

一种获取飞机 RAT 带载能力的 试飞方法

A Flight Test Method of Determining Airplane RAT's Load Capacity

刘超强 马明 / Liu Chaoqiang Ma Ming

(中国商飞民用飞机试飞中心, 上海 200232)

(COMAC Flight Test Center, Shanghai 200232, China)

摘要:

飞机 RAT 的实际带载能力不仅取决于飞机空速,而且受到飞行姿态的制约,很难用理论公式准确推算。提出了一种飞行试验方法,分析特定的试飞测试数据,可获得飞机 RAT 的实际带载能力。试验包括 RAT 平飞带载和 RAT 侧滑带载两部分试飞。通过 RAT 平飞带载试验,得到不同重量下的 RAT 空速与飞机空速的关系曲线;通过 RAT 侧滑带载试验,可得到不同侧滑角飞行下 RAT 空速与飞机空速的关系曲线。结合试验结果,可以确定飞机在任意重量和飞行姿态下的 RAT 空速,进而获知 RAT 实际带载能力。

关键词: RAT 空速;带载能力;模拟电负载

中图分类号: V217+.32

文献标识码: A

[**Abstract**] The load capacity of airplane's ram air turbine (RAT) depends not only on airplane airspeed, but also on the flight attitude. It is difficult to calculate by using theoretical equations. A flight test method is designed to determine the RAT's real-time load capacity by just analyzing some flight test data obtained. This method plans two test subjects: RAT load capacity test at level flight and RAT load capacity test at sideslip. The former test can obtain the variation of RAT airspeed with airplane airspeed for different weights, and the latter can bring us the relationship for different sideslip angles. The results of the two tests show that the RAT airspeed at any weight and flight attitude can be determined and further know its load capacity.

[**Key words**] Ram Air Turbine Airspeed; Load Capacity; Simulated Electrical Load

0 引言

民用飞机在飞机应急状态下,通常使用 RAT (冲压空气涡轮,以下简称 RAT)来提供飞机应急能源(液压能源或电源),利用冲压空气提供涡轮动力来带动液压泵或发电机。RAT 的带载能力体现在其输出功率的大小,若 RAT 输出功率小于飞机正在工作的应急负载所需功率时,RAT 将无法正常工作或受保护而关闭,则飞机将无法保持安全飞行。因而在飞机应急状态下,如何正确判断飞机 RAT 带载能力将十分关键。

关于飞机飞行姿态与 RAT 带载能力的关系,通常利用理论估算或风洞试验来获得。然而,由于

RAT 安装位置和环境的影响,理论计算和风洞试验结果与飞机实际飞行情况存在着不可避免的误差。因此,本文设计了一种飞行试验方法,通过若干个试验点的试飞数据,获得在任何飞行姿态下的 RAT 实际带载能力。

1 RAT 带载能力理论研究

RAT 带载能力取决于垂直作用在 RAT 桨叶的气流空速(以下简称 RAT 空速)。RAT 空速达到规定速度时,RAT 将保持在额定带载能力,不受 RAT 空速变化,而当 RAT 空速小于规定速度时,RAT 带载能力随 RAT 空速大小而变化。RAT 带载能力与 RAT 空速的关系在 RAT 出厂时已经确定。因而要

得到飞机飞行时 RAT 实际带载能力,可通过获取 RAT 空速来确定。

影响 RAT 空速大小的因素有很多,如飞机空速 v_e 、飞机攻角 α 、侧滑角 β 、RAT 安装角 ϕ (RAT 轴与飞机机头方向的夹角)、滚转角、机身对 RAT 的气流扰动等。在不考虑机身气流干扰情况下,根据飞机攻角和侧滑角可以推导出在飞机平飞时机头方向的 RAT 空速理论计算公式:

$$V_{\text{RAT}} = v_e \cdot \cos\alpha \cdot \cos|\beta| \cos\phi \quad (1)$$

在飞机失速速度前,飞机攻角与升力系数成正比,且平飞时升力等于飞机重量,因而飞机重量与攻角的关系如式(2)^[2]:

$$W = L = C_L \rho_0 v_e^2 S = C_{L\alpha} (\alpha + \alpha_0) \rho_0 v_e^2 S \quad (2)$$

平飞时,升力等于飞机重量,RAT 空速可表示为飞机速度和重量的函数式:

$$V_{\text{RAT}} = v_e \cdot \cos\left(\frac{W}{\rho_0 v_e^2 S C_{L\alpha}} - \alpha_0\right) \cdot \cos|\beta| \cos\phi \quad (3)$$

因此,从式(3)可知:

