

# 防错防混技术在活塞机加工自动线的应用

梁伟伟<sup>1,2</sup>, 罗绍杰<sup>1,2</sup>, 王磊<sup>1,2</sup>, 尹志诚<sup>1,2</sup>, 朱俊奎<sup>1,2</sup>

1. 滨州渤海活塞有限公司, 山东 滨州 256600;

2. 山东省先进发动机活塞组件重点实验室(筹), 山东 滨州 256600

**摘要:**为提高活塞机加工自动生产线工作效率,通过分析活塞生产过程的潜在失效模式及失效机理,研究防错防混技术,分析视觉影像防错防混、夹具气密检测防错、夹具硬性干涉防错、断刀检测防错技术在生产线不同工序的应用。研究表明:在活塞工艺设计方面,防错防混技术可预防失效机理或失效模式产生;在加工过程检验控制方面,防错防混技术可杜绝活塞失效件流出,提高活塞机加工自动线生产效率及产品质量。

**关键词:**活塞;机加工自动线;防错防混技术

**中图分类号:**TK406

**文献标志码:**A

**文章编号:**1673-6397(2025)01-0087-05

**引用格式:**梁伟伟,罗绍杰,王磊,等.防错防混技术在活塞机加工自动线的应用[J].内燃机与动力装置,2025,42(1):87-91.

LIANG Weiwei, LUO Shaojie, WANG Lei, et al. Application of error-prevention and mixing-prevention technology in the automatic production line of engine pistons[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2025, 42(1): 87-91.

## 0 引言

活塞是内燃机的关键部件,活塞的加工精度和质量稳定性直接影响内燃机性能<sup>[1]</sup>。随着汽车、船舶、工程机械等行业的快速发展,对活塞加工精度和质量稳定性的要求日益提高。传统手工生产线活塞加工效率低、劳动强度大,难以满足高订单需求。采用活塞自动化生产线技术是提高活塞加工效率和精度的重要途径,然而生产过程中大批量、流水线、自动化的加工特征,导致活塞出现混料或混号、销孔偏移等问题,降低了活塞加工质量,增加了活塞加工成本并可能影响内燃机性能<sup>[2-3]</sup>。随着工业智能化技术的发展,在活塞机加工自动化生产线中系统应用防错防混技术,可有效防止自动线批量活塞加工错误,提高活塞加工精度和质量稳定性<sup>[4]</sup>。本文中结合活塞生产工艺,分析不同工序对应的防错防混技术,为提高活塞质量提供参考。

## 1 活塞机加工自动线

### 1.1 组成

典型活塞机加工自动线主要由物料机器人、加工设备、工艺装备、输送系统、辅助装备和控制系统组成,根据上下料设备分为桁架式、关节机器人和有轨料盘式三种类型<sup>[5-6]</sup>。与传统手工生产线活塞加工相比,活塞机加工自动线集成了数控机床自动化活塞加工、自动上下料、基准定位与夹紧、自动排屑、集成控制与报警系统,实现了高度自动化和精确控制,显著提高了加工效率和产品质量稳定性,减少了人工干预,降低了劳动强度,更好地满足市场对活塞的高订单需求<sup>[7-9]</sup>。

收稿日期:2025-01-10

第一作者简介:梁伟伟(1988—),男,山东滨州人,工程师,主要研究方向为汽车零部件过程工艺开发与设计,E-mail:854955367@qq.com。

1.2 工序

防错防混技术,又称为防呆技术,是一种通过消除潜在失效模式或失效机理(零件失效、人为差错、工艺失效、设备故障等),减少生产偏差和错误的方法<sup>[10]</sup>。活塞机加工的失效模式主要有活塞混料或混号、活塞销孔偏移或气门坑反向加工、活塞加工工序遗漏、活塞环槽清洁度差等。通过分析活塞机加工工序,采用不同防错防混技术,可有效避免活塞加工失效,识别活塞加工失效件,杜绝活塞加工失效件流出生产线。

防错防混技术在活塞机加工自动化生产线的分布如表 1 所示,表中 A、B、C、D 分别为视觉影像防错防混技术、夹具气密检测防错技术、夹具硬性干涉防错技术、断刀检测防错技术,其中夹具硬性干涉防错技术分为止口胎干涉销硬性防错技术和定位棒干涉销硬性防错技术。

