

文章编号: 1006-852X(2004)06-0012-04

金刚石串珠锯在花岗石高效回采中的应用研究^{*}

APPLICATION RESEARCH OF DIAMOND WIRE-SAW IN HIGH EFFICIENCY QUARRYING OF GRANITE

张进生 王 志 黄 波 王学礼 刘增文

(山东大学机械工程学院, 济南, 250061)(山东省石材工程技术研究中心, 济南, 250061)

Zhang Jinsheng Wang Zhi Huang Bo Wang Xueli Liu Zengwen

(School of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

(Stone Engineering Center, Shandong Province, Jinan 250061, China)

摘要: 金刚石串珠锯是使用柔性刀具加工石材制品的设备, 广泛应用于石材回采、荒料整形、板材及各种石材异型制品加工。本文结合金刚石串珠锯在石岛红花岗石高效回采中的应用实验研究, 对串珠锯的磨损形式和锯切线速度、串珠绳预紧力等工作参数之间的关系进行了实验研究, 探讨了金刚石串珠锯回采花岗石的合理工作参数, 以提高金刚石串珠锯的生产效率, 降低使用成本, 以充分发挥金刚石串珠锯的优势。实践证明, 金刚石串珠锯是一种理想的、综合经济指标很高的花岗石回采设备。

关键词: 金刚石串珠锯; 花岗石; 回采; 磨损

中图分类号: TQ164, TG74 **文献标识码:** A

Abstract: The diamond wire-saw is a kind of stone machining equipment with flexible cutters. It is widely used in stone quarrying machining of blocks and various special-shaped stones. Experiment was carried out on the parametric relations among wear form, cutting liner speed and tightening force of diamond wire according to the experimental result of diamond wire-saw in high efficiency quarrying of Shidao Red granite. The suitable working parameters of diamond wire-saw in granite cutting is discussed in the paper, the purpose of which is to improve the productivity and quality, and to reduce the cost of the diamond wire-saw as well as to make good use of advantages of diamond wire-saws. Practice proves that diamond wire-saw is an ideal equipment with high economy index in the quarrying of granite.

Key words: diamond wire-saw; granite; quarrying; wear

0 概述

金刚石串珠锯是使用柔性刀具进行石材回采和石材制品加工的设备。随着金刚石串珠制作技术的进步——从电镀串珠发展到粉末冶金孕镶串珠, 金刚石串珠锯已能对硬质花岗石进行高效锯切加工, 其应用范围已从矿山石材回采扩大到荒料整形及各种石材制品的加工。尤其是在花岗石回采中, 与传统的火焰切割、爆破等方法相比, 回采出的石材荒料形状规则、整齐, 省去了后续的荒料整形工序, 大幅度提高了成材率, 且在生产过程中能耗低, 振动小, 噪声低, 无粉尘, 环境友好性好, 优势十分明显^[1~2]。

由于花岗石的硬度高, 在回采过程中, 金刚石串珠绳的损耗仍然较大。为了解决上述问题, 本文对金刚石串珠锯用于石岛红花岗石回采的串珠绳磨损性能与锯切速度、串珠锯预紧力等工艺参数之间的关系进行

了实验研究, 探讨金刚石串珠锯锯切花岗石合理的工艺参数以及耐磨损性能, 以提高金刚石串珠锯的生产效率和加工质量, 降低使用成本, 充分发挥金刚石串珠锯在花岗石回采中的高效率优势, 改变人们对应用金刚石串珠锯加工花岗石制品成本高的认识, 为其推广应用奠定良好的基础。

1 应用实验现场

图1、图2所示为应用金刚石串珠锯花岗石回采的工作原理图和实际工作图。

工作时, 具有一定预紧力的金刚石串珠绳在导向支承轮的支承下, 由主机驱动轮带动, 以一定的线速度循环运动, 由金刚石串珠对石材进行回采, 主机底座具有牵引装置, 随着锯切的进行, 其不断后退, 以保持金刚石串珠绳基本恒定的预紧力, 实现正常、稳定的工作。

^{*} 山东省自然科学基金项目(Y2003F11)和山东省高技术产业发展项目(SD99-08)

