

民机APU典型安装构型的传力分析

上海飞机设计研究院 张发富 唐力 唐宏刚

[摘要]本文针对辅助动力装置(APU)的一种典型安装构型,通过ANSYS建立有限元模型,进行不同载荷条件下的传力分析。研究表明:安装杆系作为整体来固定APU,而不同杆各有分工,适当调整不同杆角度,对不同方向惯性过载和力矩进行有针对性的分担,可避免不合理的传力路径,有效的平衡各杆的载荷分配。

[关键词]辅助动力装置 冗余设计 载荷分配 构型优化 数值模拟

1.引言

作为现代民用客机中必备的机载系统,辅助动力装置(APU)为飞机提供电源和气源,能提供地面环控引气,支持主发动机,并发挥空中应急作用。APU(Auxiliary Power Unit)实际就是一台小型燃气涡轮发动机,为了将这台小发动机可靠地固定到飞机上,有必要对APU安装构型进行研究,确保飞机适航安全。

国外民机发展较早,波音、空客等在APU安装的工程应用已经很成熟,并形成了一些典型的安装构型;国内也有不少科研院所等在这方面都做了一些理论研究。本文对一种典型的安装构型进行受力计算,分析各杆在传力过程中发挥的作用,研究杆系角度对载荷分配的影响。

2.模型建立

在现役飞机的APU安装中,有一种典型3-2-2超静定构型,其结构并不复杂,但拥有适当的冗余度,在可靠承载的同时能确保重量较轻。本文重点研究该安装构型的静载传递,因此将APU本体简化为一个空心的圆柱体,也忽略隔振器弹性阻尼特性,应用ANSYS建立了APU安装结构的有限元模型,如图1。

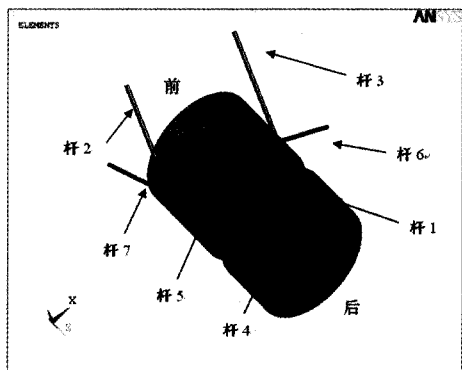


图1 APU 3-2-2构型的有限元模型

如图1所示,从机尾向机头看,模型中沿APU轴向与飞机航向一致为Z轴,竖直向上为Y轴,水平向右为X轴。APU本体通过左前、右前及后吊点进行悬挂安装。左前吊点由三根拉杆固定在机舱,后吊点和右前吊点两根杆悬挂于舱顶,七根拉杆组成了超静定的杆系结构。

在图1的七根拉杆中,杆1、杆2和杆3两端均采用了球铰连接。这类杆为典型的二力杆,只能承受沿轴向的载荷,本模型采用了Link单元,该单元每个节点只有3个自由度,即沿X、Y、Z方向的平移。

杆4、5、6、7上端为球铰与飞机连接,而下端与隔振器用双螺栓连接。因此这四根杆不能采用3自由度的link单元,而应采用6个自由度的Beam梁单元。同时隔振器与APU的连接段也采用了梁单元。在双头铰接杆与隔振器相接处也共用1个节点,相当于两者是一体的。杆单元的自由度在ANSYS中可以包含于梁单元,即在此处相当于杆单元的X、Y、Z方向平移自由度与梁单元耦合。但由于杆单元只提供这3个平动自由度,所以绕X、Y、Z方向转动的自由度没有被耦合,两者仍可发生相对转动。这种单元布置,可使得模型更好地模拟拉杆与机身、APU之间的连接情况。