(1) 飞机飞行时影响 RAT 空速的主要参数有三个:飞机空速、飞机重量和侧滑角;

(2) 平飞时,同一重量下,RAT 带载能力取决于飞机空速;

(3) 对于不同重量状态,重量越大,飞机攻角越大,RAT 带载能力则越差;

(4) 水平侧滑时,侧滑角与攻角共同决定 RAT 攻角,RAT 空速取决于空速和侧滑角。

然而,实际上,由于 RAT 安装在飞机腹部,机身外形、RAT 舱门、RAT 撑杆等结构部件对 RAT 正面气流干扰很大,而理论公式却忽略了这一部分,依照公式计算出 RAT 空速存在一定的误差。

2 飞行试验原理和方法

2.1 试验原理

从式(3)推导结论可知,RAT 涡轮空速的主要制约因素有空速、重量和侧滑角。因而在已知重量和侧滑角下进行飞行试验,可以获得飞机空速与 RAT 空速的关系。试验分两部分进行,首先,试验在不同飞行重量下无侧滑平飞时,RAT 空速与飞机空速的关系,然后试验在相同重量下不同侧滑角时 RAT 空速与飞机空速的关系。通过结合两步试验结果,分析可得到任何飞行姿态下的 RAT 空速,进而得知 RAT 实际带载能力。

为简化试验,以下针对仅输出电源的 RAT 进行

带载能力试验研究,对于具备液压能源输出的 RAT,其带载能力的试验原理相类似。

2.1.1 RAT 平飞带载试验

为获得飞机在特定重量下平飞时,RAT 空速与飞机空速的关系,设置飞机稳定平飞无侧滑,在 RAT 所带负载为额定值时,逐步降低空速,在 RAT 出现过载保护(或满载提示)的瞬间,记录此时的飞机空速,其对应 RAT 空速为最低满载空速。同理,在 RAT 分别带 90% 额定和 80% 额定负载时,RAT 空速同样有一个保护临界值。设置这三种负载状态作为试验点(三个试验点飞机重量一致),测试出现过载保护瞬间的飞机空速,利用这三点拟合平滑曲线,该曲线即为某一重量下的 RAT 空速对飞机空速的曲线。若在轻、中、重三种重量下进行试验,可以得到三条关系曲线,由之可推导出其它重量下的 RAT 空速对飞机空速的关系。

2.1.2 RAT 侧滑带载试验

为了通过试验获得在特定侧滑角下 RAT 空速与飞机空速的关系,设置几个不同的侧滑角作为试验点,如 5° 、 15° 、 25° ,并设置三种不同的空速进行试验。在每种侧滑角下,先后在三种速度下逐步增大负载大小,直至出现 RAT 过载保护(或提示),记录保护瞬间的负载大小。由于左右侧滑对 RAT 涡轮空速影响相同,只做一侧的侧滑试验即可。试验获得的负载数据即相应状态下的 RAT 带载能力,由之可知其 RAT 空速。拟合试验点数据可获得在特定侧滑角下 RAT 涡轮空速与飞机速度的关系曲线。

2.2 操作方法和程序

2.2.1 RAT 平飞带载试验

RAT 平飞带载试验应分为六个试验点,分别对应三种(轻、中、重)重量以及不同飞机构形。试飞状态点如表 1 所示。根据上节的 RAT 平飞带载试飞原理分析,科目首次试验操作方法如下:

飞机以轻重量起飞,爬升至任意高度(为确保飞行安全,建议在 $5\ 000\text{ft} \sim 20\ 000\text{ft}$),设置巡航构形,并稳定平飞在较高空速。手动释放 RAT。给 RAT 施加 100% 的负载(配合使用模拟负载)。缓慢均匀减小平飞空速(不超过 5 节/分钟),直到出现 RAT 过载保护(或满载提示),记录飞机空速。然后,恢复到平飞初始状态,复位 RAT 保护,给 RAT 施加 90% 的模拟负载,缓慢均匀减小平飞空速,直到出现 RAT 过载保护,记录飞机空速。接下来,恢复到平飞初始状态,复位 RAT,给 RAT 施加 80% 的

模拟负载,缓慢均匀减小平飞空速,直到出现 RAT 过载保护,记录飞机空速。

每个试验状态点下的试飞操作方法相同,应参照表 1 顺序安排飞行。该项试飞需安排 3 个架次完成。

表 1 RAT 平飞带载试飞状态点

序号	重量	模拟电负载	飞机构型
1	轻	100% ,90% ,80%	起飞、巡航、进近、着陆
2	中	100% ,90% ,80%	起飞、巡航、进近、着陆
3	重	100% ,90% ,80%	起飞、巡航、进近、着陆

