

航空电机自冷风扇安装效应气动影响研究

朱磊, 刘汉儒, 李林峰, 王世广, 赵彦辰, 王掩刚

(西北工业大学 动力与能源学院, 陕西 西安 710072)

摘 要:随着多电/全电飞机发展,飞机二次能源电气化程度越来越高。作为电气系统核心部件的电机呈现出小体积、高功率密度的趋势,紧凑电机的散热问题越发严重,自驱风扇冷却系统目前被航空电机广泛使用。以某型航空起发电机轴流风扇冷却系统为研究对象,采用三维计算流体仿真方法分析了孤立风扇以及电机安装后风扇-电机耦合模型中风扇流场和气动特性变化,同时还研究了风扇与电机轴向间距变化的气动性能影响。计算结果表明,电机与风扇部件之间的紧密耦合极大影响了风扇内的流动结构,使得风扇出口截面产生畸变势影响,风扇流场出现叶根回流和叶中通道涡以及角区分离面积扩张,并且随着电机与风扇轴向间距的增加,电机对风扇内流动的影响逐渐接近为流量堵塞效果。

关 键 词:风冷系统;部件耦合影响;气动影响;数值计算

中图分类号:V242.44

文献标志码:A

文章编号:1000-2758(2023)05-0915-09

随着未来多电/全电飞机的发展,电力能源应用和管理成为重要的研究课题,航空电机技术的发展得到了大量关注^[1],高效转化和轻量紧凑的航空电机成为关键研究技术,小体积、高功率密度成为航空电机的必然发展趋势^[2]。而小体积、高功率密度则意味着电机的散热问题更加突出,过高的温升将造成电机内电流过大,绕组过热甚至使电机烧毁的结果,而良好的电机冷却系统能使得电机绕组承担更高的电流密度,提高电机效率。因此航空电机冷却系统的性能成为目前限制电机向高功率密度方向发展的一个重要问题。

自驱动风冷冷却系统的结构简单,除风扇外需要的附加设备较少^[3],便于维护,在对体积质量要求严格的航空电机中应用广泛。对于采用自扇冷却的电机,散热风扇是其冷却系统最为关键的部分,其气动性能以及与电机匹配后实际工作性能将对冷却效果的优劣起到决定性作用,直接关系到电机的寿命以及运行稳定性。因此,如何对风扇进行设计优化以及考虑安装运行影响使其满足气动性能要求成为电机冷却系统性能提升的关键。

针对风扇自身气动性能的优化及设计研究较为普遍。国内学者江荧^[4]对一种自扇风冷式电机的离心风扇进行了电机与风扇的耦合计算,并对风扇和流道同时进行了优化,但未考虑风扇与电机轴向间距对风扇的气动影响。郑军^[5]对 YKK 中型高压异步电机进行了电机与风扇的耦合计算,重点对电机内冷却结构进行了优化,但对风扇的性能和流动特性并未进行分析研究。杨爱玲等^[6]对某轴流散热风扇的叶片改变其前后掠角进行了三维流场数值模拟。唐涛等^[7]则通过轴流风扇转子流场的数值分析,研究出掠动叶片对转子气动特性及声学特性的影响及其作用机理。钟守山等^[8-10]对发动机冷却风扇进行了工作原理分析、设计及优化、数值方法计算以及实验研究,形成了发动机冷却风扇开发平台。周建辉等^[11]基于风扇参数化设计和数值模拟程序,分析风扇各主要结构参数对其气动性能的影响,采用并行 CFD 方法,基于组合优化策略对风扇进行多参数结构优化。但以上研究均只对孤立风扇进行优化设计研究,并未考虑实际工作时风扇与电机紧密耦合串联工作对风扇性能带来的影响。Szogyen^[12]

收稿日期:2022-10-08

作者简介:朱磊(1999—),西北工业大学硕士研究生,主要从事流体机械气动设计及气动噪声研究。

通信作者:刘汉儒(1985—),西北工业大学副教授,主要从事叶轮机械气动热力学研究。e-mail:274840515@qq.com

指出电机冷却系统的设计应是一个整体设计的过程,而非根据电机的结构和电机性能的经验预测通过放大裕度最后选择满足性能的风扇。Anton 等^[13]通过不同孔隙率的孔板布置在风扇出口处以模拟节流效果,研究了节流效果对风扇性能的影响,研究表明,出口的节流效果会使风扇特性线出现明显偏移。Li^[14]通过实验以及数值模拟针对小型轴流电机进行了整体研究,描述了电机与风扇耦合的流场细节流动情况,但风扇几何较为简化,忽略了叶片的几何厚度并简化为片体。李波等^[15]对风扇串联电机工作时的性能差异进行了研究,表明风扇与电机的串联对其工作性能有极大影响。由此可见风扇的出口安装畸变对风扇性能均有较大影响,风扇的运行工况往往偏离设计工况。对于风扇耦合电机运行来说,由于电机内部结构复杂且风阻很大,风扇与电机安装后气动性能影响研究对电机冷却系统十分重要。

