

共轴式直升机的气动特性、操稳特性与机动性分析

Analysis of Coaxial Helicopter's Aerodynamics, Stability Control and Maneuverability

费景荣/91065 部队

摘要:从气动布局与气动特性入手,对比了共轴式直升机与单旋翼直升机的悬停、垂直飞行及前飞性能,分析了共轴式直升机的气动布局与操稳特性对其机动能力的影响,最后介绍了共轴式直升机两种特殊机动动作。

关键词: 共轴式直升机; 气动特性; 操稳特性; 机动性

Keywords: coaxial helicopter; aerodynamics; stability and control; maneuverability

0 引言

飞行性能是飞行品质的重要方面,也是设计者和使用者关注的最终环节。无论是固定翼飞机还是直升机,分析飞行性能都应遵循“气动布局→气动特性,操稳特性+发动机特性→飞行性能”这一主线。与单旋翼直升机相比,共轴式直升机由于气动布局、旋翼布局的差异,使其气动特性、操稳特性与飞行性能也有很多特点,进而在民用、军用方面都表现出独特的优势。

1 共轴式直升机的悬停、垂直上升性能

目前,单旋翼带尾桨式直升机以其简单、实用的操纵系统和相对成熟的单旋翼空气动力学理论,仍占据着直升机领域的主流。但其尾桨也存在不少副作用,除可能出现机械故障、外来物撞损及因尾梁振动引起尾桨传动机构故障等隐患外,在起飞、悬停状态下尾桨额外消耗的功率占到10%~12%,从而对

飞行性能产生不利影响。

共轴式直升机上下旋翼的反作用力矩基本上能够相互平衡,取消了尾桨使旋翼能获得更多的功率。另外,上下旋翼相互影响也产生有益的作用,上旋翼向下排压的气流受到下旋翼的吸拉,产生附加向下的速度,因而上旋翼对气

流向下的作用减小,即上旋翼消耗的诱导功率减小;下旋翼所排压的大部分空气来自于上旋翼尾涡,其预先已有一定的轴向速度,因而下旋翼的诱导功率也减小。资料表明,在拉力和旋翼直径相同的情况下,共轴双旋翼的诱导阻力比单旋翼低20%~30%。

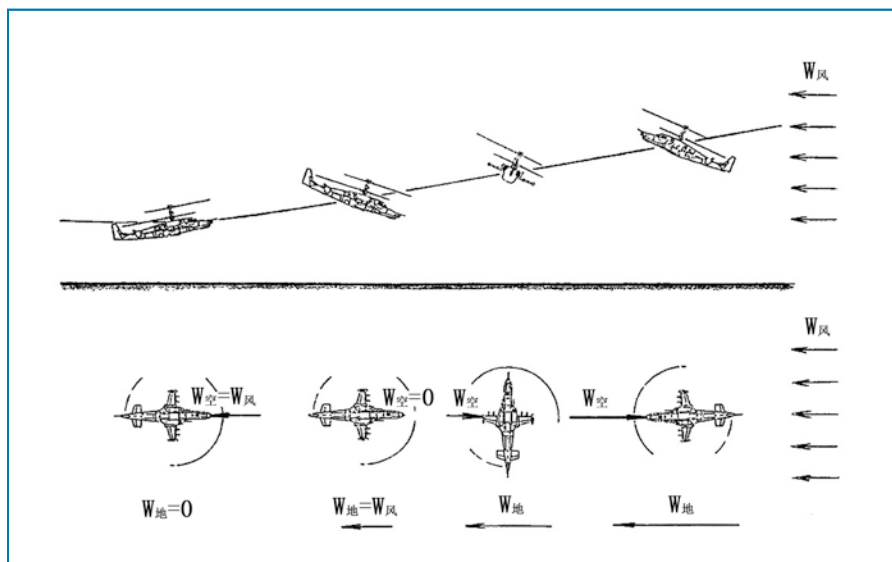


图1 大顺风着陆中的180°平盘旋机动

因此,共轴式直升机具有较高的悬停效率和较大的上升率。据卡莫夫设计局资料记载,通常共轴式直升机的悬停效率比单旋翼带尾桨式直升机高出16%~22%,即在相同的起飞重量、发动机功率和旋翼直径下,共轴式直升机有更高的悬停升限和垂直上升率。

