

热机碎岩钻进工艺中钻进规程参数的理论分析

赵建康,孙友宏,张祖培
(长春科技大学,长春 130026)

[摘 要]通过建立数学模型,对热机钻进中钻进规程参数与机械钻速的变化规律进行了理论分析,并推导出了它们之间相互影响的关系式,对热机钻进中最优规程参数的确定具有重要指导意义。

[关键词]热机碎岩 钻进规程参数 理论分析

[中图分类号]P634 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2001)02-0094-03

1 前言

热机碎岩是摩擦热能辅助机械碎岩的简称。在热机钻进过程中,首先利用热机钻头上的摩擦元件与岩石摩擦产生的热能对岩石加热以降低其强度,然后利用切削元件切削碎岩,这样不但能大大提高钻进速度,而且能大大降低钻进成本。

由于热机钻进孔底温度较高,接近于烧钻状态,因此对钻进规程参数要求比较严格,孔底温度低时,达不到热机碎岩的效果,温度过高将引起烧钻。在试验过程中发现,每一个钻进规程参数(P 、 N 和 Q) 的单独变化都会影响钻头底唇和岩石接触面的温度,但在热机碎岩的最佳状态时,最重要的是泵量 Q 的控制。在确定最优泵量的时候,遇到的问题是应对不同的岩石,都有不同的最优钻进规程参数,而对应每一组钻进规程参数都有一个最优泵量,而通过试验方法将所有最优泵量都选出来其工作量也将是十分巨大的。经过钻进试验,我们取得了钻速与钻进规程参数的(P 、 N 、 Q) 的基本关系曲线(只对有限的几个岩样),但具体到钻速与各参数的相互影响关系,还缺乏深入的理论分析。为了提高试验效率,同

表 1 TM-59 钻头技术特性表

钻进外径/mm	59
摩擦元件外径/mm	59
切削具组数(个)	2
切削具类型	片状
摩擦元件类型	钻头胎体扇形块
硬质相	硬质合金
浸渍相	Cu、Ni、Co、Fe、Ti 合金
摩擦元件上的压力(kN)	15~25
切削元件上的压力(kN)	2~3
转速(r/min)	300~500
机械钻速(花岗岩)(m/h)	3

时为了完善热机碎岩理论,我们利用热力学及能量守恒的有关理论,推导出了钻进规程参数与机械钻速的关系式,并进行了实验验证。

2 热机钻头的试验情况

2.1 试验用热机钻头结构参数(表 1)

2.2 试验数据记录(表 2)

表 2 试验数据

轴压(kN)	转速(r/min)	进尺(mm)	耗时(s)	机械钻速(m/h)
12	310	20	156	0.46
	450	20	76	0.95
	665	20	48	1.49
15	310	10	38	0.95
	450	20	51	1.46
	665	20	36	2.0
20	310	20	42	1.7
	450	30	45	2.4
	665	20	20	3.6
25	310	20	40	1.8
	450	30	38	2.8
	665	30	28	3.8

