

摩擦热 - 机械碎岩钻进技术试验研究

赵建康^{1,2}, 孙友宏¹, 张祖培¹

(1. 吉林大学 建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 中国矿业大学 北京 机电工程学院, 北京 100083)

摘 要 : 摩擦热 - 机械碎岩钻进技术是利用钻头与岩石产生的摩擦热能加入弱化岩石, 然后利用钻头上的切削元件切削碎岩。由于大部分岩石在高温和交变热应力作用下其强度、硬度以及磨蚀性都大幅度降低, 因此提高了钻进效率。钻头摩擦元件采用了新型的耐摩擦耐高温的赛隆陶瓷材料, 耐磨性是 YG6 硬质合金的 3~5 倍, 而价格仅为硬质合金的 1/10。对钻具和钻头的结构也进行了详细的论述。钻进试验表明, 热机碎岩钻具摩擦元件能产生足够高的温度场(大于 600 °C)。热机碎岩钻进技术是切实可行的, 能提高钻进效率, 降低钻进成本。

关键词 : 摩擦热 - 机械碎岩; 钻进技术; 钻具; 赛隆陶瓷; 摩擦热能

中图分类号: TP634.5 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2004)12-0036-04

Study on Drilling Technology of Thermo-mechanical Rock Fragmentation/ZHAO Jian-kang^{1,2}, SUN You-hong¹, ZHANG Zu-pei¹(1. Jilin University, Changchun Jilin 130026, China; 2. China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China)

Abstract : Thermo-mechanical rock fragmentation drilling technology (TM) is a kind of new drilling method, which firstly makes use of the friction energy produced by drill bit and rock to heat the rock, and then uses the cutting unit to complete the rock fragmentation. It improves the drilling efficiency and speed, because the physical properties such as intensity, hardness and wear resistance of most kinds of rock are weakened under high temperature and alternating heat stress conditions. The friction unit of TM bit is made of Sialon, of which the wear resistance is 2.8 times as much as that of YG alloy and the cost is only 1/10 times that of YG alloy. In the article, the author expatiates the structures and working principles of TM drill tool and bit in detail. Drilling experiment shows that the friction unit of TM bit can produce enough heat energy to high temperature (>600 °C), TM drilling technology is feasible, it can improve drilling efficiency and decrease the cost of drilling.

Key words : thermo-mechanical rock fragmentation; drilling technology; drill tool; Sialon ceramal; friction thermal energy

1 概述

纯机械碎岩过程中, 钻头功率的非生产性的消耗高达 90% 以上, 这部分能量主要转化成了摩擦热能。摩擦热能在金刚石钻进过程中是非常有害的, 若不及时将热量带走, 将对钻头产生热损伤, 甚至发生严重的烧钻事故。因此, 在钻进过程中, 常用冲洗液带走摩擦热能、冷却工具。但通过试验证明, 岩石在高温作用下, 其切削阻力、磨蚀性和强度均大幅度降低, 钻进速度大幅度提高, 即摩擦热能对碎岩效率来说又是有益的, 如在金刚石钻进过程中, 烧钻前的一段时间钻进速度会成倍提高。摩擦热 - 机械碎岩钻具(以下简称热机碎岩钻具)就是利用钻头与岩石产生的摩擦热能加热弱化岩石, 降低了岩石破碎所需的能容量, 从而达到提高机械钻速和总的能量利用率、降低钻进成本的目的。

2 国内外研究发展现状

俄罗斯圣比得堡全俄勘探技术研究所的 F. C. 勃拉托夫教授 1985 年开始从事这项科研课题的研究, 发展至今已进行了大量的钻进试验, 取得了令人满意的效果。在科拉半岛的霞石、磷灰石及波罗地海花岗岩(可钻性 IX 级)中进行钻进, 进尺 325 多米, 平均机械钻速达 1.7 m/h, 最高钻速达 3 m/h。该钻头在混凝土块中进行试验时, 获得了很高的钻速和钻头寿命, 机械钻速可达 20 m/h, 而其成本仅为金刚石钻进的 20%~70%, 显示出较金刚石钻进更优越的综合性能。目前, 该研究所已将该碎岩工艺应用于钢筋混凝土质结构物的钻孔工程中。