设备的主要技术参数: 金刚石串珠绳直径 $\varnothing 11$ mm, 长度 45 ~ 60m, 金刚石串珠为整体烧结, 串珠数量为 40 个/ $m^{[3]}$; 主电机采用变频调速。

应用实验现场为石岛红花岗岩矿山, 矿体产于燕山晚期, 矿体呈肉红 ~ 砖红色, 中粗粒钾长花岗岩结构, 致密块状构造, 无覆盖, 回采条件好, 荒料率高。

其成分及力学性能见表 1 所示。实验工作量及相关结果见表 2 所示。

表 1 石岛红花岗岩的矿物成分及力学性能

主要成分(%)										力学性能	
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	HSD	抗压强度 (MPa)	抗弯强度 (MPa)		
64.39	17.50	1.46	0.69	5.32	6.74	2.63	109	234.37	13.63		

表 2 实验工作量及相关结果

实验项目	切割幅面 (m ²)	切割 时间(h)	切割效 率(m ² /h)	串珠绳 长度(m)	串珠磨 损量(mm)
垂直切割	18×6.5=117	38.5	3.05	60	
水平切割	8.7×8.2=71.34	22.5	3.17	40	
串珠绳寿命		≥6.5m ² /m			

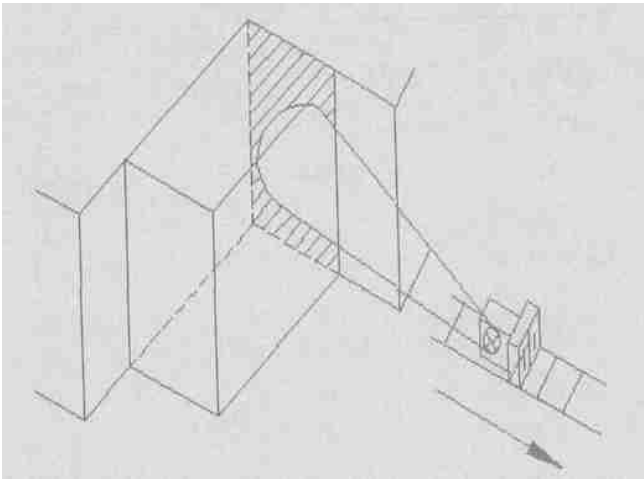


图 1 金刚石串珠锯工作原理示意图



图 2 金刚石串珠锯回采石岛红花岗岩工作图

2 金刚石串珠锯工作参数与串珠绳的磨破损研究

用金刚石串珠锯锯切石材时, 石材是在一定数量金刚石颗粒的作用下被切下的, 一方面石材被切割, 同时串珠本身也被磨损。串珠绳的磨损与石材的组成成分、晶粒粗细及组织结构、硬度和磨蚀性能有关, 也与串珠的金刚石粒度、浓度、结合剂以及切割过程中的工艺参数有很大的关系^[4]。

“对号切割”是选择金刚石串珠绳的原则, 即所选金刚石串珠的金刚石粒度、浓度、结合剂种类、结合剂硬度等参数应与所切割石材的硬度和磨蚀性相适应, 不同硬度的石材, 采用不同的切割工艺参数^[3]。

金刚石串珠锯用于石材制品加工, 工作参数主要有串珠绳预紧力、进给速度和锯切线速度。在矿山回采中, 金刚石串珠锯的工作参数主要指金刚石串珠绳的线速度和预紧力两部分^[6]。

为研究方便, 将锯切石材的面积 ΔS 与串珠绳在直径方向上的磨损量 Δd 的比值定义为金刚石串珠绳的耐磨损性能, 用“W”表示, 则 $W = \Delta S / \Delta d (m^2/mm)$ 。

金刚石颗粒的磨破损过程是一个渐变的过程。金刚石颗粒在工作过程中受到挤压、摩擦和交变机械负荷的冲击, 以及受到工作过程中产生的交变热负荷的影响。周期性的机械负荷和热负荷是造成金刚石颗粒磨破损的主要因素。

理论分析和试验表明, 金刚石颗粒的磨破损形态大致可分为变钝、崩缺、崩碎、脱落四种形态, 如图 3、图 4、图 5、图 6 及表 3 所示。在理想切割工况下, 金刚石串珠的磨破损以第一、第二种损坏形式占优势。工况的破坏(切割线速度过高、串珠锯预紧力太大以及切割过深等)会形成金刚石颗粒崩碎及脱落现象。