注:泵压 1.0 MPa~0.9 MPa;泵量 8L/min;岩样为闪长花岗岩。

根据实验数据整理出的轴压、转速与机械钻速的关系曲线图 1。

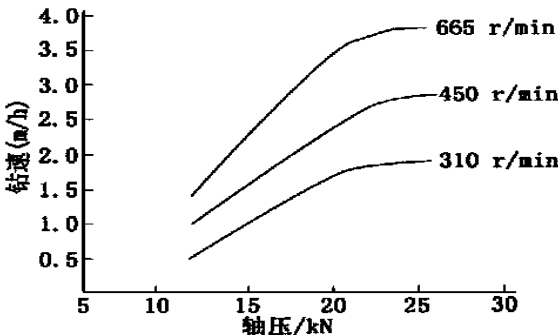


图 1 轴压与机械钻速的关系曲线

在所有几组试验中,都能得出类似关系曲线。从以上曲线中不难看出这样一个现象,就是对应某一钻速情况,有几组不同的钻进规程参数,如钻速为

1.6 m/h 时,过这一点作一水平直线,则这一直线与三条曲线都有交点。对应几组参数之间的这种联系是必然的还是偶然的,为了便于分析,我们建立了以下数学模型。

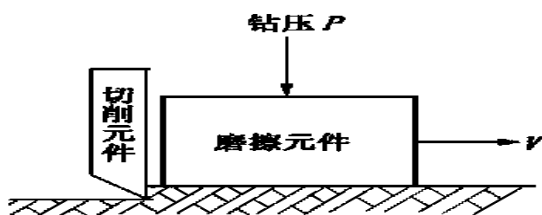


图2 热机钻头结构模型

3.1 数学模型的建立

根据热机钻头的结构图2,可将钻头碎岩功率分解成两部分,一部分为摩擦热功率,一部分为切削碎岩功率: $W_{\text{总}} = W_{\text{摩}} + W_{\text{切}}$,由图2可知摩擦元件和切削元件是分别独立加压的,互不影响,因此,分析时可不考虑切削元件。设摩擦功全部转化为热量,根据摩擦热能的传递规律和能量守恒定律,我们可以得出下面的关系式(注:岩石边界层即被加热的那一薄层岩石,大约4 mm。岩石边界层岩石被破碎后由冲洗液带走,同时岩屑的热量传递给冲洗液。由于(1)式中 W_1 和 W_2 中都包含这部分热量,因此公式最后要减去这部分热量即 W_3):

$$\int W_{\text{摩}} \cdot dt = \int \text{岩石边界层吸收的热量} \cdot dt + \int \text{冲洗液带走的热量} \cdot dt - \int \text{岩屑传递给冲洗液的热量} \cdot dt \quad (1)$$

将上式微分即得下式:

$$W_{\text{摩}} = \text{岩石边界层吸收的热量}(W_1) + \text{冲洗液带走的热量}(W_2) - \text{岩屑传递给冲洗液的热量}(W_3) \quad (2)$$

其中: $W_{\text{摩}} = f \cdot U = P \cdot \mu \cdot N \cdot 2\pi R' = 2\pi \mu R' PN$

$$W_1 = V_{\text{钻}} \cdot \pi(R^2 - r^2) \cdot \rho_{\text{岩}} \cdot c_{\text{岩}} \cdot \Delta T_2 \cdot J + \Delta E \cdot V_{\text{钻}} \cdot \pi(R^2 - r^2) \cdot \rho_{\text{岩}}$$

$$W_2 = Q \cdot \rho_{\text{冲}} \cdot c_{\text{冲}} \cdot \Delta T_1 \cdot J$$

$$W_3 = V_{\text{钻}} \cdot \pi(R^2 - r^2) \cdot \rho_{\text{岩}} \cdot c_{\text{岩}} \cdot \Delta T_3 \cdot J$$

将以上各式代入(1)式,可得下式:

$$2\pi \mu R' PN = V_{\text{钻}} \cdot \pi(R^2 - r^2) \rho_{\text{岩}} \cdot c_{\text{岩}} \cdot \Delta T_2 \cdot J + \Delta E \cdot V_{\text{钻}} \cdot \pi(R^2 - r^2) \cdot \rho_{\text{岩}} + Q \cdot \rho_{\text{冲}} \cdot c_{\text{冲}} \cdot \Delta T_1 \cdot J - V_{\text{钻}} \cdot \pi(R^2 - r^2) \cdot \rho_{\text{岩}} \cdot c_{\text{岩}} \cdot \Delta T_3 \cdot J$$

整理后得:

$$2\pi \mu R' PN = V_{\text{钻}} \pi \cdot (R^2 - r^2) \rho_{\text{岩}} \cdot [(\Delta T_2 - \Delta T_3) \cdot c_{\text{岩}} \cdot J + \Delta E] + Q \cdot \rho_{\text{冲}} \cdot c_{\text{冲}} \cdot \Delta T_1 \cdot J$$

式中: μ —摩擦元件与岩石之间的摩擦系数;
 P —钻压; N —转速; R' —摩擦元件的当量直径;
 Q —泵量; $c_{\text{冲}}$ —冲洗液的比热; $\rho_{\text{冲}}$ —冲洗液的密度;
 ΔE —单位质量岩石因构成晶体相变或分解吸收的热量; ΔT_1 —冲洗液的温差; J —热功当量系

数; $V_{\text{钻}}$ —机械钻速; R —钻头外径; r —钻头内径;
 $c_{\text{岩}}$ —岩石的比热容; $\rho_{\text{岩}}$ —岩石的密度; ΔT_2 —岩石的温差; ΔT_3 —高温岩石与热平衡后的冲洗液的温差。

