

Research on the Design of Continuously Adjustable Clamping Mechanism for a New Type of High-Speed Rail Grinding Machine

Guanzhi Hu¹ Shuaijun Wang²

1. Hubei Aviation Precision Machinery Technology Co., Ltd., Xiangyang, Hubei, 441057, China

2. Hangyu Life Saving Equipment Co., Ltd., Xiangyang, Hubei, 441057, China

Abstract

The paper aims to meet the needs of a new type of high-speed grinding machine for a certain company's sliding rail, and designs a set of dedicated stepless adjustment clamping mechanisms to achieve automatic, fast and reliable clamping of multiple types and lengths of workpieces. It solves problems such as low production efficiency, paint bumps on the clamping workpiece surface, and equipment upgrading. The paper provides a detailed introduction to the design analysis and innovative structure display of the clamping mechanism.

Keywords

high-speed grinding machine; continuous adjustment; clamping mechanism.

新型滑轨高速磨合机无级调节夹持机构设计研究

胡冠之¹ 王帅军²

1. 湖北中航精机科技有限公司, 中国·湖北 襄阳 441057

2. 航宇救生装备有限公司, 中国·湖北 襄阳 441057

摘要

论文针对某公司新型滑轨三合一高速磨合机的需要, 配套设计出一组专用无级调节夹持机构, 实现了对多品种多种长度工件的自动快速可靠夹紧, 解决了生产效率低、夹持工件面油漆磕碰伤及装备提档升级等问题。论文详细介绍了该夹持机构的设计分析及创新结构展示。

关键词

高速磨合机; 无级调节; 夹持机构

1 引言

汽车座椅滑轨(如图1所示)前后调节的滑动性关系到汽车座椅调节是否舒适, 在滑轨装配工艺中, 需要进行内外轨磨合。传统的低速磨合机(1次/秒)速度慢, 无法满足生产需求。因而需要开发一种高效率的适用于多品种多种长度的三合一(装钢球、磨合、力检测)高速磨合机(4~8次/秒)。

磨合机工作过程中, 内轨及钢球架推入外轨及之后的动作均需要无级调节夹持机构配合完成。

高速磨合机(如图2所示)的工作原理: 内轨及钢球架手工装配→内轨及钢球架推入模拟轨→外轨跟随滑块在夹具上到达对接位→内轨及钢球架推入外轨→曲柄转动一定角度→机装模拟轨离开→曲柄继续转动需要的角度(磨

合次数)→二次滑动力检测完成→下料机器人取走滑轨总成^[1]。

以往使用的低速磨合机中的夹持机构(如图3所示)是内轨及钢球架推入外轨后, 继续由夹持机构夹紧内轨左右移动(外轨不动, 与高速磨合相反)完成磨合功能, 虽然可以磨合滑轨, 但无法满足生产节拍及适应多品种多种长度工件夹持的需求。