2.1 串珠绳的线速度与磨破损

试验研究表明, 在一定的预紧力下, 存在着一个最佳的锯切线速度区域, 使串珠绳磨破损最少, 锯切率最高。对于石岛红花岗岩矿体, 最佳的锯切速度在 21 ~ 23m/s 之间。

研究分析加工过程的花岗石岩屑粒度, 发现其 70% 小于 10⁻⁴m, 金刚石单刃最大切削厚度较小, 所以金刚石串珠锯锯切花岗岩的加工机理主要是磨削和滑擦。当线速度较低时, 锯切温度较低, 冲击也较小, 机械磨损占主要成分。在一定的速度范围内, 随着线速度增大, 金刚石颗粒的切削厚度减小, 颗粒上的载荷也随之减小, 锯切中金刚石单刃所受压强小, 不具备体积破碎的外界条件。机械磨损相应减弱, 耐磨损性能提

高。当线速度较高时,锯切温度高,冲击大,由这两方面造成的磨损占主要部分,出现崩缺和崩碎现象。因此,随着线速度增大,虽然机械磨损有所减弱,但由于锯切温度和冲击都增大,使金刚石颗粒破碎加剧,石墨化严重,同时结合剂软化使金刚石颗粒脱落增加,故磨损加剧,耐磨损性能降低^[7~8]。

表 3 金刚石颗粒的磨破损性质

磨破损形式	磨破损形貌	磨破损特征
变 钝	如图 3 所示	金刚石颗粒切削刃被磨平,属于正常磨削
崩 缺	如图 4 所示	部分颗粒崩缺,形成新切削刃,金刚石颗粒在磨损表面上仍大部分保持完整的晶形,属于正常磨削
崩 碎	如图 5 所示	金刚石颗粒形成裂纹,碎裂很厉害,整个破碎区低于磨损表面,属于不正常磨削
脱 落	如图 6 所示	金刚石颗粒完全脱落,在磨损表面上形成脱落坑,属于不正常磨削



图 3 变钝图 4 崩缺

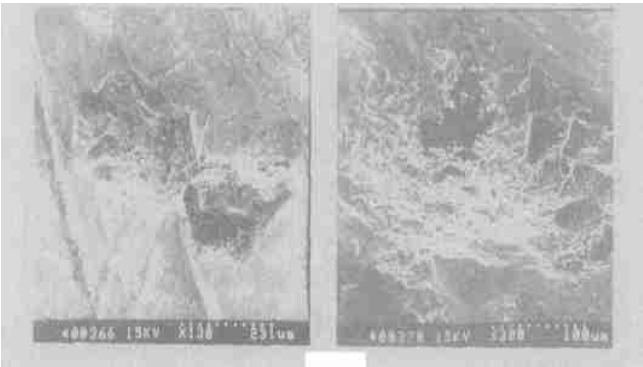


图 5 崩碎图 6 脱落

2.2 串珠绳的预紧力与串珠绳的磨破损

预紧力过大或过小,都会影响到串珠锯的锯切效率和使用寿命。在切割过程中,预紧力过大,金刚石切入石材过深,使金刚石颗粒破裂的力增加了,如串珠绳的预紧力提高到 2100N 左右时,金刚石颗粒的损坏具有破裂、崩碎的性质,串珠上金刚石颗粒崩碎的数量明显增多。同时,随着预紧力增大,结合剂磨蚀快,金刚

石颗粒从结合剂中露出的高度过大时,颗粒将不再被结合剂牢固地保持在原位而容易发生整个颗粒从串珠上脱落现象,从而使金刚石的消耗量增加,串珠的寿命将急剧降低。预紧力的极限值应受金刚石颗粒自由地从结合剂脱离的限制,理论分析和试验表明,金刚石颗粒裸露出参与工作的高度不应超过其直径的 3/8。超出这一数值,金刚石颗粒很容易脱落。因此,金刚石的消耗与预紧力联系密切,可以通过试验建立它们之间的关系曲线。预紧力过小,直接影响回采效率。石岛红花岗石回采较理想的串珠锯预紧力在 1600N ~ 1800N,考虑到串珠锯的锯切线速度和锯切效率,预紧力为 1800N 较为合适^[9]。

