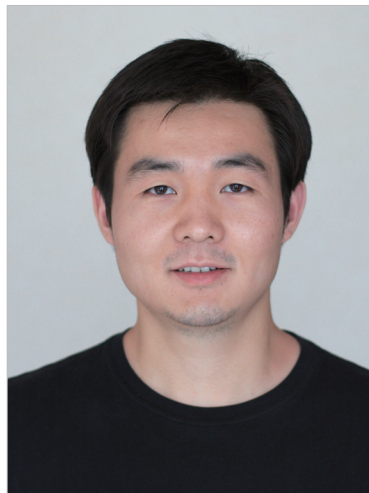


某新型飞机平尾自动制孔中的 刀具应用与研究

Cutting Tool Application and Research for Automatic Drilling of Aircraft Horizontal Tail

中国商飞上海飞机制造有限公司 徐 宁 张烘州 孟见新



徐 宁

中国商飞上海飞机制造有限公司工艺员,助理工程师,毕业于南京航空航天大学飞行器制造工程专业。主要负责某新型飞机水平尾翼结构装配的工艺技术工作,同时参与某大型飞机复合材料水平尾翼的研制工作。

某新型飞机平尾的装配过程涉及一批高精度、高光洁度,承力结构件间的大尺寸连接孔的加工,主要有:平尾中央盒段对接孔、平尾外伸段对接孔、平尾外伸段桶形螺母孔。由于这些孔的加工材料厚、尺寸大、数量多、精度高,且相当一部分孔为盲孔。因此为保证制孔质量,提高装配效率,一般需要使用自动制孔设备进行加工。

~13%,但是,由于机载成品系统在发生故障后能较为便捷地用新成品代替,结构部件替换起来则比较困难,因此飞机结构件的寿命就决定了飞机的总寿命。如何高效高质量完成飞机装配制孔一直是航空制造企业急需解决的难题。为了满足现代飞机高寿命的要求,可通过多种技术途径改善各连接点的技术状态(表面质量、配合性质、结构形式等),其中一个很重要的途径是通过自动化设备进行自动精密制孔,提高制孔质量^[2]。

传统的飞机装配中的制孔主要以手持风动工具钻孔为主。工艺顺序为:划线→钻孔→扩孔→铰孔→分离清洁^[3]。传统手工制孔的主要缺点在于:易形成缺陷,制孔过程全

部为人为控制,容易造成孔径扩大、孔偏斜、椭圆等缺陷;孔位精度差,孔位确定主要通过简易工装或人工划线完成,孔位精度无法保证;效率较低,对于一些加工材料较厚,孔径较大的连接孔,受操作人员体力所限,工作效率不高;人为因素影响无法避免,制孔过程完全依赖于工人技术水平,工人技术熟练程度要求过高。

自动制孔技术具有制孔精度高(一次进给既能钻出孔径误差0.005mm以内高精度的孔,又可将埋头窝的深度精确控制在 $\pm 0.01\text{mm}$ 以内),稳定性好(几乎不受人为因素影响),效率高(可以长时间连续不断的进行生产加工),且操作简便灵活等显著优势,现已广泛应用于航空制

在飞机连接装配中,孔加工由于其数量大、要求高、形式多样,因此如何高效高质量完成飞机装配制孔一直是航空制造企业急需解决的难题。例如一架波音747飞机有300多万个连接孔,而美国最先进的F-22战斗机每副机翼要钻14000个精密孔^[1]。飞机的全部故障总数中,结构件损伤故障的数量一般仅占12%

造领域,并逐步代替传统的手工制孔。

某新型飞机平尾的装配过程涉及一批高精度、高光洁度,承力结构件间的大尺寸连接孔的加工,主要有:平尾中央盒段对接孔、平尾外伸段对接孔、平尾外伸段桶形螺母孔。由于这些孔的加工材料厚、尺寸大、数量多、精度高,且相当一部分孔为盲孔。因此,为保证制孔质量,提高装配效率,一般需要使用自动制孔设备进行加工。

