

舰船燃气轮机支撑系统结构设计及抗冲击计算分析

尹家录,王相平,赵祥敏,刘常青

(中航工业沈阳发动机设计研究所,沈阳 110015)



尹家录(1970),男,自然科学研究员,从事燃气轮机结构设计。

收稿日期:2011-04-25

摘要:介绍了舰船燃气轮机支撑系统的设计要求。设计了1种满足设计要求的支撑系统,主要包括主支撑、辅助支撑及防偏摆装置。经抗冲击计算分析,该支撑系统可满足强度设计要求。

关键词:舰船燃气轮机;支撑系统;结构;设计;抗冲击

Structure Design and Anti-shock Analysis of the Bracing System for Marine Gas Turbine

YIN Jia-lu, WANG Xiang-ping, ZHAO Xiang-min, LIU Chang-qing
(AVIC Shenyang Aeroengine Research Institute, Shenyang 110015, China)

Abstract: The design requirements of bracing system for marine gas turbine were introduced. The bracing system were designed to meet the design requirement, including main support, donkey support and anti-runout device. Anti-shock analysis results show that the bracing system satisfied the marine gas turbine requirements.

Key words: marine gas turbine; bracing system; structure; design; anti-shock

0 引言

燃气轮机通过支撑系统固定在基座上,其重力、振动等载荷直接通过支撑系统传至基座的承力构件上。支撑系统因燃气轮机的结构及使用要求的不同而各不相同^[1-3]。

本文主要介绍了某舰船燃气轮机支撑系统的设计要求和结构设计思路,以及抗冲击计算方法和结果。

1 设计要求

(1)支撑固定应牢固、稳定、振动小,能承受各种可能的作用力,包括机组自身的作用力和舰船行驶时产生的惯性力或冲击力;

(2)支撑系统应尽量靠近轴承座,以保证燃气轮机

转子的可靠固定和良好同轴度;

(3)燃气轮机支撑处的热膨胀应不受阻碍,如果不能满足其热膨胀要求,会导致燃气轮机与支撑之间的应力过大;

(4)应能满足燃气轮机工作时功率输出端与负载的同轴度要求和端面热膨胀位移量要求;

(5)满足抗冲击性能要求。中国舰船系统和设备的抗冲击性能研究和试验工作按《GJB730A 舰船燃气轮机通用规范》要求进行,本设计中抗冲击指标取垂向 5g,轴向 4g,横向 4g。

2 结构设计

某舰船燃气轮机的支撑系统模型如图 1 所示。该支撑系统由主支撑、辅助支撑、防偏摆、主机底座和排

气装置底座等部分组成。燃气轮机主机通过主支撑、辅助支撑、防偏摆,保证其合理地安装在底座上。

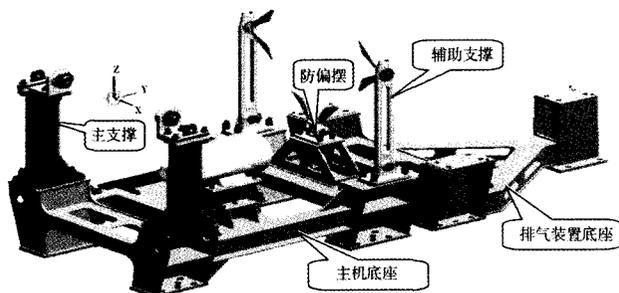


图1 支撑系统模型

2.1 主支撑

某型舰船燃气轮机采用功率前输出结构,考虑到输出轴与负载的对中要求较高,本设计将主支撑(死点)设置在靠近功率输出端的进气机匣截面处,进气机匣为冷端,工作时的热膨胀量可忽略,消除了燃气轮机热膨胀对输出轴的影响。同时燃气轮机前轴承通过进气机匣承力,主支撑选在进气机匣上可以缩短转子的承力路线,有利于转子稳定工作。

