

金刚石圆盘锯锯解系统的分析与研究

谢东朋, 张进生, 王志

山东大学; 山东省石材工程技术研究中心; 高效洁净机械制造教育部重点实验室(山东大学)

摘要: 具有高效率、低成本优势的金刚石圆盘锯机在花岗石锯解加工中得到了广泛应用。分析阐述了金刚石圆盘锯锯解系统的构成、特点及其关键技术与结构, 并依据金刚石圆盘锯的工作原理对其进行了分类。通过对金刚石圆盘锯机、金刚石圆锯片、锯解机理、关键技术与结构以及研究热点的系统分析, 探讨了金刚石圆盘锯锯解系统的发展趋势。

关键词: 金刚石圆盘锯; 锯解加工; 关键技术

中图分类号: TG561

文献标志码: A

Analysis and Research on Diamond Circular Disc Sawing System

Xie Dongpeng, Zhang Jinsheng, Wang Zhi

Abstract: Diamond circular disc saw machines with high-efficient and low-cost advantages have been applied widely in the sawing of granite. The composition, characteristics, key technologies and structures of the diamond circular disc sawing system were analyzed and expatiated, and diamond disc saw machines were classified by their working principles. Based on the systematic analysis of diamond circular disc saw machines, diamond circular blades, sawing principles, key technologies and structures, and researching hotspots, the development trends of the diamond circular disc sawing system were explored.

Keywords: diamond circular disc saw; sawing process; key technology

1 引言

天然石材具有质地坚硬、色彩缤纷、古朴典雅、抗震耐压、耐酸、抗风化和磨光性好等优点, 因此, 随着世界上建筑业及装饰业的发展, 石材已成为世界性的建筑材料, 其中板材的需求量尤其大。

在板材的生产过程中, 锯解加工所占的份额最大。锯解加工技术不仅关系到本工序的加工成本和效率, 而且直接影响后续工序的加工质量。花岗石板材的锯解设备主要有金刚石圆盘锯、砂锯和金刚石串珠绳锯三种。相对于其他两种锯解方式, 用金刚石圆盘锯锯解花岗石具有加工效率高、加工质量好、加工成本相对较低等优点^[1]。随着大型金刚石圆锯片基体的批量化生产, 金刚石圆盘锯已占到花

岗石板材锯解设备的60%—70%以上, 中小石材生产企业的锯解设备几乎全部是金刚石圆盘锯。

2 金刚石圆盘锯锯解系统概述

金刚石圆盘锯锯解系统由金刚石圆盘锯机、金刚石圆锯片、冷却润滑系统、控制系统等构成, 主要用于将石材荒料锯解为一定厚度的板材(毛板)。在过去十几年中, 人造金刚石工具技术的研究推动了金刚石圆锯片制造技术以及锯解加工理论的发展, 国内外学者围绕金刚石圆盘锯锯解花岗石的加工技术进行了广泛而深入的研究, 在锯机结构与性能、金刚石圆锯片基体与金刚石节块、锯解工艺技术等方面取得了长足进步。

随着对金刚石工具制造技术以及锯解机理的研究逐渐深入, 高质量的大、薄型板材的应用范围越来越广、质量要求越来越高, 对锯解过程的要求也越来越严格, 金刚石圆盘锯锯解系统正朝着高精度、高稳

基金项目: 山东省自然科学基金资助项目(Y2007F34 Z2007F07)
收稿日期: 2010年1月

[5] C S Chen, C P Liu, C Y Tsao, et al. Study of mechanical properties of PVD ZrN films deposited under positive and negative substrate bias conditions[J]. Scripta Materialia, 2004(5): 715—719.

[6] Y L Su, S H Yao, Z L Liu, et al. Comparison of tribological behavior of three films TiN, TiCN and CrN grown by physical vapor deposition[J]. Wear, 1997, 213: 165—174.