设备情况

目前,市场上的主流自动制孔设备有3种:美国库柏(cooper)公司的Quackenbush系列自动进给钻;德国Lubbering公司的BVE系列自动进给钻;以及瑞典阿特拉斯(Atlas Copco)公司的PFD1500系列自动进给钻。

库柏(cooper)气动工具是进口工具中最著名的品牌之一,它材质精密,品质好、持久耐用、保养维护成本低、使用简单方便。以提供合理的价格,额外的产品功能优点为傲,让客户有物超所值的感受,因此在业界有很好的口碑,被公认为是最高品质的象征。

德国Lubbering公司生产的BVE系列自动制孔设备虽然问世不久,但以其小巧轻便的外形设计及德国人引以为傲的精密机械制造水准,也受到不少用户的青睐,在市场中占有一定份额。

瑞典阿特拉斯(Atlas Copco)公司的PFD1500系列自动进给钻是2010年才推出的一款新产品。目前的市场份额还很小,但该产品具有操作简便,制孔效率高、精度好,其独特的模块化设计更利于维护等特点,加之阿特拉斯气动工具在航空领域广泛应用与良好口碑,相信今后会被越来越多的用户认可。

经调研得知,库柏(cooper)公司是一家成立于1833年的公司,历

经170多载风雨历程,如今,库柏工业已发展成一家以电子产品和工具为主的全球性制造商。库柏工业的总部设在美国休斯敦,在五大洲拥有31000多名雇员,100多家生产基地。库柏旗下拥有九大实力雄厚的事业部,为库柏各销售渠道的销售搭建了广阔的营销平台。2001年库柏(中国)投资有限公司成立以来,公司在中国地区已拥有超过6000名员工。他们的总部位于上海,并在北京、广州、成都和东莞等地设有办事机构。此外,他们还在上海、广东东莞、陕西西安和浙江宁波、河南平顶山等地拥有多家工厂。

考虑到库柏(cooper)公司在全球自动进给钻市场占有70%左右的超高份额,与中国航空制造企业长期以来的良好合作关系,以及该公司在国内拥有完善的售后服务保障体系等因素,并结合飞机产品实际情况,本次某新型飞机水平尾翼装配选用库柏(Cooper)公司的158QGDBV-S400型自动进给钻进行自动制孔(图1)。

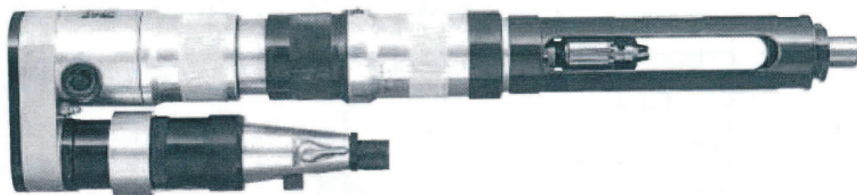


图1 158QGDBV-S400型自动进给钻

1 设备基本参数

(1) 该系列自动进给钻的马达功率 $\geq 0.882\text{kW}$;

(2) 工作行程: $X_{\max} \geq 102\text{mm}$ (4in);

(3) 加工直径公差 $\leq \pm 0.05\text{mm}$ (0.002in);

(4) 主轴转速: $S_{\min} \geq 300\text{r/min}$, $S_{\max} \leq 4000\text{r/min}$;

(5) 主轴进给速度 $\geq 0.025\text{mm}$ (0.001in)/r;

(6) 转速误差小于 $\pm 5\%$;

(7) 可加工厚度 $\geq 45\text{mm}$ (铝合金);

(8) 最大加工孔径 $\geq 25.4\text{mm}$ (1in) (铝合金)。

2 设备基本功能

该飞机部段采用的自动进给钻除了具有制孔精度高、稳定性好的优点之外,还具有以下优点:

(1) 可以调整工作行程的长度;

(2) 在行程结束时,主轴能自动返回到初始位置;

(3) 钻孔时没有突然停止和减压,延长钻头的使用寿命,减少断裂现象;