表 1 防错防混技术在活塞机加工自动化生产线的分布

| 序号 | 工序               | 技术  | 序号 | 工序          | 技术 |
|----|------------------|-----|----|-------------|----|
| 1  | 自动上料             | A   | 6  | 精车环槽        | BD |
| 2  | 精车止口             | B   | 7  | 精镗销孔        | BC |
| 3  | 粗车外圆、精车燃烧室       | B   | 8  | 精车外圆        | BC |
| 4  | 粗镗销孔、挡圈槽及外口、铣减压腔 | BC  | 9  | 清洗烘干、环槽铝屑检测 | A  |
| 5  | 铣气门坑及钻油孔         | BCD | 10 | 自动下料        |    |

A 应用于自动上料和活塞环槽铝屑检测工序;B 应用于所有的活塞机加工工序;C 应用于粗镗销孔、铣气门坑、精车外圆、精镗销孔工序,其中前 3 个工序应用止口胎干涉销硬性防错技术,精镗销孔工序应用定位棒干涉销硬性防错技术;D 应用于钻油孔和精车环槽工序。通过系统组合防错防混技术,可在设计阶段预防失效模式,并在加工过程中探测失效件,确保加工质量。

2 防错防混技术的应用

2.1 视觉影像防错防混技术

活塞机加工自动线采用视觉影像技术对自动上料工序和活塞环槽铝屑检测工序进行视觉检测。该技术主要包括图像获取、图像预处理、图像分割、图像识别及图像检测<sup>[11]</sup>。

2.1.1 自动上料工序

通常活塞销孔中心线相对于活塞中心线偏心设计,活塞气门坑有方向,活塞的结构特征决定活塞机加工必须定向装夹。活塞毛坯姿态在机加工自动线毛坯料道中为无序状态,为避免活塞加工方向错误,采用视觉影像技术识别活塞销座凸台或挡圈槽缺口等特征,将无序的活塞毛坯输出为有序姿态,实现活塞定向放置装夹。视觉影像上料系统如图 1 所示。

视觉影像上料系统包含相机(含光源)、图像处理器、显示器、影像定位座、影像底座、旋转设备等。生产新品前,活塞机加工自动线采集活塞毛坯图形,处理器将输入图样处理后设定为标准图样;正式生产过程中,相机采集每个活塞图形并输入图像处理器,图像处理器将输入的活塞图形与标准图样进行形状对比分析,通常设定图像形状相似度大于等于 90% 为正常,小于 90% 为异常;判断为异常的活塞毛坯进入待处理料道,可避免其它型号活塞毛坯混料;判断为正常的活塞毛坯,经图像处理器提取活塞特征,进行图像处理识别毛坯相位,输出相位信号后由设备自动进行位置修

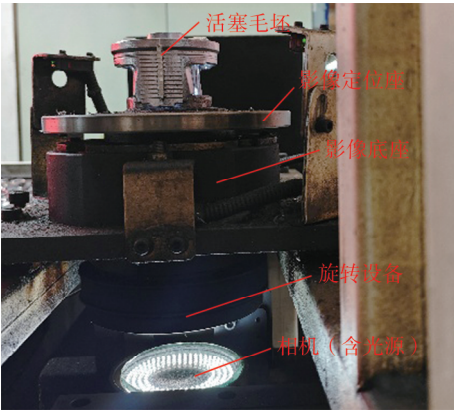


图 1 视觉影像上料系统

正,直至活塞毛坯姿态输出信号正确,保证后续活塞加工方向正确。不同活塞对应的标准图样极限不同,按照防错清单确定对应活塞的视觉影像上料图样极限,并定期进行防错验证,避免视觉影像系统失效造成批量活塞加工错误。

### 2.1.2 环槽铝屑检测

若采用100%人工目视检验活塞环槽铝屑,会因视觉疲劳、疏忽等不可抗因素造成环槽清洁度不满足标准要求,降低产品质量,采用视觉影像技术进行检测,可有效消除以上潜在风险,环槽铝屑影像检测设备如图2所示,该设备由相机、图像处理器、图像显示器、专用影像胎等组成。

