

飞机燃油箱接近口盖螺纹紧固件特殊拆装技术研究与应用

姚永凯

(上海民航职业技术学院 上海 200120)

摘要: 在民航飞机的日常检查维护中, 燃油箱接近口盖拆装属于例行工作, 但在口盖拆装过程中, 常常由于螺纹紧固件锈蚀或工具使用不正确造成紧固件十字槽口损坏或螺丝刀头断裂, 最终需破坏性拆除紧固件, 不仅给维修工作造成不便, 更给燃油箱防火安全带来了隐患。本文以波音 737-300 飞机燃油箱接近口盖螺纹紧固件为研究对象, 采用有限元仿真技术分析螺丝刀头断裂与螺丝刀头、螺栓两者同轴偏离度的关系, 根据数值模拟的运算结果, 提出优化拆装工具的设计方案, 避免维护任务中螺纹紧固件槽口损坏或螺丝刀头断裂的情况发生, 以提高工作效率和经济效益, 保证飞机安全。

关键词: 飞机燃油箱接近口盖螺纹紧固件; 有限元分析; 工具设计与优化

0 引言

油箱起火或爆炸严重影响航空器安全, 而安全是民航事业快速发展的生命线。从 1960 年以来, 全球先后共发生 18 起飞机燃油箱爆炸事故, 共造成 542 人遇难。因此加强对油箱结构的检查, 消除引发油箱爆炸或起火的隐患, 对航空器地面安全有重要的意义。

在民航飞机日常检查和维护工作中, 燃油箱接近口盖螺纹紧固件拆装属于例行工作, 飞机维修手册及航空器维修基本技能教材中对航空螺纹紧固件的常规和特殊拆装方法进行了详细的梳理, 但是手册或教材中列举的方法对于燃油箱系统紧固件拆卸并不完全适用。不适用性主要表现在以下两方面: 第一, 借助气动工具拆除紧固件时, 使用过程中会产生大量的热, 在油箱外部区域可能出现点火源隐患, 对燃油箱安全造成威胁; 第二, 借动手动工具拆除紧固件时, 该类工具在使用过程中易造成紧固件十字槽口损坏或螺丝刀头断裂的情况, 既降低工作效率又浪费航材。

虽然飞机维修手册对燃油系统紧固件拆装有明确的要求和限制, 但是并没有技术文件根据相关要求做出具体指导方案。实际拆卸工作中, 一旦燃油箱接近口盖螺纹紧固件十字槽口损坏, 工作者需要借助气钻进行破坏性拆除, 气钻在燃油箱外部区域产生大量的摩擦热, 形成潜在引燃源, 威胁油箱安全。

本文采用有限元仿真技术分析施工过程中螺丝刀头断裂或紧固件十字槽口损坏的根本原因, 优化拆卸工具和工艺。

1 燃油系统点火源分析

1.1 燃油系统潜在点火源

民用航空器燃油的燃烧和爆炸事故一直威胁着飞机的飞行和地面安全, 局方和航空运输领域的相关企业都致力于提高飞机燃油系统安全性。CCAR25.981(d) 中指出: 必须制定必要的关键设计构型控制限制(CDCCL)、检查和其他程序, 以防止燃油箱系统内形成引燃源; 防止油箱易燃性暴露时间超过规定的允许值; 防止任何降低易燃性措施的功能和可靠性的降低^[1]。

AC25.981-1C 认为燃油箱内的点火源主要有五种表现形式, 分别为电弧和电火花、细丝加热电流、摩擦火花、高温表面引燃或自燃、静电^[2]。可能的点火源如表 1 所示。

表 1 潜在点火源

点火源位置	点火源类型
燃油箱内部区域	燃油泵、导线线缆、传感器、阀门、静电等
燃油箱外部区域	燃油箱结构外表面发热部件, 比如引气防冰管路、照明灯等
外界环境	闪电、高强度辐射场等

