

# 金刚石圆盘锯锯解系统及技术分析研究\*

谢东朋 张进生\*\* 王 志

(山东大学机械工程学院, 山东 济南 250061)

**摘要:** 金刚石圆盘锯机高效、低成本的优势使其在花岗石板材锯解中得以广泛应用。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。对金刚石圆盘锯机、锯解机理等关键结构与技术、研究热点进行了系统分析,阐述了薄型板材锯解的工艺技术及装备,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 薄型板材 关键技术

## 0 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诸多优点,因此随着世界建筑及装饰业的发展,石材已成为世界性的建筑材料。其中以花岗石板材的需求量尤为突出。

在花岗石板材的生产过程中,锯解加工所占份额最重,不仅关系到本工序的加工成本和效率,而且直接影响到后续的加工质量。花岗石板材的锯解设备主要有金刚石圆盘锯、砂锯、金刚石带锯以及金刚石串珠绳锯四种。金刚石圆盘锯锯解花岗石相对于其他锯解方式,具有加工效率高,加工质量好以及相对成本低等优点<sup>[1]</sup>。随着大型金刚石圆锯片基体的批量化生产,金刚石圆盘锯占据了花岗石板材锯解设备的60%~70%以上,在中小企业的锯解设备几乎100%是金刚石圆盘锯。

\* 山东省自然科学基金资助项目 (Y2007F34 Z2007F07)

作者简介: 谢东朋,男,1984年出生,山东大学机械工程学院2007级硕士研究生。

\*\* 通信作者: 张进生,山东大学机械工程学院教授、博士生导师。

E-mail: zhangjs@sdu.edu.cn

作者地址: 济南市经十路17923号(250061)

电 话: 0531-88392008 13325108366

Email: zhangjs@sdu.edu.cn

## 1 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成一定厚度的板材。人造金刚石生产技术的进步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结块和锯解工艺技术等方面取得了长足的进步。

随着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、高稳定性、自动化以及高效化方向不断向前发展。

## 2 金刚石圆盘锯机

金刚石圆盘锯机为金刚石圆盘锯锯解系统的主体,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。其主要由立柱、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。

## 2.1 分类

根据金刚石圆盘锯机在石材加工中作用的不同及相应结构的差别，主要分为以下几种：

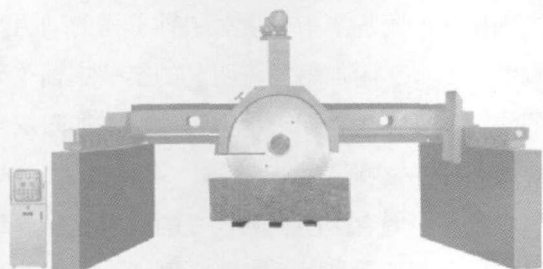
2.1.1 按其加工对象不同，分为大理石专用、花岗岩专用和大理石、花岗岩专用。

2.1.2 按其结构形式不同，分为龙门式、桥式、悬臂式、四柱框架式以及矿山用五种，如图 1 所示。

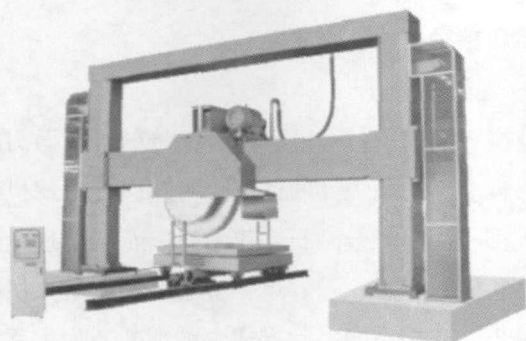
2.1.3 根据安装锯片数量不同，分为单片金刚石圆盘锯和组合金刚石圆盘锯（如图 1b）。目前，安装多片圆锯片的组合金刚石圆盘锯呈现出较高的生产效率和低成本优势，应用量越来越大。