燃气轮机与主支撑的联接方式采用球铰接,主支撑与底座之间采用螺栓联接的完全约束,如图2所示。

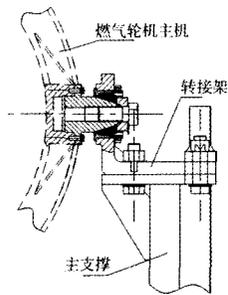


图2 燃气轮机与主支撑的连接

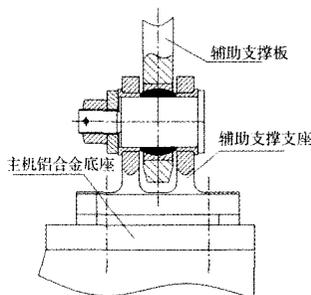


图3 辅助支撑与底座的连接

主支撑固定了燃气轮机的死点,因此需要承受其工作时的垂向力 F_z 、轴向力 F_y 和横向力 F_x ,对主支撑横截面的合理设计可以提高主支撑的抗扭能力。本设计中主支撑采用槽钢焊接而成,横截面为空心矩形。

2.2 辅助支撑

主支撑应限定燃气轮机的轴向位移,辅助支撑应允许燃气轮机有一定量的轴向位移,同时与主支撑共同作用,以保持燃气轮机中心线的稳定。

燃气轮机后轴承通过涡轮后机匣承力,因此将辅

助支撑固定在涡轮后机匣的安装边上。而涡轮部件为热端部件,工作时会产生轴向膨胀和径向膨胀,辅助支撑除了需要一定的轴向自由度外,还应有一定的横向自由度。

辅助支撑位于燃气轮机涡轮后机匣两侧,支撑系统中辅助支撑板与底座之间采用球铰连接,辅助支撑板与燃气轮机之间同样采用球铰连接,如图3、4所示。

2.3 防偏摆装置

在辅助支撑固定截面正下方设置了防偏摆装置,对燃气轮机侧向进行限位,降低了其机匣应力,提高了其抗冲击能力,延长了其使用寿命。

防偏摆导键通过精密螺栓固定在燃气轮机涡轮后机匣的安装边上,防偏摆定位座通过精密螺栓固定在底座上。在定位座上增加了调整顶丝,通过调整防偏摆定位座两侧的调整顶丝,使螺杆菌底部端面与导键的2个侧面贴靠,如图5所示。

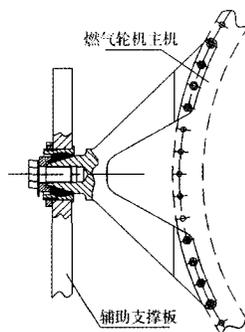


图4 燃气轮机与辅助支撑的连接

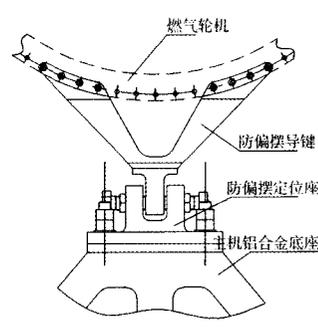


图5 燃气轮机防偏摆结构

3 抗冲击计算分析

3.1 分析方法

目前舰船用设备的抗冲击计算分析主要采用等效静态分析方法(静态G法)、谱分析(动力学设计分析方法 Dynamic Design Analysis Method, DDAM)和时域动力学分析等方法^[4]。

动力学设计分析方法建立在模态分析和冲击谱输入的理论基础上,利用模态质量和模态参与因子考虑各阶模态在基础激励下对冲击响应的贡献,可以考虑高阶模态的影响。DDAM的最大优势是节约计算资源,虽然受到一定限制,但目前仍是舰船设备抗冲击分析的主要手段,因此,对舰船燃气轮机进行抗冲击分析应主要采用该方法。

3.2 设计冲击谱

DDAM 是将设计冲击谱作为设备基础的冲击输入,设计冲击谱随舰船的类型、安装位置及设备各阶模态的模态质量的变化而变化。根据《GJB1060.1-91 舰船环境条件要求 机械环境》,可给出水面舰船不同安装位置的冲击加速度谱 A_0 和冲击速度谱 V_0 ,将 A_0 和 V_0 乘以相应系数,得到各方向的冲击谱设计值 A_a 和 V_a 。

