

涡轴发动机进气系统典型布局特点分析

Analysis to Typical Layout Characteristics of Turboshaft Engine Intake System

■ 葛严 黄兴 陈杰 / 中国航发研研所

随着直升机战场使用环境的日益复杂及执行任务的多样化，对进气系统的功能和指标需求越来越高。对不同用途直升机进气系统的布局特点进行分析和研究，可为下一步的改进设计提供依据与参考。

涡轴发动机配装直升机时，发动机需要通过进气系统来抽吸外界的气流。进气系统作为发动机与直升机的气动纽带，其性能的好坏将直接关系到涡轴发动机的性能及直升机的稳定性。在装机运行时，其进气系统工作在由直升机诱导的上下游气动环境中，不同工况下直升机的飞行来流与旋翼下洗流相叠加，在进气系统形成复杂的上下游条件^[1-2]，特别是在部分状态下发动机还存在吸入旋翼脱离涡的风险。直升机进气道所产生的总压损失、出口流场畸变和粒子浓度场分布将直接叠加在粒子分离器的进口，进而对涡轴发动机的装机功率乃至工作稳定性造成显著影响^[3]。此外，随着直升机战场使用环境的日益复杂及执行任务的多样化，直升机的外部气动环境还可能改变进气道进口的沙粒分布情况^[4]，进而影响其粒子分离效率。涡轴发动机进气系统的设计作为产品研发体系流程框架的重要组成部分，对其典型布局特点的分析可用于指导涡轴发动机进气系统产品研制过程完整的需求分析。因此有必要对直升机进气系统的布局特点进行分析和研究。

进气道的安装位置

进气道的安装位置包括前后、上下

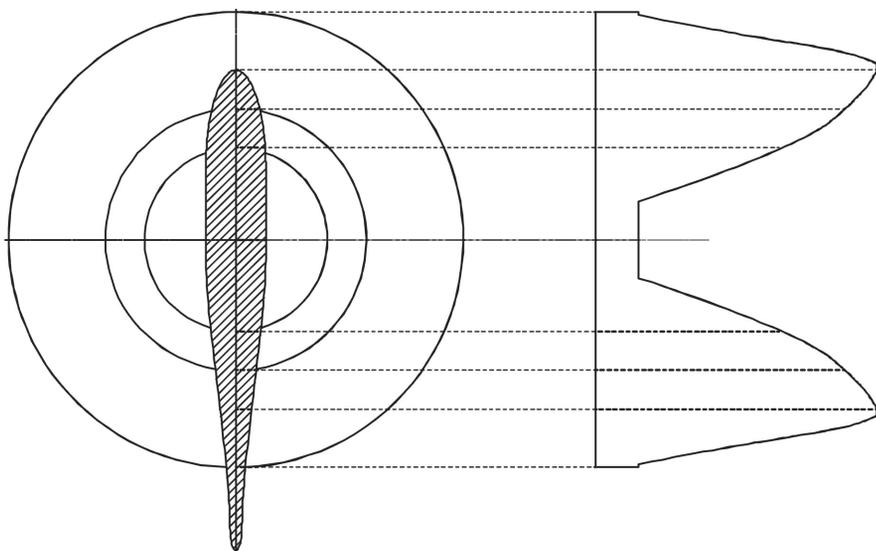


图1 直升机旋翼下洗流的速度分布示意

位置^[5]。由于发动机的重心应尽量与旋翼轴线靠拢，大部分直升机的进气口与旋翼转轴径向距离较近^[6]，在1倍进气口直径以内，仅米-171多用途直升机、AW139多用途直升机、卡-50武装直升机等少数几种直升机进气口的径向距离相对较远，特别是前两种直升机，其径向距离甚至达到了旋翼半径的1/3。因此，结合图1中典型直升机旋翼下洗流的速度分布可知，一般布局形式下直升机进气口附近的下洗流速度较小，预计不会对直升机进气道及粒子分离器的流动及工作特性产生显著影响。在高度方向，对于多用途直升机其进气

口往往偏高，与桨叶平面距离较小，而对于武装直升机，则由于上方有塔座，其进气口离桨叶平面相对较远，大多在进气口直径的2~3倍。对于后者，直升机机体对进气口附近旋翼下洗流的干扰作用更加明显。

此外，从进气口在机体横截面上的安放位置来看，仅仅少数几种进气口布置在机体的正上部，而大部分直升机进气道的进气口均设置在机体的两侧，特别是对于武装直升机而言，其进气口往往处于短翼的后上方，可以利用短翼的整流作用，改善部分恶劣工况下进气道的进气条件。

进气道的形式

涡轴发动机装配于直升机以后，所采用的进气道形式可归类为皮托式进气道、半埋式进气道以及集气舱式进气道3类。

皮托式进气道

皮托式进气道指进气口正对飞行来流的进气道，其主要特点为可直接利用来流冲压，巡航时气动效率较高，气动和结构设计相对简单。现役或在研的各种直升机中，有相当一部分采用了皮托式进气道方案，如“蝮蛇”、NH90、米-171、卡-50等，根据进气口的具体形式，又可细分为简单皮托式进气道、进口带障碍物的皮托式进气道、进气口斜切的皮托式进气道。

