

Design of high-efficiency automatic processing equipment for diamond wire saw and dynamic optimization technology of cutting parameters

Zhilong Wang Weiwei Cai Haiyang Liu

Guilin Tebang New Materials Co., Ltd., Guilin, Guangxi, 541004, China

Abstract

With the rapid development of the stone processing industry, especially the gradual realization of the localization of the combined wire saw machine, the problems of expensive imported products, high production costs, and difficult maintenance of parts have been solved. However, in the process of dynamic parameter adjustment, there are still problems such as manual operation and low level of intelligence. In order to improve the operation efficiency of the diamond combined wire saw, it is necessary to have the function of dynamic parameter optimization in order to achieve efficient and intelligent transformation in the design process. In this paper, the design of high-efficiency automatic processing equipment for diamond wire saws and the dynamic optimization technology of cutting parameters are studied. Through research, it provides a new idea for the diamond combined wire saw machine to process stone more efficiently and precisely. At the same time, the cutting parameters are dynamically optimized and adjusted to ensure that the stone slab planing process is more accurate, realize dynamic control, and improve production efficiency.

Keywords

diamond wire saw; automatic processing equipment; Devise; cutting parameters; Dynamic optimization technology

金刚石绳锯高效自动化加工装备设计及其切割参数动态优化技术

王智龙 蔡巍巍 刘海洋

桂林特邦新材料股份有限公司, 中国·广西 桂林 541004

摘要

随着石材加工行业的快速发展,尤其是逐步实现组合绳锯机的国产化替代,使得进口产品昂贵、生产成本高、部件维护困难等问题得以解决。但是,设备在进行动态参数调整的过程中,依然存在以人工操作为主,智能化水平低等问题。为提高金刚石组合绳锯机运行效率,其设计过程中要实现高效智能化转型,需具备参数动态优化功能。本论文针对金刚石绳锯高效自动化加工装备设计及其切割参数动态优化技术展开研究。通过研究,为金刚石组合绳锯机更加高效、精密加工石材提供了一条新的思路。同时,对切割参数进行动态优化调整,确保石材大板刨分过程中更加准确,实现动态控制,提高生产效率。

关键词

金刚石绳锯; 自动化加工装备; 设计; 切割参数; 动态优化技术

1 引言

现在的石材加工领域,比较重要的环节是开采石材及石材刨分。随着超硬工具的进步,石材切割装备也不断地更新换代^[1]。金刚石组合绳锯机作为一种石材刨分装备,能

够实现同时锯切多块石材大板,用于取代目前普遍应用的砂锯、平移锯等高污染工具。金刚石组合绳锯机在技术上具有高效节能、污染小、自动化水平高等特点。目前,随着石材行业对出材率与设备稳定性提出更高要求,就要对该设备进行创新设计,并深入研究切割参数动态优化技术,使其创造更大的经济效益。

【基金项目】中央引导地方科技发展资金科技成果转化类“金刚石闭环组合绳锯及配套多绳组锯机制造技术(项目任务书编号:桂科ZY24212025)”

【作者简介】王智龙(1995-),男,壮族,中国广西桂林人,本科,助理工程师,从事超硬材料工具研究。

2 金刚石组合绳锯机的优势

2.1 切割性能优势

配合组合绳锯切割精度高。金刚石组合绳锯机的重要特点是将多条金刚石组合闭环绳锯装在同一装备上同时锯切多块石材大板,从而实现高硬度且耐磨的切割操作,既保

证切口有良好的平整度，也不容易发生断绳，切割板材质量大幅也优于传统工具。

2.2 剖分效率高

配合组合绳锯实现寿命大幅提高。通过协同设计优化，相比传统工艺切割大理石、奢石等各类硬度石材可大幅缩短作业周期，显著降低石材刨分中所花费的时间成本与零部件损耗。

2.3 安全与环保优势

其一，安全性高。金刚石组合绳锯机搭配各类规格的组合绳锯，能够减少组合绳锯卡绳、断绳等安全隐患。在操作过程中，还具有过载保护功能，进一步保障了操作人员的安全；

其二，防尘防水。切割过程时，通过水架、水架进给、冷却及冲洗系统，实现切割同步注水，切割时有效降低绳锯与石材接触面剧烈摩擦产生的温度，减少灰尘飞扬，以达到保护工人在工作时减少灰尘的影响和延长组合绳锯寿命两个目的，实现绿色环保作业；