2.1.4 按其锯解功能不同，分为只安装垂直切割圆锯片的单向金刚石圆盘锯机和可同时安装垂直与水平锯片进行锯解的双向金刚石圆盘锯机，如图 1d、图 2 所示。

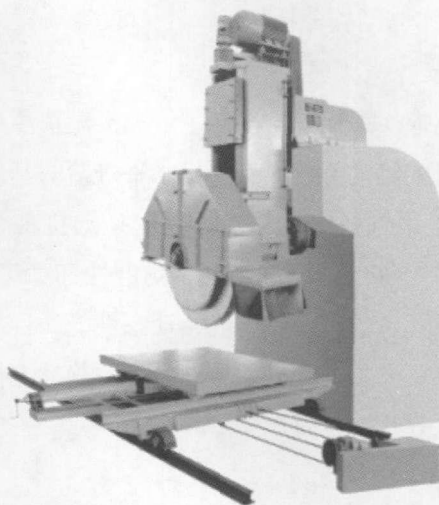
2.1.5 根据金刚石圆锯片直径大小不同，分为中型圆盘锯、大型圆盘锯和巨型圆盘锯。



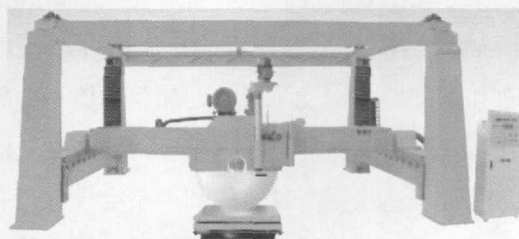
(a) 桥式金刚石圆盘锯



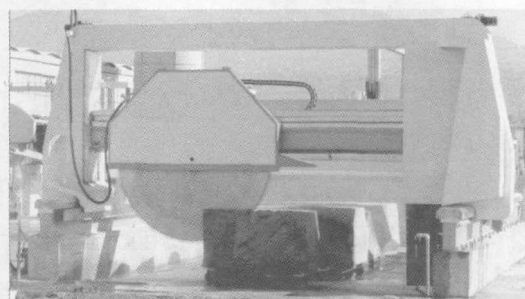
(b) 龙门式金刚石圆盘锯



(c) 悬臂式金刚石圆盘锯



(d) 四柱框架式金刚石圆盘锯



(e) 矿山用金刚石圆盘锯

图 1 不同结构的金刚石圆盘锯

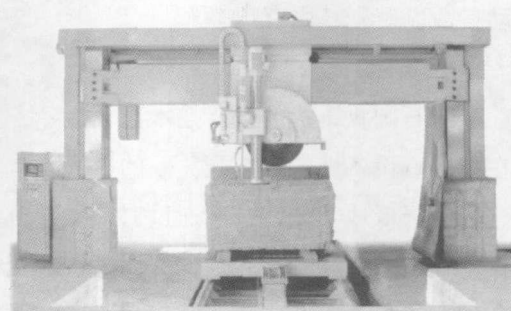


图 2 双向金刚石圆盘锯机

## 2.2 关键技术与结构分析

### 2.2.1 导向支撑横梁模块

导向支撑横梁模块与横向进给托板模块相连,支撑整个锯机的运动部分,是锯机水平进给的基准以及金刚石圆盘锯机稳定性的基础,也是锯机最大的零件。其应有足够的强度、刚性、耐磨性和稳定性等,以保证锯机具有较高的综合静、动态性能。目前围绕横梁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几个方面。

#### 2.2.1.1 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。目前对于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。为提高导轨的导向精度,通常从适当提高导轨的加工精度指标、合理选择热处理工艺以及截面形式、优化导轨组合等角度考虑。

#### 2.2.1.2 静动态性能

在对锯机进行设计时,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。静态性能分析的研究用来发现应力集中、重力变形等结构不合理之处,进而通过优化得到强度和刚度较好的结构;动态性能的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<sup>[2]</sup>。

#### 2.2.1.3 结构轻量化

目前金刚石圆盘锯机的生产技术比较成熟,竞争激烈,在不影响设备性能和装配关系的前提下减轻设备质量,成为降低成本的首选。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降低整机质量。由于减重不当会引起一系列问题,因此减重

分析过程需要精确的计算来保证<sup>[9]</sup>。

### 2.2.2 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的核心部件,其功用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,是金刚石圆锯片的安装基准。

#### 2.2.2.1 设计参数

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。设计参数的变化将导致其动力学模型中的质量矩阵、刚度矩阵和阻尼矩阵的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<sup>[4]</sup>。