本文以某型航空起发电机为研究对象,分别仿真计算了孤立风扇以及风扇-电机耦合模型,通过对孤立风扇与风扇-电机耦合模型的风扇部件出口截面、流道内流结构以及安装距离气动影响对比分析,揭示电机风冷系统安装效应对风扇的气动影响机理。

1 计算模型及设置

1.1 孤立风扇模型的构建

本文的航空电机自冷轴流风扇设计参考了文献[16],该冷却风扇是根据电机风阻实验设计的一个宽弦、大转折角、高稠度的轴流冷却风扇,叶片的弯扭设计可以较好地抑制二次流损失,风扇气动设计参数如表 1 所示,风扇结构示意图如图 1 所示。

表 1 叶轮设计参数

参数	数值
叶片数	8
展弦比	0.58
弦长/cm	6
直径/mm	150
设计压升/Pa	2 700
设计流量/($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)	0.1
设计叶尖线速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	92.74

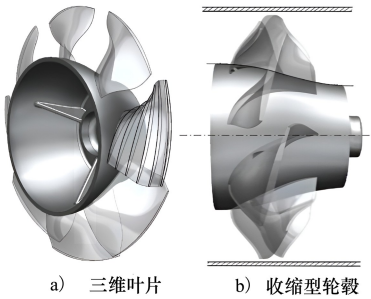


图 1 小流量高效率轴流风扇模型

轴流风扇计算网格由 NUMECA 中的 AUTOGRID5 模块生成,网格划分采用 O4H 型网格结构。使用 ANSYS CFX 软件进行气动计算,风扇转速设置为 10 800 r/min,进口边界给定 2 个参数:总压与总温,固体边界上采用相对无滑移边界条件,且壁面绝热,孤立风扇出口边界条件为根据耦合计算结果得出的风扇出口面平均静压。选用对近壁面自由流有着更高计算精度和适用范围的 SST $k-\omega$ 湍流模型,网格近壁面处 y^+ 值小于 5,网格节点约 50 万。

1.2 风扇-电机耦合模型

轴流风扇安装在航空电机前段,风扇尾缘距离电机入口截面 25 mm。该发电机结构主要包括主发电机、主励磁机永磁副励磁机、转轴和壳体,由于实际电机几何复杂,为后期网格划分以及数值模拟计算方便,对电机进行了简化:①将电机内的铁芯视为一个整体;②定子绕组等效为一个长方体,并与定子铁芯视为一体;③忽略键槽连接结构、螺丝螺母螺钉结构、沟槽以及其他对流动和传热影响甚微的不规则结构。简化后的风扇-电机耦合模型如图 2 所示,图中 1,2,3 为冷却气体流道。

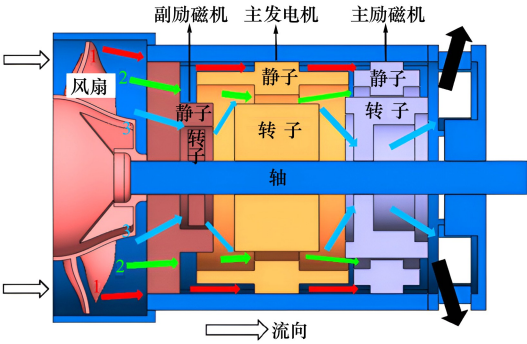


图 2 风扇-电机耦合模型示意图

电机流体域网格采用商业软件 ANSYS ICEM 进

行划分,由于电机内结构是轴对称体,为减小计算量,采用电机的四分之一结构进行网格划分,流体域网格节点数约 1 500 万, y^+ 值在 10 以内。风扇-电机耦合模型网格是由电机网格与孤立风扇网格拼接而成,计算模型如图 3 所示。模型采取单通道计算模拟方法,采用 ANSYS CFX 进行计算,固体壁面采用无滑移边界条件,电机转子壁面设置为旋转边界条件,转静交界面采用冻结转子法。

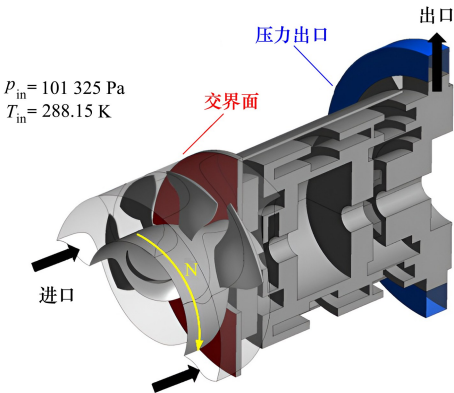


图 3 耦合计算域

1.3 数值方法验证及网格无关性验证

为了校验本文所用数值计算方法的精确性,采用了 NASA 公开标模 Rotor 37 的实验数据与文献[18]Rotor 37 数值计算结果进行验证。文献[18]中 Rotor 37 的数值计算方法与本文所采用数值计算方法一致,与 NASA Rotor 37 总压比-流量特性实验结果^[17]以及公开文献中 Rotor 37 数值计算结果^[18]的对比如图 4 所示。本文数值计算结果与实验结果的趋势特征保持一致,与实验的整体误差小于 3%,并略优于文献[18]的计算结果。Rotor 37 的结果对比表明本文采用的数值方法较为准确,适用本文风扇计算。