首次生产新品前,活塞机加工自动线采集无铝屑的活塞环槽图样经处理器处理后设定为标准图像。加工过程中,相机采集图像,并与标准图像对比分析,若活塞环槽内有铝屑异物,显示器显示异常,机械手抓取该活塞进入铝屑异常料道,由人工作业去除环槽内铝屑;若活塞环槽内没有铝屑,显示器显示正常。环槽铝屑影像检测设备可准确识别环槽异物,避免人工目视检查疏忽,提高产品质量。

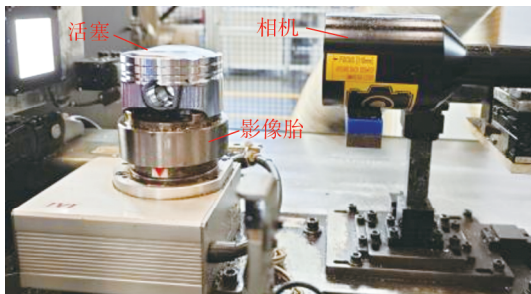


图2 环槽铝屑影像检测设备

### 2.2 夹具气密检测防错技术

活塞机加工自动线生产过程为全封闭无人状态,切削液自动冲洗及高压吹气清理活塞加工定位面的效果未知,若清理效果不佳,定位面间夹杂铝屑,出现定位凸点,导致活塞定位精度差,影响活塞加工精度。夹具气密检测系统通过检测密封通道或系统气压分析有无气体外泄,判断活塞加工定位面有无定位凸点<sup>[12]</sup>。活塞止口定位面如图3所示,胎具气密检测系统结构如图4所示。

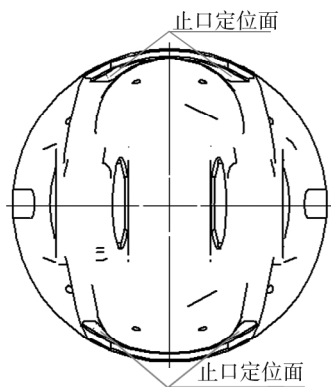


图3 活塞止口定位面

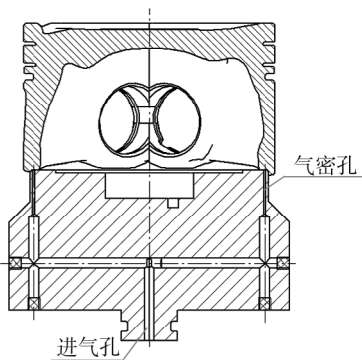


图4 胎具气密检测系统结构

由图3可知:活塞止口定位面一般包含4个定位区域。由图4可知:胎具气密检测系统的气密止口胎有气密孔,一般为4个,以保证气密检测系统稳定及准确性。根据止口定位面确定气密孔直径,胎具气密检测系统设定最大漏气体积流量,检测时,将活塞装夹在气密止口胎上,当止口定位面无铝屑时,活塞止口定位面完全覆盖气密孔,此时气密孔不漏气或极少漏气,不引发报警;当止口定位面上夹杂铝屑时,定位面出现定位凸点,活塞止口定位面不能完全覆盖气密孔,气密孔漏气量超出阈值,设备报警并停机,避免定位面间夹杂铝屑影响活塞加工质量。

### 2.3 夹具硬性干涉防错技术

自动上料工序的视觉影像上料设备配备光源,图像滤波处理能改善活塞毛坯图像质量,但活塞毛坯呈亮白色,图像处理器误判率为十万分之一,使活塞姿态的输出方向错误,导致加工活塞销孔偏心方向或气门坑方向错误。为避免活塞方向错误,对自动线中有加工方向要求的工序采用硬性干涉防错技术。

### 2.3.1 止口胎干涉销硬性防错

活塞销座凸台可辨别活塞定位方向,在活塞机加工自动线采用此特征实现夹具硬性防错。止口胎干涉销防错结构如图 5 所示。止口胎上装配干涉销,若机械手按错误方向放置装夹活塞,活塞销座凸台与干涉销干涉,活塞止口定位面无法接触胎具定位面,两个定位面间留有间隙,气密检测系统检测到超出漏气阈值,设备报警停机。若活塞放置方向正确,止口胎干涉销与活塞销座凸台不干涉,设备正常运行。

