

基于 TRIZ 理论的飞机零件数控加工防错工具分析与改进

Analysis and Improvement of the Aircraft Parts NC Machining Error Proofing Tool Based on TRIZ Theory

中航工业成都飞机工业集团公司数控加工厂 刘 适 崔雅文 曾 涛 王 伟

[摘要] 面对当前飞机零件价值不断攀升的现状,在加工中采取各种防错方法和防错工具成为降低加工风险的必要措施。将 TRIZ 理论应用于防错方法和防错工具的创新改进中,为创新提供了思路,极大地提高了创新的效率。以 TRIZ 理论及发明问题解决算法为指导,对一种数控加工防错工具存在的问题进行了分析,在系统功能分析的基础上找出技术矛盾,建立问题模型,利用矛盾矩阵及创新原理找到了问题解决思路,成功地防错工具进行了改进,为飞机零件数控加工防错工具的创新提供了典型应用案例。

关键词: TRIZ 理论 数控加工 防错 技术矛盾 矛盾矩阵

[ABSTRACT] As the costs of the aircraft parts increasing, the application of error proofing methods and tools in the machining have become the necessary to decrease the machining risk. The innovation and improvement for the error proofing methods and tools can be achieved easily and efficient by applying the TRIZ theory. This article uses the TRIZ theory and the inventive problem solving algorithm as a guidance to analyze the problem of a NC machining error proofing tool and find out the technical contradiction based on the system function analysis. The problem model is set up and the idea of solving the problem is obtained by using the contradiction matrix and the inventive principles. The successful improvement of the NC machining error proofing tool provides a typical applicable case of innovations in aircraft parts NC machining error proofing tools.

Keywords: TRIZ theory NC machining Error proofing Technical contradiction Contradiction matrix

重量轻、结构强度高是飞机飞行性能好的重要条件。为了提高飞机性能,航空制造领域已全面采用整

体结构件作为飞机骨架和气动外形的主要支撑,而重量轻、强度高的钛合金及复合材料的使用比重也日益增大。飞机结构件尺寸的增加及新材料的应用提高了单个零件的毛坯价值,刀具用量增加、加工周期变长等因素导致某些重点零件的加工费用增长,这些高价值零件一旦发生质量问题将会带来巨大损失。为尽量降低加工风险,企业对加工防错方法和工具的需求更加迫切。TRIZ 理论作为解决创新问题的重要方法,为防错方法及工具的创新提供了有效工具。

1 TRIZ 理论简述

TRIZ 理论的含义是发明问题解决理论,是由前苏联发明家根里奇·阿奇舒勒(Genrich S·Altshuller)带领的团队,通过对全世界 250 多万件发明专利的长期分析、归纳和提炼,综合多个学科领域的原理、法则形成的一整套体系化、实用的解决发明问题的理论方法体系^[1]。TRIZ 理论的主要功能是研究人类进行发明创造、解决技术难题过程中所遵循的科学原理和法则,这些法则被归纳总结后形成了一套用于系统性创新与指导设计者思考方向的方法论和工具体系^[2]。TRIZ 理论的两大革命性的成果包括:(1)总结出了技术系统的进化趋势;(2)提供了一系列分析和解决问题的具体流程、方法和原理^[3]。这不仅能够提高创新的成功率、缩短创新的周期,也使创新具有了可预见性。

TRIZ 理论已在世界各国学术界和企业界得到高度重视,很多知名企业都有众多成功应用案例^[4]。飞机零件的数控加工是一个高技术含量的领域,对零件精度、生产自动化程度要求高,对产品的质量要求更为苛刻,因此,必须要有大量的技术创新来促进生产力的提高,TRIZ 理论在这一领域里也有着极为广阔的应用空间。

2 数控加工防错校验块的结构及使用

校验块是飞机零件数控加工中常用的防错工具,其功能是防止操作者找错基准(对刀错误)以及刀具规格

使用错误。校验块材质为铝合金,结构如图 1 所示。底部为直径 $\phi 25s6$ 的精度轴,中部为直径 $\phi 60$ 的圆柱底座,顶部为直径为 $\phi 30$,带 10×10 倒角的圆柱台。校验块是由铝棒毛坯加工出来的,是一个整体结构。

