

文章编号: 1671-6612 (2023) 05-746-05

风机盘管机组的流场优化数值及实验研究

王 青

(特灵科技亚太研发中心 上海 215400)

【摘 要】 采用数值模拟与试验测试相结合的研究方法, 对风机盘管内流场优化进行研究。根据风机盘管内流场 CFD 分析结果, 设计符合空气动力学要求的风机出口导流板, 并在样机上进行对比实验验证。实验结果显示安装导流板的风机盘管机组在额定流量工况静压提升约 3Pa, 机组效率提升 1.62%, 制冷量略微下降。

【关键词】 风机盘管; CFD; 导流板; 流场优化
中图分类号 TU831 **文献标识码** A

Numerical and Test Research for Fan Unit Coil Flow Field Optimization

Wang Qing

(Trane Technologies Engineering & Technology Center-Asia Pacific, Shanghai, 215400)

【Abstract】 With numerical simulation and experiment method, the optimization opportunities of flow field in fan coil unit was studied. According to CFD simulation results, guide vanes at fan outlet of unit was well designed and comparative test was conducted on prototype. Test results present that the fan coil unit with guide vane static pressure increase about 3Pa and unit efficiency increase about 1.62% at rating flow condition with slightly cooling capacity decrease.

【Keywords】 fan coil unit; CFD; guide vane; flow field optimization

0 引言

风机盘管是中央空调系统中广泛使用的末端产品, 具有结构简单、性能稳定可靠、标准化程度高等特点, 其品质与室内环境的健康、舒适、环保等用户体验密切相关。在国家大力推进“双碳”战略的背景下, 节能减排已成为包括空调行业在内各行业创新发展的持续驱动力。尽管风机盘管单机功耗不高, 但由于其巨大的装机量, 其总能耗不容小觑。2019 版本的风机盘管国家标准 GB/T 19232 相对于 2003 版的一个重要变化就是将交流电机通用机组的输入功率额定值进一步降低^[1,2], 平均降低幅度约 3%。因此要求风机盘管生产厂家设计更高效的产品以满足标准要求和市场竞争的需求。

风机盘管结构主要包括多翼离心风机、电机、盘管和箱体等部件, 结构简单紧凑。不少研究者通

过 CFD 方法对风机盘管多翼离心风机进行分析研究并寻找改善风机效率的机会^[3,4]。另外, 由于风机盘管的风机出风口距离盘管距离很短, 风机出口的高速气流没有扩散空间, 盘管表面的气流速度分布极不均匀, 箱体内存在大量的低速回流区, 这些现象会造成风机盘管飞水风险增大、效率降低、噪音增加等问题。仅对风机进行优化无法解决这一问题。有一部分研究注意到该问题, 并对风机盘管内流场均匀化进行了研究^[5,6]。有些研究重点关注了流场均匀性与盘管换热能力的关系^[7-9], 对于能否通过高效导流设计降低机组能效的报导比较鲜见。

本文通过对某风机盘管的流场进行 CFD 模拟, 根据流场特性设计符合空气动力学的导流板, 改善风机出口的流动状态, 并制作导流板实验模型, 对风机盘管开展性能试验对比研究, 证实优化

设计的导流板可以改善盘管进风均匀性,减少机组流动损失,提高机组能效水平。

1 风机盘管机组仿真

1.1 研究对象

本研究的对象是某一典型风机盘管产品,额定风量为 $1020\text{m}^3/\text{h}$,额定转速 1000rpm ,其结构如图 1 所示。机组由一个电机驱动两个多翼离心风机,3 排盘管垂直安装于箱体上下表面。多翼离心风机的叶轮直径为 160mm ,叶轮长度 200mm ,叶片数 37 片。首先对该产品进行 CFD 仿真模拟以观察其内部流动特征。