其三，噪音低。金刚石组合绳锯机的应用，相比较于砂锯等老一代切割设备，大幅度降低锯切声，减少了对操作工造成的噪音伤害。

3 金刚石绳锯机设计现状

我国的二十一世纪初期，绳锯机的发展存在滞后性。此时我国石材开采以及加工行业正处于关键发展阶段，更加需要绳锯机^[2]。但是，从当时国内的绳锯机技术情况来看，依然维持在低水平状态，如果需要高端装备，则要从意大利进口。意大利拥有先进的石材加工技术，绳锯机制造技术水平更高，且生产经验丰富。其生产的绳锯机在很多方面都有其他国家生产极不具备的性能，质量高且应用稳定，我国企业对其非常青睐。

组合绳锯锯切技术作为第二代石材大板加工技术，2011年后，该技术迎来了快速发展期，国外石材业发达国家均急于不断完善技术和推广应用，努力抢占市场；国内企业也积极参与研究，解决了建材产业链中石材大板加工用多绳组锯机与配套组合绳锯的国产化配套问题，实现逐步取代进口，实现出口创汇。并引领石材大板加工等诸多应用领域转型升级，带动了超硬材料工具行业的发展。

目前，我国金刚石组合绳锯机技术的进步主要体现在关键零部件设计方面：

从结构设计来看，金刚石组合绳锯机由龙门立柱部件、垂直进给系统、驱动电机及驱动轮系统、从动轮系、张紧轮系、导向轮系、冷却及冲洗系统、排水系统、电气系统、电气柜体等众多模块组成，集成度和自动化水平较高。工作时，数十条闭环绳锯由张紧部件完成绳锯张紧动作后，由主电机驱动驱动轮带动绳锯闭合循环运动，其中导向轮用于保障切割板材的厚度尺寸准确和稳定；而垂直进给部件为整机的升降运动提供支持从而完成切割动作。

4 金刚石绳锯高效自动化加工装备设计创新

金刚石绳锯高效自动化加工装备设计创新，可采用多目标双优化设计方式，实施虚拟装配与路径规划，针对关键件制造工艺进行创新优化。具体如下：

4.1 多目标优化设计

组合绳锯机性能的提高，采取多目标双优化设计至关重要。为确保金刚石组合绳锯机具备良好的切割效能，可对组合绳锯机龙门、垂直进给、轮座、张紧部件等结构进行多目标优化，使其装配更短更小规格的组合绳锯。比如目前市场上各厂家的组合绳锯机多搭配长度24米及以上组合绳锯进行切割，其单位长度组合绳锯使用寿命低、切割板材的平方数不高，如果将绳长缩短到20米及以下长度，可节省组合绳锯生产成本高达25%左右，使得切割效率明显提高。

轻量化改造，选择新型材料，对设备大型部件进行优化改造，例如龙门架、工作梁等部分采用高强度合金材料降低整机重量，实现整机能源消耗量降低。例如，组合绳锯机减少使用传统钢材，取而代之的是部分部件替换为高强度铝合金材料，整机重量实现减重8%。

通过分析组合绳锯机的张紧部件模块，逐条追踪解析绳锯的张力，采用配备独立模块的方式，使其运行更加稳定，提升可靠性。即组合绳锯机上几十条绳锯在切割石材过程要始终保持稳定张力，张力不稳定直接影响石材的切割平整度及切割速度，且容易造成断绳。通过每条绳锯配套相应的液压系统和电控系统，并独立优化设计，实现组锯绳张紧力稳定。