1.2 燃油接近口盖拆卸时存在的问题及分析

飞机油箱的主要作用是存储飞行所需的燃油, 油

箱按功能不同可分为主油箱、辅助油箱和特殊油箱。主油箱是飞机上直接向一台或多台发动机供油，并且在每次飞行过程中持续保持所需燃油储备的油箱。主油箱包括中央主油箱和大翼主油箱，机务工作者在航线或定检中对油箱结构内部进行检查时，需要拆除油箱结构底部的接近口盖。

本文以 737-300 机型大翼燃油主油箱接近口盖螺纹紧固件作为研究对象进行分析，接近口盖紧固件如图 1 所示。

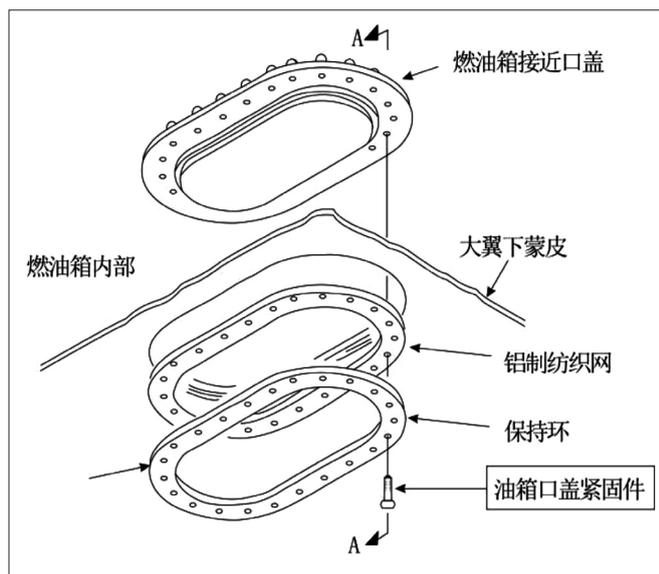


图 1 大翼主油箱接近口盖紧固件

根据 737-300 机型 AMM 和 IPC 手册可知，油箱接近口盖螺纹紧固件是直径 0.25inch (1inch=2.54 cm) 的钢制十字槽口螺栓，安装力矩值 50lbf*in (1lbf*in=0.113Nm)^[3]。机务人员在拆卸时，由于工具使用不合理、拆装方法不正确、紧固件螺纹锈蚀等原因，容易造成十字螺丝刀头断裂或紧固件十字槽口损坏等情况的出现，十字槽口一旦损坏，工作人员不得不借助气钻对紧固件进行破坏性拆除，而气钻的高速旋转会在油箱结构表面产生大量的摩擦热，形成潜在点火源，降低了飞机燃油系统的安全性。

参考实际工作经验进行分析得出，十字螺丝刀头断裂或紧固件十字槽口损坏是由于螺丝刀与螺栓端面不垂直导致的，螺丝刀中轴线与螺栓中轴线产生偏转夹角，此时如果要拆除螺栓，需要增加施加在螺丝刀上的转矩，转矩变大会进一步导致螺丝刀和螺栓内部应力变大。由于航空螺栓强度较大，应力会首先超出螺丝刀的许用应力，导致螺丝刀头部断裂，螺丝刀头部断裂后，同时对螺栓十字槽口产生

磨损，多次的重复拆装工作最终导致螺栓十字槽口完全损坏，工作者不得不用气钻的方式对紧固件进行破坏性拆除。根据以上分析，防止螺栓十字槽口损坏的关键是避免螺丝刀的断裂，也就是尽量保证螺丝刀与螺栓端面垂直，螺丝刀中轴线与螺栓中轴线同轴。

2 燃油箱接近口盖螺纹紧固件螺丝刀头有限元分析

2.1 有限元模型分析流程

计算机辅助工程 CAE 已成为产品设计研发中不可或缺的手段或方法之一，特别在节约成本、优化设计质量方面越来越显示出它的重要性。本文主要使用 ANSYS Workbench 线性静力学分析模块对螺丝刀头进行受力分析。结构静力学分析基于六种假设，分别是连续性假设、均匀性假设、各向同性假设、弹性假设、小变形假设，以及缓慢加载和卸载假设。