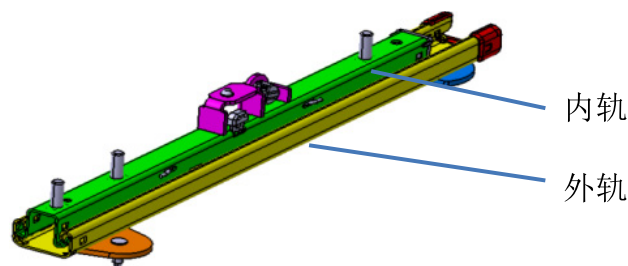


图1 滑轨总成

【作者简介】胡冠之(1964-), 男, 中国湖北黄冈人, 本科, 高级工程师, 从事非标自动化专用装备设计开发研究。

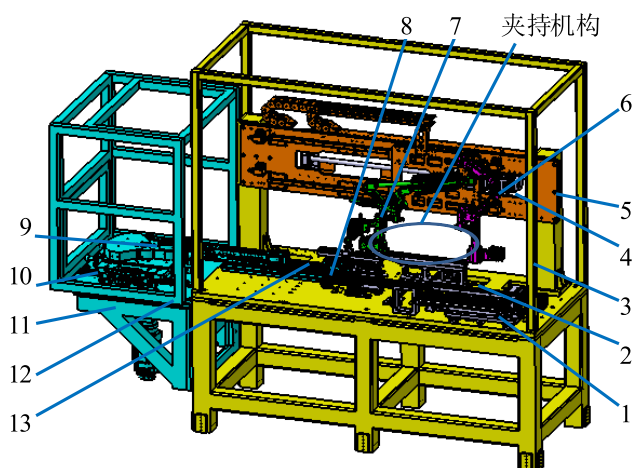


图 2 新型滑轨三合一高速磨合一体机

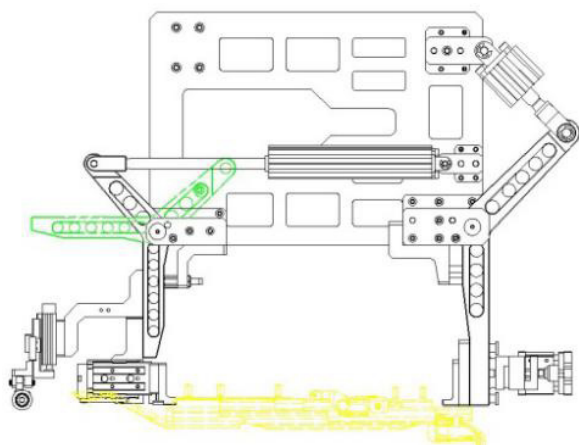


图 3 低速夹持机构的夹持状态

2 夹持机构工作原理

滑轨总成装配完成后,紧接着就是磨合工序。在内轨装入外轨后,需要保持内轨不动,外轨高速左右移动。外轨不停地往复磨合达到规定次数,自动切换成检测模式,分别松开夹持内轨的右夹头及左夹头,并且各移动一次检测无涩点,磨合力达标。这一过程就需要夹持机构有效夹持内轨的两端,遵循磨合机的系统控制程序完成相应的动作。

3 夹持机构状态分析

磨机在工作时,夹持机构的左夹手机机构和右夹手机机构分别夹持住内轨两端,内轨保持不动,外轨高速来回运动。夹持机构在夹持状态时必须夹紧有力,并随时补偿由于高速磨合时频繁换向产生的不同方向的冲击载荷的瞬间挤压间隙。夹持机构的夹持(夹紧)状态如图 4 所示^[2]。

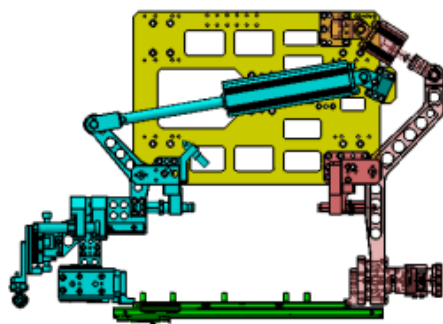


图 4 夹持机构的夹持状态

夹持机构在高速磨合完成后,必须处于松开状态,即左夹手翻转至最高点,右夹手远离夹紧点,形成最大的开阔空间完成避让,以便机器人顺利下料。另外,内轨横向水平到位时也要有避让空间。夹持机构的松开状态如图 5 所示。

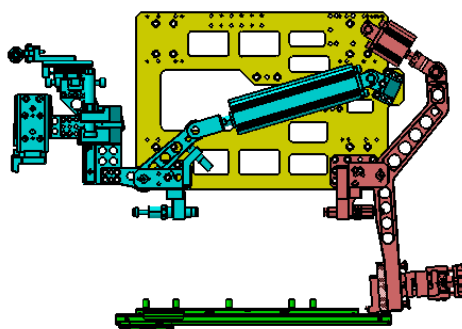


图 5 夹持机构的松开状态

4 无级夹持机构设计分析

无级调节夹持机构主要是通过左夹手机机构的变化运动实现对多种长度的工件夹持(无级夹持、检测、压稳外轨、翻转等)。右夹手机机构作为基准端,结构相对简单(夹持、检测)。论文中主要分析的是左夹手机机构。

