

液氮深冷方法在解决运载器 不锈钢螺钉咬死问题上的应用

刘立新 柳海龙 吴洁 宋漪萍

(北京宇航系统工程研究所, 北京 100076)



摘要: 为解决某运载器伺服机构曲柄与发动机游机摆轴不锈钢连接螺钉“咬死”问题, 通过对不锈钢材料在液氮深冷条件下的特性分析, 提出了“液氮深冷”的拆卸方法。利用“液氮深冷”方法, 实现了在发动机游机摆轴螺纹完好的情况下, 顺利地将伺服机构曲柄连接螺钉分解下来, 确保了某运载器的按时出厂, 避免了重大经济损失的发生。

关键词: 液氮; 深冷; 不锈钢; 螺钉; 咬死

Application of Liquid Nitrogen Cooling Method to Thread Galling of Stainless Steel Fasteners on Launch Vehicles

Liu Lixin Liu Hailong Wu Jie Song Yiping

(Beijing Institute of Aerospace System Engineering, Beijing 100076)

Abstract: This paper studies the low-temperature mechanical properties of stainless steel at cryogenic conditions and offers a new liquid nitrogen cooling approach for thread galling on stainless steel fasteners. The liquid nitrogen cooling method has been applied to solve the thread galling problem in fastening screw which connected the servomechanism crank and the vernier engine on a launch vehicle. The screw was removed with full protection of the internal threads, which also protected the pendulous axis of the vernier engine. The application of the liquid nitrogen cooling method ensures the on-time completion of the launch vehicle, therefore avoiding potential economic loss.

Key words: liquid nitrogen; cryogenics; stainless steel; screw; thread galling

1 引言

某运载器在总装厂完成出厂测试后, 运载器准备运往发射场完成飞行任务。按常规流程, 运载器出厂前需将其上安装的伺服机构下箭装箱运输。就在伺服机构拆卸下箭的过程中出现了异常情况, 某分机伺服机构曲柄与发动机游机摆轴的连接螺钉出现了“咬死”问题。解决伺服机构曲柄与发动机游机摆轴连接螺钉“咬死”问题的方案, 需保证发动机游机摆轴上的连接螺纹不能出现损坏, 否则必须将发动机分解, 重新更换游机, 再重新完成总装测试, 这将造成重大经济损失。为解决此咬死问题, 开始时采用了润滑剂

浸泡、打孔、注入润滑剂的方法, 均无法松动伺服机构连接螺钉。在经过仔细研究不锈钢材料的特性等后, 提出了“液氮深冷”的拆卸方法。利用“液氮深冷”方法在保证螺纹完好的情况下, 顺利地将伺服机构曲柄连接螺钉分解下来, 确保了运载器的按时出厂, 避免了重大经济损失的发生。

2 问题的发现

某运载器在总装厂完成出厂测试后, 在拆卸伺服机构时, 发现连接伺服机构曲柄与发动机游机摆轴的不锈钢内六角螺钉无法松动。具体情况为: 操作人员

作者简介: 刘立新 (1968), 高级工程师, 飞行器设计专业; 研究方向: 运载器电气系统设备安装设计。

收稿日期: 2018-01-04

用内六角扳手朝松动方向施力,在略有松动后,就拧不动了。再往拧紧方向施力,略有松动后,也拧不动。随后,再朝松动和拧紧两个方向施力,均拧不动。试用加长力臂的内六角扳手,仍拧不动,判定伺服机构螺钉与游机摆轴发生“咬死”现象。