图2展示了S-92直升机和“猫鼬”直升机的进气口。可以看到，简单皮托式进气道的进气口完全正对来流，且进气口上游没有任何遮挡物。进气口形状可以是多样的，包括规则圆形、带圆角的矩形、“腰子”形、“月牙”形乃至复杂的异形。采用非圆截面进气口会增加进气道

设计和制造的复杂程度，但采用这种设计进气道与机体可以较好地融合、减小机体迎风面积、降低飞行阻力，当发动机采用前输出轴时，还可以包裹功率输出轴。

另外，为了隔除机体发展而来的边界层低能气流，部分直升机进气道还采用了边界层隔道，即进气口并不完全贴合直升机机体，而是留了一定的缝隙。

有一类皮托式进气道，虽然其进气口完全正对飞行来流，但是在进气口正上游设置有障碍物，且该障碍物一般为接近于球形的旋成体，如米-171、卡-50、卡-52、米-28等直升机的进气道。其中，功率轴前输出的发动机，进气道进口上游的球形障碍物是为了设置到直升机主减速器的传动齿轮及其保护罩。其他各种俄制直升机则是为了设置简易惯性粒子分离器，含沙气流在绕球形障碍物流动的过程中，在离心力的驱动下，沙粒逐步向管道中心靠拢，其中有部分被收集到设置在管道中心的集气管中，最终被排

出发动机体外。

另外，出于特定因素的考虑，还有一类皮托式进气道的进气口并不完全正对飞行来流，而是采用了斜切处理，如有些直升机的进气口往两侧倾斜，“虎”式直升机的进气口则是向上倾斜。进气口斜切可能是为了实现进气道设计与机体之间保形的需要，这样可在一定程度上减小进气口的气动干扰阻力，否则其进气口完全可以后移，没必要特别设置一节S形的内管道。进气口向上倾斜可能是为了使进气道的口面保持与直升机其他大多数部位的斜面平行，提高隐身性能；也可能是为了部分利用旋翼下洗流的冲压效应以及降低吸入地面沙粒、杂物的风险。

埋入式进气道

在英国的“野猫”“灰背隼”以及美国的“科曼奇”等先进直升机上，均采用了埋入式进气道，旨在进一步减小机体的迎风面积，降低气动阻力。其中，“野猫”“灰背隼”直升机采用了三维埋入式进气道（见



图2 S92直升机和“猫鼬”直升机的进气口



图3 “野猫”直升机和“灰背隼”直升机的进气口

图3), 进口及内通道均为三维曲面, “野猫”的导流面上还设置有一个弯曲柱状的凸起面, 包裹功率前输出轴。“科曼奇”采用的是20世纪50年代美国发展的NACA系列的埋入式进气道, 其唇口及内通道主要由平面或二维曲面构成, 通过精心设计这种埋入式进气道还可以降低其本身的雷达截面积(RCS), 提高隐身性能。

由于不能直接利用来流冲压, 相比皮托式进气道而言, 埋入式进气道的气动设计难度较大, 且一般气动性能较差, 出口的总压损失和

流场畸变均较大, 为此采用埋入式进气道的直升机的机动性能必然会受到一定的限制, 这也是埋入式进气道在直升机上没有得到广泛使用的原因。

集气舱式进气道

在AW139直升机上采用了集气舱式进气道(见图4)。这一类进气道的特点是: 进气口与机体完全融合, 不突出机体表面; 进气口面积较大, 且在其下方设置了较大的空间, 且为突扩式, 无须复杂的三维曲面, 此即所谓的集气舱。此类进气道的气动效率比皮托式进气道、

埋入式进气道都要低, 但其气动、结构设计相对简单, 研制难度相对较小。然而, 实际使用经验表明, 若集气舱的几何形状与发动机进气口不匹配, 有可能出现舱内脱落的大尺度旋涡被吸入发动机而导致稳定性问题, 这一点需要特别注意。

结束语

通过对直升机进气系统的布局特点 and 设计形式进行分析可知, 直升机进气道的入口往往位于桨叶转轴附近或前方, 周围旋翼下洗流对其流动和工作特性的影响相对较小; 直升机进气系统的设计形式多种多样, 各具特色。

航空动力

(葛严, 中国航发研研所, 工程师, 主要从事航空发动机内流气体动力学的研究工作)

参考文献

- [1] Cheng J H. Development and application of a generalized dynamic wake theory for lifting rotors[D]. Georgia institute of technology, 1989.
- [2] Smith M J, Koukol B. Reverse and cross-flow aerodynamics for high-advance-ratio flight[R]. 35th European Rotorcraft Forum, 2009.
- [3] 杨志强, 周灵玲, 马阔. 直升机涡轴发动机安装损失特性研究[J]. 中国战略新兴产业, 2018(24):182.
- [4] 付焱晶. 直升机发动机进气防护装置研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2011.
- [5] 胡利, 曹义华, 赵明. 直升机旋翼机身发动机耦合流场数值模拟[J]. 航空动力学报, 2008, 23(10):1883-1886.
- [6] 谢永奇, 余建祖, 高红霞, 等. 某型直升机进气舱流场数值仿真[J]. 航空动力学报, 2007(05):729-732.



图4 AW139直升机的进气口