#### 2.2.2.2 主轴性能

主轴单元的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。国内外研究表明<sup>[5-6]</sup>,增加轴承的支撑跨距将降低主轴单元的固有频率,而轴承跨距的减小并未明显地影响主轴单元的动力特性;附加集中质量将改变主轴单元的固有频率及其幅值,而在主轴尾端的附加集中质量对主轴单元的动力特性的影响最为明显;附加阻尼将明显的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动柔度的影响最大。

可以预见,随着金刚石圆锯片的巨型化、薄型化的发展,以及高质量板材需求的急剧增加,对锯机将提出更高的要求。

## 3 锯解机理与工艺技术研究

### 3.1 花岗石去除机理

花岗石的锯解过程可看做是大量的具有微刃的金刚石磨粒不断切削工件的过程,对花岗石锯解机理的研究大都采用单颗金刚石颗粒划擦以及压痕理论为基础的实验研究方法,随着单颗金刚石磨粒最大切削厚度的减小,花岗石的去除方式由脆性断裂为主逐渐转为塑性流变为主,塑性迁移痕迹相互延展连成一片,

最终形成光滑的加工平面。

通过对花岗石材料的去除机理的研究,可以对与其密切相关的加工设备、加工工具以及加工参数进行优化,提高锯解效率,降低加工成本。

### 3.2 金刚石磨粒及结合剂的磨损机理

金刚石磨粒及结合剂磨损机理的研究主要是通过建立单颗金刚石锯解模型,通过模型来描述圆锯片锯解石材时刀具与工件间的机械作用,同时借助计算机视频监控技术对与结块工作状态密切相关的磨粒容屑空间、磨粒的出刃高度分布以及实际参与切削的有效磨粒数等进行有效的量化测量与评价。

结块表面状态是一切影响因素的综合反映,因此通过观察磨损后的金刚石结块表面形貌状态,能够揭示金刚石失效的本质,进而为改进锯解工具提供理论基础。

### 3.3 锯解工艺技术

锯解过程中,锯解弧区合力作用点位置随参数变化而变化,容屑空间的角度对锯解力和比能的变化有直接的影响。在固定材料去除率的情况下,单颗金刚石磨粒所承受锯切力随磨粒最大切削厚度而线性增加;随着锯片转速的增大,磨粒最大切削厚度减小,同时单颗磨粒承受的锯切力线性降低<sup>[7]</sup>。

由于不同品质花岗石均存在最优的锯解工艺参数组合,因此研究不同条件下的锯解参数组合可以大幅提高切割效率以及刀具寿命。

## 4 花岗石薄型板材锯解工艺技术研究

在今天提倡绿色环保意识及合理利用地球矿产资源的大背景下,薄型板材以其薄、轻、透的优良特性已普遍被认为是二十一世纪最理想的绿色环保建材之一,薄型板材的生产加工引起了越来越多的重视。

### 4.1 传统加工方法

传统花岗石薄型板材的加工方法包括金刚石带锯、金刚石圆盘锯剖割式加工技术以及金刚石圆盘多片组合锯。金刚石带锯因其效率、成本等问题,在花

岗石锯解中较少用。对剖加工时,板材必须经过定厚机定厚,以达到厚度一致,并经过两面磨光后才可进行对剖,加工工艺复杂度高,生产效率低。利用金刚石多片组合锯加工薄型板材加工效率高,可获得较高的表面质量,综合经济效益好。

### 4.2 新工艺、新设备

吉林大学的王义强教授通过改进加工设备,提出采用两步切割法进行切割,开发了可直接锯解巨型超薄天然岩石板材的夹板式超薄石材锯石机。也有采用金刚石圆锯片非对称切割的方法,可将板材切割为一块和原板材幅面一样大小的超薄板以及数块小规格板材。

## 5 金刚石圆盘锯锯解系统的发展趋势

近年,金刚石圆盘锯锯解系统的相关技术有了显著的发展,为提高金刚石圆盘锯锯解系统的锯解效率以及加工质量、减少资源浪费、减少粉尘及噪声污染、降低生产成本等方面起到很大的作用[8]。随着石材加工业资源节约、环境保护等绿色生产的呼声越来越高,金刚石圆盘锯锯解系统的发展也呈现出很好发展趋势。