2.2.2 RAT 侧滑带载试验

RAT 侧滑带载试验应完成六个试验点,分别对应三个不同的侧滑角: 5°、15°、25°,以及不同飞机构形。试飞状态点如表 2 所示。根据 2.1.2 节的 RAT 侧滑带载试飞原理分析,该科目首次试验操作方法如下:

飞机以轻重量起飞,爬升至任意高度(建议在 5 000ft ~20 000ft),稳定巡航平飞在较高空速。手动释放 RAT。保持 5°侧滑角稳定飞行,给 RAT 施加较小的负载,如 60% (配合使用模拟负载)。缓慢均匀增大模拟负载(不超过 10%/min),直到出现 RAT 过载保护,记录 RAT 保护时的模拟负载值。按照同样方法,先后分别降低初始空速,缓慢增大模拟电负载,测试 RAT 在断电时的电负载值。

其余的试飞状态点的操作方法与首次试验的方法相同。应按表 2 序号安排试验顺序。该项试飞可用 1 架次/2h 完成。

表 2 RAT 侧滑带载试飞状态点

序号	侧滑角	空速	初始电负载	飞机构型
1	5°、15°、25°	高、中、低	60%	起飞
2	5°、15°、25°	高、中、低	60%	巡航
3	5°、15°、25°	高、中、低	60%	进近
4	5°、15°、25°	高、中、低	60%	着陆

2.3 风险评估

在未采取降低风险的措施前,进行 RAT 飞行试验存在应急负载中断工作的风险。因为 RAT 正常工作后,飞机由 RAT 给应急负载提供能源,而试验时会引发 RAT 过载保护,这种情况会导致应急负载短暂失效,影响飞行安全。

为降低风险,可对 RAT 所带的应急负载的供电

线路进行改装,使这些应急负载试验时不由 RAT 提供电源,因此在出现应急 RAT 保护时,不影响飞机重要负载的正常工作。

3 试飞测试和改装

进行 RAT 带载能力试飞,主要应测试以下参数:飞机空速、侧滑角、重量、模拟负载大小、倾斜角、高度。为进行上述参数的测试,需有试飞测试系统,同时测试采集大量飞机安全相关的参数以保障飞行安全。

为完成 RAT 带载能力试飞,须得出相应的模拟负载,使 RAT 达到 100% 的加载。

为降低试飞风险,使 RAT 试飞时不会导致重要负载断电,须进行应急负载电源供电线路改装。线路改装应遵循以下原则:

- (1)主/辅助电源可用时,由主/辅助电源给应急负载供电,由 RAT 给模拟负载供电;
- (2)主/辅助电源不可用时,自动转换为由 RAT 给应急负载供电,模拟负载自动断开,不影响 RAT 供电;
- (3)临时电缆线路的改装和设备安装应确保可方便拆卸,在完成试验后应及时移除并恢复飞机正常线路。

4 试飞数据分析

4.1 RAT 平飞带载试验数据分析

整理每个试验点数据,将飞机空速转换为当量空速。将同一重量和构形下,绘制 RAT 空速对当量空速的平滑曲线。对于三种重量下的试验数据,可以绘制三条曲线。图 1 为巡航构型不同重量下的 RAT 空速对当量空速曲线。其它构形下试验结果类似。

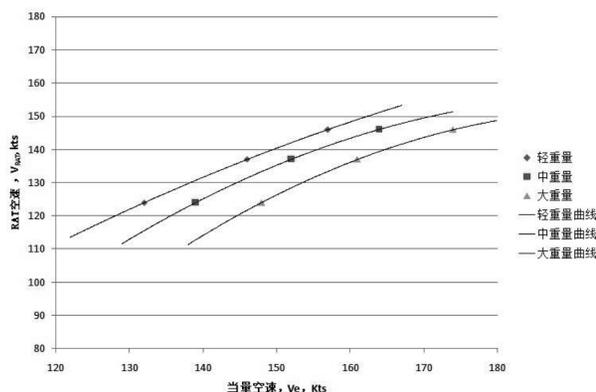


图 1 RAT 平飞带载试验曲线

(下转第 44 页)

