

现代高寿命飞机对结构连接技术的要求

标准规范处 袁红璇

[内容摘要]简要介绍了飞机制造中的主要连接方法,并浅析了影响连接寿命的主要工艺因素和现代高寿命飞机对连接技术的新要求及提高飞机连接疲劳寿命的主要途径。

关键词 飞机结构 疲劳寿命 连接技术

1 概述

目前,飞机结构件采用的主要连接方法是机械连接,一架大型飞机上大约有 150 万~200 万个铆钉和螺栓。为了满足现代飞机高寿命的要求,国外许多著名飞机制造商花费大量的人力、物力和财力对其进行旨在提高飞机连接接头寿命的研究工作,不断提高其竞争能力和市场占有率,赢得了经济效益。

目前,世界上许多先进飞机的疲劳寿命已达到八万飞行小时,甚至更高一些。为了制造高寿命的飞机结构,必须通过设计、材料、工艺和使用维护等多方面的共同努力方可达到。因此,制造高寿命的飞机结构是一项非常复杂的系统工作。

据国外文献介绍,在第二次世界大战期间,约有 20 架轰炸机因交变应力的作用而在空中破坏。近几年来这类事件仍时有发生。研究表明,其灾难发生的原因是在紧固件孔处产生疲劳裂纹,并扩展到密封座舱的受力结构件上而产生的。因此,研究和改善飞机结构件的连接对提高飞机寿命显得尤为重要。

2 飞机结构连接方法简介

一架飞机是由许许多多的零件、组件、部件和成品组成的。因此,在飞机结构制造过程中不论是零件、组件、部件的装配,还是电缆和成品都需要采用各种不同的连接方法和连接件进行连接。在飞机的制造过程中有许多连接方法,如:铆接、螺接、胶接、焊接及胶接点焊等,本文仅对飞机制造过程中应用最广泛的铆接和螺接予以简述。

2.1 铆接和螺接的工艺特点

飞机制造过程中大量地采用了铆接和螺接。铆接是不可拆卸的连接,多用在厚度小于或等于 $3.5d$ 的夹层厚度上(d 为铆钉的直径)。如果夹层过厚,铆钉杆

在铆接时可能产生纵向失稳,不能全部传递设计要求的计算载荷。螺接一般用在夹层厚度大于 $3.5d$,其结构在使用过程中需要拆卸以及需要传递大载荷的部位上。在传递大载荷的不可拆卸的结构上,常常也采用螺栓连接。

铆接和螺接的主要优点在于:它们已是一种成熟工艺,并且人们对它们已作了充分的研究,并制定了比较完善的制造工艺。另外大量的实践证明,用这两种连接方法连接的各种结构件在实际使用中是可靠的,并且在生产和使用过程中易于检测。

然而,铆接和螺接也存在着一些不足之处,例如,在制出铆钉孔和螺栓孔后,对结构的有效工作面有了一定的削弱,并且孔周围易出现应力集中,从而降低了结构的静强度和抗疲劳性。另外,这两种连接方法的安装工作强度大,螺栓头和螺母、铆钉头和铆钉墩头也会增加飞机的重量。

2.2 铆接和螺接的主要受力形式

在飞机结构制造过程中,按照铆接和螺接的主要受力情况来分,90%以上的铆接和螺接均是在受剪力的情况下工作的。按铆接和螺接的受力形式来分,95%以上是单个受力点形式的点状连接。

2.3 铆接和螺接的典型连接形式

飞机结构中铆接和螺接接头主要是在剪力的作用下工作。其主要连接形式有:单剪搭接、带垫板的单剪搭接、双剪或多剪接头连接及长桁蒙皮连接。

单剪搭接主要用于内部组件和低速飞机上位于气流中的构件以及高速飞机上对气流没有影响的外表部位等的连接。

带垫板的单剪搭接多用在处于气流中的结构表面上,以形成平滑而没有凸台的外形。

双剪或多剪接头连接是螺栓连接接头的主要连接形式,一般用于结构末端的零件连接,以传递较大的集中载荷。

长桁蒙皮连接是铆接结构的主要形式,用来连接各种结构件中的长桁和蒙皮。

3 铆接和螺接在飞机结构中的应用

在飞机结构的连接中,铆接和螺接的数量非常多,

小型飞机一般在2万件以上,而现代大型运输机已用到200万件以上。从某种意义上讲,飞机就是铆接和螺接起来的,由此可见,铆钉连接与螺栓连接在飞机制造中所起的作用是多么重要!