[7] 曾祥才, 宋洪刚, 吴春涛, 等. 复合化学气相沉积法制备厚膜 α - Al_2O_3 涂层硬质合金刀具[J]. 工具技术, 2010

(2): 44—46.

[8] 李建平, 高见, 曾祥才, 等. 中温化学气相沉积(MT-CVD)工艺技术及超级涂层材料的研究[J]. 工具技术, 2004(9): 110—113.

第一作者: 李洪林, 工程师, 成都工具研究所, 610051 成都市

First Author: Li Honglin, Engineer, Chengdu Tool Research Institute, Chengdu 610051, China

定性、自动化以及高效化方向不断发展。

3 金刚石圆盘锯机

金刚石圆盘锯机是金刚石圆盘锯解系统的主体,锯机的稳定性直接影响到整个系统的加工质量,因此,对锯机整体静动态性能的研究显得尤为重要。锯机主要由立柱、导向支撑横梁、横向进给托板、竖向进给托板、主运动、冷却润滑、荒料车及控制系统等模块组成。

金刚石圆盘锯机的导向支撑横梁模块、主运动模块等是其关键部件,其性能的高低直接影响到板材的加工质量和效率,乃至金刚石圆锯片的寿命和生产成本。

3.1 金刚石圆盘锯机的分类

金刚石圆盘锯机主要可按以下几种方式进行分类:

(1)按加工对象不同,可分为大理石专用、花岗石专用和大理石/花岗石专用金刚石圆盘锯机。

(2)按结构形式不同,可分为龙门式、桥式、悬臂式和四柱框架式金刚石圆盘锯机(见图1)。

(3)按锯解功能不同,可分为只安装垂直切割圆锯片的单向金刚石圆盘锯机和同时安装垂直与水平锯片的双向金刚石圆盘锯机。

(4)根据安装锯片的数量不同,可分为单片式和多片组合式金刚石圆盘锯机。由于安装多片圆锯片的组合式金刚石圆盘锯机具有高效率、低成本的优势,应用量越来越大。

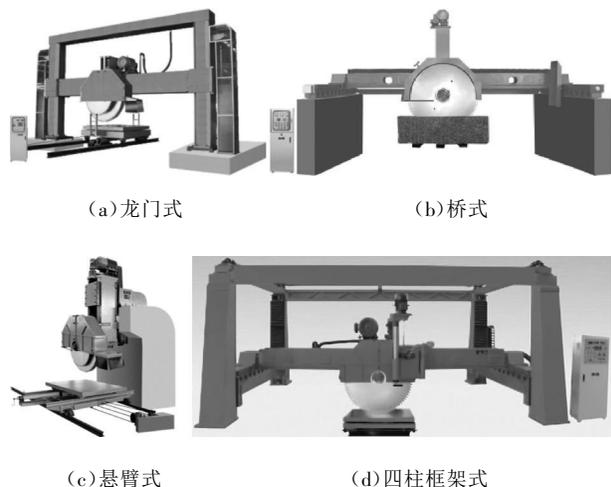


图1 4种不同结构的金刚石圆盘锯机

3.2 关键技术与结构分析

3.2.1 导向支撑横梁模块

导向支撑横梁模块是金刚石圆盘锯机最大的零

件,它与横向进给托板模块相连,用于支撑整个锯机的运动部分,是锯机水平进给的基准和锯机稳定性的基础,因此,必须具有足够的强度、刚性、耐磨性和稳定性,以保证锯机具有较高的综合静动态性能。目前,围绕横梁模块的研究主要集中在导轨导向精度、静动态性能和结构轻量化等方面。

(1) 导轨导向精度

导轨的导向精度是指锯机横向进给托板的动导轨沿横梁支承导轨的直线度。目前,对导轨的研究主要集中在导轨的结构形式、导轨的几何精度和接触精度、导轨和基础件的刚度、导轨的油膜厚度和油膜刚度、导轨和基础件的热变形等方面。为了提高导轨的导向精度,通常应从适当提高导轨的加工精度指标、合理选择热处理工艺及截面形式、优化导轨组合等方面入手。