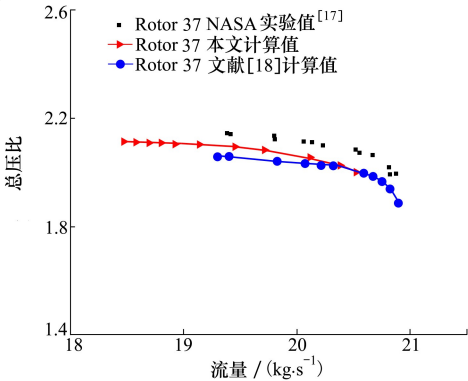


图 4 Rotor 37 总压比-流量特性对比

本文对孤立风扇以及风扇-电机耦合模型网格分别进行了网格无关性验证。表 2 和表 3 分别为孤立风扇模型和风扇-电机耦合模型用不同网格量计算得到的结果,选用总压升系数做为评判依据。综合考虑网格疏密对模型气动的影响,选用了 328 万网格量的孤立风扇模型与 1 866 万网格量的风扇-电机耦合模型进行数值计算。

表 2 孤立风扇采用不同网格量得到的计算结果

序号	网格量/万	总压升系数	总压升系数 相对值差/%
1	123	0.361 4	0.62
2	328	0.369 9	
3	512	0.371 0	0.29

表 3 风扇-电机耦合模型采用不同网格量得到的计算结果

序号	网格量/万	总压升系数	总压升系数 相对值差/%
1	1 528	0.448 6	0.66
2	1 866	0.450 2	
3	2 032	0.451 0	0.17

2 结果分析

风扇-电机耦合工作时,风扇出口与电机入口紧密安装,叶片尾缘距离电机入口仅为 2/3 倍弦长,电机的存在导致风扇出口出现如图 5 所示的截面积突变,并不是单纯的背压堵塞影响,而这也将对风扇出口参数以及风扇通道区域内的流体流动产生影响。

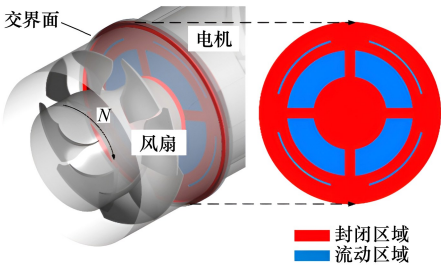


图 5 风扇出口不均匀区域

2.1 电机对风扇出口截面流动影响

图 6 分别给出了孤立风扇和风扇-电机安装后

风扇出口截面静压分布云图,电机对风扇在周向和径向上造成的压力分布规律的影响很大,即在风扇出口造成总压分布规律显著改变,失去旋流特征。在出口径向总压分布规律改变的条件下,随着流动的发展,必然会存在静压分布规律改变,最终导致产生径向压力梯度引起气流径向流动,改变径向速度,形成二次流。这种效果不是简单的孤立风扇施加均匀背压条件所能够代表的,体现了非常强烈的部件上游影响作用。

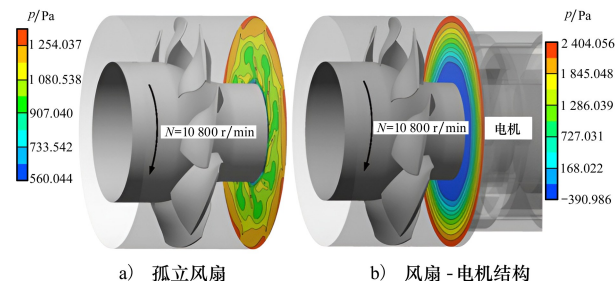


图 6 风扇出口静压分布

由图 7 速度矢量分布图可以看出,在电机安装的影响下,在近轮毂处存在明显回流,且范围较大。电机堵塞造成气流沿周向流动加剧,流速随半径增大而增大,风扇出口压力也因此沿径向呈规律性分布。

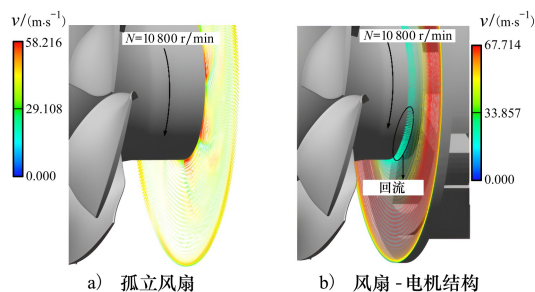


图 7 风扇出口截面速度矢量

为了了解风扇出口畸变的影响,图 8 给出了风扇出口截面轴向速度分布云图。可以看出,孤立风扇旋转时,出口轴向速度呈周期性旋流分布规律,而风扇-电机出口截面轴向速度基本呈周向均匀分布规律,且由于电机结构问题,叶根处轴向速度为负值。整体来看,由于电机对风扇流通能力的节流影响,风扇-电机耦合结构风扇出口截面的轴向速度较孤立风扇出口轴向速度小,且回流区面积更大。