资料表明,一架飞机所用的铆钉,其中直径为3~5毫米约占70%,直径小于3毫米的铆钉约占20%,其它直径的铆钉大约占10%。一架飞机所用的螺栓中直径为6毫米的约占60%,直径为5毫米的约占25%,直径为8毫米的约占10%,其它直径的螺栓约占5%左右。

4 铆接和螺接的典型工艺过程

铆接工作是利用手动铆枪或在成组压铆机以及自动钻铆机上进行;螺接主要是手工利用机械工具来完成。

典型的铆接工艺流程为:零件定位和压紧→制铆钉孔→镗埋头窝→分解和去毛刺→装入铆钉→铆接。无论是手工铆接或成组压铆机铆接,铆钉都是人工放进铆钉孔内的,因此,在铆接过程中应保证各层零件紧密夹紧,孔边无毛刺。在自动钻铆机上铆接时,所有工序都是在自动钻铆机上完成的,因此,自动钻铆的铆缝质量、部件表面质量、生产效率、技术安全和劳动强度都优于手工铆接。

典型的螺接工艺流程为:零件定位和压紧→制螺栓孔→镗埋头窝→孔的精加工→分解和去毛刺并制倒角→装入螺栓、垫圈和螺母→拧紧螺母。在螺栓连接的工艺过程中,劳动量和劳动强度最大的工序是制孔和孔的精加工,当然这也是提高螺栓连接疲劳强度的关键环节。如安装一个6级精度的螺栓,70%以上的工作量用于铰孔,螺栓的安装仅占其工作量的30%,因此,螺栓安装工艺的先进与否将直接关系到飞机疲劳寿命的长短和生产成本的高低。

5 影响飞机铆接和螺接寿命的主要因素

5.1 铆钉和螺栓的工作环境

铆接和螺接的工作条件是由作用在飞机上的外载所决定的。这些载荷主要包括:部件表面上气流引起的载荷;结构重力引起的载荷;发动机工作引起的载荷。除此之外,当飞机在超音速飞行时,由于空气动力还会产生热应力载荷,从而影响结构的静强度。

无论在飞行或停机状态,飞机均会受到气候条件的影响,如昼夜温度及全年温度的变化,空气湿度和大气压力的变化等。而飞机在飞行过程中,随飞行状态等的变化,所受空气动力载荷大小和方向也在不断的发生着变化。所以,飞机结构是在空气动力载荷大小和方向都随时间而变化的条件下工作的。

5.2 影响铆钉和螺栓连接寿命因素的分类

为提高飞机使用寿命及营运效益,必须提高飞机机体的使用寿命。因为,在飞机的各种故障中,机体损伤的故障数量已占到总故障数量的30%以上,所以,飞机的总寿命主要取决于机体的寿命。疲劳破坏是飞机机体丧失工作能力的根本原因,其中75%~80%的疲劳破坏发生在机体结构的零件连接部位,因此,研究铆钉和螺栓的连接寿命对提高飞机结构寿命显得非常重要。只有解决了飞机构件的连接疲劳寿命问题,才能保证飞机结构的高寿命,进而保证飞机使用的经济性和安全性。

先进的结构设计是制造高寿命飞机的基础;采用先进的工艺方案是生产高寿命飞机的保证;良好的使用方法和维护措施有益于飞机延寿。

5.3 工艺因素对铆接和螺接连接寿命的影响

工艺因素往往是保证飞机连接结构具有高寿命的决定因素。

首先,铆钉孔和螺栓孔的精度是影响铆接和螺接疲劳寿命的一个主要因素。如果孔的轴线不垂直于结构表面,使铆钉和螺栓安装倾斜,就会在结合处产生附加弯曲应力,从而降低结构的静强度和冲击强度。

其次,铆钉孔和螺栓孔的表面质量是影响铆接和螺接疲劳寿命的又一个重要因素。孔的表面质量包括:表面粗糙度、孔表面的显微组织及其硬度、冷作硬化和残余工艺应力层的深度等。正确选择孔的加工方法和工艺规范将直接影响结构连接疲劳寿命的高低。

再次,飞机飞行时结构之间、结构与紧固件之间会产生摩擦,这些摩擦点就是一个氧化腐蚀点,而这些氧化腐蚀点往往就是一个疲劳源。

6 影响铆钉和螺栓连接疲劳寿命的主要工艺因素分析

影响铆钉和螺栓连接疲劳寿命的主要工艺因素包括:

① 铆钉孔和螺栓孔的精度

铆钉孔和螺栓孔的精度是影响连接件疲劳寿命的一个主要因素。铆钉孔和螺栓孔的制造精度是指孔的圆柱几何形状的正确程度。只有孔的圆柱几何形状接近理论值,铆钉和螺栓安装后才不至于受到其它附加弯曲应力、挤压应力等的影响,而降低其静强度和冲击强度。