无级调节夹持内轨的长度调节范围必须满足:390~440mm,即 50mm 大位移量,最大夹持内轨长度 440mm。

4.1 设计思路

设计第一步:设计一种核心加力臂,能够保证节省空间,承载中载,简单轻量精致,强度刚性足够,不变形等性能,用来布置无级调节夹持机构(此处可用空间非常有限,减少工作力消耗),加力臂结构如图 6 所示。

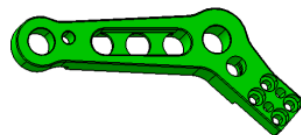
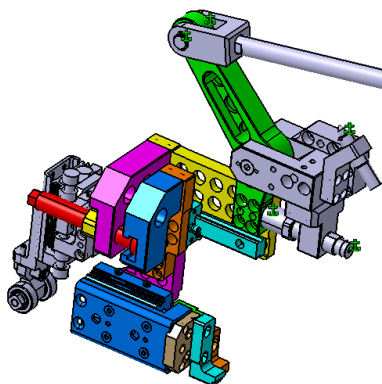


图 6 核心加力臂

设计第二步:在核心加力臂的规定方向设置安装板、固定板、调节长螺钉及直线导轨等。直线导轨和用以做无级

调节的长螺钉分别安装在安装板和固定板上；直线导轨用来使滑块做直线运动和无级位移。零件布置如图7所示。



注：1—安装板；2—固定板；3—调节长螺钉；4—移动板；5—滑块板；6—滑块；7—直线导轨；8—夹紧气缸组件

图7 短加力臂处零件布置

设计第三步：在直线导轨的滑块上增加滑块板和移动板等，滑块板与滑块连接成一体，用来安装夹紧气缸组件；移动板固定在滑块板上，并与调节长螺钉安装，配合产生无级调节功能。拧动调节长螺钉，使移动板沿直线导轨左右移动接触到内轨的一端（包含内轨长度390~440mm），即产生需要的不同位移（0~50mm），最后螺母锁死即可（做一批工件仅调一次）。

4.2 加力臂旋转中心法线与夹爪头位置关联分析

核心加力臂的下端设置有左夹手组件，其机构复杂，包含多个功能组件，在有限的空间内布置好这些组件，需要合理设计它们的关联位置，如图8所示。

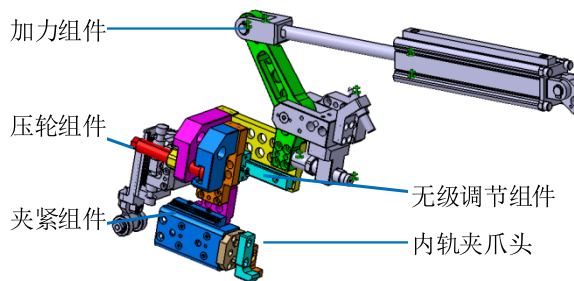


图8 各组件的位置关系

内轨的长度范围：390~440mm；对应产生的位移量是：0~50mm，即无级调节的范围，如图9所示。

从图8可以看出，左夹爪加力臂旋转轴心（固定不变）的法线距离夹持440mm内轨端头尺寸为15.9mm，距离夹持390mm内轨端头尺寸为34.1mm，形成法线左边涵盖一种尺寸（440mm），法线右边涵盖三种尺寸（420/400/390mm）的既定合理布局。