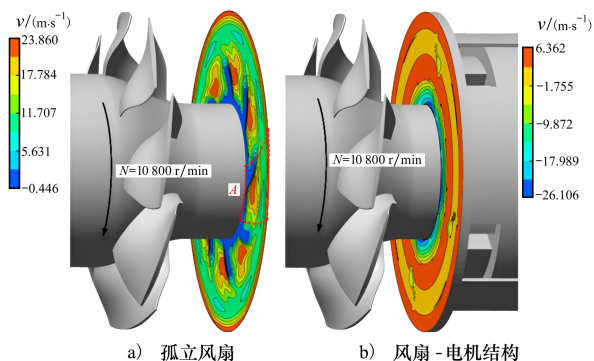


图 8 风扇出口截面轴向速度分布

2.2 电机对风扇通道流动的影响

风扇出口的畸变势必造成风扇流道内的流动结构和特征改变,为研究电机结构造成的出口畸变对风扇气动性能以及风扇通道流场带来的影响,图 9 给出了风扇叶片在有无电机安装影响时吸力面极限流线图。相对于孤立风扇,可以看出,风扇-电机耦合结构主流速度减小,且速度方向偏离了轴向,这意味着主流的动量损失极大,风扇的做功能力变弱,这是风扇出口面积突缩使得流动堵塞造成的结果。

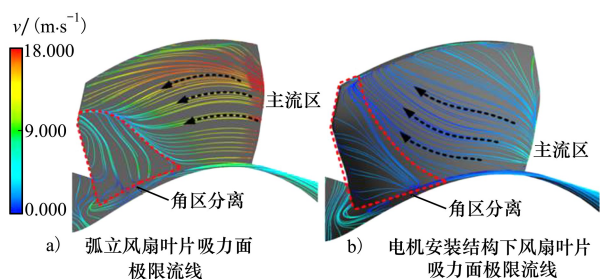


图 9 吸力面极限流线对比

另一方面,在叶片尾缘处的角区分离范围也从叶中发展到了全叶高,由此可见,对于风扇内流动结构的改变而言,出口处紧密安装电机不仅仅相当于背压提高,还具有电机结构造成的阻塞影响。

为了观察不同叶高截面的流动情况,图 10 给出了 2 种算例的不同叶高截面马赫数分布云图,其中箭头所指为流动方向, A 代表孤立风扇算例叶片尾缘距离计算域出口的距离,为 1 倍弦长, B 代表风扇-电机耦合模型中叶片尾缘距离风扇电机交界面的距离,为 2/3 倍弦长。由图可以看出,10%叶高处孤立风扇计算结果中叶片通道主流区(红色虚线处流动位置)的速度沿流动方向逐渐减小,而风扇电机

耦合计算结果中叶片通道主流区的速度先减小后增加。50%与 90%叶高处也呈现出类似的规律,且耦

合计算在不同叶高处,流道内均出现明显的低速区,出口处流速降低。

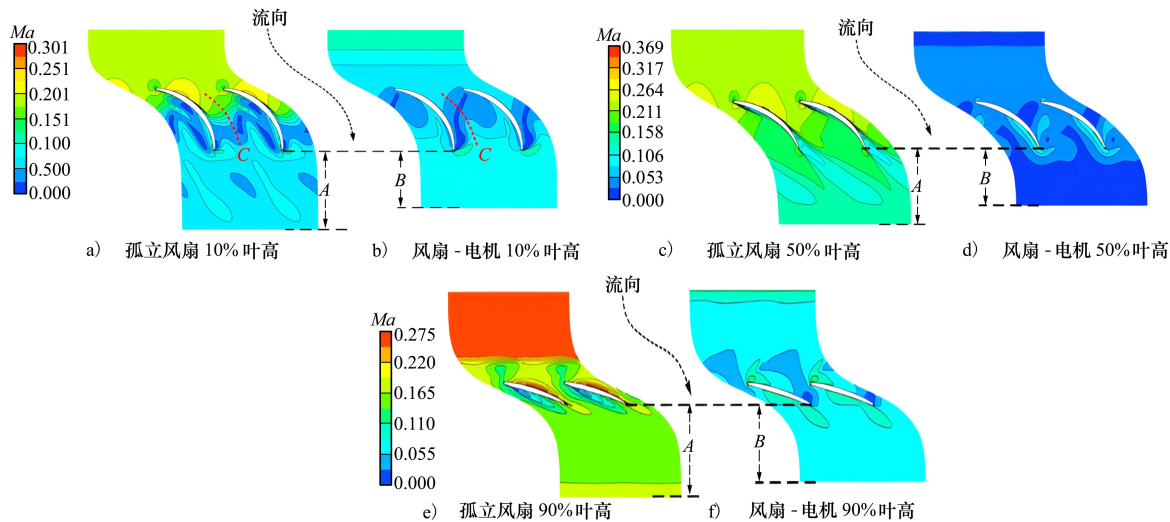


图 10 不同叶高截面马赫数云图

图 11 给出了 2 种结构在不同叶高截面的流线图。从图中可以看出风扇在孤立状态下,在 10%叶高处,流道出口在加入电机之后,风扇叶根出口产生回流且回流的速度方向与叶片旋转平面的夹角大于孤立风扇时的夹角,而风扇-电机耦合工况在主流区形成的涡横亘整个流道形成大面积堵塞。在 50%叶高处流动特性区别更加明显,风扇单独运行时流动顺畅,整个流道内气流速度方向均满足预期的速度三角形,而风扇-电机耦合工况下,气流从进