### 5.1 系列化

随着金刚石圆盘锯品种、规格越来越多、越来越全,逐渐实现了系列化生产。目前不仅有适应路沿石锯解的小型锯机,使用大型金刚石圆锯片加工大幅面板材的巨型金刚石圆盘锯机也已推出。另外,花岗石矿山开采用、加工用的金刚石圆盘锯机也实现了批量化生产。

### 5.2 高效化

随着花岗石切削去除机理的深入研究,加工工艺参数逐步得到优化,同时装备制造以及锯解工具制造技术的发展,促使加工设备技术参数指标提升,为金刚石圆盘锯锯解系统的高效化加工提供了保证。

### 5.3 结构轻量化

面对设备价格日趋走低、材料成本比重越来越大的严峻事实,应用 ANSYS、ADAMS、Matlab、虚拟工程等工程应用软件及技术,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,优化运动系统和结构,减少材料利用,提高可靠性,从而降低生产成本。

## 5.4 智能化

在研究切削机理及优化工艺的基础上,借助数控技术以及测试技术的发展,开发适应石材设备生产的自动控制系统,降低人力资源费用。尤其是金刚石圆盘锯锯解载荷自适应调整工艺参数及分片自动控制系统,保障满负荷锯解,充分发挥设备潜能、提高工效。

## 5.5 环境友好化

在今天提倡绿色环保意识及合理利用地球矿产资源的大背景下,石材的绿色加工引起了越来越多的重视。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。

## 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, (09)
- [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, (05)
- [3] 袁杰, 张进生, 王志等.桥式金刚石圆盘锯横梁静动态性能仿真研究.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, (01)
- [5] Reddy, V.R.and Sharan, A.M.Design of Machine Tools Spindles Based on Transient Analysis.ASME Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, Vol. 107, Sept.1985, pp.346-352
- [6] Reddy, V.R.and Sharan, A.M.The Finite-Element Modeled Design of Lathe Spindle: The Static and Dynamic Analysis. ASME Journal of Vibrations, Acoustics, Stress and Reliability in Design, Vol.109, Oct.1987
- [7] 杨柳, 杜高峰.金刚石锯片切割参数的探讨[J].工具技术, 2008, (08)
- [8] 张进生.努力提高石材装备制造业的核心竞争力.石材.2009 (9): 2-4

## 山东省石材制品登记备案工作会议在济南召开

山东省建设工业产品登记备案管理办公室于1月26日在济南联勤宾馆召开了天然石材(花岗岩、大理石、板石)和人造石材制品及干挂配件的登记备案工作会议。出席本次会议的有山东省住房和城乡建设厅标准定额站张道远站长、王美林副站长,山东省石材行业协会胡伟会长、周克继秘书长,各地市登记备案管理工作的相关负责人以及省部分石材企业负责人和代表共计130余人。会议由山东省住房和城乡建设厅标准定额站王美林副站长主持。张道远站长对建设工业产品登记备案管理工作政策法规制定、管理程序规范、管理机制完善、监督机制建设做了重要讲话,对石材制品登记备案管理工作进行了部署。山东省石材行业协会胡伟会长介绍了山东石材产业情况,就石材制品登记备案管理工作对协会和全省石材企业提出了具体要求。王美林副站长宣读了省建设工业产品登记备案管

理办公室《关于委托山东省石材行业协会承办石材制品登记备案有关工作的通知》(鲁建办[2010]2号),介绍了省建设工业产品登记备案管理工作现状。据悉,目前山东省共有13种产品,近万家企业进行了登记备案,通过登记备案使得全省建设工程质量有了很大的提高,登记备案起到了重要的作用;最后山东省石材行业协会副会长、省石材工程技术中心张进生教授讲解了石材制品登记备案具体程序和要求。会议对下一步石材制品登记备案程序、评审、发证等工作提出了具体的安排意见,强调各地市建设产品登记备案部门要切实加强对备案管理工作的领导,将石材制品登记备案管理工作纳入议事日程,按照省里的统一安排,落实工作人员和工作责任,把山东省石材制品登记备案管理工作真正抓实抓好,抓出成效。

(本刊)