(2) 静动态性能

在设计锯机结构时,利用有限元软件对横梁结构进行静力学和动力学分析,了解其在固定载荷作用下的结构效应及受到动态载荷时各部分的响应。静态性能分析用于发现应力集中、重力变形等结构不合理之处,进而通过优化获得具有较好强度和刚度的结构;动态性能分析主要用于找出横梁结构上容易破坏的区域以及不同振型下的变形,进而通过改变切削加工运动参数以避免其固有频率^[3]。

(3) 结构轻量化

目前,金刚石圆盘锯机的生产技术已比较成熟,市场竞争激烈,因此,在不影响设备性能和装配关系的前提下,减轻设备重量成为降低成本的首选方式。通过对横梁进行整体仿真分析,找出结构和刚度冗余,进而通过改变截面形状、合理布置板筋以及改变板筋形状等方法来减轻整机重量。由于减重不当会引起一系列问题,因此在减重分析时,需要通过精确计算来保证合理减重^[3]。

3.2.2 主运动模块

主运动模块由主电机、减速机构和主轴单元组成。其中,主轴单元是金刚石圆盘锯机的核心部件,其功能是支撑并带动金刚石圆锯片转动,完成锯解主运动,同时起到传递运动和扭矩、承受切削力和驱动力等载荷的作用。主轴单元是金刚石圆锯片的安装基准,其回转精度和刚性等直接影响到整机的切削加工能力和加工精度。

对主轴静动态特性的研究主要围绕轴承参数、轴承预紧力、轴承跨距、附加集中力质量、附加阻尼等方面进行。设计参数的变化将导致其动力学模型

中质量矩阵、刚度矩阵和阻尼矩阵元素的数值及分布发生变化,进而改变主轴单元的动态特性^[4]。

国内外研究表明^[5,6],增大轴承的支撑跨距会降低主轴单元的固有频率,而减小轴承支撑跨距并不会明显影响主轴单元的动力特性;附加集中质量将会改变主轴单元的固有频率及其幅值,而在主轴尾端附加集中质量对主轴单元动力特性的影响最为明显;附加阻尼将会明显影响主轴单元动柔度的幅值,而作用在球轴承支撑处的附加阻尼对主轴系统的动柔度影响最大。

4 金刚石圆锯片技术研究

4.1 圆锯片基体技术

(1)大直径技术

大幅面板材的普遍应用及新型锋利型金刚石刀头的成功开发,推动了大直径金刚石圆锯片基体的快速发展。随着圆锯片基体的研发以及机加工、热处理技术和检测校正技术的进步,国内大直径圆锯片基体的发展已接近国际先进水平,φ3500mm以下的圆锯片基体已实现大批量生产,并已研制出φ5200mm的产品,从而为金刚石圆盘锯机在锯解花岗石大板中的应用奠定了基础。

(2)薄型化技术

金刚石圆锯片薄型化的发展趋势与应用效果日趋显著,其特点可归纳为“二提三降”,即提高切割效率10%—20%,提高荒料出材率10%—15%,以及降低刀具成本10%—15%,降低切割耗能15%—25%,降低排屑量约30%。目前,高速圆盘锯机的普及,使薄型圆锯片得到大量应用。薄型基体的加工难点在于控制工件变形,保证端面圆跳动精度。在合理选用基体材料化学成分的基础上,应综合改进加工工艺和热处理工艺。在加工阶段,通过采用专用装夹机构、降低切削力等方法,减小工件变形和残余应力;在热处理阶段,通过选择合理的热处理温度和热处理工艺,保证锯片硬度,消除工件的内应力^[7]。

(3)降噪减振技术

金刚石圆盘锯锯解过程中的振动将会降低加工精度,严重时还会造成锯片损坏。同时,振动引起的冲击辐射噪声和摩擦噪声会严重损害加工现场人员的听力。因此,噪声控制已成为金刚石圆锯片设计的重要指标。目前,提高锯片锯解稳定性的方法主要有:研究新的锯片材料,改善材料性能,改变锯片的结构和几何参数,改变齿形和对锯片进行适张度