口开始就产生了畸变,在流道内的速度方向几经改变,形成了对主流影响极大的二次流,导致了叶中流体动量的严重损失。在 90%叶高处可以看出,由入口开始,气流速度方向的改变明显,且风扇攻角呈较大的正攻角,流经叶片吸力面的流体部分又绕过下一叶片前缘进入另一流道。在叶根的回流和叶中以及叶高的堵塞共同作用下,风扇流道内的通流流量急剧减小。

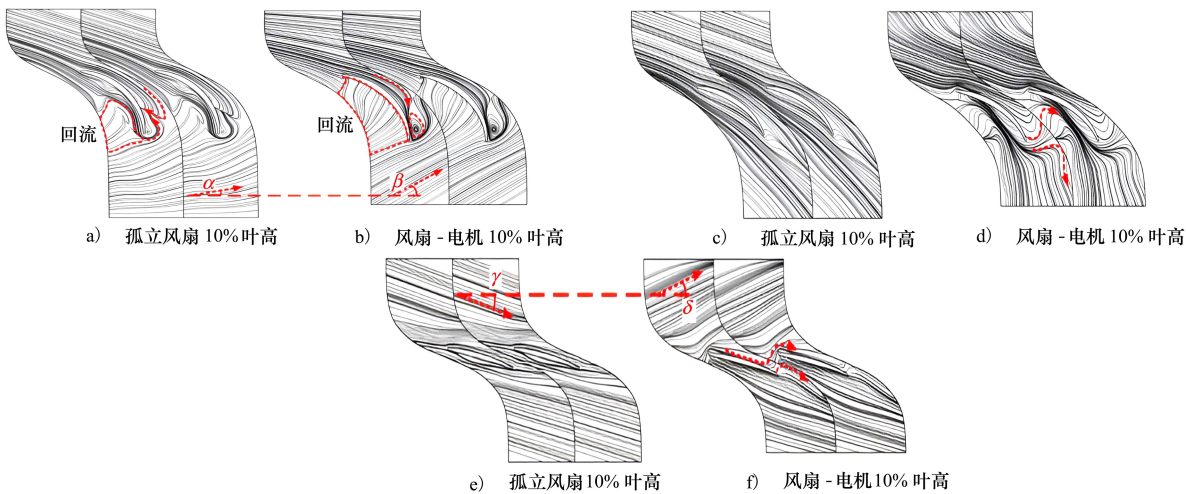


图 11 不同叶高截面流线分布

图 12 给出了不同叶高下叶轮前缘和尾缘的速

度三角形示意图,图中黑色箭头代表孤立风扇时的

速度三角形,红色箭头代表风扇-电机耦合时的速度三角形。从图中可以看出,风扇-电机耦合运行时,出口畸变的影响从出口处逐步蔓延至上游流场,在轮缘速度不变的情况下,切向速度和轴向速度的变化直接导致风扇进出口相对气流角的变化。

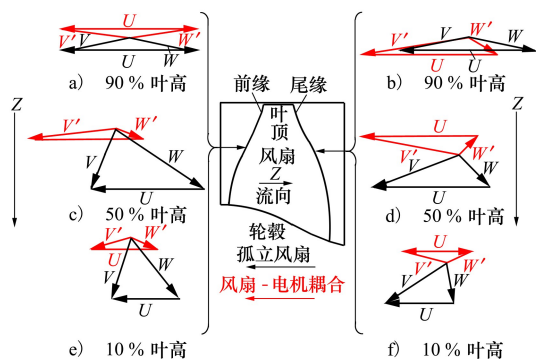


图12 不同叶高进口速度三角形

由图13的部件安装耦合流动原理图可以看出,风扇出口出现流速较低这一现象,是由于电机内流场中的涡系使风扇出口形成堵塞以及回流造成的。上述流场及气动性能分析可以归结为两点。①风扇在实际工作情况下,电机的存在相当于风扇出口处的背压提高,使得风扇的工作点进一步向近失速点逼近,流量及气流轴向速度均减小;②电机流道的突缩突扩结构在风扇出口造成了流动畸变,使得气流无法顺利流通,堵塞的流体逐渐堆积并与风扇排出