2 共轴式直升机前飞的部分性能

如前所述,共轴式直升机飞行中的诱导功率比单旋翼直升机的小。但另一方面,由于共轴式直升机外露的非流线形部件如操纵系统和旋翼桨毂的数量和体积多于和大于单旋翼直升机,因而废阻也较大。

总的看来,共轴式直升机在悬停、中低速飞行时的需用功率小于单旋翼直升机,但随着速度的增加,需用功率逐渐增大至大于单旋翼直升机。这一特性决定了共轴式直升机有较大的实用升限、上升率和较长的续航时间,而单旋翼直升机则有较大的平飞速度和巡航速度。

3 共轴式直升机的操稳特性

直升机的机动性主要取决于旋翼

的拉力特性、直升机的功率特性及操纵性和操纵特点。其中,共轴式直升机的拉力为上下旋翼拉力之和,在直径和拉力相等的条件下,共轴式旋翼的拉力比等值单旋翼拉力高3%~10%。在中、小速度下,共轴式直升机的所需功率特性优于单旋翼直升机。这两方面都增强了共轴式直升机的机动性。

3.1 共轴式直升机较高的操纵能力增强了其机动能力

直升机的操纵能力是指操纵杆由中立位置偏转到极限限位器位置时得到的最大角加速度 $\epsilon_{z\max}$ 、 $\epsilon_{x\max}$ 、 $\epsilon_{y\max}$ 。根据刚体的转动定律,最大角加速度取决于操纵力矩和转动惯量,如 $\epsilon_{z\max} = M_z^{\delta\beta} \delta_{B\max} / I_z$ 。其中, $M_z^{\delta\beta}$ 为操纵功效,指单位操纵倾角或位移产生的操纵力矩。显然,旋翼及尾桨距直升机重心的垂直距离大,则操纵功效大。此外,铰接式旋翼的桨毂力矩可增大操纵功效。

由于共轴式直升机采用两副旋翼,旋翼半径仅为同重量级单旋翼直升机的70%,加之没有尾桨,机身较短,所以其纵向尺寸仅为同重量级单旋翼直升机的60%左右。同时,共轴式直升机的

结构重量和载重均集中于重心处,因而减少了俯仰和偏航时的转动惯量,如10吨级直升机中,共轴式直升机的俯仰转动惯量大约是单旋翼直升机的一半。这有利于提高操纵能力。

由于上下旋翼之间的距离产生较大的操纵力臂与俯仰操纵力矩,所以共轴式直升机的纵向操纵功效和能力明显高于单旋翼直升机。此外,由于共轴式直升机机身较短,故采用双垂尾来提高航向操稳特性,因此,其在较高速度时的航向操纵能力较强。

3.2 共轴式直升机气动力对称的特点简化了机动飞行操纵动作

直升机的气动力对称程度直接影响各操纵通道之间的耦合程度。由于单旋翼直升机机身上一直存在着可变的尾桨侧向力及偏航力矩,所以其气动力是不对称的,因而各操纵通道之间存在复杂的联系。如要上提总距杆增大拉力就必须蹬脚蹬克服旋翼的反作用力矩以保持航向平衡,还必须压杆保持横侧平衡,操纵非常复杂。

而共轴式直升机上下旋翼的反作用力矩及方向相反的旋翼侧向力基本平衡,旋翼高度差产生的横侧力矩不大,因而具有气动力对称、各操纵通道基本独立的重要特点。该特点简化了机动飞行的操纵动作,特别是在低空、复杂地形及故障情况下。