模型中APU本体采用了实体单元Solid 45,其单元几何结构如图2所示。

3.设置边界条件

在进行计算前,需在ANSYS的Pre-process中,对该模型施加边界条件。

首先加约束,机舱安装耳片与七根拉杆是球铰接,需在上端约束其X、Y、Z三平移自由度,仅留三个方向转动;隔振器与APU本体之间通过锥形螺栓连接,只可绕Y轴相对转动,这里通过梁单元的节点耦合方法实现,用Coupling将三方向平移自由度和X、Z转动自由度耦合,仅留隔振器与APU之间绕Y轴的转动自由度。

然后加载,飞机起飞、着陆、各种机动飞行时形成APU本体的外载

荷,包含三方向加减速形成的惯性力,以及偏航、俯仰、滚转造成的绕APU重心的力矩。

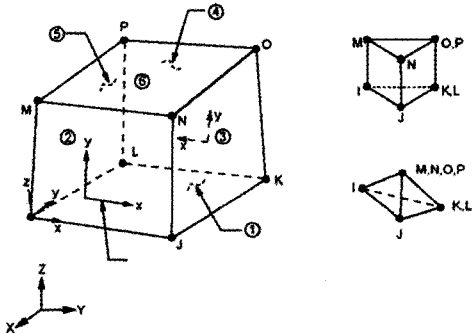


图2 Solid45单元示意图

为了分析七根杆各自的作用,先施加单方向受力。分析单载情况下各杆的贡献情况,然后再分析综合加载时的载荷分配。

(1)施加 F_x 载荷

在图1的APU模型中施加X向1000N的力,得到各杆的轴向力,如图3所示:杆7受力最大,说明杆7对X向的载荷传递贡献最大。

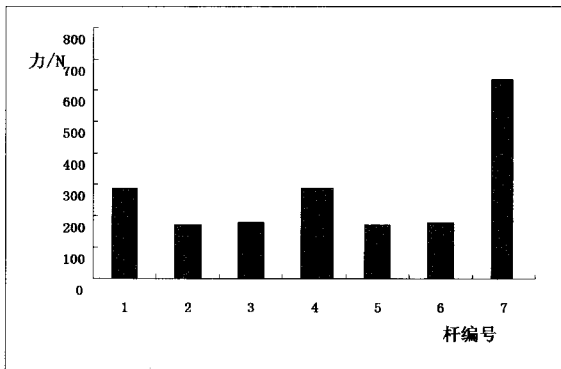


图3 $F_x=1000\text{N}$ 时各杆轴向力

(2)施加 F_y 载荷

在APU模型上,施加负Y向2000N的力,得到各杆轴向力,如图4所示:APU的垂向载荷通过2,3,5,6承担;1,4杆合起来分担了部分载荷,而横向7杆几乎没有任何贡献。

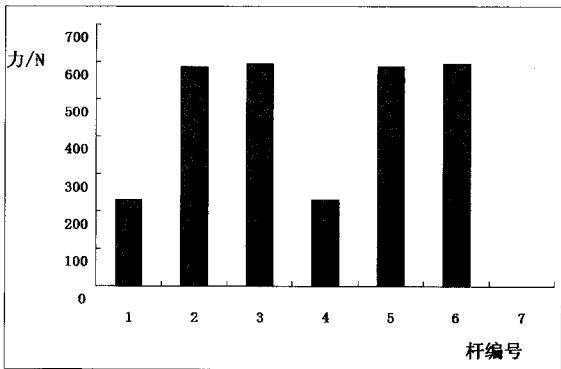
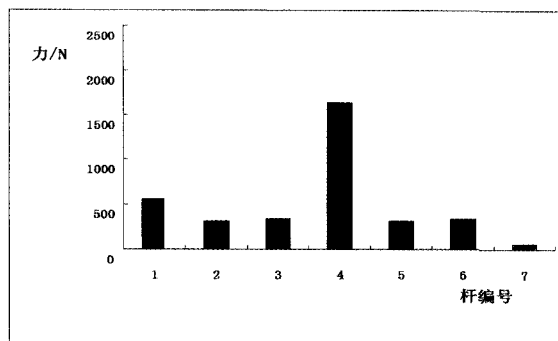