忽略随时间变化的载荷、惯性力和阻尼，静力学分析方程为：

$$[K]\{u\} = \{F\}$$

考虑惯性力，忽略阻尼，动力静态分析方程为：

$$[K]\{u\} = \{F\} - [K]\{\ddot{u}\}$$

借助有限元工具，本文的分析流程如图 2 所示。

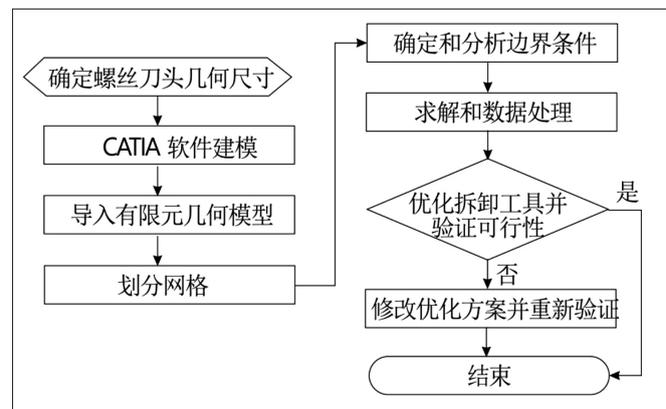


图 2 分析流程

2.2 螺丝刀头静力学分析

在三维建模 CATIA 软件中建立十字螺丝刀头实体模型，通过 ANSYS 提供的接口导入模型。为避免网格划分出现问题，建模时对模型进行了简化，去掉一些不必要的细节，比如倒角等。经过不断调试和修改后，十字螺丝刀头实体模型和以六面体为主

导的网格模型分别如图3、图4所示。



图3 螺丝刀头实体模型

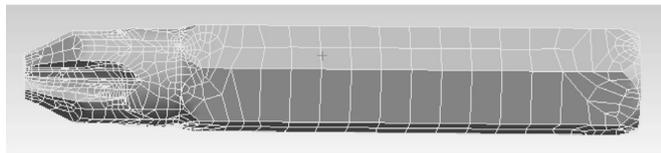


图4 螺丝刀头网格模型

网格划分成功后，边界条件设定如下：刀头端面施加固定约束，插入 connection-joint，连接类型选择 body-ground（体对地面），类型选择 Revolute，通过修订坐标系，只设定螺丝刀轴线方向上有旋转自由度。插入 Joint-load 载荷，选择前面定义的 Joint，载荷类型选择 Moment，载荷大小 M 按照以下公式设定：

$$M = 50(\text{lbf} \cdot \text{in}) / \cos A$$

式中： A — 螺丝刀轴线和紧固件轴线的偏离角。

边界条件设定完成后，在计算结果栏中插入等效应力云图，有限元软件分析项目模型树如图5所示。

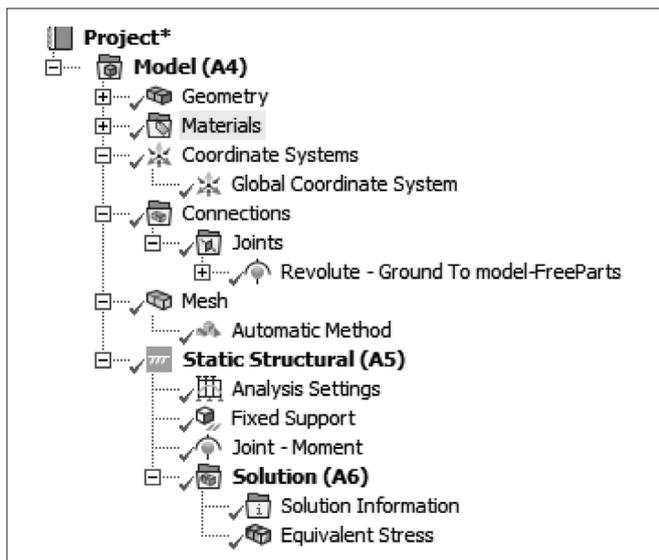


图5 项目模型树

2.3 分析结论

为更好地分析对比，对模型赋予软件中自带的两种材料——不锈钢和结构钢，施加的转矩按 $50\text{lbf} \cdot \text{in}$

计算，螺刀头与紧固件中轴线偏转角度依次设定在 $1^\circ \sim 10^\circ$ ，角度增量 1° ，对计算数据进行处理后，结果参考图6，螺丝刀头部应力分布云图参考图7。