4 共轴式直升机的特殊机动动作

各型单旋翼直升机对绕立轴的偏转角速度和侧滑角大小都有明确限制。这是因为,单旋翼直升机的尾桨大多无垂直关节,若偏转角速度和侧滑角加大,尾桨桨叶迎角也随之加大,导致桨叶急剧旋转,产生的哥氏力弯矩和动载荷对尾桨寿命产生不利影响。其次,悬

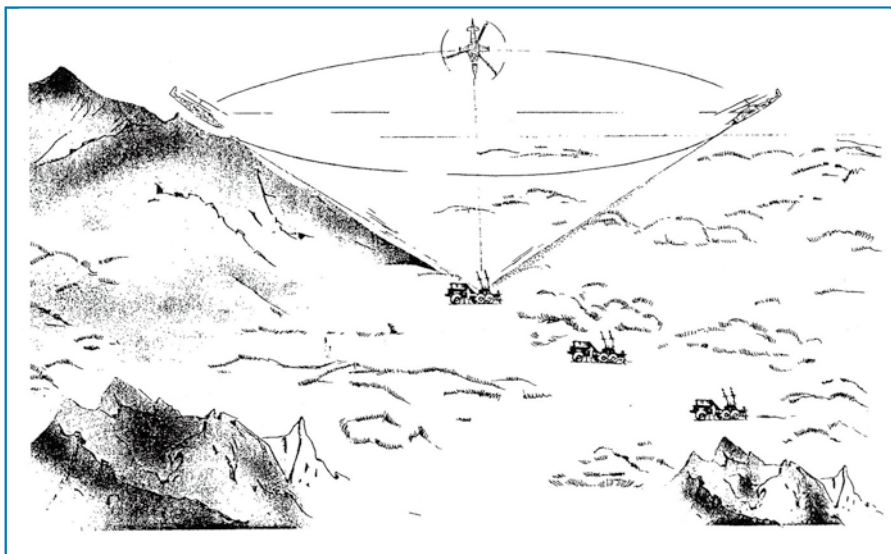


图2 漏斗机动

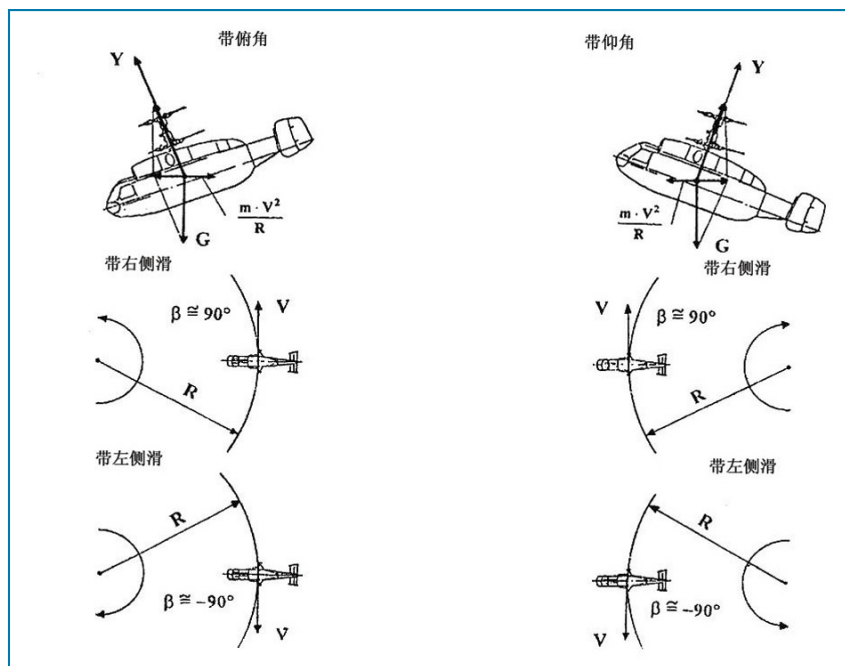


图3 漏斗机动的作用力

停和低速度飞行中,偏转角速度和侧滑角过大,尾桨可能进入涡环状态。再次,偏转角速度和侧滑角过大,还会引起旋翼和尾桨消耗功率的变化,导致飞行高度意外变化而危及安全。

共轴式直升机没有尾桨,不存在对侧滑角和偏航角速度大小的限制。另外,大侧滑角下差动总距仍有较高的航向操纵功效,所以能够完成一些带大侧滑角的特殊机动。

4.1 平盘旋机动

平盘旋是使直升机纵轴方向快速指向空间任一点的一种特殊战术机动。机动中飞行速度方向及飞行高度、法向过载大小基本不变,坡度和俯仰角变化很少,但带有较大的侧滑角,如 90° 平盘旋对直升机的侧滑角改变大于或等于 90° 。

1) 平盘旋的操纵

向盘旋方向蹬脚蹬到底,通过纵、横操纵使旋翼轴方向基本不变。转到规定角度后,脚蹬稳定在中立,通过脚蹬消除偏航角速度并保持预定航向。方向和横侧静稳定性要求较大的杆舵

操纵量,较高的偏航角速度要求有力的操纵。

2) 平盘旋的应用

由于顺风使直升机的气动特性、飞行性能、稳定性都变差,所以单旋翼直升机不允许做大顺风着陆。而共轴式直升机通过 180° 平盘旋,可做大顺风着陆。如图1所示,着陆中直升机减速至速度表出现摇摆现象时(直升机低速飞行中的固有现象),完成 180° 平盘旋,此后,以倒飞减速至迎风悬停。

