

# 开采石材用新型金刚石串珠锯的研究开发

张进生 张政梅 王 志

(山东大学机械工程学院 山东省石材工程技术研究中心, 济南 250061)

**摘要:** 用金刚石串珠锯开采石材具有高效、安全、可靠、成荒率高等优点, 较传统的开采方法有着无可比拟的经济效益和社会效益。由于串珠锯结构性能、矿山条件以及认识等方面的原因, 使串珠锯在花岗岩开采中应用较少。在实验研究的基础上, 并汲取国内外同类产品的优点, 应用先进的模块化设计思想, 通过改进金刚石串珠锯的结构及运动参数, 提高其与石材岩石特性、矿山条件的匹配性和工作机动灵活性, 研制出新型石材开采金刚石串珠锯, 以提升金刚石串珠锯的应用水平和应用范围。根据应用效果分析, 该串珠锯是目前石材矿山提高开采效率和荒料质量、降低成本、节约资源的先进设备, 具有较高的推广价值和应用前景。

**关键词:** 金刚石串珠锯 石材 开采

**Key words:** Diamond wire saw Stone Quarrying

## 1 石材开采技术概述

开采石材矿山的方法有很多, 其中最常用的有控制爆破法、火焰切割法、链臂锯机切割法、锯石机切割法、金刚石串珠锯切割法等。

控制爆破法就是通过确定合理爆破参数、装药结构等来控制爆破过程中爆破的作用、破坏范围和程度, 使石材在爆破后能保持原有强度, 分离的块石能整体成型, 不因爆破而碎裂。通常用控制爆破法开采出的石材表面不规则, 荒料率和出材率都很低, 浪费严重, 现大多国家已限制使用此法。

火焰切割法是利用高温高速火焰流冲击熔化石材中的石英, 借助于岩石中不同矿物的热膨胀系数不同, 使岩石破碎、剥落, 岩屑被高速气流吹走从而切

断石材。一般情况下火焰切割要与控制爆破法相结合, 用火焰切割机切出垂直面, 然后用控制爆破法分离出水平面。用火焰切割法开采石材时噪音大, 环境污染严重, 开采的石材质量差、效率低、成本高。

链臂锯机的链臂锯以回转机构为机座, 可 360° 旋转并具备水平及垂直两种工位, 锯机在组合式导轨上移动实现切割进给运动, 开采石材时加水切割及干切均可。成荒率高, 切出的荒料外形整齐, 不需整形, 切割过程中对荒料没有结构损伤及应力影响, 荒料质量稳定。与金刚石串珠锯相比, 不需预钻孔, 没有断绳及接绳烦恼。但其切割深度受链盘长度的限制, 不能开采较大尺寸规格的荒料, 使用的碳化钨硬质合金刀头更适宜切割大理石, 花岗岩矿山应用较少。

锯石机开采法通常是金刚石圆盘锯安装在矿山

作者地址: 山东省济南市经十路

收稿日期: 2005-09-28

上,将花岗石的开采和切割集成于一体,这种方法要求事先清理出设备安装界面,具有效率高、成材率高、成本低等优点,但受设备限制,不能切割较大幅面尺寸的板材。

金刚石串珠锯开采法是借助于穿在无级钢绳上的金刚石串珠作为锯切工具来切割、分离石材,这种方法具有切割效率高、成本低、荒料块度大、表面平整、噪音小、无污染、环境友好、设备结构尺寸小、使用灵活、适应性强等优点,随着金刚石串珠绳制作成本的下降,金刚石串珠锯已成为目前较理想的花岗石开采设备。