方向舵的设计重量为 51kg,铁鸟试验件的实际重量为 60kg。下面是将模型惯量参数增大 20% 时的闭环仿真对比结果,如图 7 所示。

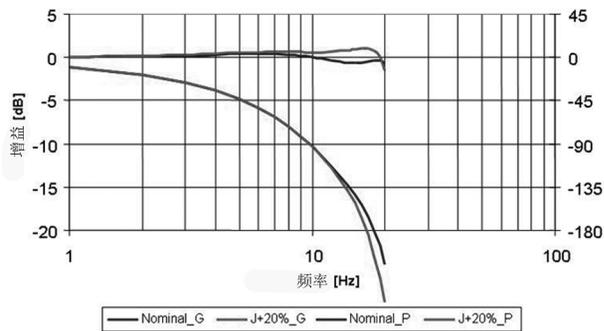


图 7 闭环频率特性对比仿真结果

从图 6 仿真结果与图 7 的仿真结果对比来看,当频率低于 8Hz 时,原惯量的幅频和相频特性与增大 20% 惯量后的幅频和相频特性基本一致,但当频率大于 8Hz 时,增大 20% 惯量后的幅频曲线明显高于原惯量的幅频曲线,说明在频率高于 8Hz 时,惯量对幅频特性影响较大,因此证明铁鸟试验的高频增益值过大是超重导致惯量过大造成的影响。

(上接第 5 页)

4.2 RAT 侧滑带载试验数据分析

整理每个试验点数据,根据 RAT 出厂的 RAT 空速与带载能力的关系,查找对应的 RAT 空速。绘制同一侧滑角和构形下的 RAT 空速对当量空速的平滑曲线。对于三种侧滑角下的试验数据,可以绘制三条曲线。图 2 为巡航构型下不同侧滑角的 RAT 空速对当量空速曲线。其它构形下试验结果类似。

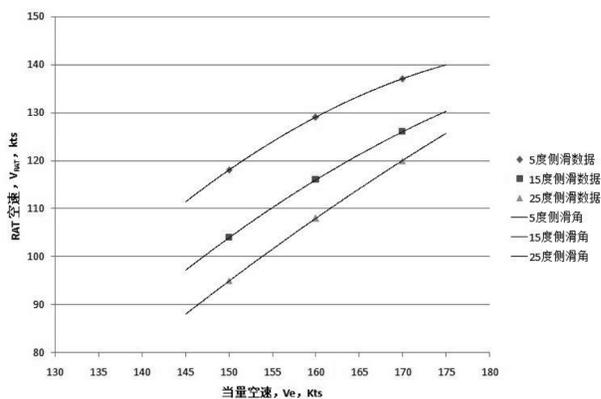


图 2 RAT 侧滑带载试验曲线

4.3 试飞结果

通过试飞,获得的主要结果为 RAT 空速与飞机空速的关系曲线(如图 1、2 所示)。该试飞结果可如下运用:对于稳定侧滑飞行,先根据空速按图 2 查对应的 RAT 空速值,然后以此空速值和飞机重量在

从相频曲线来看,在频率低于 10.7Hz 时,相频特性满足系统设计要求,但在高频段相位滞后较大。由于间隙,饱和等非线性特性影响系统的稳态误差,使系统的快速性和稳态跟踪精度下降,因此在系统以及试验安装时要考虑好这些非线性环节。

5 结论

根据以上模型仿真和铁鸟试验结果,可以看出该机方向舵作动系统在三个作动器分别在工作/旁通/断开模式时,开环频域特性满足稳定性设计要求,闭环频域特性满足带宽设计要求,达到了预期设计目标。

参考文献:

- [1] 王永,梁德芳.民用飞机电传飞行控制系统初探[J].航空标准化与质量,2008,227(5):24-28.
- [2] 浦传彬.民用飞机的乘坐特性[J].民用飞机的设计与研究,2000,1:1-2.

图 1 中查 RAT 空速大小,最后可以获得此时 RAT 带载能力;对于机动飞行,将飞机升力作为飞机重量来计算,可同理得到 RAT 对应的带载能力;将试飞曲线延伸,可以推导出在飞机失速附近时的 RAT 带载能力;也可推算出在平飞时,各重量下 RAT 带满载的最小速度;根据飞机应急负载大小,可以推导出飞机应急负载正常工作的最小速度;并可推出飞机 RAT 带特定负载下的最大侧滑角和空速。

5 结论

基于飞机供电型 RAT,研究了如何获得在各种飞行姿态下的 RAT 实际带载能力。本文设计了一种飞行试验方法,通过 RAT 平飞带载和 RAT 侧滑带载两部分试验,获得两组 RAT 空速与飞机空速的关系曲线,利用这些曲线,可推导出任意重量和任意飞行姿态下 RAT 空速,并最终获得飞机 RAT 的实际带载能力。

参考文献:

- [1] 吴晓辉,等.基于飞机发动机测试的电负载控制系统[J].航空制造技术,2011,3:81-84.
- [2] 孙乐成,等.某型冲压空气涡轮试验器测控系统设计与实现[J].计算机测量与控制,2007,15(6):701-702.