通过在变频器输出端加装变频器输出滤波器，解决变频器在逆变过程中产生的高次谐波，防止变频器干扰电机及变频器周围的敏感机电设备。高次谐波产生热效应，使得电机局部发热，加速电机绝缘老化，甚至发生线路故障或烧毁。高次谐波电流使电机产生谐波转矩，当机械振动频率与谐波转矩频率一致时，易产生共振，对被切割石板的表面质量产生不良影响。

应用多目标优化技术进行设备部件模块优化，实现组合绳锯机切割性能大幅度提升，既保证切割效率又提高板材质量。比如，某大型石材大板生产厂家率先采用某国产新型86条组合绳锯机设备，与原有其他设备切割相比，每立方米石材荒料能锯出的毛板平方数由30m²/m³提高至40m²/m³，出材率显著提高约15%。

4.2 虚拟装配与路径规划

为了提高装配的精准度，可将拓扑空间多色集合虚拟装配模型建立起来。模型运用计算机模拟技术，实现零部件空间关系的模拟可视化，其拥有精准度高的特点。分析零部件的三维模型并进行布局优化，合理装配于最佳位置。

虚拟装配模型的构建过程中，需采集零部件数据，经过分析之后进行优化处理。技术人员开展这项工作的过程中需要将三维扫描技术合理应用，精准测量各个零部件尺寸并构建相应模型。然后，向虚拟装配软件中传输数据，采用算法分析逐个分析各个关键零部件之间的空间关系并予以优

化。比如,组合绳锯与驱动轮的模拟装配中,三维模型的模拟运行能够针对每条组合绳锯之间所存在的干涉情况进行预测,适当调整装配顺序,使其组合绳锯及驱动轮精准定位,防止实际装配中的错误操作,最终导致返工现象。

通过运行虚拟装配模型,对于装配方案及时了解并进行点对点的优化。技术人员对于各种装配方案均可在模拟虚拟环境中操作,逐一比较分析,挑选最优方案执行。运用虚拟装配模型,拥有精准度高,调节速度快和成本低等优点。

4.3 关键部件制造工艺创新与结构优化

4.3.1 托板孔系精密加工

进入粗加工环节,在托板上初步钻孔的时候使用大直径钻头,将余量去除。之后,进入到半精加工环节,此时,需更换为小直径钻头。如此操作,既能保证孔的尺寸拥有较高的精度,又能保证表面质量。最后进入精加工环节,选择的镗刀要具备较高的精准度,实现孔洞精细化加工,必须保证孔的直径以及圆度符合设计要求。

另外,处理孔壁时需采用特殊的化学处理技术,清洗孔壁并对其进行钝化处理,孔壁上不能残留杂质或金属毛刺,使得孔壁具有较高光洁度,提高其耐腐蚀性^[4]。

4.3.2 立柱结构与材料

为便于对石材荒料的切割操作,切割部件适合采用单面固定的悬臂梁结构,这对于立柱的强度提出了更高要求,经过多方面的综合考虑,矩形立柱结构仍是目前设计的最优选,即在相对于斜拉梁结构,矩形结构横截面受力更加均匀,抗扭能力更佳。矩形立柱结构在保证平衡了立柱结构强度的同时,也显著降低了立柱加工及运输等成本^[5]。

4.3.3 张紧机构的优化

用组锯绳对石材荒料进行切割时,理论上要求每一根组合绳锯承压相同,才能保证切割石材的平整度,而组合绳锯在编织制作过程中,长度必然会存在一定的误差,如果将这些长度参差不齐的组锯绳都集中在一个轮上做整体张紧,势必造成在较短一方组锯绳处于张紧状态下,部分长度较长的组锯绳仍处于松弛状态,从而导致各组合绳锯的张紧力不一致,切割石板精度得不到保障。而采用独立张紧的方式对每一组绳进行独立张紧,则避免了组锯绳受力不均的状况,提高了石材加工精度^[6]。