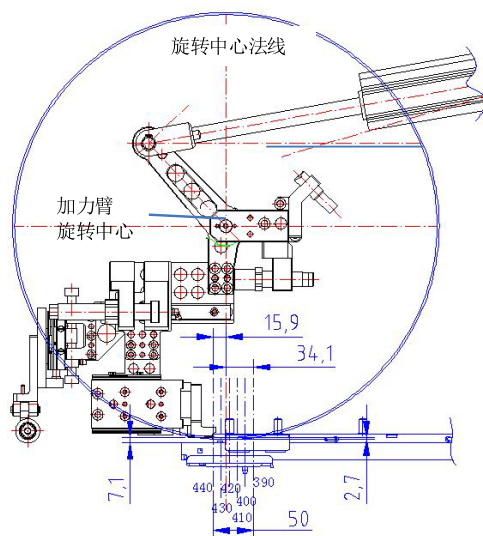


图9 无级调节范围

另外，用几何作图法可以验证夹爪头旋转最低位时，位于法线右边的较远的内轨是否产生干涉。当夹持390mm内轨端头时最易产生干涉情况，计算得知最小距离为4.4（7.1~2.7）mm大于零，（7.1mm为夹爪头最低处与外轨上表面距离，2.7mm为夹爪头最低位与夹爪头旋转最低位法线时距离），说明还有间隙。如果在这种极限尺寸夹持时，没有与外轨上表面发生干涉，则右边夹持的其他长度的内轨均不会发生干涉情况。位于法线左边的内轨夹持不可能产生干涉，因为夹爪头的最低位到外轨上表面距离有间隙7.1mm，且旋转时未过法线^[3]。

5 加力组件结构设计分析

加力组件在左右夹手组件中提供夹持力的作用。磨合完成后，夹紧组件自动切换状态检测滑轨总成的滑动力（需要另外一套伺服送进机构配合移动左右及右左，二个磨合行程）。

5.1 加力组件动作分析

左夹手加力组件：长行程（行程200mm）气缸加力→推动加力臂绕旋转轴旋转→夹紧组件的夹爪头推动内轨一端并夹紧内轨（需要右夹手机构在另一端提前定位）。

右夹手加力组件：短行程（行程20mm）气缸加力→推动加力臂绕旋转轴旋转→夹紧组件的夹爪头推动内轨另一端送进至外轨的前极限位，并在内轨端头定位（随后左夹手机构在另一端夹紧内轨）。

5.2 左加力组件结构设计分析

由于滑轨低速磨合时，左夹手机构有颤动现象发生，如果颤动明显，左右夹爪夹持内轨磨合时来回高频换向会产生间隙。分析确认是气缸的夹紧力偏小造成的。如果这种现象没有及时解决，易造成内轨端头油漆面划伤（磨合时都是油漆件），影响产品质量，还会增加噪音。