处理等。其中,对锯片进行适张度处理是一种非常经济而有效的方法^[8]。

4.2 圆锯片节块技术

(1)结合剂对金刚石的把持力

圆锯片切割岩石材料是通过固结在结合剂中的金刚石磨粒的切削作用来实现的。通过实验研究,人们先后提出利用化学镀覆、物理气相沉积、物理冶金镀覆、真空微蒸发镀等多种方法,在金刚石磨粒表面预先涂覆金属层,从而在一定程度上解决了金刚石与结合剂之间的键合问题^[9]。

(2)节块几何形状设计

节块形状的设计需要考虑提高锯切弧区内金刚石节块的容屑、排屑能力和冷却润滑作用、减少摩擦从而降低能耗、提高锯切性能等。在大直径锯片用节块的设计中,出现了金刚石浓度两边高、中间低的“三明治”结构,以便在锯解过程中形成中凹截面。后来又相继出现了五层甚至更多层的结构^[10]。为了进一步减小磨损,还先后出现了节块侧边开槽、中间开孔、中间开槽的形状设计,以及“L”形、“T”形等异形节块^[11,12]。

5 锯解机理与工艺技术的研究

5.1 花岗石去除机理研究

深入理解锯解过程中花岗石材料的去除机理是优化加工设备、工具以及加工参数的基础。材料去除机理与单颗磨粒的最大切削厚度直接相关,随着单颗金刚石磨粒最大切削厚度的减小,花岗石材料的去除方式也逐渐由脆性断裂为主转为以塑性流变为主。当塑性迁移痕迹相互延展连成一片,才有可能形成光滑的加工平面。在锯解过程中,当单颗磨粒的最大切削厚度达到某个最佳值时,锯片的综合磨损与加工效率可以获得平衡。

5.2 金刚石磨粒及结合剂的磨损机理研究

金刚石节块的表面形态是各种影响因素的综合反映,通过观察磨损后的节块表面面貌,可以揭示出金刚石磨粒失效的本质。在锯解过程中,应尽量保证金刚石磨粒的磨损速度与结合剂的磨损速度相互匹配,以保持节块理想的工作状态。借助计算机视频监控技术和在砂轮磨损测量与评价方面的研究进展,采用新的检测手段和评价指标体系,可以对与节块工作状态密切相关的磨粒容屑空间、出刃高度分布以及实际参与切削的有效磨粒数等指标进行有效的量化测量与评价。

5.3 锯解工艺技术研究

在对锯解力和锯解功率的研究中,人们一方面通过研究不同条件下锯解力和功率的变化特征,以揭示锯解机理并建立力和功率与锯解参数之间的对应关系,另一方面建立了锯片切割性能与锯解力和锯解功率之间的对应关系。此外,在锯解过程中,弧区合力作用点的位置会随着锯解参数的变化而变化,容屑空间的角度对锯解力和比能的变化有着直接影响。在材料去除率固定不变的情况下,单颗金刚石磨粒所承受的锯切力随磨粒的最大切削厚度而线性增大;随着锯片转速的提高,磨粒最大切削厚度减小,同时,单颗磨粒承受的锯切力呈线性减小^[13]。

6 金刚石圆盘锯锯解系统的发展趋势

随着社会的发展,在石材加工业中,重视环保的呼声越来越高。为了实现石材加工业的可持续发展,如何提高金刚石圆盘锯锯解系统的锯解效率及加工质量、减少后续加工投入、减少粉尘及噪声污染、降低生产成本等问题,开始受到人们更多的重视。金刚石圆盘锯锯解系统的发展趋势主要体现在以下几方面:

(1) 高效化

能否有效而充分地发挥金刚石的切削作用,是实现高效锯解的关键。通过对金刚石的质量分散度、金刚石节块表面的载荷分布特征,以及花岗石去除机理等进行深入研究,调整结合剂的性质和对金刚石表面镀膜,可以有效减少金刚石的非正常破碎和脱落,实现对花岗石的高效锯解^[14]。另外,建立高效加工数据库、开发有效的冷却和润滑技术,也是实现高效加工需要考虑的因素。

(2) 结构轻量化

面对加工设备价格日趋走低、材料成本比重越来越大的严峻现实,需要应用 ANSYS、ADAMS、Matlab、虚拟工程等工程应用软件及相关技术,建立三维虚拟数字样机模型,通过施加模拟载荷,对设备系统进行运动学、动力学仿真分析,优化设备结构和运动系统,减少设备重量,提高其可靠性,从而降低生产成本。

(3) 智能化

在对锯解工艺进行研究和优化的基础上,开发适用于石材生产设备的自动控制系统,尤其是金刚石圆盘锯锯解载荷自适应及分片自动控制系统,以实现满负荷锯解,充分发挥设备潜能,降低人工费用。同时,通过使用可编程控制器、计算机控制技术及变频调速器,实现单机或生产线的自动化控制。

(4) 环境友好化

在如今提倡保护环境及合理利用资源的大背景下,对石材的“绿色加工”日益受到重视。利用薄型、超薄型锯片以及组合锯片加工薄型板材,可以节约和有效利用石材资源。同时,超薄板具有放射性低、吸水率均匀、抗腐蚀耐风化、坚实耐用、抗污易清洁等诸多优点,应大力推广应用。

参考文献

- [1] 徐西鹏. 岩石材料的金刚石锯切研究进展[J]. 机械工程学报, 2003, 39(9): 17-22.
- [2] 侯红玲, 邱志惠, 赵永强. 高速切削机床横梁的静态与动态分析[J]. 机械设计与制造, 2006(5): 38-39.
- [3] 袁杰, 张进生, 王志, 等. 桥式金刚石圆盘锯横梁静态性能仿真研究[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2007(6): 27-30.
- [4] 何伟, 何邦贵, 杨朝丽. 主轴系统结构设计参数对其动力特性影响研究[J]. 精密制造与自动化, 2002(1): 18-21.
- [5] Reddy V R, Sharan A M. Design of machine tools spindles based on transient analysis[J]. ASME Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, 1985, 107(9): 346-352.
- [6] Reddy V R, Sharan A M. The finite-element modeled design of lathe spindle: the static and dynamic analysis[J]. ASME Journal of Vibrations, Acoustics, Stress and Reliability in Design, 1987, 109(10).
- [7] 朱银法. 超薄圆盘锯片的加工[J]. 机械工程师, 2005(3): 109-110.
- [8] 姚涛, 段国林, 蔡瑾. 圆锯片噪声与振动特性及降噪技术研究综述[J]. 振动与冲击, 2008(6): 162-166.
- [9] 王艳辉. 金刚石和立方氮化硼超硬磨料表面处理技术应用及发展[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2009(1).
- [10] Bufetter H. Diamond saw segments with five zones[J]. Industrial Diamond Review, 1986, 46(4): 162.
- [11] Silveri P. L-shaped saw segments increase productivity[J]. Industrial Diamond Review, 1985, 45(6): 297-298.
- [12] Reinhardt K D. New shape of diamond segment for machining natural and artificial stone[J]. Industrial Diamond Review, 2003, 63(2): 16-18.
- [13] 杨柳, 杜高峰. 金刚石锯片切割参数的探讨[J]. 工具技术, 2008, 42(8): 50-52.
- [14] 徐西鹏, 沈剑云, 黄辉. 实现花岗石高效锯切的关键因素分析[J]. 机械工程学报, 1998, 34(1): 104-110.
第一作者: 谢东朋, 硕士研究生, 山东大学机械工程学院, 250061 济南市
First Author: Xie Dongpeng, Postgraduate, School of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China