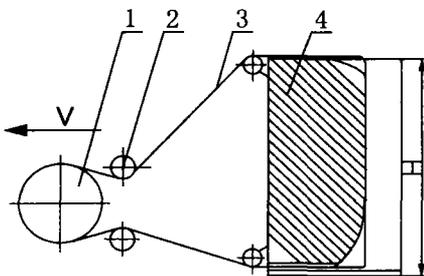
## 2 金刚石串珠锯的应用与发展

### 2.1 金刚石串珠锯的工作原理

金刚石串珠锯是使用柔性切割刀具对石材进行开采的设备,工作原理如图1所示。金刚石串珠绳3通过事先钻好的孔绕过需要分割的石材4,由主驱动轮1通过摩擦带动金刚石串珠绳循环运动实现对石材的切割。其中,金刚石串珠是串珠绳的切削刃,导向轮2的作用是为了增加金刚石串珠绳的包角。

### 2.2 金刚石串珠锯的发展及存在问题

二十世纪70年代,金刚石串珠锯首先在意大利



1- 主驱动轮 2- 导向轮 3- 串珠绳 4- 石材  
图1 金刚石串珠锯工作原理图

的大理石矿实验成功。随着金刚石串珠锯在大理石矿山开采上的普及,大理石的开采技术日趋完善并进入了一个崭新的阶段,金刚石串珠锯为大理石矿山的开

采带来一场技术革命。目前,开采花岗石用的金刚石串珠锯也逐步投入使用,如意大利 Marini Quarries Group 的和印度 Dazzini Macchine 的都是生产串珠锯的知名厂家。利用金刚石串珠锯开采花岗石的经济效益和社会效益也日益提高,其设备和技术得到了企业和专家的认可和赞赏,这又推动了金刚石串珠锯研制工作的进一步发展,使其技术越来越完善,花岗石矿山的开采即将进入一个新的历史阶段。

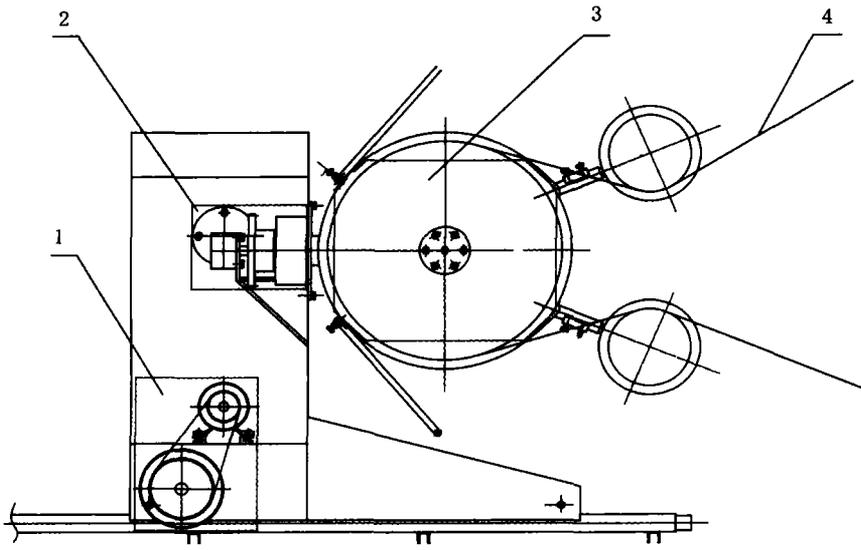
在我国,对金刚石串珠锯的研究起步比较晚,生产串珠锯的厂家也只有几家,且规模不大,而使用串珠锯进行花岗石开采的矿山就更少了。究其原因,主要是金刚石串珠锯的性能参数不能很好地与花岗石的岩石特性相匹配,工艺、运动参数不合理;另外,大多数人将金刚石串珠锯锯切石材板材制品的费用概念直接用于石材开采中,致使效率低、成本高成了金刚石串珠锯的代名词,用户无法接受,从而制约了串珠锯的使用和推广。

针对目前存在的问题,我们在研究金刚石串珠锯锯切技术的基础上,重点考虑了我国石材矿山的地质特点和岩石特性,对串珠锯的结构和运动参数进行了优化和改进,并综合考虑了花岗石的矿物组成对串珠锯锯切性能的影响,选择串珠绳的合理结构,研制出了新一代金刚石串珠锯,使其能够适应花岗石多变的开采环境,工作在一个最佳的锯切状态下,达到最好的切割效率和加工质量,降低生产成本。该金刚石串珠锯不仅应用于花岗石矿山的开采,而且还可用于大理石矿山的开采、混凝土的切割、板材切割等。