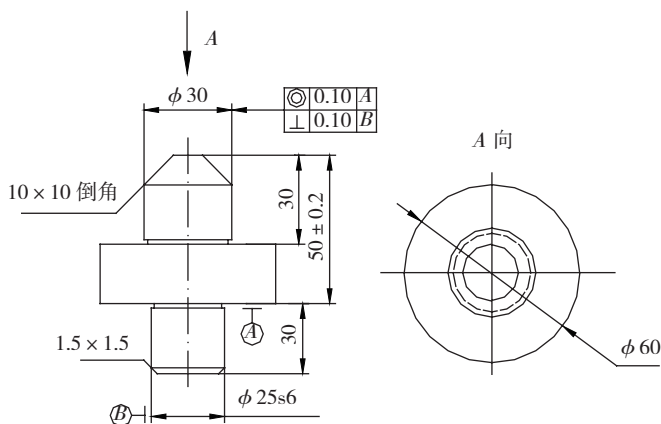


图1 防错校验块结构尺寸

Fig.1 Structure parameters of validation cylinder

校验块通常安装在夹具上。夹具上有一直径为 $\phi 25H7$ 的钢衬套制成的精度孔,校验块底部的 $\phi 25s6$ 精度轴安装在该孔内,二者形成过盈配合。一方面可以确保校验块安装牢固,另一方面能够保证校验块的位置精度。

在零件数控加工程序的开头,都有 3 条在校验块上运行的刀轨,分别控制刀具在校验块的 3 个不同的部位进行校验(图 2),其方式和作用分别如下:

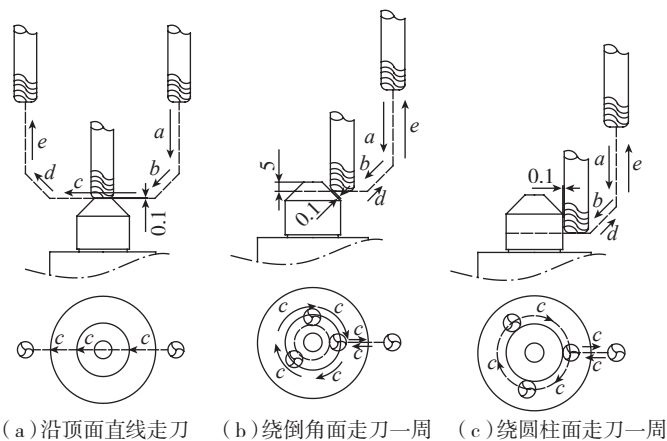


图2 校验块的使用方式和作用

Fig.2 Application and function of validation cylinder

(1) 沿校验块顶面中心线直线运行,刀具端面与校验块顶面留有 0.1mm 间距,主要检查刀具长度(补偿)及操作者的 Z 向对刀是否正确。

(2) 绕 10×10 倒角面中部一周,刀具底齿 R 距离倒角面 0.1mm ,主要检查刀具底齿半径是否正确。

(3) 绕 $\phi 30$ 圆柱面一周,刀具侧刃与圆柱面距离 0.1mm ,主要检查原点的 X 、 Y 坐标是否正确,以及检查刀具直径是否正确。

刀具在正常切削状态下围绕校验块运行,故在每一个步骤中都留有 0.1mm 距离,如果刀具、程序原点等的误差不大于 0.1mm ,校验块不会被刀具铣到,反之则会被铣伤。通过程序开始运行时检查校验块是否被铣伤,就能够判断刀具、原点等是否正确,起到防错的作用。因此,在生产中校验块一旦被铣伤则必须立刻停止加工并检查原因。