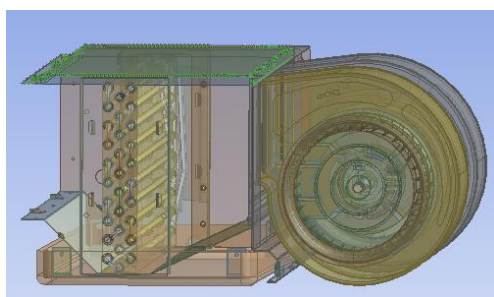


图 1 风机盘管几何模型图

Fig.1 Geometry of studied fan coil

1.2 原始机组 CFD 仿真模型

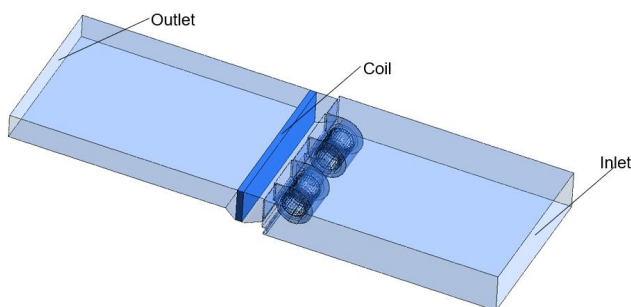


图 2 风机盘管计算几何模型

Fig.2 Simulation geometry model of fan coil

图 2 所示为仿真的几何模型,机组进出口各增加一段风管,以建立合适的流体域空间。盘管段由于存在大量的翅片,难以建立真实的仿真几何模型,计算中将该段简化为多孔介质模型。在多孔介质模型设置中,给定盘管实际的体积孔隙率,损失模型选用各向同性类型,并按照盘管实测的风量-压降关系设定损失系数。

之后进行网格划分,叶轮部分建立单独的流体域,以区分旋转域和静止域。重点对叶轮、蜗舌和

蜗壳内的网格进行局部加密,网格总数约 2600 万。进口给定流量入口边界,出口为压力出口,湍流模型为 kw-SST 模型。对模型作稳态计算,每个迭代步收敛判断准则为速度残差值小于 0.001,计算过程监测进口静压,确保收敛时静压已经稳定。计算软件为 FLUENT。

1.3 导流板设计

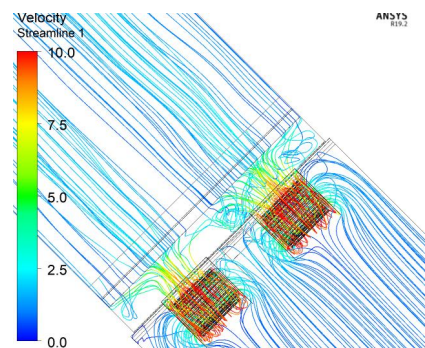


图 3 原始机组流线俯视图

Fig.3 Vertical view of flow streamline of simulation

图 3 是原始机组在额定风量 $1020\text{m}^3/\text{h}$ 工况下的流线俯视图。由于流动惯性,气流在风机出口速度较高,且没有向周边扩散的趋势。盘管的多孔介质模型,本质是一个阻力模型,所以可以看到气流在靠近盘管表面的前方位置开始大幅度的扩散,即便如此,气流仍主要集中在风机出口中心位置附近。根据流场特征,导流板的设计可遵循以下思路:导流板尽量靠近风机出口,充分利用机组内自身空间扩散气流;气流切向流入导流板,在导流板内均匀扩散;导流叶片数量适中,需有效导流且避免叶片过密增大损失。

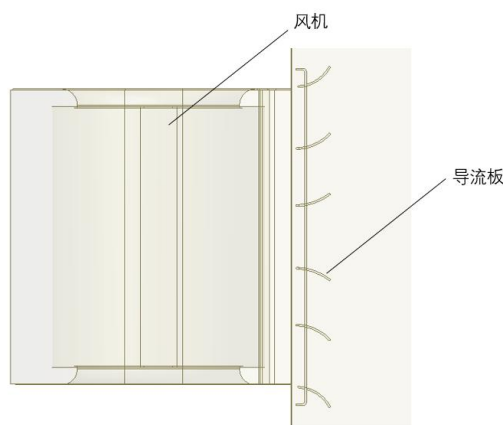


图 4 风机出口安装导流板俯视图

Fig.4 Vertical view of guide plate installed in fan outlet

通过 CFD 方法的计算优选, 本文最终设计的导流板模型如图 4 所示, 该导流板安装于风机出口, 中心对称, 由 6 片导流叶片组成, 叶片中心线为圆弧线, 叶片进口与进口气流相切, 导流叶片的弯角从中间叶片向两侧逐步增大。

1.4 流场对比分析

对风机盘管原始机组和安装导流板的机组额定风量下的 CFD 仿真结果进行对比分析, 图 5 所示为二者的三维流线俯视图对比。安装导流板之后, 流线在风机出口开始扩散, 以相对自然的状态扩散到达盘管表面, 与原始机组在盘管表面遇阻之后的扩散有所区别。但是风机出口到盘管表面的空间毕竟有限, 安装导流板之后流动也仍然集中在风机出口附近。

