

---

# 他们用A4纸大小装备给飞机“打孔”

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/33594.html>

*本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！*

## 他们用A4纸大小装备给飞机“打孔”

。当一架架飞机翱翔于苍穹之上，世人皆为其壮美雄姿所震撼，却鲜少有人知道，它的“身上”存在着数十万个精度要求0.02毫米的连接孔。

每一个孔都是飞行安全的支点，毫厘之差就会埋下安全隐患。然而飞机内部结构紧凑、材料多样，以机翼为例，在部装环节往往仅有不到1米的空间，还有很多肋板阻碍，如何在如此狭小空间中实现复合材料/金属强异质叠层结构的高效率、高质量钻孔作业，是世界各国面临的技术难题。

近日，大连理工大学团队历时7年时间，研发出了一个只有A4纸大小的智能化加工装备，它能在0.1秒内识别不同材料并匹配参数，加工精度最高达IT7级，效率提高3倍以上，为大国高端航空装备的研制与批产提供了保障。

“看见我们设计制作的装备真正应用在飞机上，我知道所有的努力有了答案。”学生团队负责人、大连理工大学博士研究生常宇豪说。

## 一次讲座的启发

2018年，刚刚进入大连理工大学的常宇豪参加了一场关于复合材料加工的科普讲座，报告人正是后来大连理工大学的校长、中国科学院院士贾振元。

“从贾振元院士的报告中，我了解到复合材料在飞机应用的重要性，尤其是轻质高强材料能够让飞机飞得又快、又远。我当时就对飞机制造产生了浓厚的兴趣，想着有朝一日可以亲身参与其中。”常宇豪回忆起当时的场景，仍然十分激动，这场报告成为了一名大一学生的“科学启航”，让他坚定了未来的发展道路，并进入大连理工大学机械工程学院的全国重点实验室开始了进一步学习。

在学习过程中，他也渐渐了解到，在自动化如此普及的今天，我们国家飞机上仍有许多零部件需要靠手工制作，而国外的许多飞机已经通过小型加工装备实现了半自动、全自动化生产，产能是我国的5倍以上。

带着心中的疑惑，他们找到了导师王福吉教授。“限制飞机生产的不仅仅是加工先进材料的刀具，还有加工装备。虽然国外在这方面领先很多，但是我相信你们只要努力，也能一样做好。”这给了团队很大的信心，他们每天琢磨，什么样的自动化加工装备才能适用于飞机呢？

---

一架飞机的内部结构十分复杂，需要在各种条件下加工近百万个孔。传统制孔机床多为大型“包容式”结构，需要将被加工的零部件包裹在其中，而面对飞机内部狭小空间的限制，传统“包容式”的机床便无法满足加工需求。并且，航空材料强度高、种类多、差异大，加工难度极高，加之现有加工技术不智能，往往面对不同材料不能自主匹配参数，导致加工经常产生损伤、超差的问题，甚至会产生数十亿元零部件的报废损失。

在仔细观察飞机构造后，团队想到了啄木鸟：“它们可以抓在树干上打洞，不用把树干摘下来再工作。如果‘制孔’也能变革加工模式，将固定在地面上的‘包容式’加工，变为直接固定在零件上的‘在体’加工，就能够像啄木鸟一样，灵巧且智能的完成打洞制孔。”

这样的想法非常新颖，却面临着很多困难。“首先就是小型化难。现有的制孔方式大多需要工人拿着气钻在飞机上人工钻孔，这样加工效率比较低，并且容易产生超差现象。我们就想着设计一款能拿在手里便携式的自动化制孔设备，并且集成冷却、低频振动制孔、数字化控制等功能，这么多功能集成在A4大小的尺寸里难度还是比较大的。”团队成员费浩航告诉《中国科学报》。

并且，钛合金等高强度材料的制孔过程需要“进一下、退一下”，这样会导致切削力波动极大，使得设备的稳定控制成为难题。

他们随即找到贾振元院士，说出了自己的想法和遇到的困难。贾院士立马给出了“破解之法”：“我鼓励大家出差到现场，学生们只有深入一线、真正知道现场工人和工况的需求才能做出好设备。”

---

团队与贾振元院士（中）合影。受访者供图

在飞机上“制孔”