3 当前存在的问题

防错校验块在生产应用中发挥了巨大作用,避免了众多质量隐患,但仍存在使用上的不便。校验块的目的是防错,错误发生必然造成校验块被铣伤,在生产下一批次零件前就必须更换。校验块与夹具是过盈配合,因此更换校验块极为困难,尤其在取校验块时,只有靠人工操作把校验块铣小再取出。零件靠人工装夹、对刀的误差常超过 0.1mm ,故校验块被铣伤的情况时有发生,再加上飞机制造业是多批次小批量的生产方式,这都导致校验块更换频繁,大大增加了操作者的工作量,直接影响了生产效率。综上所述,按照 TRIZ 理论的思想对问题进行精简描述,可将待解决的问题归纳为:防错校验块装取困难。

4 基于 TRIZ 理论的问题分析及解决

在应用 TRIZ 理论解决创新问题的过程中,首先是对给定问题进行分析,建立问题模型,不同问题模型有各自相对应的 TRIZ 工具以及解决方案模型,利用这些中间工具及解决方案模型寻找最终方案,再将 TRIZ 问题与具体问题相对照,考虑实际条件的限制,转化为具体问题的解,最后予以实现。这是 TRIZ 理论解决问题的基本模式。

4.1 系统最终理想结果(IFR)

最终理想结果是系统在最小程度改变的情况下能够实现最大程度的自服务,是系统理想度最高的结果,系统理想度可以用下面的表达式来定义:

$$\text{理想度} = \frac{\sum \text{有用功能}}{\sum \text{有害功能} + \text{成本消耗}}$$

按照理想度的定义,最理想的系统应该是:作为实体并不存在,但其能够实现所有必要的有用功能。在实际中要寻找的最终理想结果应该具备的特点是保持了原有系统的优点,同时消除了其不足,并且没有使系统变得更复杂、没有引入新的缺陷。

根据上述理论,结合前述问题的分析描述,可以将

最终理想结果定义为：校验块能够自我装取。

4.2 系统功能分析

功能是物体作用于物体、并改变其参数的行为，是产品或技术系统特定工作能力抽象化的描述。系统通常由许多构件及其之间的相互作用组成，功能分析就是要建立系统的结构组成及其之间的相互作用关系。根据组件之间的作用关系又分为有用功能、有害功能、不足功能和过度功能^[5]。通过减少过度功能，消除有害功能，改善不足功能就可以达到提高系统理想度的目的，从而解决问题。

对防错校验块系统的功能进行分析，建立如图3所示的组件模型。由于刀具对校验块的切削是造成校验块损坏并需要更换的直接原因，故刀具的切削功能是有害功能。而夹具和校验块采用过盈配合连接，是一个过度功能。然而，刀具不切削检验块则起不到校验的目的，校验块也就丧失了一个校验刀具的有用功能，因此改变刀具的功能会造成系统功能的丧失。从功能分析的结果看，要提高系统的理想度，改善夹具对校验块的过度功能更加现实。

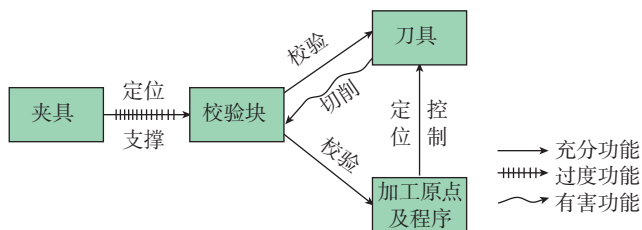


图3 功能分析
Fig.3 Function analysis

4.3 基于 TRIZ 理论的问题模型的建立

TRIZ 理论将问题模型分为技术矛盾、物理矛盾、物场模型等，对应的求解工具是 TRIZ 理论中的矛盾矩阵、分离原理和标准解法系统等，采用的解决方案则分别对应 TRIZ 理论中的创新原理、知识库方案、标准解法等。TRIZ 理论认为，发现和消除矛盾是产品进化和发展的主导力量，解决问题的关键是解决矛盾，它把工程中常见的矛盾分为技术矛盾与物理矛盾。其中技术矛盾是两个参数之间的矛盾，即当改善系统的某个参数时，会导致另一个参数的恶化。TRIZ 理论总结出了 39 个通用工程参数来描述工程领域中出现的绝大部分技术矛盾，而实践中的具体问题也正是利用 39 个通用工程参数定义的矛盾，表达为标准的 TRIZ 问题。