图4 $F_y=2000\text{N}$ 时各杆轴向力

(3)施加 F_z 载荷

在APU模型上施加Z正向2000N的力,得到各杆的轴向力,如图5所示:杆4受到很大的Z向力,但实际结构中,与杆1一样,杆4为垂向布置,主要用于承担Y向载荷,而不宜承受过大的Z向载荷,这将在下一步进行分析优化。

图5 $F_z=2000\text{N}$ 时各杆轴向力

4. 综合受载后结果分析

在施加以上 F_x 、 F_y 、 F_z 基础上,取两个边沿节点各施加100N获得扭矩,分别施加 M_x 、 M_y 、 M_z ,在六种载荷共同作用下,通过ANSYS求解计算得到如图6所示的应力分布云图,整体的受力比较均匀,拉杆是主要的受力部位。

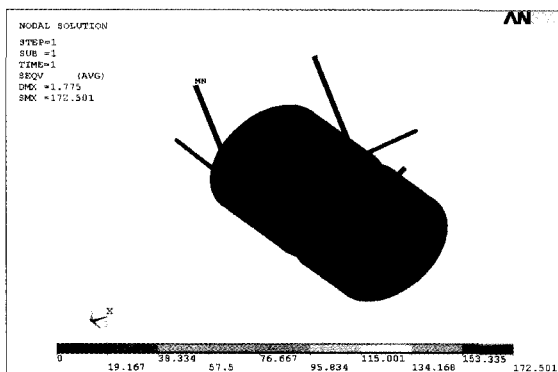


图6 模型等效应力分布云图

在ANSYS后处理中提取上端7个与尾舱连接点的支反力 F_x 、 F_y 、 F_z ,再求出其沿轴向的合力 F_{ax} ,如图7。

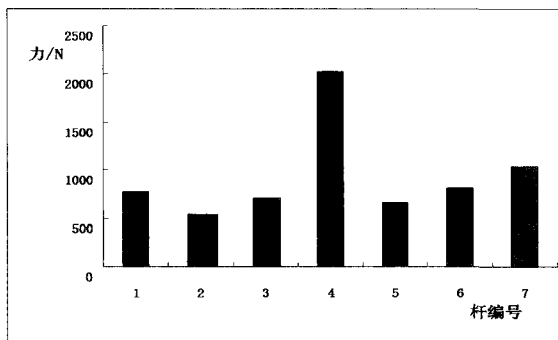


图7 综合受载荷时拉杆轴力

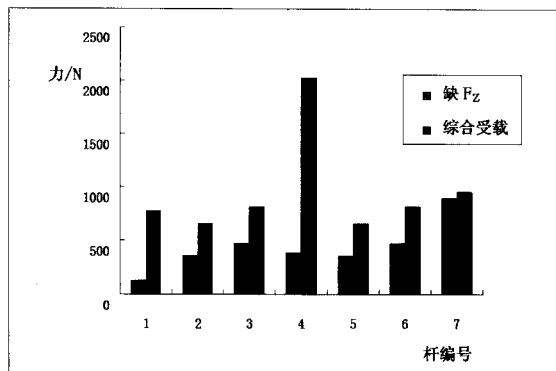
从上图7轴力看出,杆4受力明显偏大,因为该杆承受了很大的Z向力。这种情况是由杆系角度和载荷假设造成的,本模型一律假设杆系间45°交角用以分析,这样没有一根杆专门承担Z向受力,由于杆2、3是球接的二力杆,只能分担一小部分Z方向力;而4杆固接,被迫承受较大Z向力。