5 切割参数动态优化技术

金刚石绳锯高效自动化加工装备的切割参数动态优化中,可实施双变频双驱动PID控制优化,应用切割参数动态优化与自动分段匹配技术,使用锯绳张力精密调整技术。具体如下:

5.1 双变频双驱动PID控制优化

对于切割参数进行动态优化的过程中,应用PLC控制方案。此项操作中,将双变频器与双电机驱动实现协同运作,各自的优势功能得以充分发挥,结合使用PID算法,就可以实时调节电机运转速度以及扭矩,实现切割过程平稳且高效^[7]。

运行动态响应机制,基于负载变化自动调整输出功率,显著提升能效比并降低断绳风险。实施冗余保护设计中,集成缺水、断绳、行程限位等多重传感器,通过反馈数据触发保护机制,保障设备安全运行。

5.2 切割参数动态优化与自动分段匹配技术

实现石材参数智能匹配功能,基于深度学习模型建立石材特性数据库,包括硬度数据以及纹理等等数据,自动匹配最优参数,包括绳速以及进给压力等等。实现绳速从35m/s提升至45m/s不等,切割效率提高25%^[8]。

5.3 锯绳张力精密调整技术

其一,模块化张力调节机构。进行单元化设计中,每个张力单元含双有独立张紧轮装置,支持单绳同步调节,对不同切割厚度需求有良好的适应性。空间布局优化,扁平化张力单元错位排列,确保绳间距均匀且节省40%安装空间,为后续组合绳锯机设备增加锯绳安装条数,进一步提高刨分效率提供研究基础。

其二,自适应动态补偿。利用推拉杆结合使用传动螺杆机构实时微调张紧力,抵消切割过程中的绳长弹性形变,误差可低于 $\pm 2\%$,维持张力稳定性^[9]。

6 结语

通过上述研究明确,金刚石组合绳锯机的自动化设计,为解决硬脆材料高效精密加工提供了新路径。同时,对其切割参数动态优化技术调整,确保石材大板刨分过程中更加精准;张紧机构采用新型结构更加灵活,提高了石材加工精度,助推石材加工行业向着智能化、绿色化发展与进步。

参考文献

- [1] 王智慧,张喆,王伟熙.近10年金刚石绳锯技术最新发展及展望[J].超硬材料工程,2023,035(5):49-55.
- [2] 卢家锋,唐静.金刚石串珠绳锯制备技术和应用进展[J].梧州学院学报,2023,033(5):56-62.
- [3] 陈海蕴.金刚石串珠形貌参数化建模及其对X65切削特性的研究[D].哈尔滨工程大学,2023.
- [4] 张磊,周志成,张延军,等.组合绳锯组锯机动力学建模与求解[J].机械设计与研究,2020,000(5):36-37.
- [5] 方正,张延军,周志成,等.ZJP56型金刚石组合绳锯组锯机结构优化设计研究[J].广西大学学报:自然科学版,2020,045(3):9-10.
- [6] 谢志刚,王智慧,张延军,等.金刚石绳锯发展面临的问题及对策[C]//第六届郑州国际超硬材料及制品研讨会暨庆祝中国人造金刚石诞生50周年大会.中国机床工具工业协会,2013.
- [7] 谢志刚,王智慧,张延军,等.金刚石绳锯发展面临的问题及对策[C]//第六届郑州国际超硬材料及制品研讨会暨庆祝中国人造金刚石诞生50周年大会.中国机床工具工业协会,2013.
- [8] 王智慧,张喆,王伟熙.近10年金刚石绳锯技术最新发展及展望[J].超硬材料工程,2023,35(5):49-55.
- [9] 贾鹏,孟庆鑫,周到.基于ANSYS的水下金刚石绳锯机导向轮弹性轴的优化设计[J].自动化技术与应用,2006,25(7):3.