为了减轻颤动现象，设计了两种加力方案，并进行了

比较分析。两种设计方案如图 10 所示。

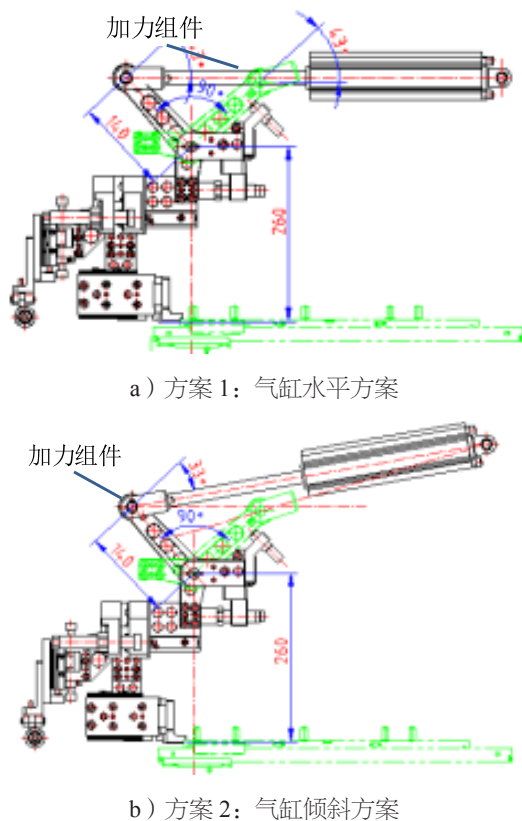


图 10 加力组件的设计方案

方案 1 气缸水平安装, 方案 2 气缸倾斜 10° 安装。分析哪种方案的夹持力更大。

两种加力组件设计方案的加力臂及夹爪头受力简化图如图 11 所示。

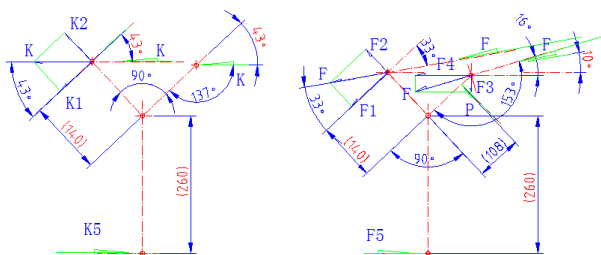


图 11 加力臂受力简图

在压缩空气压力均为 $6\text{kg} \cdot \text{N}/\text{cm}^2$ 时, 加力臂杠杆比例 (140/260) 相同且均为 40 气缸 (推力最大 75kg) 的情况下, 分别计算作用在加力臂上端头的力 K1、F1 及夹紧工件端的力 K5、F5。

$$K1 = K \times \cos 43^\circ = 75 \times 0.375 = 28\text{kg}$$

$$K5 = 28 \times (140 \div 260) = 15\text{kg}$$

$$F1 = F \times \cos 33^\circ = 75 \times 0.838 = 62\text{kg}$$

$$F5 = 62 \times (140 \div 260) = 33\text{kg}$$

$$K1 < F1 \quad K5 < F5$$

结论: 条件相同时, 方案 2 的夹持力明显优于方案 1, 因此本高速磨合机采用的是方案 2, 即夹紧工件端的力为 33kg, 是方案 1 的 2.2 倍, 彻底解决了夹紧力不足的问题。左夹爪夹持内轨总体设计位置示如图 12 所示 (夹紧状态)。

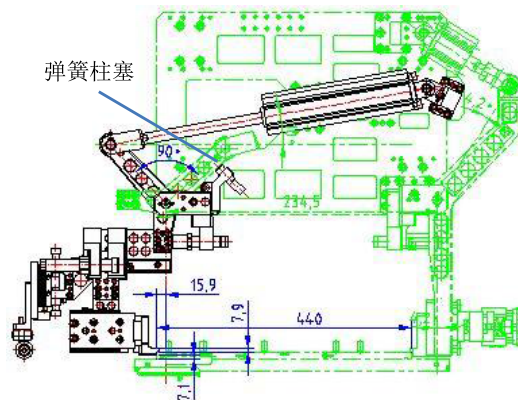


图 12 左夹爪夹持内轨总体设计位置

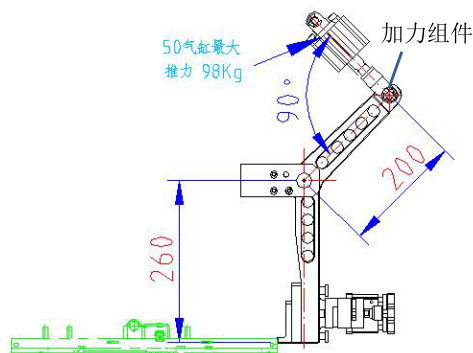
方案 2 成功地解决了夹持力小的问题, 但是也带来了另一个问题, 即加力气缸缩回至启动位时 (换向顺时针旋转 90°), 再启动时的速度变慢了。原因是气缸缩回位与加力臂上端的夹角加大到 153° (方案 1 的夹角为 137°), 更加接近 180° 。启动时在气缸轴线上消耗的力矩较多, 用于推动加力臂 (与气缸轴线垂直方向) 旋转的力矩就小。速度慢也是生产节拍不允许的。

经过分析, 采用增加启动助力的方式, 即靠近加力臂上端 108mm 处的限位座上, 新增一个弹簧柱塞 (PJX16-15), 气缸缩回至启动位时弹簧柱塞储存预压力, 待到启动夹紧程序时, 压力释放变为附加启动动力, 使加力臂快速转动, 加快了旋转速度。弹簧柱塞与加力臂接触面垂直安装, 助力大小可调, 这样可以彻底解决启动速度变慢的问题。

