压分布、弦长和扭转角均由环量指标确定[2]。

4.1.1 叶片环量指数的选取

轴流风机叶片的全压与环量指数之间的关系为[2]

$$p = \rho \omega K r^{1-a} \quad (1)$$

式中 p 为全压; ρ 为介质密度; ω 为角速度; K 为常数; r 为

叶片半径; a 为环量指数。从式(1)可以看出,在 $0 < a < 1$ 的情况下,叶片的全压力分布呈下降趋势;在 $-1 < a < 0$ 时,全压力分布在叶片半径上呈上升趋势,而 a 值的变化对全压力分布的变化有很大的影响。为减小叶片根部的流量损失和废气损耗,同时考虑到地铁风机叶盘直径较小,叶片顶端与底部的轮周速度存在很大差异,因此,采用最大转速达到最大功率,选择 $[-1, 0]$ 。

4.1.2 叶片扭曲程度与环量指数的关系

气流角 β 、气流冲角 α 、气流落后角 δ 之间有如下关系[3]:

$$\beta_{2p} - \beta_{1p} = (\beta_2 - \beta_1) + (\delta - \alpha) \quad (2)$$

$\beta_{2p} - \beta_{1p}$ 是叶片叶型设计的一个关键参数,表征着叶片型线的弯曲程度。由公式(2)可知,在选择环量指标范围中,不考虑空气流动角 α 和空气流动滞后角 Δ 的改变,其在半径方向上的变化很小,这表明,叶形的弯曲和扭转程度在半径上几乎没有明显的改变,这对设计和加工都是有益的。

4.1.3 叶片弦长与环量指数的关系

叶片弦长 b 的大小及变化趋势不但影响叶轮的气动性能,还影响着叶片根部的强度和叶轮的安装空间。叶片弦长与环量指数的关系式[1]为:

$$b = \frac{4\pi K}{\eta Z C_y} \frac{r^{1-a}}{\sqrt{C_z^2 + \left(\omega r - \frac{K}{2r^a}\right)^2}} \quad (3)$$

式中 b 为叶片弦长; η 为效率; Z 为叶片数; C_y 为叶型的升力系数; C_z 为绝对速度的轴向分量。叶型设计时,通过式(3)可以初步确定 b ,再根据叶片强度及安装空间调整弦长的取值。

4.1.4 叶片厚度的设计

在叶形设计中,为了提高风机的全压效率,可以通过减少风叶的翼形厚度,使其结构更加新颖。

4.2 风机试验结果与分析

叶形结构的改善使风机内的气流分布更为均匀和稳定。但对性能改进的量化分析仍需从实验中获得的资料来解释。因此,按照 GB1236-2000《通风机电性能试验方法》的规定,由测试管路、流量调节装置、整流装置等部分构成了通风装置。

4.2.1 性能试验结果及分析

在相同流量范围内,装配新型叶片后风机全压和静压提升了 4%~6%。并且,随着风机流量增加,风机静压始终保持在较高的范围内。从而可扩大风机的流量适应范围。

4.2.2 声学试验结果及分析

地铁轴流风机一般都是在市中心或人口稠密的地方使用,周围居住环境对风机的噪音有很高的要求。因此,在对地铁通风系统进行技术改造时,必须充分考虑改造方案对其噪音特性的影响。在叶片型式的改良中,由于不能用仿真方法来判断风机的噪音,故选用了叶片型式后的噪音比较实验。《风机和罗茨鼓风机噪声测量方法》是 GB/T2888-2008 系列产品中的一种

检测仪器, 本文将不再赘述。而当流量增大时, 尤其是大流量区时, 风机的噪音比原型机要低 2%~3%。尽管这次叶型改进并非为了减少噪音, 但试验表明, 这种新的叶片对减少风机的噪音有一定的帮助。

4.3 风机效率对比及分析

根据统计, 目前市面上销售的地铁风机, 其效率均低于 80%, 即使是在最优的工艺、生产和运行环境下, 其效率也难以达到 85%。经计算机模拟与试验资料的综合可以得出, 当空气流量增大时, 风扇效率呈现抛物线的改变。

5 结束语

S 型翼型叶片具有最佳的流场、最小的流损、最大的效率、最低的噪音和最佳的综合性能。S 型圆弧平板的流场特性最好, 但是噪音最大。平直板的机翼噪音是中间的, 而气流的影响最小。所以, S 型翼型更适用于可逆转的地铁轴流风机。由于地铁轴流风机已经有了系列化的设计和制造, 因此, 本论文所做的仿真和实验都适合于同类产品。在此模式下, 风机的选择性能在接近最高值的情况下进行。此外, 该表还可反映出新叶片和原型叶片的效率比较。结果表明, 在低流速区域, 新型风机的效率比原型机稍低, 表明新型叶片对气喘的影响不大。但在风机脱离喘振区后, 其效率仍可维持 3~5% 的提高。

[参考文献]

- [1]李庆宜. 通风机[M]. 北京: 机械工业出版社, 1981: 121-132
[2]田夫, 袁国凯, 赵真真, 等. 单叶轮轴流通风机的叶片扭曲

规律研究及薄叶型设计[J]. 风机技术, 2014(5): 49-54

[3]王仲奇, 秦仁. 透平机械原理[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1987: 147-149

[4]吴大转, 赵飞, 杨帅, 等. 叶片分布方式对微型风机气动噪声影响的数值研究[J]. 风机技术, 2015(2): 20-25

[5]何元新. 基于 PRO/E 的轴流风机叶片建模技术研究[J]. 风机技术, 2013(5): 58-60

[6]李绍珍. 戴邦国. 轴流式风机叶片的几何分析及图形分析[J]. 工程图学学报, 1990(1): 56-64

[7]杨金军. 基于 ANSYS 的轴流风机叶片模态分析[J]. 风机技术, 2014(增刊): 37-40

[8]刘沪红, 朱浩亮. 采用不同风管试验装置的通风机性能试验研究[J]. 风机技术, 2013(5): 33-37

[9]田铖. 地铁用轴流风机的 CFD 模拟及研究[D]. 天津: 天津大学, 2003: 215-216

[10]商景泰. 通风机手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1994: 213-220

[11]张仲寅. 可逆转风机叶片的翼型研究[J]. 机械科学与技术, 1999(4): 116-118.

[12]田彬, 徐燕飞. 轴流通风机内部流场数值研究[J]. 风机技术, 2004(5): 10-13.

[13]智乃冈. 风机噪声控制技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1985.