3 加工效果分析比较

由表 4 可以看出,只要矿山上具有基本的回采工作界面,相对于传统的水平爆破、火焰切割等回采方法,应用金刚石串珠锯回采花岗石的效果是非常显著的。如回采 20m×15m×7m 的荒料,可节约石材 233.9m³,直接经济价值达 23.39 万元人民币,足可充抵金刚石串珠绳的费用,经济效益和社会效益非常显著,且具有好的环境友好性^[10~11]。

表 4 实验项目比较分析表

实验内容	作业类型	水平爆破作业或火焰切割相结合		金刚石串珠锯切割
		水平爆破	垂直火焰切割	
切缝宽度(cm)		60	22	11
噪音		噪音剧烈≥90 dB		基本没有
粉尘		大		没有
切割效率(m ² /h)		1		≥3
荒料形状		不规则,售价低,加工前需要整形		非常规则、售价高
荒料内部缺陷		时常出现		无
安全性		危险性大		安全可靠
浪费石料(m ³)		0.6×20×15=180	0.22×20×7=30.8m ³ 0.22×15×7=23.1m ³	可以忽略
浪费价值(1000元/m ³)		180×1000=180000 元	53.9×1000=53900 元	忽略

4 结论

理论分析和试验研究表明,在花岗石回采中,金刚石颗粒的磨破损形态大致可分为变钝、崩缺、崩碎、脱落四种形态。金刚石串珠锯的锯切效率和串珠绳的磨破损性能与串珠绳的线速度和预紧力参数有关,合理确定金刚石串珠锯回采花岗石的工作参数,可以最大限度的提高加工效率与加工精度,减少刀具磨损。

(1) 金刚石串珠锯回采花岗岩的加工机制主要是磨削和滑擦, 金刚石串珠锯线速度高, 锯切中金刚石单刃所受压强小, 金刚石颗粒的磨损形态主要是磨粒磨损、局部破碎, 在一定的加工条件下, 存在着一个最佳的锯切线速度, 使串珠绳磨损最少, 锯切率最高。对于石岛红花岗岩矿体, 在预紧力为 1800N 左右时, 最佳的回采速度在 21m/s ~ 23m/s 范围之内。

(2) 在一定工作速度范围内, 金刚石串珠绳的预紧力越大, 串珠绳的锯切力越大, 效率越高, 串珠绳的耐磨损性能也越低。综合金刚石串珠锯的回采效率和串珠锯的耐磨损性能, 回采石岛红花岗岩预紧力合理的取值范围是 1600N ~ 1800N。

(3) 金刚石串珠锯用于回采花岗岩, 作业安全、噪音低、切割石料规整、切缝小, 环境友好性好。总体经济、社会效益显著, 应用前景广阔。

参考文献

- [1] 希 禾, 舒士韬, 戴增惠, 袁蓊生. 饰面石材开采与加工[M]. 中国: 中国建筑工业出版社, 1986
- [2] 廖原时. 饰面石材的机械化开采[M]. 中国: 中国经济出版社, 1993

- [3] 张培祖. 金刚石绳锯研制[J]. 西部探矿工程. 1995, 2(7): 73-74
- [4] 邓国发. 金刚石串珠绳锯在石材行业中的应用[J]. 金刚石与磨料磨具工程. 1997(5): 15-17
- [5] 廖原时. 加工异型石材如何选用金刚石串珠绳[J]. 石材. 1998(7): 14-15
- [6] 刘晓爽, 李久立, 刘镇昌. 金刚石串珠锯应用和发展概况[J]. 中国建材装备. 1996(8): 30-33
- [7] 刘全贤, 李享德, 张弘涛. 金刚石颗粒在锯切石材过程中磨损形态的研究[J]. 金刚石与磨料磨具工程. 1995, 5(89): 5-8
- [8] 张新明, 朱永伟, 谢光灼, 王绍斌. 金刚石锯片在锯切过程中的受力与失效分析[J]. 摩擦学报. 2001, 21(6): 465-468
- [9] Zhang J S and Wang Z. Technical Parameters and Wear Resistibility of Diamond Wire Saw in Granite Cutting[J]. Key Engineering Materials 2004, 259-260: 122-126
- [10] 廖原时. 金刚石串珠锯发展概述[J]. 石材. 2001(6): 28-34
- [11] 廖原时. 花岗石砂锯与多绳金刚石串珠锯主要技术性能比较[J]. 石材. 2002(12): 6-12