## 3 新型金刚石串珠锯的设计

### 3.1 总体设计

在结构上,该串珠锯由动力机构、转角机构、行走机构及控制系统等组成,结构示意如图2所示。动力机构是驱动主驱动轮转动,带动串珠绳实现切削作



1-行走机构 2-转角机构 3-动力机构 4-串珠绳  
图2 金刚石串珠锯结构示意图

用；转角机构使整个动力机构在垂直面内做 $0^{\circ}$ ~ $360^{\circ}$ 转动，实现串珠锯任意方向切割；行走机构保证串珠绳在切削时所需的张紧力和进给速度；控制系统是控制、检测主驱动轮切削速度、串珠绳张紧力、行走机构运动速度以及调整开采方向的电气部分。

### 3.2 功能模块化设计

通过对串珠锯的结构功能分析，按照模块化设计思想，我们将串珠锯的动力机构、转角机构、行走机构及控制系统分别划分为驱动功能模块、导向功能模块、行走功能模块和控制功能模块，如图3所示。

#### 3.2.1 驱动功能模块

驱动功能模块包括电机、联轴器、主驱动轮等。电机具有制动功能，能在紧急情况下立即停机，提高了串珠锯工作的安全可靠；为了增大串珠绳在主驱动轮上的包角，设置了两个能自由调整的导向轮；驱

动功能模块可以整体卸下，来更换不同电机功率和主驱动轮直径的驱动功能模块，以适应不同的开采要求，而其他机构不需调整，实现了一机多用，同时也降低了投资成本。不同驱动功能模块的技术参数如表1所示。

#### 3.2.2 导向功能模块

导向功能模块包括回转机座、驱动电机、减速机等，其功能是实现整个驱动功能模块旋转、定位，保证串珠锯在任意开采界面上的切割。

#### 3.2.3 行走功能模块

行走功能模块包括电机、销齿传动、双链传动、导轨等部分。为了保证串珠绳在工作

表1 金刚石串珠锯驱动功能模块技术参数

主电机功率 (kW)	驱动轮直径 (mm)	串珠绳线速度 (m/s)	进给速度 (mm/min)	可带绳长 (m)
55	1200	20~50	0~250	20~120
45	1000	20~45	0~250	20~100
37	800	20~40	0~250	20~80

时张紧力恒定，行走功能模块的动力采用变频调速电机；石材矿山开采环境粉尘多、润滑条件差，传动又是低速、重载。因此，选用销齿传动；在电机和销齿传动之间采用双链传动，缓冲串珠锯工作时的刚性冲击，增加稳定性；导轨采用 $\phi 60$ 的钢管焊接而成，重量轻、移动方便，滚轮与钢管表面是线接触，摩擦阻力小。每节导轨有3m、2m、1m等规格，拼接方便，减少了空间对设备使用的限制。

#### 3.2.4 控制功能模块

控制功能模块包括各种保护装置和驱动功能模块电机与转角功能模块电机之间的电气闭锁装置。电气闭锁装置保证串珠锯切割工作时，转角机构的电机无法送电，以防止意外事故的发生。

### 3.3 参数设计

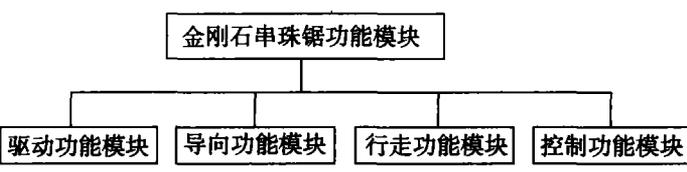


图3 串珠锯的功能模块

### 3.3.1 驱动功能模块电机功率的选择

驱动功能模块的电机功率  $P$  是由串珠绳的设计张紧力  $F$  (N) 和线速度  $v$  (m/s) 两项指标确定:

$$P = \frac{Fv}{1000}, (\text{kW})$$

张紧力由驱动功能模块控制, 工作中应该保持常量; 线速度  $v$  (m/s) 由电机的转速  $n$  (r/min) 和主驱动轮的直径  $D$  (mm) 确定:

$$v = \frac{\pi Dn}{60 \times 10^3}, (\text{m/s})$$

### 3.3.2 串珠锯行走速度计算

设串珠锯的切割效率为  $N$  (m<sup>2</sup>/h) 锯割面高度是  $H$  (m), 串珠锯的行走速度为:

$$v = \frac{N \times 10^3}{H \times 60}, (\text{mm/min})$$

### 3.3.3 行走功能模块电机功率的选择

设串珠绳的最大拉力为  $F_s$  (N), 最大行走速度为  $v_s$  (mm/min), 整个传动机构的传动效率为  $\eta$ , 则行走功能模块电机的功率  $P$  可由下式计算得出 (摩擦阻力忽略不计):

$$P = \frac{2F_s \times v_s \times 10^{-3}}{60 \times 10^3 \eta}, (\text{kW})$$

### 3.3.4 导向功能模块电机功率的选择

设驱动功能模块的总重量为  $G$  (N), 长度为  $L$  (m), 传动效率为  $\eta$ , 转速为  $n$  (r/min), 则导向功能模块电机的功率  $P$  为:

$$P = \frac{GL}{8 \times 10^3 \eta}, (\text{kW})$$

## 4 结论

(1) 采用模块化设计技术, 创造性地将金刚石串珠锯按照结构功能划分为驱动功能模块、导向功能模块、行走功能模块和控制功能模块, 便于设计、制造、使用、维护。

(2) 设备主要部件采用焊接框架结构, 工业性

好, 制造成本低, 结构紧凑, 机动灵活, 安全可靠, 具有较高的性能价格比, 可为各种规模的石材矿山选用。

(3) 设备结构及运动参数经过调研、现场试验和优化分析确定, 并可根据不同材质的矿山进行适应性调整, 以使使用成本最低, 切割效率最高。该设备用于某花岗石矿山的开采的实验验证指标为: 串珠绳寿命超过 8.2m<sup>2</sup>/m, 切割效率超过 3.6m<sup>2</sup>/h, 不亚于任何进口机型。

(4) 使用新型金刚石串珠锯开采的石材荒料率可达到 85% 以上, 产量高, 荒料规整, 售价高, 并显著提高了板材切割效率和成材率, 实现了最大限度地利用石材资源和可持续发展战略的要求, 环境友好。

(5) 控制系统的先进、实用、宜人, 仅需一人操作, 劳动强度低。

### 参考文献

- [1] J.S.Zhang, B.Huang, Z.Wang, The Experiment Research of Diamond Wire-Saw In Quarrying Granite with High Efficiency, Materials Science Forum Vols, 471-472 (2004) pp. 117-121
- [2] 林天华. 石材矿山开采方法比较. 石材. 2004 (11): 21-23
- [3] 张祖培. 金刚石绳锯研制. 西部探矿工程. Vol.7 No.2(1995): 73-74
- [4] 邓国发. 金刚石串珠绳锯在石材行业中的应用. 金刚石与磨料磨具工程. 1997 (5): 15-17
- [5] 廖原时. 金刚石串珠锯发展概述. 石材. 2001 (6): 28-34
- [6] 刘晓典, 李久立, 刘镇昌. 金刚石串珠锯应用和发展概况. 中国建材装备. 1996 (8): 30-33
- [7] 希禾, 舒士韬, 戴增惠, 袁蓟生. 饰面石材开采与加工. 中国: 中国建筑工业出版社, 1986
- [8] 杨杰, 严荣荫, 陈厚伦, 谭世同. 中国石材. 中国建材工业出版社. 1994
- [9] 张兼植. 金刚石串珠绳锯的受力分析. 石材. 2005 (1): 38-43
- [10] 廖原时. 饰面石材的机械化开采. 中国: 中国经济出版社, 1993