为此本文假设去除 F_z ,进行验证,如图8。

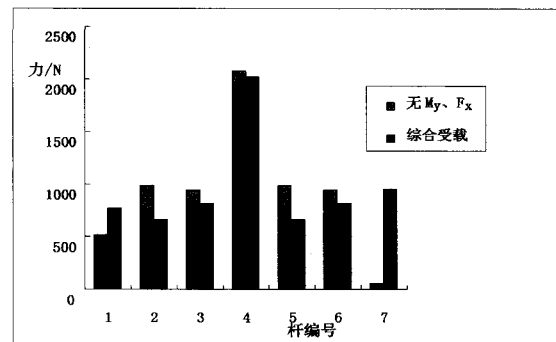
由图8可直观看出,去掉 F_z 后杆4上的轴力急剧减小,约为原来的17%,同时,与杆4位置相同的杆1的受力也明显降低,约为原来的18%,因此 F_z 的变动会造成杆系较大受力波动。

这样为了避免杆4、1承担航向(Z)载荷,实际设计可取消杆2、3与XZ平面的45°夹角,使这两杆与Z轴同向,专门承担频繁出现的航向载荷;同时将杆5、6转动至XY竖直面上,与杆1、4协同挂起APU重量,承

受垂向(Y)载荷。

图8 去除 F_z 前后拉杆轴力的对比图

另一方面,由图7也可看出,杆7受力亦较大,主要在于X向受载 F_x 和偏航力矩 M_y 。去掉 F_x 、 M_y 后杆7的轴力减小约90%,如图9所示。因此可减小杆7与X轴的45°夹角,使得杆7专门承担横向力,可减小横向力对其他杆的干扰。

图9 F_x 、 M_y 有无时杆轴力对比图

5. 结论

对于这一典型3-2-2构型,7杆作为一个整体承力,而不同杆义各有分工。为了有针对性地承受外载,需适当调整杆系角度,以充分发挥各自作用。

①侧向拉杆7主要承担横向载荷,应减小杆7与X轴夹角,使其更好地支撑横向的偏航载荷;

②可尽量使得杆2、3与机身航向平行,以有效分担APU的轴向载荷,避免对垂向固接杆造成较大弯矩,这对飞机起降加速减速时频繁的航向惯性力十分有效;

③杆5、6尽量调整至同一垂直面上,保证APU重量的挂接,同时与杆1、4配合,共同承担垂向过载、俯仰和滚转力矩。

本文根据载荷传递的需要,初步研究了杆角度调整后对传载的影响,实际设计中需依据真实载荷工况进一步调整角度,以平衡各杆的载荷分配。

参考文献

- [1]冯大庸主编.航空发动机设计手册(第14册):辅助动力装置及启动.北京:航空工业出版社,2000.11
- [2]施荣明.发动机安装结构动力学设计[J].应用力学学报,2001.9. Vol.18. SI p11~15.
- [3]张强,唐宏刚,李传鹏等.喷流速度对引射器特性和APU性能的影响[J].科技信息,2011.24
- [4]J. C. Snowdon. Vibration and Shock in Damper Mechanical System. New York: John Wiley&Sons, 1968
- [5]李东杰.大型民机辅助动力装置关键技术.中国航空学会2007年学术年会.动力专题25

(上接第388页) 阀门的1.5倍。

参考文献

- [1]徐滨士,马世宁,朱绍华等.表面工程与再制造工程的进展[J].中国表面工程,2001,14(1):8~14.
- [2]师昌绪,徐滨士,张平等.21世纪表面工程的发展趋势[J].中国表面工程,2001,14(1):2~7.
- [3]Berndt C, Larenia EJ. Thermal spray processing of nanoscale materi-

- als I-extended abstracts[J]. J Thermal Spray Technology, 1998, 7(3): 411~440.
- [4]Berndt C. Thermal spray processing of nanoscale materials II - extended abstracts[J]. J Thermal Spray Technology, 2001, 7(3): 147~181.
- [5]阎洪.金属表面处理新技术[M].北京:冶金工业出版社,1996: 40~42.
- [6]苏启.超音速火焰喷涂技术的发展及应用前景[J].钢铁研究学报, 1994.6(1): 99~102.