通过图7可以看出，最大应力分布在螺丝刀头端

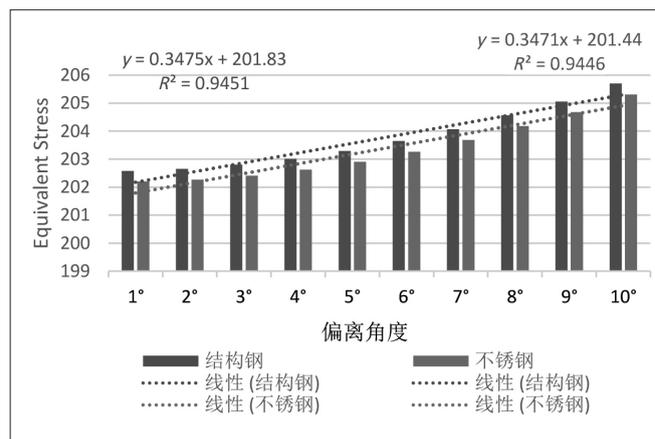


图6 偏离角 - 应力柱状图

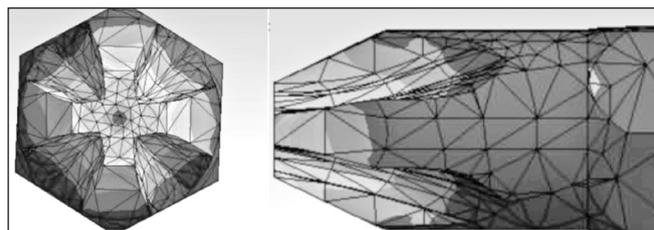


图7 应力分布云图

面直角位置，当此处应力超过材料许用应力时，螺丝刀头断裂。

根据图6中，结构钢材质螺丝刀头结构内部最大等效应力随偏转角度变化的柱状图，参考计算数据，可建立以下线性回归方程：

$$y = 0.3475x + 201.83$$

$$R^2 = 0.9451$$

式中： x — 代表偏转角；
 y — 最大等效应力。

根据图6中，不锈钢材质螺丝刀头结构内部最大等效应力随偏转角度变化的柱状图，参考计算数据，可建立以下线性回归方程：

$$y = 0.3471x + 201.44$$

$$R^2 = 0.9446$$

以不锈钢材质的螺丝刀头为例，材料许用应力是 207MPa ，带入到上面的线性回归方程中，计算得到偏转角是 16° ，将该角度带入到有限元软件中计

算,得到最大等效应力约为210MPa,经软件反复计算验证,许用应力对应207MPa对应的偏转角度约为 12° ,与线性回归方程的计算结果偏离 4° ,但是线性回归方程仍具有参考价值。

2.4 燃油箱接近口盖螺纹紧固件工具优化设计

工作者对燃油箱接近口盖拆除时,首先要选用螺丝刀类手动工具,对于一些比较难以拆卸的紧固件,通常会选用压板拆钉器。压板拆卸法是利用飞行器本身结构孔,使用压板(图8)将拆卸工具与紧固件紧密咬合,使拆卸工具在拆卸过程中不易滑脱,从而完成拆卸。由于压板拆钉器利用杠杆原理,对紧固件十字槽口压力较大,当水平支撑杆和螺杆不能保证 90° 垂直时,使用压板拆钉器就非常容易造成螺丝刀头断裂或紧固件十字槽口磨损等情况的出现。