(4) 设备带有冷却系统及吸尘功能。

在使用自动进给钻制孔时设定参数的一般规律是:孔径小,转速高;孔径大,转速低;钻削时转速高,进给量慢;铰削时转速低,进给量快^[2]。

盲孔加工的主要难点与解决方法

1 盲孔加工特点

某新型飞机平尾装配的连接孔

大部分为通孔加工,但因飞机结构和强度的需要,水平尾翼外伸段上的对接孔中有大量盲孔,其加工工序一般采用“钻-扩-铰”的方法。即先用麻花钻钻初孔,然后用扩孔钻进行扩孔,最后再用铰刀进行铰孔以保证孔的精度和粗糙度。然而盲孔加工有别于通孔加工,主要表现在:

(1) 制孔深度难以控制。

相比通孔加工而言,盲孔的孔径公差、孔壁粗糙度对装配质量有影响之外,其轴向深度公差也直接影

响到装配质量。然而采用人工加工盲孔,一般很难控制轴向深度的公差。目前,该飞机盲孔加工采用的158QGDBV-S400型自动进给钻的最大行程为102mm(4"),且行程可调,当达到设定的制孔深度时,主轴就会自动返回初始位置,可较为有效地控制盲孔的深度。

(2) 排屑困难。

盲孔加工过程中,切屑不能向前排出,只能向后排出,因此很容易造成孔壁刮伤。为此,在盲孔铰孔中,只能选用右旋铰刀,以使切屑能够顺利向后排出。

(3) 加工容易产生振动。

由于盲孔加工只能选用右旋铰刀,这就很容易造成“自动进刀”现象引起切削振动^[3]。为此需要对刀具结构进行改进,以便消除振动现象。

2 自动进给钻设备使用调整

2.1 行程的设定

自动进给钻组装、调整好以后,需设定行程,如图2所示。

A面为钻套台阶端面,安装时与钻模板平面贴合,其条件为 $L_1 \leq b+s$, 则:

$$\begin{cases} L_1 + L_2 = b + s + l \\ L_2 = b + s + l - L_1 \end{cases}, \quad (1)$$

式(1)中, b 、 s 、 L_1 可测量, l 为工程图纸给出的孔深尺寸, L_2 即可算出。

设定行程 $L=L_1+L_2=b+s+l$ 。

2.2 操作要点

(1) 在自动进给钻操作和调整前,应在压缩空气进气嘴中滴入几滴润滑油;

(2) 自动进给钻设定的行程不包含钻尖处的锥体部分;

(3) 应经常清除切屑,并添加冷却液,以保证刀具的润滑和冷却;

(4) 由于所用铰刀尺寸靠近孔的最小极限尺寸,同时刀具直径受环境温度、孔位置的密集程度、产品材料的热胀冷缩等因素影响,有时实际孔径比最小极限尺寸偏小。建议钻

孔和铰孔在时间上要间隔长一些,或在孔的公差范围内适当加大最后一铰的铰刀尺寸,以保证铰出的孔符合要求。

3 主要问题的分析与解决方法

3.1 问题简述

平尾外伸盒段后梁上、下缘条上的某尺寸对接盲孔,某架份生产时该尺寸盲孔发生孔径全部超差问题,后一架份平尾外伸段制孔时该问题重复出现,右侧外伸段组件后梁上的1处此类型对接孔,加工结束后经测量孔径超差0.147mm,其余几处暂停加工。

3.2 问题定位

通过核查图纸、工艺文件、工具使用情况及工艺员现场跟产分析,确定问题主要是由工艺人员对锥形底

行程设定过长,致使平底铰刀顶部非切削部分与盲孔底部圆锥部分材料发生挤压、摩擦是引起设备剧烈振动的主要原因,也是引起孔径超差的根本原因。

3.3 原因分析

盲孔加工一般要求铰孔的轴向深度比初孔的轴向深度稍小,如图3所示。但是,目前平尾外伸段钻制对接盲孔时,为保证工程图纸要求的孔深,铰孔的轴向深度和初孔一致,如图4所示,这样就导致铰刀在铰孔过程的最后阶段顶部非切削部分与顶角118°的钻头加工余留下的圆锥接触。铰刀顶部与加工材料相互挤压、摩擦,引起自动进给钻剧烈振动,从而导致盲孔口部直径增大、超差。由于生产现场目前使用的自动进给钻