### 2.3.2 定位棒干涉销硬性防错

若活塞加工不能应用销座凸台特征时,可以采用活塞挡圈槽缺口实现硬性防错。定位棒干涉销防错结构如图 6 所示。在精镗销孔,机械手放置活塞方向正确时,定位棒上的干涉销能够进入活塞挡圈槽缺口,定位棒按规定距离前进,到达指定位置后行程开关由打开切换至关闭状态,设备正常运行;当机械手放置活塞方向错误时,定位棒上的干涉销与活塞干涉,定位棒不能按规定距离前进到位,行程开关无法切换至关闭,设备无法启动。

## 2.4 断刀检测防错技术

油孔钻头较细,主轴转速较快,油孔加工过程中,钻头受力较大,经常断裂。人工检查自动生产线末端的油孔是否缺失时,如未及时发现会产生大量活塞废品。采用断刀检测防错技术可杜绝钻头断开引起的质量风险。目前在活塞机加工自动线主要采用接触式断刀检测防错和非接触式断刀检测防错<sup>[13]</sup>。

### 2.4.1 接触式断刀检测防错

接触式断刀检测主要通过机械接触和电信号变化实现检测<sup>[14]</sup>,接触式断刀检测结构如图 7 所示。钻头开始加工前,钻头尖部接触检测系统探针,探针反馈稳定的压力和振动信号;当钻头断裂时,钻头长度和形状发生改变,使探针反馈信号(如频率或振幅等)发生改变,系统检测到变化信号,设备报警并停机;部分接触式断刀检测系统将探针和钻头形成闭合电路,当钻头断裂时,根据电信号变化,电路切断,设备报警并停机。

### 2.4.2 非接触式断刀检测防错

非接触式断刀检测主要采用红外线反射或遮挡实现检测<sup>[15]</sup>,非接触式断刀检测结构如图 8 所示。红外线发射器发出红外线至接收器,以接收器接收到红外线信号强度为标准进行检测。钻头开始加工油孔前,钻头进入检测位置,红外线发射器发出红外线至钻头刀尖,钻头遮挡住部分红外线;当钻头断裂时,钻头形状及长度发生变化,红外线不被遮挡或遮挡减少,接收器接收到超过阈值的信号后,设备报警并停机。

## 3 结束语

本文中以防错防混技术在活塞机加工自动线应用为例,分析了视觉影像防错防混技术、夹具气密检测防错技术、夹具硬性干涉防错技术、断刀检测防错技术在活塞加工过程中的具体应用。通过防错防混技术的系统化实施及应用,活塞机加工自动线有效杜绝了活塞缺陷件的产生及流出,降低了活塞废品率,