通过寻找最终理想结果和系统功能分析，使问题的矛盾暴露甚至尖锐化。校验块自我装取是不现实的，这一最终理想结果要根据实际问题降低要求。可将最终理想结果按照实际情况定义为提高校验块装取操作

的方便性。为了实现这一点，就要解决夹具与校验块之间连接的问题。校验块与夹具之间是采取过盈配合（ $\phi 25H7/s6$ ）的方式连接的，如果制造误差很小甚至没有，则孔与轴之间的过盈量很小甚至为零，那么校验块的定位将更精确，装取也会相对容易。然而，这对于制造精度的要求极为苛刻甚至不可能达到。可见，校验块装取操作的方便性与校验块的制造精度是一对技术矛盾。

4.4 基于 TRIZ 理论的问题解决

4.4.1 矛盾矩阵

阿奇舒勒从大量的专利中总结出了 40 条创新原理，归纳了 39 个通用工程参数，通过建立矛盾矩阵表，快速找到解决技术矛盾的常用创新原理。这成为了 TRIZ 理论解决技术矛盾的主要方法，也是 TRIZ 理论的一大核心内容。矛盾矩阵的第一行和第一列都是按序号排列的 39 个通用工程参数。不同的是列代表的是改善的工程参数，行代表的是恶化的工程参数，矛盾矩阵内部单元格中的数字即表示解决一对技术矛盾所常用的创新原理的编号，也即是 TRIZ 理论推荐的优先采用的创新理论。通过矛盾矩阵，就不需要从 40 个创新原理中逐个尝试，提高了利用创新原理的效率。

表 1 为矛盾矩阵表局部，防错校验块面临的技术矛盾是：操作流程的方便性（通用工程参数 33）改善，制造精度（通用工程参数 29）恶化。从表中可以得到推荐的创新原理编号是创新原理 1（分割原理）、32（变换颜色原理）、35（物理或化学参数改变原理）、23（反馈原理）。

4.4.2 创新原理的应用

TRIZ 理论认为不同的发明创造往往遵循共同的规律，40 条创新原理实际上就是阿奇舒勒从大量专利中归纳出来的最常用的创新方法和规律，是解决具体技术矛盾的指导方针。但是，创新原理是比较抽象的，还需要结合实际进一步转化为具体的解决对策。从矛盾矩阵找到的 4 个创新原理中，原理 32、35、23 对校验块的装取方法或结构改进都看不出明显的直接关联，可以放弃，而原理 1（分割原理：把一个物体分成相互独立的部分或分成容易组装和拆卸的部分）为校验块的改进提供了思路。

对校验块的结构及使用进行分析发现，校验块实际上是由两个具有不同功能的部分组成的。如图 4 所示，底部尺寸为 $\phi 25s6$ 的精度轴和中部 $\phi 60\text{mm}$ 的圆柱起到与夹具连接及支撑的作用，刀具并不靠近这两处，因此不会被铣到。而上部带倒角的 $\phi 30\text{mm}$ 圆柱台则是参与校验工作的主体，也正是这部分经常被刀具铣到，更换校验块的目的其实是更换这一部分而不是起支撑和连接作用的底部。按照分割原理的思想如将这两部

表1 矛盾矩阵

工程参数			恶化的通用工程参数						
			1	...	29	...	33	...	39
			运动物体的重量	...	制造精度	...	操作流程的方便性	...	生产率
改善的通用工程参数	1	运动物体的重量	—	...	28, 35, 26, 18	...	35, 3, 2, 24	...	35, 3, 24, 37
	∴	∴	∴	∴	...	∴	∴	∴	∴
	29	制造精度	28, 32, 13, 18	...	—	...	1, 32, 35, 23	...	10, 18, 32, 39
	∴	∴	∴	∴	...	∴	∴	∴	∴
	33	操作流程的方便性	25, 2, 13, 15	...	1, 32, 35, 23	...	—	...	15, 1, 28
∴	∴	∴	∴	...	∴	∴	∴	∴	
39	生产率	35, 26, 24, 37	...	32, 1, 18, 10	...	1, 28, 7, 19	...	—	