中国有色矿产地质研究院的张科及中南工业大学的高森教授等人曾于 20 世纪 80 年代进行过“金刚石钻进中热机载荷碎岩机理及其应用”的新型课

收稿日期: 2004-04-05

基金项目: 吉林省科委杰出青年科研基金项目内容(20000199)

作者简介: 赵建康(1970-)男(汉族), 山东阳信人, 吉林大学讲师, 探矿工程专业, 博士, 从事超硬复合材料及金刚石制品方面的研究工作, 吉林省长春市西民主大街 6 号, zhaojk@126.com。

题研究。他们设计了一种复合式(包括摩擦块与切削块)热机碎岩孕镶金刚石钻头 ,并进行了室内试验 ,试验取得了一定的成果。

20 世纪 90 年代中后期 ,长春科技大学张祖培、孙友宏教授引进了 Г. С. 勃拉托夫教授的专利技术并进行了合作研究 ,在加压方式的改进、钻进工艺参数的研究、陶瓷摩擦元件及全面破碎热机钻具等方面取得了许多阶段性成果。

3 热机碎岩钻进原理及钻具结构

3.1 热机碎岩钻进原理

热机碎岩钻进包括利用摩擦热加热岩石和机械切削碎岩两个过程。该工艺首先利用钻头底唇面与岩石摩擦过程中产生的摩擦热能加热岩石至 600 ℃ 以上 ,然后利用从水口高速流入的冲洗液迅速冷却岩石。岩石在这种骤热急冷的热应力作用下 ,其表面产生大量微小裂纹 ,降低了岩石的强度 ,最后 ,再充分发挥机械碎岩的优势进行机械切削碎岩 ,碎岩原理如图 1 所示。由于大多数岩石经过这种“ 热处理 ”后的强度、硬度及研磨性等都有不同程度的降低 ,因此 ,较之普通硬质合金钻头 ,热机钻头的钻进效率大幅度提高 ,钻进范围也进一步扩大 ,可以钻进 IX 级花岗岩 ,钻进速度达到甚至超过金刚石钻头钻进速度。

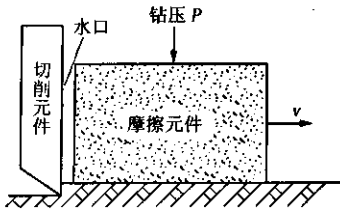


图 1 热机碎岩工作原理图

3.2 热机碎岩钻头结构

热机钻头由两部分组成 ,一部分称为摩擦元件 ,它的作用是与岩石摩擦产生热量来弱化岩石 ,也可以叫摩擦块或热发生器 ;另一部分是切削元件 ,实际就是钻头的切削齿 ,用来切削被摩擦元件热作用弱化后的岩石(如图 1、2 所示)。

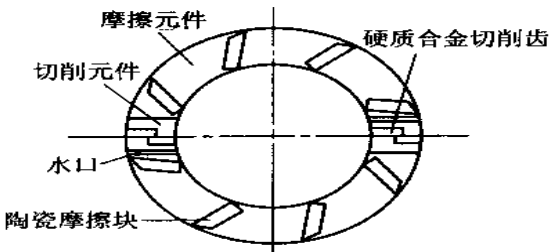


图 2 热机钻头结构示意图

摩擦元件只有在经过足够长的摩擦距离后 ,才能产生足够的摩擦温度 ,若摩擦元件过短 ,则单元体岩石与摩擦元件摩擦作用经过的距离小 ,那么产生的摩擦温度将达不到热机碎岩所需的温度 ,热机碎岩也就达不到最佳效果 ,而且切削具的磨损也剧烈得多。当摩擦元件环状长度达 80 mm 左右时 ,其摩擦产生的温度最高 ,当其长度超过 80 mm 以后 ,产生的温度反有下降趋势 ,如图 3 所示。

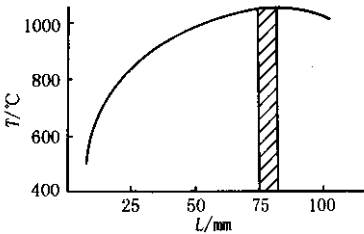


图 3 摩擦元件环状长度与产生温度关系图

3.3 热机碎岩钻具结构

热机碎岩工艺是复合式工艺 ,摩擦过程和切削过程相互独立。TM - 59 型热机碎岩钻具摩擦元件上的压力一般为 15 ~ 20 kN ,而切削元件上的压力仅需 1 kN ,因此摩擦元件和切削元件要分开加压。