3 原因分析

3.1 连接设计情况

该处连接如图1、图2所示。游机发动机摆轴的材料为不锈钢00Cr15Ni6Nb,伺服机构曲柄螺钉材料为不锈钢0Cr17Ni4Cu4Nb。

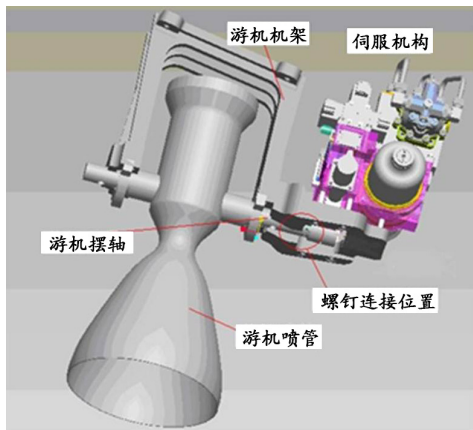


图1 螺钉连接在游机和伺服机构上的位置三维图

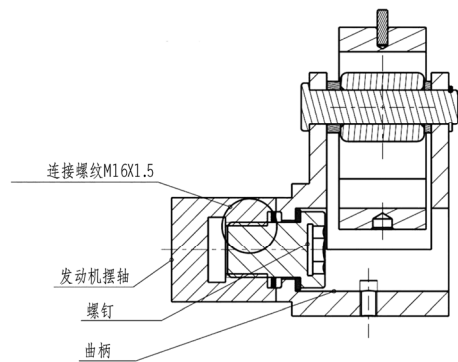


图2 伺服机构与游机连接剖面

3.2 咬死原因分析

选择伺服机构曲柄安装螺钉材料时,没有考虑到发动机摆轴的材料也是不锈钢。不锈钢材料较“粘”,若不锈钢螺钉螺纹的接触表面粗糙度过高时,拧紧过程中的摩擦力作用产生局部应力集中,导致在应力集中部位存在微观弹性变形和塑性变形,发动机摆轴螺纹应力不均匀分布和尺寸累积偏差等因素导致促使

拧接力矩增大,局部产生宏观变形,使螺纹在高温和高压应力作用下发生“咬死”现象。

4 措施研究及实施情况

为保证发动机摆轴螺纹完好,经过仔细分析,提出“液氮深冷”的拆卸方法。

4.1 液氮深冷方法的机理分析

a. 在液氮(-196°C)深冷条件下,螺钉直径会微量缩小。

计算螺钉直径尺寸的变化公式如下:

$$\Delta d = \alpha \cdot \Delta T \cdot d^{[1]} \quad (1)$$

式中: Δd ——螺钉直径的变化量, mm; α ——线膨胀系数, $^{\circ}\text{C}^{-1}$; ΔT ——温度的变化量, $^{\circ}\text{C}$; d ——螺钉直径, mm。

液氮的温度为 -196°C , 厂房的环境温度为 20°C , 不锈钢的线膨胀系数为 $16.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ^[2], 螺钉直径为16mm, 代入式(1):

$$\begin{aligned} \Delta d &= 16 \times 10^{-6} \times (20 - (-196)) \times 16 = 0.055296 \text{ mm} \approx 55.3 \mu\text{m} \end{aligned}$$

求得在液氮的冷冻下, 螺钉直径的缩小量约为 $55.3 \mu\text{m}$ 。

b. 在液氮深冷条件下, 内螺纹的尺寸不变或微量变大。

由于是内螺纹, 并且在一个刚性很大的结构上, 在对螺钉局部液氮速冷的情况下, 内螺纹的尺寸不变或微量变大。

c. 在液氮深冷条件下, 不锈钢的“粘”性降低、强度提高。

综合以上, 在液氮深冷的情况下, 螺钉与内螺纹的间隙变大, 同时在液氮深冷条件下, 不锈钢的“粘”性降低、强度提高。基于以上原因, “液氮深冷”拆卸方法是可行的。

4.2 实施情况

使用医用液氮喷射设备, 快速向连接伺服机构曲柄与发动机游机摆轴的不锈钢螺钉头部的内六角孔处喷射液氮约600ml, 然后用内六角扳手再加上力臂加长工装对螺钉加力, 螺钉松动, 继续转动螺钉, 直至螺钉顺利拆卸下来。经仔细测量、检验, 确认发动机游机摆轴上的内螺纹基本完好, 可再次安装使用。

(下转第16页)

5 结束语

“液氮深冷”方法成功地解决了某运载器伺服机构曲柄与发动机游机摆轴不锈钢连接螺钉“咬死”问题，确保了运载器的按时出厂，避免了重大经济损失的发生，为其它不锈钢紧固件“咬死”问题的解决提供了借鉴。

参考文献

- 1 成大先，王德夫，姬奎生，等. 机械设计手册（第1卷）（第六版）[M]. 北京：化学工业出版社. 2016
- 2 闻邦椿，张义民，鄂中凯，等. 机械设计手册（第1卷）（第5版）[M]. 北京：机械工业出版社. 2010