舰船燃气轮机安装于水面舰船的船体部位,应使用如式(1)所示的冲击谱进行抗冲击分析

$$A_0 = 196.2 \frac{(17.01+m_a)(5.44+m_a)}{(2.72+m_a)^2}$$

$$V_0 = 1.52 \frac{5.44+m_a}{2.72+m_a} \quad (1)$$

式中: A_0 为加速度, m/s^2 ; V_0 为速度, m/s ; m_a 为第 a 阶模态所对应的模态质量, t 。

3.3 冲击载荷加载方法

冲击属于瞬态动力学分析,按《GJB150.18 军用设备环境试验方法 冲击试验》的规定,冲击脉冲的波形为后峰锯齿波,脉冲的持续时间为 11 ms,如图 6 所示。燃气轮机支撑系统实际承受的冲击载荷是 3 个方向的,加速度的峰值取 $100 m/s^2$ 。

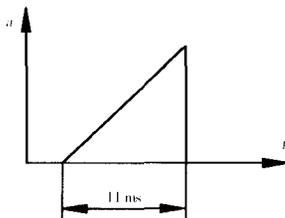


图 6 冲击脉冲波形

目前有 2 种方法(大质量法和惯性质量法)将冲击脉冲载荷施加到结构上。通过对比计算分析发现,在 ANSYS 的瞬态动力学分析中,采用大质量法和惯性质量法所得到的计算结果完全相同,因此,在对舰船燃气轮机进行冲击响应分析时可以根据实际情况任选其中 1 种计算方法。

4 抗冲击能力计算

4.1 计算方法

利用大型有限元结构分析软件 ANSYS 对某舰船燃气轮机支撑系统进行了计算。受计算规模限制,利

用 8 节点壳单元和 3 节点梁单元对该系统进行有限元建模,把燃气轮机主机作为刚体,仅考虑其质心位置,在该位置施加载荷,质心与主安装节、排气筒支承轴颈、排气筒定位块进行刚性约束。按抗冲击指标(垂向 5g,轴向 4g,横向 4g)把加速度转化为惯性力,按表 1 中的 4 种工况对其进行静力分析计算。计算时对支撑系统底座的 6 个安装面加全约束。

表 1 分析计算的 4 种工况

载荷工况序号	载荷工况定义		
	N_x	N_y	N_z
1	4	0	0
2	0	4	0
3	0	0	5
4	4	4	5

4.2 主支撑强度考核

主支撑作为燃气轮机支撑系统的“死点”,承受燃气轮机垂向 5g、横向 4g 及轴向 4g 的载荷。对 2 个考核截面(如图 7 所示)评估主支撑的强度。截面 1 为没有加强筋的位置,截面 2 为包含加强筋的主支撑根部。计算结果见表 2。从表中可见,主支撑满足强度要求。

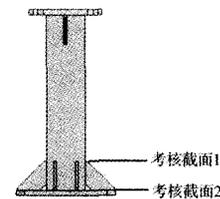


图 7 主支撑考核截面位置

表 2 主支撑的最大应力及屈服安全系数

载荷方向	考核截面	最大应力 /MPa	屈服安全系数
轴向	1	123.0	1.88
	2	77.9	2.96
横向	1	84.6	2.73
	2	65.2	3.54
垂向	1	5.8	40.00

4.3 辅助支撑强度考核

辅助支撑仅承受燃气轮机的垂向 5g 载荷。在评估其抗冲击强度时,对其面积最小的截面进行校核。经考核,辅助支撑的最大应力为 7.4 MPa,屈服安全系数为 61,可见,辅助支撑满足强度设计要求。

4.4 防偏摆的强度计算

防偏摆仅承受横向 4g 载荷,其强度计算结果如图 8 所示。根据计算结果可知,防偏摆(下转第 33 页)