热机碎岩钻具由内外两部分组成 ,外部由外管和摩擦元件组成 ,内部由滑阀堵头、内管(岩心管)、支撑环和切削元件组成 ,如图 4 所示。摩擦元件通过热机钻具外管与钻杆相连 ,摩擦元件上压力就是钻压 ,切削元件的压力来自于冲洗液作用在堵头上所形成的水泵压力。泵压通过堵头、内管(岩心管)、支撑环上传到钻头切削元件上。

在钻进过程中 ,冲洗液首先经钻杆中空进入热机钻具滑阀堵头 ,然后当冲洗液达到一定的压力后推开柱塞弹簧 ,经泄流孔进入内外管之间的环状空间 ,最后冲洗液经支撑环的 4 个径向孔流到孔底 ,冷却摩擦元件后携带岩屑从钻具与孔壁的环空排出。

3.5 摩擦元件上耐高温耐摩擦材料及胎体性能

试验已经证实 ,热机钻头工作时摩擦元件与岩石摩擦产生的温度至少大于 600 ℃。在此高温环境下 ,硬质合金的磨损加快 ,因此摩擦元件材料应该是耐摩擦耐高温的材料 ,同时由于冲洗液要不断循环带走岩屑 ,要求材料还要有良好的抗热冲击应力的性能。赛隆系列陶瓷材料的性能刚好能满足这个要求 ,其抗温性为 1900 ℃ ,在 1400 ℃ 高温下其物理性能无大的变化 ,另外其热膨胀系数较硬质合金低 ,故其热稳定性高。从耐磨性、耐高温性能、抗压强度及成本方面综合考虑 ,赛隆碳化硅系列陶瓷是目前热机钻头理想的摩擦材料 ,它的耐磨性是硬质合金的

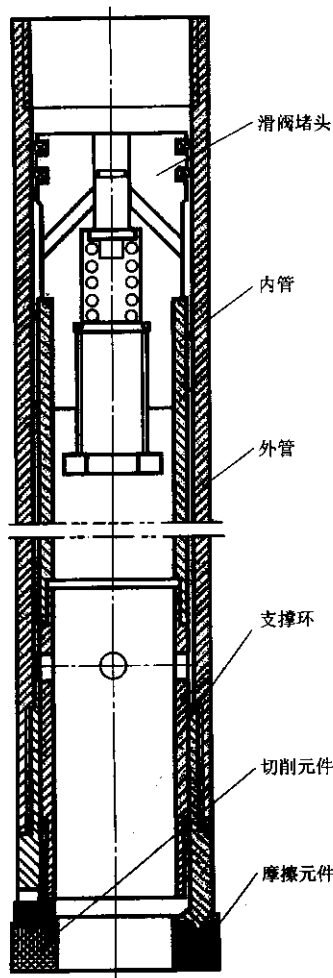


图4 热机钻具结构示意图

2.8 倍 ,而成本仅是硬质合金的 $1/10^{[2]}$;
摩擦元件是通过高压烧结工艺将胎体材料和陶瓷摩擦块烧结在钻头钢体上制成的 ,因此胎体材料的耐高温性能应和陶瓷材料匹配 ,即在高温情况下仍能牢固包镶住陶瓷摩擦块。我们采用的是 TiC - Ni 系列高温硬质合金的配方 ,试验证明效果明显好于 WC - Ni - 663Cu 系列的胎体配方。

4 热机碎岩钻进试验情况

4.1 热机碎岩室内钻进试验

对于可钻性为Ⅸ级的花岗岩 ,金刚石钻头钻进速度一般为 1.2 ~ 1.8 m/h ,从表 1 数据可以看出 ,热机钻头钻进速度达到甚至超过了金刚石钻头钻速。试验过程中钻速曾达到 3.6 m/h ,但钻头有微烧现象。

4.2 热机碎岩钻进时的孔底温度测量

采用镍铬 - 镍硅铠装热电偶作为温度传感器 ,测量原理见图 5。随着钻头进尺的增加 ,测试点离钻头唇面的距离越来越近 ,在热电偶破坏前测到的

表 1 热机碎岩室内钻进试验表

轴压 /kN	转速 /(r · min ⁻¹)	泵量 /(L · min ⁻¹)	进尺 /mm	机械钻速 /(m · h ⁻¹)
12	308	43	20	0.46
15	308	28	20	0.95
15	308	43	40	0.83
20	308	28	30	1.74
20	308	43	70	1.44
20	585	43	30	1.89
20	585	28	20	2.68