② 铆钉孔和螺栓孔的表面粗糙度

铆钉孔和螺栓孔的表面粗糙度是影响连接疲劳寿命的又一个重要因素。影响铆钉孔和螺栓孔的表面粗糙度的因素很多,如:切痕相对外载荷作用方向引起的

划伤大小、表面波纹的平均值、孔表面的显微硬度、残余工艺应力的分布、孔表面冷作硬化层和残余工艺应力层的深度等。在制孔过程中,即使加工精度很高,刀具总会在孔内表面上留下切削痕迹,这些刀痕所形成的高低不平的波纹等就会降低结构连接件的静强度和冲击强度。

③结构件之间及结构件与紧固件间的摩擦

结构件之间及结构件与紧固件之间的摩擦也是影响铆钉和螺栓连接寿命的另一个因素,基于特定的环境,造成飞机结构在工作时必定要产生摩擦,在结构件之间及结构件与紧固件之间的摩擦部位可能产生氧化腐蚀点,每一个氧化腐蚀点很可能就是一个疲劳裂纹源,长期下去就会产生疲劳破坏。

7 对提高铆钉和螺栓连接寿命的几点措施

①提高铆钉和螺栓孔的制造精度

首先,铆钉和螺栓在安装时孔的垂直度对其疲劳寿命影响非常大。根据有关资料介绍,世界上著名的飞机公司都在不断地研究紧固件孔的垂直度对疲劳寿命的影响,如波音公司维西塔分部通过单剪搭接形式对钛螺栓进行的试验验证:紧固件沿外载荷作用方向倾斜 2° ,疲劳寿命会降低约 47%,倾斜 5° 时,疲劳寿命会降低大约 95%。因此,在飞机制造业中各类技术条件和工艺规范均对孔的垂直度有着严格的要求,如波音工艺规范 BAC5004—1《普通铆接》、BAC5009《螺栓和螺母的安装》均规定凸头和埋头紧固件相对结构表面的垂直度误差不大于 2° ,有的文件甚至要求不超过 0.5° 。采用手工钻孔很难达到如此精度要求。

其次,紧固件孔的表面粗糙度对紧固件的疲劳寿命影响也非常大。孔表面粗糙度越大,则梳状的粗糙纹路就越大,孔壁表面层的组织越不均匀,表面压入的碎片就越多,其抗疲劳性就越差。国产飞机生产装配过程,通常情况下要求铆钉和普通螺钉孔的表面粗糙度 R_a 为 $6.3\mu\text{m}$,对其它的划伤等无具体要求。而波音公司等则要求铆钉和普通螺钉孔的表面粗糙度不高于 $3.2\mu\text{m}$,有的甚至更严,对划伤等也有具体的要求,如:孔壁的环形划伤距零件表面不得小于 1.6mm (或零件总厚度的 10%);孔壁的螺旋形划伤距零件表面不得小于 1.6mm (或零件总厚度的 25%);孔壁的纵向划伤不应超过任何一个零件上孔深的 50%,划伤不得靠近孔的两端且距零件表面不得小于 1.6mm ,或小于零件总厚度的 25%。

提高铆钉和螺栓孔的制造精度需从下面几个方面考虑:

●提高钻孔的自动化和机械化程度。

●改善钻孔的开敞性。

●采用新型制孔工具。

●提高钻模板和活动钻套的使用率。

●提高精加工孔的应用数量。

②提高结构面之间及紧固件与结构之间的紧密程度以减少摩擦腐蚀

提高结构面之间以及紧固件与结构之间的紧密程度的方法较多,如精加工、结构之间涂敷密封剂、漆料等。这在一定程度上保证了结构之间的紧密性,减少了结构之间的摩擦,从而提高了结构的抗疲劳性能。

众所周知,飞机结构的工作环境非常恶劣,所以飞机结构的腐蚀是不可避免的。如摩擦腐蚀,当飞机结构连接接头的接触面在一定压力条件下承受重复载荷时,就会产生接触摩擦腐蚀。这种现象的实质就是金属表面层在一定压力下接触时,因重复载荷而致使零件破坏。因此,要提高飞机的疲劳寿命,就必须克服或减少这类疲劳源,通过提高结构之间以及结构与紧固件之间的配合精度,可以减少疲劳源。另外,还可以在结构之间涂敷防腐密封胶,并对铆钉和螺栓进行湿安装,以减少飞机结构在工作过程中的摩擦腐蚀,因为防腐密封剂可以充满结构之间以及结构与紧固件之间的缝隙,这样不仅可以减少结构件之间以及结构件与紧固件之间的摩擦,而且还提高了结构的韧性,如波音 737—300 垂尾结构之间近 90% 的贴合面都涂有不同类型的密封剂;ATR42 翼盒结构之间不仅涂有密封剂,而且 90% 以上的紧固件还进行湿安装,其结构之间的防腐密封材料的厚度也都非常薄 ($0.1 \sim 0.5\text{mm}$)。