作者简介: 张进生, 男, 1962 年出生于山东省高青县, 山东大学(济南, 250061)机械工程学院教授。主要从事制造过程自动化和石材工程技术方面的研究, 取得成果 10 余项、专利 6 项, 获省部级奖励 9 项。出版著作 4 部, 发表论文 50 余篇。

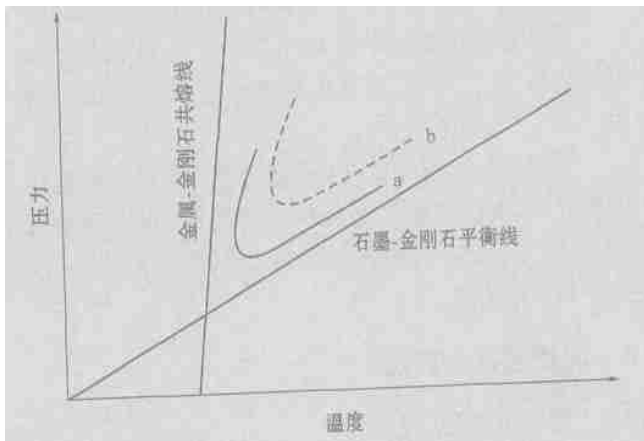
(收稿日期: 2004-09-20)

(编辑: 王 琴)

(上接第 11 页)

显影响, 随着添加剂量的增加, 金刚石的成核呈减少趋势, 合成所需的压力增高。

对此现象可以用金刚石合成的 V 型区移动来解释, 即: 添加剂使得金刚石生长的 V 型区域上移(a→b), 如图 5 所示。在同一压力, 不同温度的对比实验中, 我们发现随着添加剂含量的增加, 金刚石的生长温度的范围也明显变窄。



- a 无添加剂时的金刚石生长区
- b 有添加剂时的金刚石生长区

图 5 添加剂氮化物使得金刚石生长 V 形区移动示意图

Fig. 5 The sketch map of V-shape section of the diamond crystals

synthesized with catalyst powder and additive. MN moved upwards

4 结论

用 FeNiX_5 和 $\text{FeNiX}_5 + \text{M}_x\text{N}$ ($0 \sim 10\text{wt}\%$) 触媒分别合成出了晶型完整、粒度均匀的金金刚石单晶。用含添加剂 M_xN 的触媒合成的金刚石晶体呈现绿色或深绿色, 其中的包裹体极少, 并且呈雾状分布, 在铁镍触媒和石墨的混合体系中加入适量的 M_xN 有利于控制金刚石中的包裹体的含量; 在含添加剂 M_xN 的触媒合成的金刚石的晶面易出现排列有序的凹线型晶体生长纹路, 这种现象在不含 M_xN 触媒合成的金刚石中没有; 添加剂 M_xN 使得金刚石生长的 V 型区域上移。

参考文献

- [1] 贾晓鹏. 金刚石合成的溶剂理论及当今行业热点问题的探讨[J]. 中国超硬材料. 特刊 3, 2001. 3, P1
- [2] Hisao Kanda, Minoru Akaishi, Shinobu Yamaoka. Diamond and Related Materials, 1999(8): 1441
- [3] Davies G, Phys. Chem. Carbon, 1977 (13): 1
- [4] Kaiser W and Bond W L, Phys. Rev, 1959(115): 857
- [5] Clark C D, Collins A T, and Woods G S. The Properties of Natural and Synthetic Diamond, edited by J F Field (Academic, London), 1992: 35
- [6] 梁中翥, 贾晓鹏, 马红安, 朱品文等. N-H 成分的存在对 Ni-Mn-Co 触媒合成金刚石的影响[J]. 金刚石磨料磨具工程, 2004(5): 7-11

第一作者简介: 梁中翥, 男, 1978 年, 吉林大学超硬材料国家重点实验室, 在读博士研究生, 从事高氮金刚石的合成与研究。

(收稿日期: 2004-07-20)

(编辑: 王 琴)