在贾振元院士的认可与鼓励下，团队先后去到了许多飞机制造企业，在成都飞机工业（集团）有限责任公司、沈阳飞机工业（集团）有限责任公司、哈尔滨飞机工业（集团）有限责任公司等主机厂现场调研，终于发现了突破口。

团队在企业实地调研与交流。受访者供图

“我们一年大概有一百多天时间都‘泡’在企业里，终于想到了一种空间降维式传动方案，它主要是通过差动行星轮系将旋转与进给运动解耦，并且单零件多功能设计，让所需的零件成功装进一张A4纸大小的装备里，工人们可以提着它到处工作，其加工能力较此前大幅提升，加工一个孔效率达到人工的3倍以上。”团队成员刘贺鑫提到。

“并且，团队的指导老师付饶教授还建议我们采用一种新的分析方法，在基于末端反求便携式装备的精度与刚度上做分析，这让我们成功找到了装备内部影响精度、刚度的关键零件，使得设备主轴回转误差变小，可以达到精密机床的标准。”费浩航介绍道。

正当团队长呼一口气的时候，新的困难随即而来。他们在工厂大量实验后发现，在加工单层材料时，精度可以达到IT8级，但是加工叠层时复材孔径偏差总会很大，而且还会导致操作人员烧伤的现象，这一下子难住了这个年轻的学生团队。

经验丰富的导师立刻给出了新的建议：“这是参数不匹配造成的。给两层、三层的材料钻孔，很难知道下面材料的具体参数，但是只有知道下层材料的种类、位置、厚度自动调整才能实现高质量加工，所以我们的装备要具备智能化匹配最优加工参数的功能。”

因此，他们又吸纳了控制学院的研究生朱炆爽加入。有了控制领域相关的知识，这个拥有多学科交叉的团队自主研发了力、扭、振三源信息感知模块，发明了双驱动同步预测控制算法，并建立了10万+的高质量数据集，通过火眼金睛的“透视”算法，能够在0.1秒内识别材料与加工状态，并切换至最优参数，最终加工的成品率达到了100%。

---

## 从零到一再到无穷大

装备不断完善的同时，团队也开始将产品逐步推向市场。他们自豪地给装备“打广告”：“以往加工使用的机床价格昂贵、设计复杂，只有经过长时间专业培训的高级人才才能操作。我们团队研发的设备操作门槛低，原有产线上的普通工人都能使用，工人师傅只需连接线路，将工具装夹到对应加工位置，一键启动即可自动加工。相较于工人手工加工，加工单孔耗时由5分钟减至0.5分钟，并将加工精度提升1级。”

2023年6月16日，这是团队毕生难忘的日子。他们成功在飞机一个接口处钻下了第一个孔。看着操作人员熟练运用加工装备，并且大大提升了加工的效率，团队的小伙伴们兴奋不已：“那天是我们第一次真正实地参与到飞机的制作中，干到了凌晨4点，但是我们没有一点困意，激动得睡不着觉，现在飞机肯定上天了。”

“通宵装飞机”后团队成员的朋友圈。受访者供图

亲手组装飞机上天，大家都感触颇深。“我们从本科阶段就能接触到服务国家重大需求的项目，能够来到生产一线发现问题、思考方法、动手实践，让我们在这么小年纪了解到大有可为的科研前景，我们是十分幸运的，这些离不开学校提供的平台、课题组导师的教导。”团队成员郝泽源说。

“我们的控制与驱动电路板都是自主设计的。”朱炀爽说。得益于团队自主知识产权群与加工全过程自主性，他们研发的全系列设备组件国产化率均在95%以上，特殊要求下可做到零件100%国产。

2018年至今，大连理工大学这支学生团队共产出了28项发明专利、5项软著、8篇高水平论文等成果。

---

目前团队研发的系列智能化灵巧加工装备，已经成功应用于航空装备的制造中，加工能力达到国际先进水平，还可推广到航天、船舶、车辆、能源等领域的高端装备的制造中。未来，团队准备利用智能化装备信息可溯源的特点，构建数字化工厂，提升调度效率，让工人使用起来更快捷，让飞机“钻孔”更安全。

“从零到一很难，但是从一到无穷大更难，我们正在一点点努力，盼望着星星之火最终燎原。”付饶教授说。

作者：孙丹宁 来源：中国科学报

更多科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发