③增加紧固件与结构之间的干涉量

在铆钉和螺栓连接处反复加载,接头处就会产生不同的应力,使接头易产生疲劳破坏,如果紧固件装配有一定的干涉量时,就会在孔区产生较大的残余压应力,连接接头加载截面上的应力绝对值就会被减小,从而提高了接头的抗疲劳强度。另外,当紧固件与孔之间有一定的间隙时,传递载荷时紧固件孔周围接触表面的局部塑性变形或磨损就会引发裂纹并使转角裂纹扩展,加速疲劳破坏。法宇航 ATR42 机翼翼盒下壁板全部采用干涉配合连接,其干涉量为 $0.05 \sim 0.11\text{mm}$ 时,就收到较好的效果。

④大量采用新型连接件

新型连接件包括高锁螺栓、环槽铆钉、全冠头铆钉等紧固件。这些紧固件一般情况下安装时较螺栓安装节省工时,安装方便,而且比一般铆钉的连接疲劳强度高得多,重量也轻得多,因此采用新型连接件也可大幅

以 ERP 技术为核心建设西飞管理信息系统

企划部 王 炜

[内容摘要] 简述了 ERP 技术的发展历程与基本特点; 分析了其为企业生产科研与经营活动中的作用和价值; 指出了应用 ERP 技术是建设企业管理信息系统的核心; 强调指出西飞信息化建设应认真分析信息技术系统间的关系以及需求与现状, 统筹规划, 协调发展。

关键词 企业管理 信息管理 ERP 技术

1 前言

ERP 技术以物料管理、生产计划起步, 迅速发展成为集企业生产经营信息管理为一体的综合信息管理系统, 为企业实现信息共享、优化业务流程、提高效率、增加效益展现了诱人的巨大潜力, 事实上已成为企业管理信息系统的首选技术和核心。

2 ERP(Enterprise Resource Planning/ 企业资源规划)技术的发展概况与基本特点

2.1 ERP 技术的发展概况

ERP 技术是在经历了 MRP(Material Requirement Planning/ 物料需求计划)、闭环 MRP 和 MRP II(制造资源计划)三个阶段而发展起来的企业综合信息管理技术。

初期的 MRP 主要解决物料管理(何时订货, 定什么货, 订多少货)问题, 是一种既能降低库存又不出现物料短缺的先进方法, 并且在一定程度上解决了生产计划问题。闭环 MRP 引进了“有限生产能力”和“能力平衡”的概念与方法, 开发了计划与控制功能, 形成了一个完整的物料管理、生产计划与控制系统。为了解决物流、信息流与资金流的集成, 在闭环 MRP 的基础上进一步增加了财务信息处理功能, 形成了综合的企

业生产管理信息系统, 即 MRP II, 基本上实现了物流、资金流、信息流同步流动, 使企业控制、指导其生产经营活动时更为主动。

在需求与技术进步的推动下, 人们把新功能、新思想不断增加到 MRP II 中, 如: 质量管理、设备管理、运输管理、项目管理、国际互连网、企业内部网、电子数据交换(EDI)、电子邮件(E-Mail)、企业业务重组(BPR)、动态企业建模(DEM)、供应链管理以及其它现代管理思想和技术等等, 从而将企业经营所涉及的方方面面的信息处理业务都纳入系统中, 使 MRP II 发生了质的变化, 形成了一个真正全面的企业资源计划 ERP 系统。经过 40 多年的发展, 企业综合管理信息系统终于进入一个相当成熟的阶段。

2.2 当前 ERP 技术的基本特点

现在的 ERP 类管理系统软件大都具有以下新特点:

①功能覆盖面日益扩大

目前, ERP 软件的功能几乎覆盖了企业生产经营业务的方方面面。而更先进的 ERP 软件还包括了供应链管理, 即客户关系管理和供应商管理, 使企业管理从企业内部管理延伸到电子商务。

ERP 功能覆盖面的扩大还体现在对不同类型企业生产经营活动的适应能力方面。现在 ERP 技术一般都可以作到既能适应大批量流水线(流程型)生产的企业, 也能适应单件生产(如造船)项目型的企业, 还能适应小批量多品种生产(如飞机制造)的离散型企业以及混合型生产企业。应用范围已远非昔日可比。

②信息共享程度更高

ERP 的应用把信息孤岛变成了信息网络, 使部

度地提高连接件的疲劳强度。

8 结束语

提高飞机结构连接的疲劳寿命, 是航空制造工业界普遍关心的重要问题之一, 其影响范围非常广泛, 因此研究并提高飞机结构之间以及结构与紧固件之间的连接疲劳寿命, 是一项非常有意义的工作。

随着对现代飞机寿命要求的不断提高, 对连接技术的不断研究, 不仅会产生显著的经济效益, 而且还具有重大的社会效益, 必将引起设计、工艺等领域传统装配工艺方法的深刻改变。

(编辑: 严涛民)