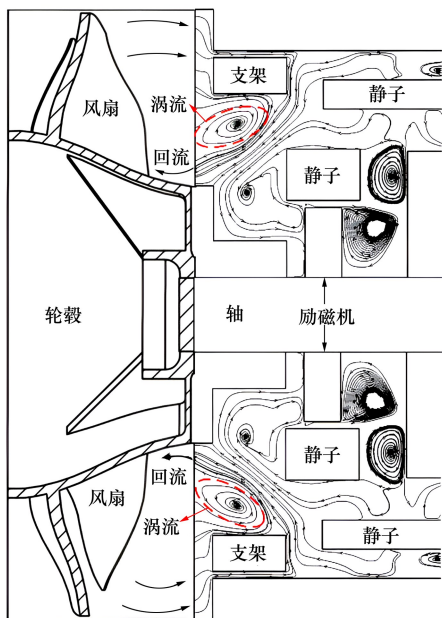


图13 风扇-电机一体化计算电机内流场

的流体不断掺混,当达到平衡状态时,出口段气流的二次流速度(非轴向速度)大于轴向速度,这种出口二次流也严重影响风扇叶轮的做功能力。

2.3 电机对风扇周向流动的影响

为了了解流动的周向特征影响,图14展示了90%轴向弦长处周向速度马赫数云图分布。根据图中马赫数云图分布的A处可以看出风扇孤立工作时的周向速度整体大于耦合工况,随着半径增加,风扇在孤立运行时,速度在叶中主流区最大,叶片对气流加工能力较强。而耦合运行时,风扇在叶中主流区动量减小且梯度较大,电机在下游有一定的堵塞效应,使得在风扇出口叶高15%~50%处出现了涡流,因此在风扇90%轴向弦长叶中通道出现了大尺度低速团。针对局部流动特征来看,耦合运行时,由于出口压力提高,沿径向压力差较大,形成了间隙潜流,加之在90%弦长处,角区分离区域为全叶高,间隙潜流与角区分离中上洗的附面层掺混,形成了叶顶的间隙涡,同时由于角区分离形成的叶根通道涡也极为明显。

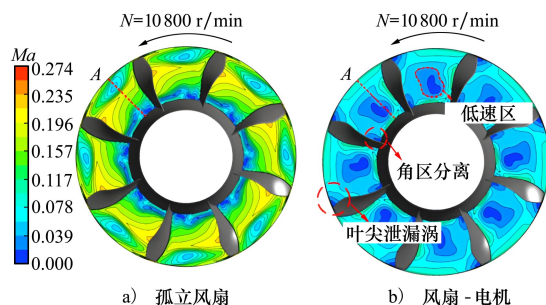


图14 周向马赫数分布云图

2.4 电机与风扇的轴向间距对风扇气动影响

电机与风扇之间的安装距离在受限空间内的变化对风扇和电机之间的耦合影响需要进一步分析。考虑电机实际需求,改变叶片尾缘距离电机入口的距离,以30,40,50,60,70以及80 mm等不同距离进行耦合影响研究(弦长为60 mm)。工况与边界条件、数值计算设置与上文风扇-电机耦合一体化计算一致。

本文所采用风扇无量纲总压效率定义为

$$\eta = \frac{(p_{t2} - p_{t1})Q}{N\omega} \quad (1)$$

式中: p_{t2} 和 p_{t1} 分别为出口和进口总压; Q 为出口体积流量; N 为转子叶片扭矩; ω 为转子角速度。总压升系数为

$$\psi = \frac{(p_{t2} - p_{t1})}{0.5\rho u_t^2} \tag{2}$$

式中： ρ 为流体密度； u_t 为转子叶尖线速度。流量系数的定义为

$$\phi = \frac{v_a}{u_t} \tag{3}$$

式中， v_a 为进口处气流轴向平均速度。

图 15 给出了不同轴向距离与风扇流量系数、总压升系数以及总压效率的关系。

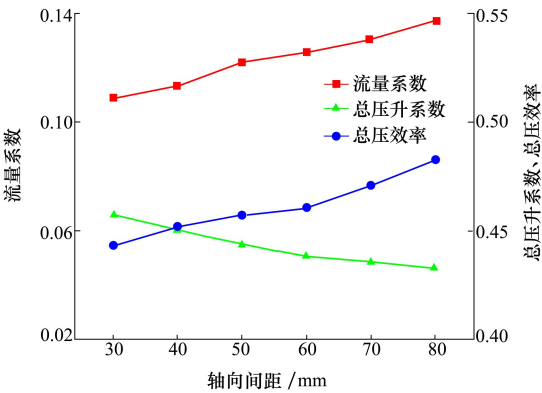


图 15 不同轴向距离风扇流量系数、总压升系数及总压效率

从图中可以看出，流量系数和总压效率随着耦合距离的增加而增加，总压升系数则随着耦合距离的增加而降低，这是因为随着耦合距离的增大，风扇出口处的堵塞效应变缓，风扇出口背压减小，气流量随之增大，从各系数的数学定义式也能够分析得到。