4 实例测试

以简单的导管为例,对软件的准确性进行测试。在计算过程中,需设置的参数见表1。

表1 参数设置

粗糙度 /mm	流体类型 (滑油)	介质温度 /°C	出口背压 /kPa	流量 / (L/min)
0.0016	4050号	75	714.75	51.38

分析后即得到各节点压力,与商用软件 Flowmaster 的计算结果进行对比,见表2。各节点名称可以在UG模型图中标示,如图8所示。

针对此算例,对比本软件和 Flowmaster 软件的计算结果,其最大误差为0.3%。

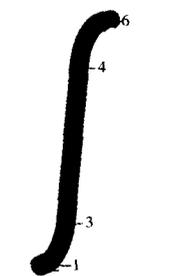


图8 测试算例

表2 计算结果对比

节点	计算压力 /kPa	Flowmaster 结果/kPa	节点	计算压力 /kPa	Flowmaster 结果/kPa
NB_2 (进口)	724.36	722.57	NI_4	718.04	716.77
NI_1	724.14	722.02	NI_5	714.91	714.94
NI_3	721.01	720.52	NB_6 (出口)	714.75	714.75

(上接第14页)装置的薄弱部位在防偏摆定位座及固定它的铝合金底座上,最大应力值为116 MPa,可满足强度要求。

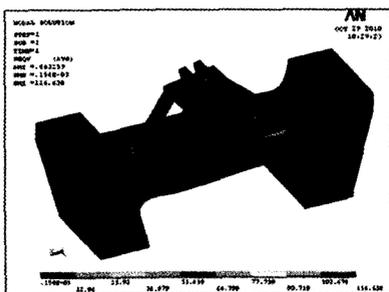


图8 防偏摆的等效应力

5 结束语

- (1)对某型舰船燃气轮机的支撑系统进行了设计分析,介绍了主、附支撑及防偏摆的设计要点;
- (2)介绍了舰船燃气轮机抗冲击理论计算方法,目前常用DDAM方法;
- (3)对某型舰船燃气轮机支撑系统进行了抗冲击

5 结论

- (1)利用UG二次开发技术,完成了管路流阻分析CAE软件与UG NX3.0的集成,实现管路系统在线流阻分析。
- (2)开发了软件图形界面、UG管路元件几何信息提取技术及管路系统拓扑信息提取技术、UG软件与FOCUSS软件的数据接口,实现计算结果处理及显示。
- (3)测试表明,软件能够对在UG NX3.0平台下设计的管路进行流阻分析,分析流程简单高效,有助于提高管路设计效率,降低设计成本。

参考文献:

- [1] 李中祥,江和甫,郭迎清.航空发动机管路系统数字化设计[J].燃气涡轮试验与研究,2006,8(3):47-52.
- [2] 谌祖辉,侯志滨,吴占阳.UG软件二次开发中MFC调用方法研究[J].机床与液压,2006(5):181-186.
- [3] 黄曙荣,秦珂,韩冻冰.UG二次开发中外部数据访问方法研究[J].盐城工学院学报,2007,6(2):15-17.
- [4] 芮岳峰,井维峰.基于UG的自动化虚拟装配系统的研究与开发[J].机械制造与自动化,2007(5):18-20.

计算,结果表明可满足强度要求。

参考文献:

- [1]国防科学技术工业委员会.GJB730A-1997.舰船燃气轮机通用规范[S].北京:船舶工业总公司,1997.
- [2]尹家录,陈亮.国内外燃气轮机承力和安装系统设计初步研究[C]//中国航空学会第六届轻型燃气轮机学术交流会议论文集.沈阳:沈阳发动机设计研究所,2009.
- [3]国防科学技术工业委员会.GJB150.18-1986.军用设备环境试验方法冲击试验[S].北京:科工委军标中心,1986.
- [4]尤国英,黄飞.燃气轮机底座抗冲击非线性计算分析[J].热能动力工程,1996,(S1):50-52.
- [5]Luck D L. Extending use of marine gas turbines through application of the LM2500+ [C]//the International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exhibition.Orlando,1998.
- [6]侯戈.美国LM2500舰船燃气轮机技术解析[J].现代兵器,2009(1):27-36.
- [7]Parry R W, Stauffer M. USN land based testing of the WR21 gas turbine [C]//Gas Turbine Society of Japan Indianapolis. Indianapolis,Indiana,1999.