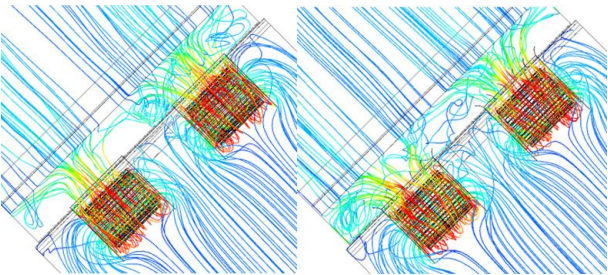


图 5 风机盘管流线图 左-原始机组, 右-带导流板

Fig.5 Simulated flow streamline, left-original unit, right-unit with guide plate

图 6 所示为盘管进口面的速度分布对比。相

对原始机组, 安装导流板后机组的左端和右端的低速区面积有所减少, 但左上角局部区域速度反而有所降低。盘管中间低速区面积略有减少, 分布区域更加居中。整体上看, 盘管进口流速分布宏观变化不大, 局部有所改善。

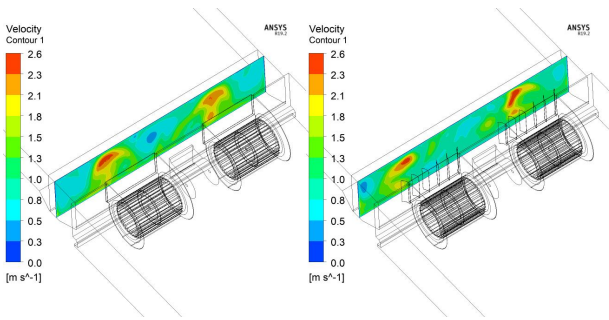


图 6 盘管进口截面速度云图

Fig.6 Velocity distribution at coil inlet plane

1.5 仿真性能数据

为研究二者机组性能的差别, 共计算了 5 个不同的流量工况点, 分别提取风机进出口静压差、叶轮扭矩等参数, 计算机组静压效率, 对比如表 1 所示。在所有计算的 5 个风量点, 带导流板的机组风机静压均有提高, 在 970m³/h 提升最大, 约 3Pa, 对应该点的效率值提升也最大, 约 1.9%。在额定风量点分别为 2.3Pa 和 1.5%。计算结果从定量上表明, 设计的导流板可以通过改善风机出口流动状态, 消除扰动, 降低流动损失, 提高能效水平。

表 1 机组计算性能数据对比

Table 1 Simulated unit performance compare

原始机组			导流板机组		差值	
风量	风机静压	静压效率	风机静压	静压效率	静压差	效率差
m ³ /h	Pa	%	Pa	%	Pa	%
730	72.7	48.3%	73.2	48.7%	0.5	0.4%
850	71.7	47.9%	73.0	48.5%	1.3	0.6%
970	67.0	44.5%	69.9	46.5%	3.0	1.9%
1020	64.9	43.1%	67.2	44.6%	2.3	1.5%
1215	51.9	33.6%	53.0	35.2%	1.1	1.6%

2 样机实验测试

2.1 风量风压的测试

分别对原始机组和导流板机组进行风量风压性能测试。风机盘管的测试按照 GB/T 19232 规定的安装条件和实验装置进行, 在出口接风管, 并在出口风管规定位置取机组的出风静压。测试环境干

球温度控制在 19~21℃, 避免空气密度的影响。测试转速恒定, 通过风洞调节机组风量, 测试 CFD 仿真计算的 5 个风量点, 每个风量点测 60 组数据求平均值, 消除数据波动的影响。图 7 所示为风机盘管测试安装示意图。图 8 所示为导流板安装在风机出口位置。