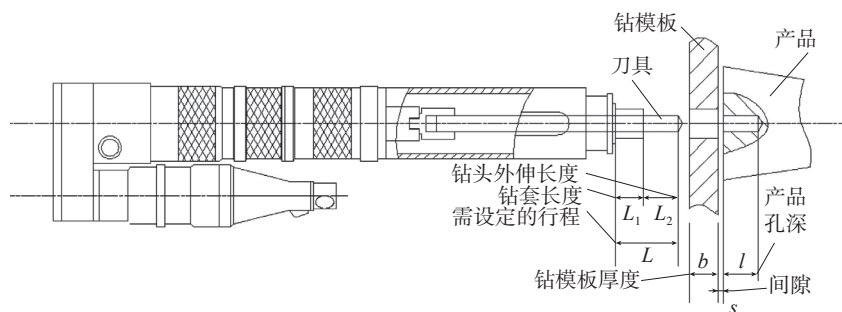


图2 钻铰状态示意图

盲孔加工方法认知不到位、刀具方案存在不合理之处而引起的。

工艺人员在现场跟产时观察、记录了制孔全过程,未发现工人操作存在失误,同时制孔由定位在工装钻模板上的自动进给钻完成,可排除制孔过程中的人为因素影响。在钻制超差孔工步的最后阶段自动进给钻剧烈振动约2~3s,经对比之前一刀扩孔、一刀铰孔和本架次其他孔的制孔情况,可以确定设备振动是引起孔径超差的直接原因。经工艺人员与航研所刀具专业人员分析,基本认定最后一刀铰孔时,铰刀

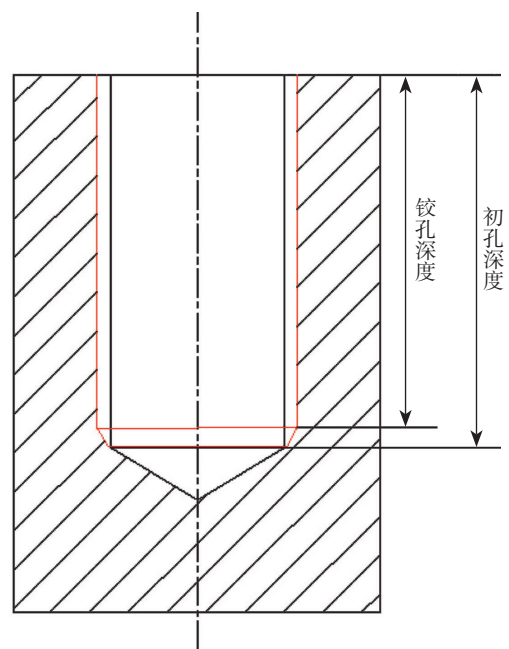


图3 刀具行程略小于初孔深度

完全依靠人工肉眼观察确定行程,调节精度有限,误差比较大,若采用图3所示深度调节方法进行钻孔实际孔深不易精确控制。因此,目前仍采用图4所示深度调节方法,希望从刀具方面加以改进,从而消除最后一次铰孔时设备本身的振动,满足制孔要求。

4 改进措施

4.1 应急改进措施

(1)在钻制其余几处有超差风险的对接盲孔时,为消除自动进给钻在刀具行程末端的剧烈振动,对制孔工艺进行优化,在钻制终孔前增加一步铰孔,切削量沿直径方向为0.05mm,并规定设定刀具行程时从平底铰刀顶部开始计算行程,如图5所示。

(2)最后一步铰孔改为手工铰孔,消除振动导致孔径超差的可能性,但操作人员的工作量有所增加。加工完成,几个孔的实测孔径均在图纸规定的公差范围内。

虽然应急措施解决了孔径超差的问题,但是由于采用人工操作,制孔的稳定性将变差,不能充分发挥自动进给钻的优势。另外,由于对接盲孔一般孔径大、材料强度高,有些盲孔采用人工操作仍然很难控制好制孔质量,可见该方案仍未能从根本上解决盲孔加工的问题。