4.2 漏斗机动

漏斗机动的战术能力主要为,直升机可以长时间改变纵轴方向,以在规避机动的同时更好地攻击空间给定区域的敌方目标,并实时评估攻击效果。如图2所示。当完成漏斗时,旋翼拉力的水平分量指向漏斗中心,并与直升机沿近似圆形轨迹、带 90° 侧滑旋转时的惯性力平衡,如图3所示。

1) 漏斗的操纵

从左盘旋进入漏斗时,蹬左脚蹬,形成 90° 的右侧滑。此过程中,直升机的

俯角短时间增加到 30° 且左坡度均匀减小。此时,为保持向右的飞行速度,应向右压杆保持不大的右坡度。

进入漏斗后,直升机带 90° 右侧滑角、 30° 俯角和 $2^\circ \sim 4^\circ$ 右坡度,沿曲线轨迹左转。转动过程中,脚蹬左偏几乎到底以保持带侧滑的稳定飞行。

2) 改出漏斗

调整脚蹬到中立位置以减小侧滑角。此时,俯仰角随坡度的变化而减小。在漏斗中,法向过载不大且完全由俯仰角决定。

5 总结

共轴式直升机无尾桨的布局特点及上下旋翼的相互作用改善了其悬停、垂直上升性能及前飞的部分性能。较小的外形尺寸与转动惯量、较大的旋翼操纵力矩提高了操纵能力与机动能力;气动力对称与各操纵通道基本独立的特点简化了正常条件,特别是低空、复杂地形及故障情况下机动飞行的操纵动作。因无尾桨而不存在对侧滑角和偏航角速度的限制,同时大侧滑角下差动总距仍有较高的航向操纵功效,所以能完成平盘旋、漏斗这样带大侧滑角的特殊机动动作。

AST

参考文献

- [1] Э.А.Петросян. 共轴式直升机空气动力学[M]. 卡莫夫股份有限公司出版,2004.
- [2] А.М.沃洛特柯,直升机实用飞行原理[M]. 傅百先等译. 海潮出版社,1992.

作者简介

费景荣,副教授,现从事直升机、飞机的飞行力学教学,以及飞行技术与安全方面的研究。