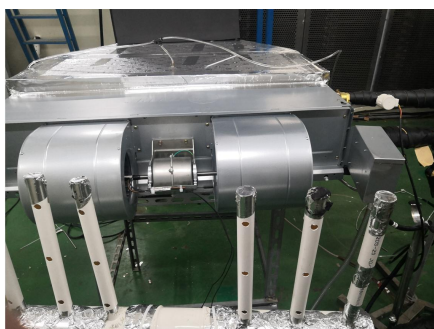


图 7 风机盘管测试安装

Fig.7 Fan coil unit installed for test

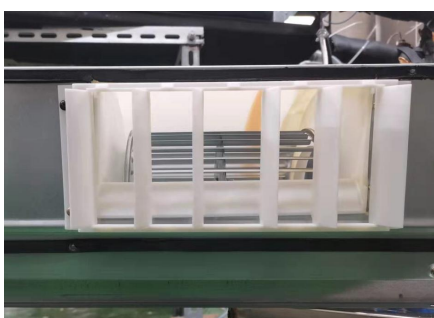


图 8 风机出口安装导流叶片

Fig.8 Guide plate installed at fan outlet for test

机组出风静压对比结果如图 9 所示。纵坐标 ESP 代表机组机外静压, 该值为风机全静压减去盘管压降, 考虑到盘管压降在同风量下是相同的, 图 9 的二个机组的机外静压降的差值可与表 1 的静压差进行对比。由图可知, 测试数据在中间 3 个风量点与计算值吻合较好, 安装导流板之后, 机组静压有所提高, 在 $970\text{m}^3/\text{h}$ 和 $1020\text{m}^3/\text{h}$ 约提升 3Pa , 在 $850\text{m}^3/\text{h}$ 提升略小约 2Pa 。最小流量点 $730\text{m}^3/\text{h}$ 与计算值略有不同, 测试数据显示这个点的静压稍有下降。偏差最大的是在 $1215\text{m}^3/\text{h}$ 这个风量点上, 测试发现安装导流板后该点的静压下降约 1.5Pa 。

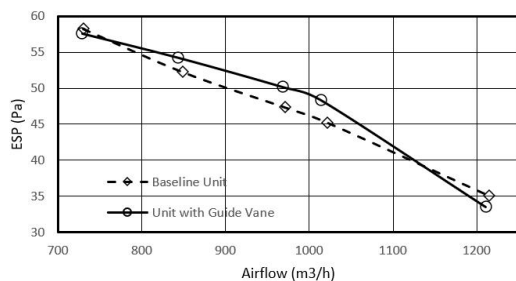


图 9 测试的机组机外静压对比

Fig.9 Tested ESP compare for different unit

图 10 所示为根据测试的电机输入功率和机组全静压计算的机组效率, 由于缺少各工况点的准确

电机效率值, 只能计算机组静压效率, 该值除以电机效率, 即可求得风机的静压效率。电机的效率约 $70\%\sim 75\%$, 可粗略评估表 1 中 CFD 计算的风机静压效率水平的数量级大致是准确的。由图 10 可知, 前 4 个工况点在安装导流板之后机组效率提升, 绝对值分别提升 0.22% , 1.25% , 1.45% , 1.62% , 第 5 个工况点效率降低 0.77% 。

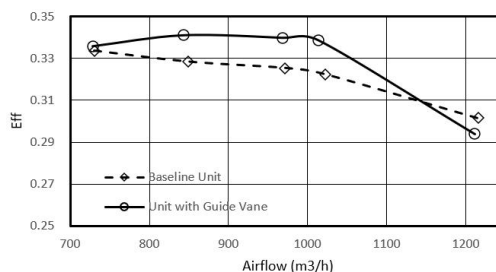


图 10 测试的机组静压效率

Fig.10 Tested static efficiency compare for different unit

对比测试数据与仿真数据可以发现, CFD 结果在一定程度上可以反映出设计变化带来的趋势性的影响, 尤其在风机效率较高的风量区域具有较好的吻合性, 但在大流量工况出现了较大的偏差。考虑到多翼离心风机内部尤其在低效率工况叶轮内流动的复杂性, 当前 CFD 模拟的结果出现一些偏差是正常的。

2.2 制冷量测试

为进一步研究安装导流板对盘管换热性能的影响, 对该风机盘管机组在 GB/T-19232 规定的回风工况下做制冷量测试。同时, 为评估机组出风均匀性的变化, 并在机组盘管出口的宽度方向上等距安装了 6 个温度传感器, 以监测对比不同出口位置的出气温度。测试前述的 5 个工况点, 制冷量转化为单位风量制冷量, 结果表 2 所示。安装导流板后, 实测的单位风量制冷量均略有下降。为进一步研究这一现象, 图 11 分别对比了两个测试机组分别在 $730\text{m}^3/\text{h}$ 和 $1215\text{m}^3/\text{h}$ 盘管出口的 6 个温度传感器温度。横坐标代表传感器从左到右的编号, 其中 2 号和 5 号在靠近风机出风口的位置。从图中可以看出, 由于导流板的作用, 风机出口位置的出气流温度有所降低, 而机组两侧的 1 号和 6 号位置温度有所提升, 这与 CFD 计算的流场特征相吻合。整体上看各测点温度的变化更为平缓, 间接表明安装导流板使得盘管的进口气流速度均匀度有所提升。通常认为改善风机盘管进气均匀性可提升盘管的