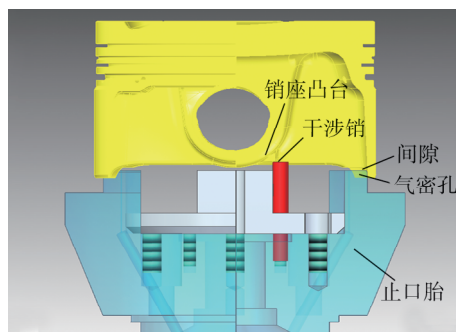


图 5 止口胎干涉销防错结构图

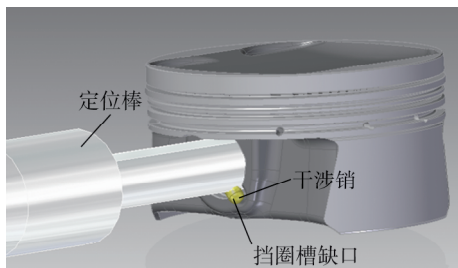


图 6 定位棒干涉销防错结构图

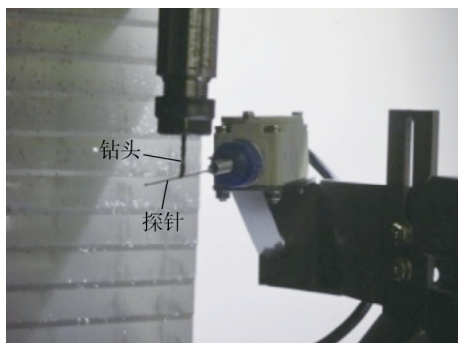


图 7 接触式断刀检测结构



图 8 非接触式断刀检测结构

提高了活塞产品质量,为防错防混技术在汽车零部件制造业的广泛应用提供了一定的参考。

### 参考文献:

- [1] 陈建良,赵清海,李信卿,等. 内燃机活塞点阵结构可靠性拓扑优化设计[J]. 机械强度,2023,45(1):91-97.
- [2] 万海峰,殷俊慧. 一种面向汽车产品模块化的多层可配置 BOM 实现技术[J]. 上海汽车,2013(11):34-38.
- [3] 莫金,王江全. 连杆加工防错防混方法的分析及应用[J]. 汽车实用技术,2024,49(14):108-111.
- [4] 宋柱. 防错技术在汽车总装工艺中的应用及提升[J]. 农业装备与车辆工程,2024,62(8):68-71.
- [5] 张传思. 基于机器人的机加工自动线的应用及选择[J]. 世界制造技术与装备市场,2022(2):52-54.
- [6] 郑金来,熊昌秀,丁海方,等. 柔性加工设备及轨道机器人在转向节加工自动线中的运用[J]. 组合机床与自动化加工技术,2016(3):148-150.
- [7] 朱飞虎,唐方红. 鼓式刹车片加工自动生产线的设计与实现[J]. 制造业自动化,2022,44(4):112-114.
- [8] 蔡宏伟,黄云龙,周久红,等. 乘用车曲轴自动线常见工艺停台及解决方案[J]. 锻造与冲压,2022(1):68-73.
- [9] 刘殿有. 刚柔结合的发动机缸体生产自动线设计[J]. 组合机床与自动化加工技术,2015(2):148-150.
- [10] 蒋斌,胡世东,马春武,等. 防错技术在总装工艺中的运用及提升[J]. 时代汽车,2019(5):125-126.
- [11] 宋阳,张国兴,张成龙. 机器视觉技术在智能制造装备中的应用分析[J]. 现代制造技术与装备,2019(6):182-183.
- [12] 倪天宝,郭晓云,郭立民,等. 气密检测在活塞铸铁环槽加工中的应用原理设计[J]. 时代汽车,2020(11):104-105.
- [13] 高中涛,刘仁龙,张伟. 接触式断刀侦测系统的研究和应用[J]. 制造技术与机床,2007(11):20-22.
- [14] 彭梁锋,张晓毅,字立敏,等. 卧式加工中心接触式在机断刀检测功能开发与实现[J]. 机床与液压,2021,49(14):110-113.
- [15] 任尧,袁嫣红,向忠. 非接触式断纱检测系统设计[J]. 浙江理工大学学报(自然科学版),2018,39(2):200-205.

## Application of error-prevention and mixing-prevention technology in the automatic production line of engine pistons

LIANG Weiwei<sup>1,2</sup>, LUO Shaojie<sup>1,2</sup>, WANG Lei<sup>1,2</sup>, YIN Zhicheng<sup>1,2</sup>, ZHU Junkui<sup>1,2</sup>

1. Binzhou Bohai Piston Co., Ltd., Binzhou 256600, China;

2. Shandong Key Laboratory of Advanced Engine Piston Assembly (planned), Binzhou 256600, China

**Abstract:** In order to improve the work efficiency of automatic piston lines, the potential failure modes and failure mechanisms of the piston machining production are analyzed. The application of corresponding error-prevention and confusion-prevention technology are analyzed, including visual image error-prevention and confusion-prevention, fixture air tightness detection-prevention, fixture rigid interference error-prevention, and tool breakage detection error-prevention technology in different processes of the production line. The research results show that in terms of piston process design, error-prevention and confusion-prevention technology can prevent the generation of failure mechanisms or failure modes; in terms of inspection and control of the machining process error-prevention and confusion-prevention technology can eliminate the outflow of piston failure parts, the error-prevention and mixing-prevention technology improve the production efficiency and product quality of the piston machining automatic lines.

**Keywords:** piston; machining automatic line; error-prevention and mixing-prevention technology

(责任编辑:胡晓燕)