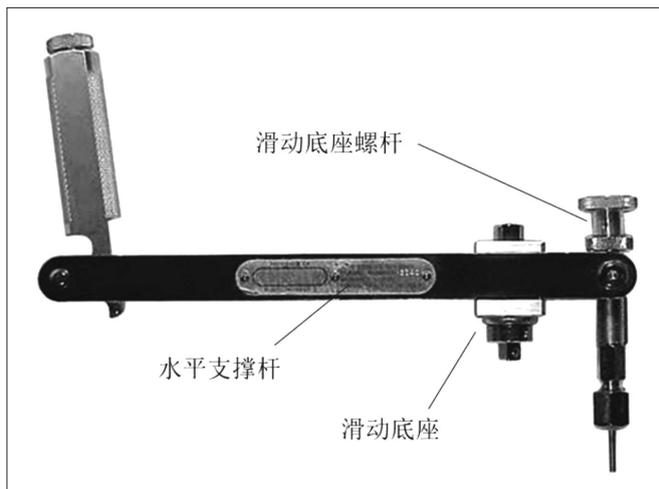


图8 压板拆钉器

根据前面的计算和分析,对于不锈钢材质的螺丝刀头,使用压板拆钉器拆除紧固件时,只要保证十字螺刀头与紧固件的中轴线偏离角度在 12° 以内即可,也就是保证压板拆钉器水平支撑杆和螺杆的垂直度偏离在 12° 以内即可,工具优化方案如图9所示。建议在螺杆位置夹装角度尺,在水平支撑杆位置夹装直尺,当直尺与角度尺中心对齐时,水平支撑杆和螺杆垂直,考虑到压板拆钉器支撑位置和需要拆卸的螺栓位置较近,此时可认为十字螺刀头与紧固件的中轴线同轴。实际操作时,如果有些位置

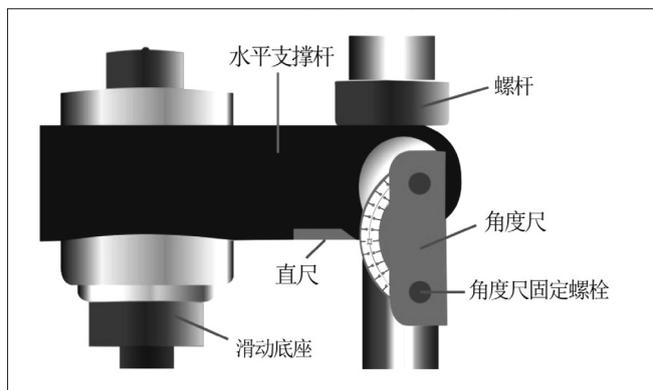


图9 工具优化方案

不能保证直尺与角度尺中心对齐,结合计算结果可知,只要保证偏离度在 12° 以内,就不会对螺丝刀头或紧固件航材造成损坏。

3 结语

本文以737-300燃油箱口盖螺纹紧固件为研究对象,结合实际工况,建立有限元数值模拟模型,计算出螺丝刀头与紧固件轴线的偏离角对螺丝刀头断裂的影响,根据有限元计算数据建立了偏离角与应力的线性回归方程,预测了两者之间的变化关系。最后,结合运算结果,对压板工装进行优化设计。本文选题源于实践,成果服务于生产,不但有利于解决航空公司或维修单位在飞机检修中遇到的实际问题,而且有利于丰富飞机维修教学实训课程内容和培养学生的实践技能。

参考文献:

- [1] 魏书有,毛可毅,于学民.飞机燃油箱系统关键设计构型控制研究[J].民用飞机设计与研究,2012(04):8-11.
- [2] 张铁纯,郭江,李志宝,等.飞机燃油箱检修口盖雷电引燃源防护研究[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2020,43(01):70-74.
- [3] Boeing737 Aircraft Maintenance Manual[Z].

作者简介:姚永凯(1989.04-),男,汉族,山东济南人,硕士研究生,助教,研究方向:飞机维修实训。