换热能力,但本研究对安装导流板机组测试结果换热量却基本不变,反而略有下降,未出现预期改善效果,表明盘管的换热性能在复杂流场中具有稳定性,导流板对流场带来的局部改变反映到宏观换热性能上的影响很小。另外,本测试未实测盘管

进口风速分布,无法定量评估来流均匀度变化的程度,参考 CFD 显示的结果推测均匀度的改善程度有限,这可能是制冷量没有发生显著变化的原因。但大幅度地改变盘管入口流动速度场分布是否会带来盘管性能的显著变化,这需要进一步研究。

表 2 盘管制冷能力对比

Table 2 Unit cooling capacity compare

测试风量 m^3/h	原始机组单位风量制冷量 $\text{W}/(\text{m}^3/\text{h})$	导流板机组单位风量制冷量 $\text{W}/(\text{m}^3/\text{h})$	导流板机组/原始机组
730	7.67	7.65	99.74%
850	7.32	7.30	99.60%
970	6.99	6.97	99.59%
1020	6.94	6.90	99.42%
1215	6.48	6.45	99.52%

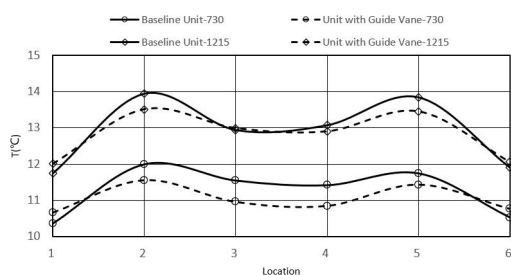


图 11 风机盘管出口温度对比

Fig.11 Tested air temperature at unit discharge side

3 总结

本文采用数值模拟与实验测试结合的研究方法,首先对风机盘管机组进行三维流场分析,根据流动特点设计优化导流板以改善机组内部流动。在此基础上对原始机组和安装导流板的机组进行性能对比试验,主要有以下结论:

(1) 基于 CFD 流场仿真的方法,优化设计的风

机盘管导流板可以改善气流在机组箱体内的扩散过程,抑制扰流,减少流动损失,使得进入盘管的速度场更为均匀。导流板的应用,可以作为提升风机盘管能效的一个技术手段;

(2) 相对原始机组,安装导流板的风机盘管机组在接近额定流量工况下取得明显的性能改善,机组静压提升 3Pa 左右,机组效率提升 1.62%。但导流板的作用在不同的工况点体现出差别,在偏离设计工况的小流量和大流量工况,其改善效果下降,甚至会增加系统阻力,降低机组效率;

(3) 相对原始机组,安装导流板风机盘管测试的制冷量略微下降,并未改善。但出口传感器的温度分布显示流场均匀性是有提升的,这一现象表明基于当前风机盘管结构,在难以大幅度改善入流均匀性的前提下,导流板对制冷性能的影响是有限的。大幅度改善盘管入口流动速度场均匀度是否会引起盘管性能的显著变化则需要进一步研究。

参考文献:

- [1] GB/T 19232-2019,风机盘管机组[S].北京:中国标准出版社,2019.
- [2] GB/T 19232,风机盘管机组[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [3] 刘阳,刘小民,陈宗华,等.多翼离心风机分组优化设计对风机盘管整机气动性能的影响研究[J].西安交通大学学报,2022,(7):56.
- [4] 黄云鸿.多翼离心风机蜗壳优化设计[D].广州:华南理工大学,2017.
- [5] 刘泽勤,苏云,郭宪民.风机盘管来流场均匀化数值模拟[J].流体机械,2013,41(4):54-57.
- [6] 赖凤麟,梁晖,张华强,等.风机盘管机组风道优化设计的数值研究[J].机电信息,2018(1):4.
- [7] 赵丽丽,吴成刚,宫天泽,等.应用多翼离心风机的风管机流场优化[J].制冷与空调,2016,(12):15-17,11.
- [8] 任子龙.风机盘管空调器模拟计算及其盘管来流均匀化实验研究[D].北京:北京工业大学,2000.
- [9] 马最良,陆亚俊.风机盘管空调器热工性能的实验研究[J].建筑热能通风空调,1992,11(1):16-20.