将流量系数、总压效率以及总压升系数随风扇耦合距离的变化结合表示在风扇气动设计的特性图上，如图 16 所示分别为压升-流量、效率-流量特性线。

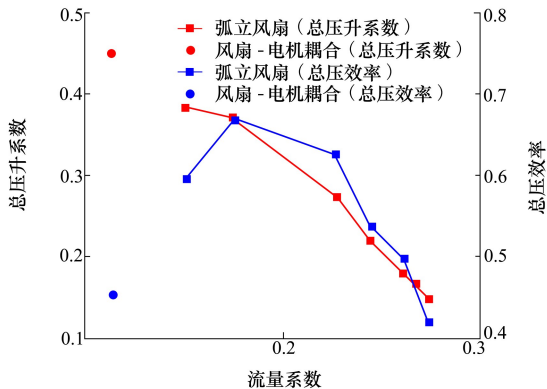


图 16 风扇总压升系数工况点偏移示意图

图 16 的风扇-电机耦合工况点与图 15 中的风扇-电机耦合工况点相同，即叶片尾缘距离电机入口 40 mm。孤立风扇工况点代表风扇出口边界条件为根据耦合计算结果得出的风扇出口面平均静压参数时的工况点。

由图可知，随着耦合距离的增加，风扇-电机耦合模型总压升系数工况点有着向孤立风扇背压减小工况点偏移发展的趋势，风扇-电机耦合模型总压效率工况点也同样有着向孤立风扇背压减小工况点偏移发展的趋势。这意味着，随着安装距离的增大，由于风扇与电机的耦合影响效果逐渐减弱，风扇出口畸变和电机旋流进口效应减弱，若距离增加到一定程度，则耦合影响效果将仅为均匀背压堵塞效果。这也充分说明，冷却风扇实际安装后的运行工况点并非接近设计点，往往偏离较大。而受限于安装空间，紧凑耦合影响难以避免，因此需要更为精细考虑实际安装效应的风扇气动设计，达到更为高效紧凑的冷却效果。

3 结 论

本文对某型航空起发电机自冷风扇结构进行了数值仿真，分别研究了孤立风扇和风扇-电机耦合结构下对风扇流动的影响和特性变化，得到了以下结论：

1) 由于电机在风扇下游的紧凑安装，电机结构对风扇造成了阻塞影响，风扇出口背压增大，使得风扇通道内主流速度减小，且速度方向偏离了轴向，使得主流动量损失极大，风扇做功能力变弱，这使得相较于孤立风扇，风扇-电机耦合模型通道内流量降低，总压效率降低。

2) 电机在下游使得风扇出口截面产生径向压力梯度并引起气流径向流动，形成二次流，造成风扇出口畸变。对上游流场造成显著干涉作用，使流场出现叶根回流和叶中通道涡，角区分离面积出现扩张。同时，使得叶片表面附面层产生不稳定流动，造成主流区的通道涡。电机在风扇下游的存在造成了风扇流道内不稳定流动，使得流动损失增大，风扇做功能力变弱。

3) 随着风扇与电机耦合的距离增加，风扇进出口的总压升减小，通道内流量增大，风扇总压效率增大，电机对风扇内的流动影响减弱，当耦合距离增加到一定程度时，风扇-电机耦合对风扇带来的影响

才为均匀背压堵塞效果。进一步考虑实际安装效应 非常重要。
的冷却风扇精细化气动设计对于提高冷却系统效能

参考文献:

- [1] 彭家忠, 杨汉荣, 王文岐, 等. 基于全电/多电机发展的预先研究初探[J]. 科技传播, 2014, 6(10): 79-85
PENG Jiazhong, YANG Hanrong, WANG Wenqi, et al. Preliminary research based on the development of all-electric/multi-electric aircraft[J]. Science and Technology Communication, 2014, 6(10): 79-85 (in Chinese)
- [2] 王孝伟, 李铁才, 石坚. 高密度电机主要尺寸、功率和散热能力关系研究[J]. 微特电机, 2011, 39(12): 1-3
WANG Xiaowei, LI Tiejai, SHI Jian. Research on the relationship between main size, power and heat dissipation capacity of high density motor[J]. Micro Electric Machine, 2011, 39(12): 1-3 (in Chinese)
- [3] 彭维娜. 电机冷却技术的专利发展[J]. 南方农机, 2015, 46(3): 87-89
PENG Weina. Patent development of motor cooling technology[J]. Southern Agricultural Machinery, 2015, 46(3): 87-89 (in Chinese)
- [4] 江荧. 自扇冷式电机冷却系统的数值模拟分析及风扇设计[J]. 机械设计与研究, 2014, 30(1): 115-119
JIANG Ying. Numerical simulation analysis and fan design of self-fan-cooled motor cooling system[J]. Mechanical Design and Research, 2014, 30(1): 115-119 (in Chinese)
- [5] 郑军. YKK 中型高压异步电机流体场与温度场综合计算[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2016
ZHENG Jun. Comprehensive calculation of fluid field and temperature field of YKK medium high voltage induction motor[D]. Harbin: Harbin University of Science and Technology, 2016 (in Chinese)
- [6] 杨爱玲, 陈康民. 掠动叶对小型轴流风扇转子气动及声学特性的影响研究[J]. 流体机械, 2002(1): 18-20
YANG Ailing, CHEN Kangmin. Influence of swept blades on aerodynamic and acoustic characteristics of small axial fan rotor[J]. Fluid Machinery, 2002(1): 18-20 (in Chinese)
- [7] 唐涛, 杨爱玲, 陈康民, 等. 掠叶型对小型轴流风扇性能的影响研究[J]. 流体机械, 2008(2): 14-17
TANG Tao, YANG Ailing, CHEN Kangmin, et al. Study on the influence of swept blade profile on the performance of small axial flow fan[J]. Fluid Machinery, 2008(2): 14-17 (in Chinese)
- [8] 钟守山. 发动机冷却风扇造型设计与性能计算方法的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011
ZHONG Shoushan. Research on modeling design and performance calculation method of engine cooling fan[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011 (in Chinese)
- [9] 王海航. 发动机冷却风扇的性能计算与叶片应力分析[D]. 广州: 华南理工大学, 2011
WANG Haihang. Performance calculation of engine cooling fan and blade stress analysis[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011 (in Chinese)
- [10] 吴敏. 发动机冷却风扇性能计算方法的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010
WU Min. Research on performance calculation method of engine cooling fan[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010 (in Chinese)
- [11] 周建辉, 杨春信. 航空电子设备冷却轴流风扇优化设计[J]. 航空动力学报, 2009, 24(3): 634-642
ZHOU Jianhui, YANG Chunxin. Optimization design of cooling axial fan for avionics[J]. Journal of Aeropower, 2009, 24(3): 634-642 (in Chinese)
- [12] SZOGYEN J R M. Cooling of electric motors[J]. Electric Power Applications, 1979, 2(2): 59-67
- [13] ANTON R, BENGOCHEA A, RIVAS A. Performance of axial fans in close proximity to the electromagnetic compatibility screens[J]. ASME Journal of Electronic Packaging, 2012, 134(1): 4-11
- [14] LI Hongmin. Thermal fluid process in a small universal electric motor[J]. Journal of Physics Research, 2010, 24(2): 419-431
- [15] 李波, 王虎. 轴流风扇串联特性研究[J]. 电子机械工程, 2013, 29(5): 16-20
LI Bo, WANG Hu. Study on series characteristics of axial fan[J]. Electro-Mechanical Engineering, 2013, 29(5): 16-20 (in Chinese)
- [16] 赵彦辰, 王掩刚, 刘汉儒, 等. 航空发电机风阻实验及匹配冷却风扇设计[J]. 中国机械工程, 2019, 30(20): 2505-2511
ZHAO Yanchen, WANG Yangang, LIU Hanru, et al. Wind resistance experiment of aero-generator and design of matching cool-

ing fan[J]. China Mechanical Engineering, 2019, 30(20): 2505-2511 (in Chinese)

[17] ROYCE D M, LONNIE Reid. Performance of single-stage axial flow transonic compressor with rotor and stator aspect ratios of 1.19 and 1.26, respectively, and with design pressure ratio of 2.05[R]. NASA TP-1659, 1980

[18] 冯钰茹, 王军利, 李金洋, 等. 转速对跨声速轴流压气机的性能影响分析[J]. 热能动力工程, 2022, 37(4): 56-63

FENG Yuru, WANG Junli, LI Jinyang, et al. Analysis of the effect of rotational speed on the performance of transonic axial compressor[J]. Thermal Energy and Power Engineering, 2022, 37(4): 56-63 (in Chinese)

Analysis on influence of self-fan cooling motor on fan aerodynamics

ZHU Lei, LIU Hanru, LI Linfeng, WANG Shiguang,
ZHAO Yanchen, WANG Yangang

(School of Power and Energy, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: With the development of multi electric/all electric aircraft, the degree of aircraft secondary energy electrification is becoming higher and higher. As the core component of the electrical system, the motor presents the trend of small volume and high-power density. The heat dissipation problem of compact motor is becoming more and more serious. At present, the self-driven fan cooling system is widely used in aircraft motors. In this paper, the axial fan cooling system of an aero generator is taken as the research object, and the changes of fan flow field and aerodynamic characteristics in the fan motor coupling model of the isolated fan and the installed motor are analyzed by using three-dimensional computational fluid simulation. At the same time, the influence of the change of the axial distance between the fan and the motor on the aerodynamic performance is also studied. The analysis of the simulation results shows that the close coupling between the motor and the fan components greatly affects the flow structure in the fan, resulting in the distortion potential effect on the fan outlet section. The fan flow field appears the blade root reflux, the channel vortex in the blade and the expansion of the corner separation area. With the increase of the axial distance between the motor and the fan, the influence of the motor on the flow in the fan gradually approaches the flow blocking effect.

Keywords: air cooling system; component coupling effect; aerodynamic influence; numerical calculation

引用格式: 朱磊, 刘汉儒, 李林峰, 等. 航空电机自冷风扇安装效应气动影响研究[J]. 西北工业大学学报, 2023, 41(5): 915-923

ZHU Lei, LIU Hanru, LI Linfeng, et al. Analysis on influence of self-fan cooling motor on fan aerodynamics[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2023, 41(5): 915-923 (in Chinese)