4.2 根本原因纠正措施

通过上述的分析,造成孔径超差最根本的原因是由于在铰孔过程中,铰刀顶部非切削部分与钻头加工余留下的圆锥部分相互挤压、摩擦,引起自动进给钻剧烈振动从而导致盲孔口部直径增大、超差。可见,通过对最后一次铰孔使用刀具的几何角度进行重新优化,减小切削力,改善刃口强度等;同时参考平头铰刀的原理,使得最后一把铰刀在满足铰孔的前提下,还具有铰削的功能,这样就可有效避免了铰削振动。

定制一把直柄平底右旋右切铰

刀。该铰刀刃部与柄部等粗;引导锥为 90° ,同时主偏角为 45° ,前角为 $8\sim 10^\circ$,后角为 6° ;对铰刀的底部开刃(类似于整体立铣刀),使其具有一定切削能力,从而避免刀具行程末端,铰刀顶部与孔底材料发生硬性挤压、摩擦,导致自动进给钻剧烈振动。改进后的刀具如图6所示。

经后续架份平尾生产实践验证,改进后的刀具能在行程末端有效切削加工材料,消除自动进给钻的剧烈振动,从而保证产品孔径符合图纸要求。

结束语

现场操作人员同工艺人员、刀具领域专业人员一起经过深入讨论、分析,对盲孔(特别是锥底盲孔)加工方法有了比较清晰的认识,找到了生产中造成对接区域内尺寸较大的盲孔孔径重复偏差的根本原因:工艺对盲孔加工认知不足,按现用自动进给钻行程调整误差过大,无

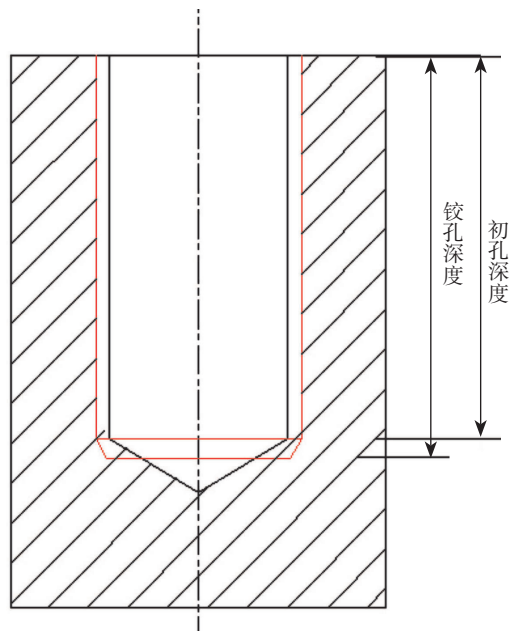


图4 刀具行程与初孔深度一致

铰刀行程自此开始计算

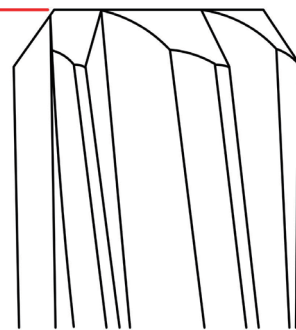


图5 铰刀行程计算位置



图6 底部开刃铰刀

法保证每次钻铰孔的行程一致性,而终铰所采用刀具的外形、尺寸存在缺陷,不能满足制孔要求。同时制定了相应的刀具改进措施,经生产实践证明改进措施正确有效。希望此文能带给那些同样使用自动制孔设备加工盲孔的航空制造从业者一些有益启发。

参考文献

- [1] 张厚江. 碳纤维复合材料(CFRP) 钻削加工技术的研究. 北京: 北京航空航天大学, 1998.
- [2] 马滋澄. 用于盲孔加工的自动进给钻. 航空制造技术, 1994(2):47.
- [3] 太原市金属切削刀具协会. 金属切削实用刀具技术. 北京: 机械工业出版社, 2004.

(责编 亦非)