注 岩样为花岗岩 ,可钻性Ⅸ级 ,钻头直径 59 mm ;钻头壁厚 10 mm ,切削齿 2 片。

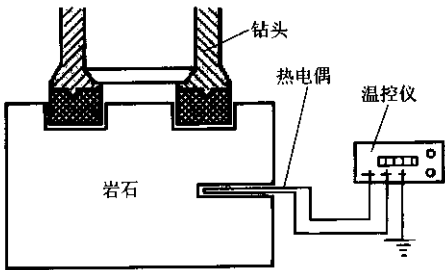


图5 孔底温度测量试验示意图

温度即为钻头与岩石接触面的温度。
经过多次试验 ,已经成功测到岩石边界层的温度可达 600 ℃ ,达到了热机碎岩钻具的设计要求 ,进一步证实了热机碎岩技术的可行性。当钻至热电偶的埋深时 ,温控仪的指针由 20 ℃ 很快指向 600 ℃。
通过观察岩屑形状、测量钻速以及测量孔底温度 ,还可以了解热机碎岩的工作状态 ,如当岩屑为粉状时(如图 6 中①所示) ,一般钻速也较慢 ,可推测孔底没有热效应 ;当岩屑较粗时(如图 6 中②所示) ,这时钻速也较快 ,热电偶测得孔底温度约为 80 ℃ ,由此可推定孔底已有热效应 ;当岩屑为片状时(如图 6 中③所示) ,钻速很快 ,在花岗岩闪长岩钻进时 ,钻速为 3.6 m/h ,此状态下测得的孔底温度为 600 ℃ ,由此可看出热机联合碎岩进入理想状态。

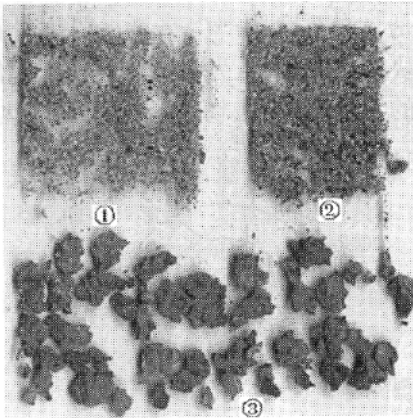


图6 热机钻头产生的岩屑对比照片

5 热机碎岩工艺高效的原因分析

在对岩石加热到 900 ℃ 条件下发现 : 燧石矿的切削阻力由加热前的 9680 N/cm² 下降到 2750 N/cm² , 花岗闪长岩由加热前的 8340 N/cm² 下降到 1540 N/cm² , 而耐磨性 , 燧石矿由加热前的 20.6 mg 下降到 11 mg , 花岗闪长岩由 34.8 mg 下降到 18.9 mg。此外 , 如抗压强度 , 将细粒花岗闪长岩加热到 800 ℃ , 然后在水中和空气中冷却至常温 , 发现其单轴抗压强度由原来的 152.34 MPa 分别下降为 20.0 MPa 和 69.08 MPa^[1]。岩石受热后强度下降的原因主要有以下几点 :

(1) 由于高温作用而造成岩石组成矿物的不均匀膨胀 , 或成分的化学分解 , 或气体、水的膨胀 , 或者矿物的相变等 , 由此引发热应力 , 使岩石内部出现微裂纹或原有裂纹扩张 , 从而降低了岩石强度和切削阻力。

(2) 岩石在受到骤热急冷作用时会在其内部产生很大的热冲击应力。岩石受到骤热作用时 , 其内部产生的热应力为压应力 , 对岩石破坏并不大。把已经加热的岩石急速冷却 , 将在岩石表面产生很大的拉伸热应力 , 使岩石表面出现微裂纹或原有裂纹的生长 , 从而大大降低了岩石强度和切削阻力。

由于岩石强度的降低 , 碎岩过程就由以磨削为主转变为以切削为主 , 这样不但极大提高了钻进效率 , 而且节约了能量。一般情况下 , 切削单位体积材

料所消耗的能量仅为磨削消耗能量的 1/10 ~ 1/20 , 这就是热机碎岩钻具节能、高效的最根本原因。

6 研究结论及应用前景

(1) 热机碎岩技术是切实可行的 , 可以大幅度提高硬质合金或金刚石切削具的碎岩速度 , 降低碎岩成本 ;