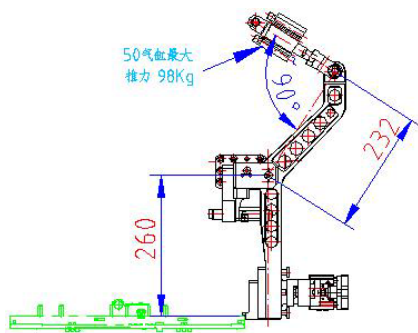
根据上述作图及分析, 还得出一个新的结论, 即气缸的倾斜安装角度不能超过 10° (限本机构需要旋转 90° 的大角度设计)。

5.3 右加力组件结构设计分析

同样, 为了减轻右夹手颤动, 设计了两种加力方案, 并进行了比较分析。两种设计方案如图 13 所示。



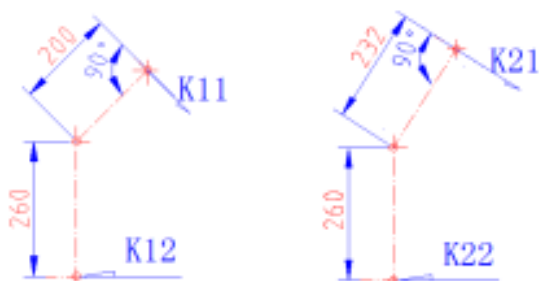
a) 方案 1: 短加力臂方案



b) 方案 2: 长加力臂方案

图 13 两种加力组件方案

方案 1 和方案 2 的加力臂长度分别为 200mm 和 232mm。两种加力组件方案的加力臂受力简化如图 14 所示。



a) 短加力臂受力简化图 b) 长加力臂受力简化图

图 14 加力臂受力简化图

因为气缸相同, 且均为 90° 受力, 所以

$$K_{11}=K_{21}=98\text{kg}$$

$$K_{12}=98 \times (200 \div 260) = 98 \times 0.77 = 75\text{kg}$$

$$K_{22}=98 \times (232 \div 260) = 98 \times 0.89 = 87\text{kg}$$

$$K_{11}=K_{12} \quad K_{12} < K_{22}$$

结论: 在条件完全相同时, 方案 2 的夹紧力大于方案 1, 因此本高速磨机采用的是方案 2, 即夹紧工件端的力

为 87kg, 是方案 1 的 1.16 倍, 加大 12kg (受限整体结构), 从而解决了夹紧力不足的问题。右夹爪夹持内轨总体设计位置如图 15 所示 (夹紧状态)。

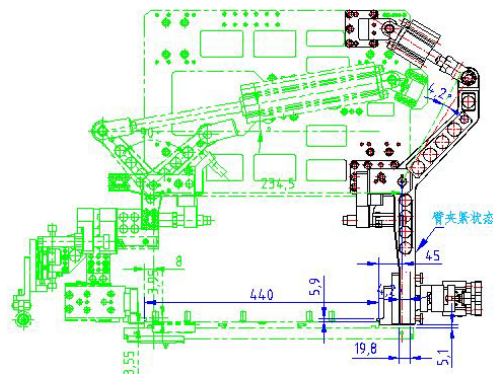


图 15 右夹爪夹持内轨总体设计位置图

在压缩空气压力均为 $6\text{kg} \cdot \text{N}/\text{cm}^2$, 气缸直径均为 50 (推力最大 98kg) 的情况下, 加力臂杠杆比例方案 1 为 200/260, 方案 2 为 232/260。分别计算作用在加力臂上端头的力 K_{11} 、 K_{21} 及夹紧工件端的力 K_{12} 、 K_{22} 。

6 结语

实际应用表明, 无级调节夹持机构设计合理可靠, 可以满足多尺寸工件 (内轨) 的夹持及高速磨合, 且能满足生产节拍需求, 及占地少, 有效地解决了以前需要三台独立专机才能完成三道慢速装配工序, 较好地完成了自动化装备的提档升级, 应用前景广阔。

参考文献

- [1] 孙桓, 陈作模, 葛文杰. 机械原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [2] 刘守勇. 机械制造工艺与机床夹具[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [3] 李书全. 机械工程师手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.