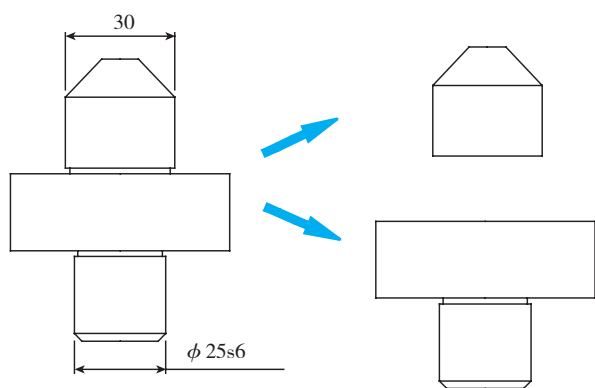


图4 原校验块的结构拆解

Fig.4 Structure details of original validation cylinder

分拆开,形成独立的具有各自功能的组件,只更换铣伤部分,不更换与夹具连接的部分,则能够解决问题。

根据这一思路设计了新的校验块,其结构如图5所示,将原校验块拆分为两个组件,两部分使用螺钉来连

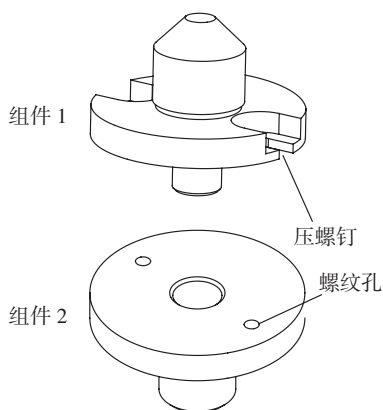


图5 新校验块的结构

Fig.5 Structure details of innovated validation cylinder

接,组件1下部的轴与组件2的孔使用间隙配合的方式来保证位置的准确。底座(组件2)与工装仍采用过盈配合方式。这样,更换校验块时就不需要取换底座,只需要松开螺钉更换组件1即可,装取校验块的操作变得轻松简便,问题得到了彻底解决。

5 结束语

新型的防错校验块在生产实践中的应用效果良好,已经全面取代了老式校验块,这一创新也获得了专利授权(专利号 ZL201020257374.9)^[6]。TRIZ 理论提供了一整套描述问题,分析问题、解决问题的方法和工具,为工程实践中遇到的问题的创造性解决提供了正确的探索方向。TRIZ 原理在飞机零件数控加工领域中的应用不仅仅局限于防错工具的创新,在工艺方法创新、工艺流程改进、设备维护保障等方面也有巨大的应用空间,对 TRIZ 理论开展深入的研究和推广应用,必将为企业带来巨大的经济效益和社会效益。

参考文献

- [1] 檀润华. 创新设计—TRIZ: 发明问题解决理论. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [2] 冷崇杰, 项辉宇, 闫晓玲. 基于 TRIZ 理论的产品结构创新设计. 制造业自动化, 2010, 32(8): 27-30.
- [3] 丁聪莉, 史翔, 贡智兵, 等. TRIZ 理论及其在机械产品设计中的应用. 中国制造业信息化, 2009, 38(21): 67-70.
- [4] 夏盛来, 何景武. TRIZ 理论在飞机结构设计中的应用研究. 机械设计与制造, 2008, 12: 57-59.
- [5] 卢希美, 张付英, 张青青. 基于 TRIZ 理论和功能分析的产品创新设计. 机械设计与制造, 2010, 12: 255-257.
- [6] 王伟, 林勇, 崔雅文. 一种校验数控加工原点及刀具尺寸的验证装置: 中国, ZL201020257374.9 [P]. 2010-7-14.

(责编 良辰)