(2) 热机碎岩工艺扩大了硬质合金钻进的使用范围 , 使用硬质合金碎岩工具可代替金刚石钻具切削可钻性达 IX 级的硬岩 ;

(3) 新型陶瓷材料又可替代硬质合金摩擦块 , 不仅提高了钻头寿命 , 而且降低了成本 , 同时也为陶瓷材料在钻探工具上的应用提供了一条新思路 ;

(4) 热机碎岩技术应用范围广阔 , 可以广泛应用于地质钻探、油气井钻探、各种工程孔的硬岩钻进 , 以及坑道、隧道掘进等领域的碎岩。

参考文献 :

- [1] 张祖培, 张书刚. 热能机械碎岩机理及应用[J]. 探矿工程, 1997 (2).
- [2] 赵建康, 孙友宏, 张祖培. 陶瓷材料在热机钻头上的应用研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版) 2003 (4).
- [3] 蒋国盛, 汤凤林. 摩擦生热热力钻头结构参数与钻进规程参数关系的分析研究[J]. 国外地质勘探技术, 1998 (6).
- [4] 赵建康. 热机碎岩钻具及其钻进工艺研究[D]. 长春: 吉林大学, 2002.

第九届中国国际非开挖技术研讨会暨展览会将在浙江省杭州市召开

(2005 年 3 月 21 ~ 24 日 杭州 之江饭店)

主办单位 : 中国地质学会非开挖技术专业委员会 全国岩土钻凿工程信息网

承办单位 : 北京特林非开挖技术(会展)有限公司

协办及支持单位 : 国际非开挖技术协会、建设部科学技术司、国土资源部国际合作与科技司、中国地质调查局 ; 中国地质大学、中国石油天然气管局穿越公司《非开挖技术》杂志、浙江省邮电工程局

第九届中国国际非开挖技术研讨会年会将在我国美丽的风景城市浙江省杭州市召开。浙江省也是我国非开挖行业发展最快、中国非开挖技术协会会员最多的省份之一。

随着我国国民经济的高速发展和政府对环境的日益重视, 自 20 世纪 90 年代中期以来, 我国非开挖的工程施工量和投入的设备数量均以每年 40% 的高速度增长。2003 年我国非开挖技术施工的年产值已达到 33 亿元人民币, 水平定向钻机的拥有量已达到 900 多台, 顶管和管线修复等也取得了飞速的发展。非开挖技术在我国已形成了一个新兴的产业, 引起了各级政府和环境部门的高度重视。极有潜力的我国非开挖技术市场也吸引了大批国际非开挖设备制造商。

2004 年在北京召开的第八届会议上, 与会代表和参展商数量超过了历届会议的记录。来自美国、德国、英国、日本、加拿大、澳大利亚等国家, 以及我国台湾、香港等地区的代表出席了会议与展览。本届研讨会将于 2005 年 3 月 21 日在杭州召开, 已邀请国际非开挖技术协会和各国非开挖技术协会的知名人士出席会议。

本届会议将为国内管理、设计、施工、设备生产和科研教学单位提供一个良好的技术交流与设备供求洽谈场所。估计每年通过年会会展达成的交易额和潜在交易额达上亿元人民币。通过此次会议, 必将进一步促进非开挖技术在我国的大力推广和应用。

会议内容及议程 : 研讨会将涉及非开挖施工技术的各方面内容, 包括水平定向钻进、微型隧道(顶管)施工和冲击矛与夯管锤施工等管线铺设技术, 各种管线修复和置换技术 ; 以及管线探测技术等。会议期间同时举办展览会。会议主要议程有 : 专家报告、代表宣读论文、国内外公司新产品新技术报告会、展览、演示与现场参观、协会理事会议。

会议地点与时间 : 开会、展览和国内外代表住宿均在杭州市之江饭店(4 星级), 位于杭州市莫干山路 188 - 200 号 ; 时间 : 2005 年 3 月 21 ~ 24 日, 共 4 天, 3 月 21 日(星期一)报到。

详细情况请浏览协会网址 www.cstt.org 或与会议秘书处联系 : (010) 68992605、13621296534、13601030432