将上式变形可得下面两式:

$$PN = \frac{V_{\text{钻}} \pi \cdot (R^2 - r^2) \rho_{\text{岩}} \cdot [(\Delta T_2 - \Delta T_3) \cdot c_{\text{岩}} \cdot J + \Delta E] + Q \cdot \rho_{\text{冲}} \cdot c_{\text{冲}} \cdot \Delta T_1 \cdot J}{2\pi \mu R'} \quad (3)$$

$$V_{\text{钻}} = \frac{2\pi \mu R' PN - Q \cdot \rho_{\text{冲}} \cdot c_{\text{冲}} \cdot \Delta T_1 \cdot J}{\pi \cdot (R^2 - r^2) \rho_{\text{岩}} \cdot \{(\Delta T_2 - \Delta T_3) \cdot c_{\text{岩}} \cdot J + \Delta E\}} \quad (4)$$

从(3)中可以看出,当达到某一稳定的钻进状态时, PN 的乘积也就是某一定值,与前面所提到的现象也是吻合的。

从(4)式中可以看出,当 PN 参数一定时,提高钻速的方法是降低泵量 Q ,但泵量 Q 还有两个限制条件:

(1) Q 应保证不烧钻;

(2) Q 应保证正常排除岩屑,可由下式确定:

$$Q \geq v_{\text{上}} \cdot \pi(R^2 - r^2)$$

式中: $v_{\text{上}}$ —上返岩屑所需的最小流速; R —孔径; r —钻具外径。

以前的研究认为热机钻进同普通金刚石或硬质合金钻进没有很大的差别,但在试验过程中我们发现前者对泵量的选择还是比较严格的。泵量过大,

钻具几乎没有热效应,钻进速度慢,当泵量过小时,又极易引起烧钻事故,因此钻进规程参数的变化范围较常规钻进要窄的多,对钻进技术及操作规程的要求高,可通过改进钻具结构进行弥补。

3.2 泵量对钻速的影响验证

在以往实验中,泵量从 43 L/min ~ 12 L/min 的范围内都做过试验,当泵量下降时钻速有所提高但不明显,在泵量为 28 L/min,压力为 2000 kg,转速为 660 r/min 时,钻进跟常规金刚石钻进无太大差别(钻速 1.68 m/h);当泵量下降到 12 L/min 时,钻孔中有热蒸汽逸出,用手可感觉水温的升高,岩屑变粗(钻速 1.8 m/h),此时用热电偶测得钻头底唇的温度为 80 ;当泵量继续下降为 8 L/min 时,一开始就明显地看到了热效应,此时可看到钻孔底部岩石已被加热呈红色,此时水温较高(60 ~ 70),岩屑非常粗,钻速较快(钻速 3.6 m/h)。此时热电偶测得的孔底温度为 600 ,事后发现这种情况下捞取的岩屑呈片状,而且上面有明显的切削痕迹,因此,可

以推定是岩石在高温下呈塑性状态时被切削下来的。

4 结论及研究意义

- 1) P 、 N 、 Q 与机械钻速之间存在函数关系;
- 2) 由公式中 ΔE 的存在可知,热机碎岩并不是对所有的岩石都能提高钻速;
- 3) 在热机钻进中 PN 可以作为一个参数考虑,并且由此可知热机碎岩钻进中可以通过适当提高转速的方式来解决钻压过高的难题;
- 4) 对热机钻进中各个看似毫无联系的参数(P 、 N 、 Q 和 $V_{\text{钻}}$) 通过理论分析有机地结合在一起,进行总体的考虑,对确定最优钻进规程参数及更深入的研究热机碎岩机理具有很重要的指导作用。

[参考文献]

- [1] 张祖培. 热能—机械碎岩机理及其应用[J]. 探矿工程, 1997, 3.
- [2] 屠厚泽, 高森编著. 岩石破碎学[M]. 北京: 地质出版社, 1988.
- [3] 日松原著, 李明怀, 庄志译. 摩擦学[M]. 西安: 西安交大出版社, 1994.

STUDYING ON THERMO - MECHANICAL DRILLING REGIME PARAMETERS

ZHAO Jian - kang, SUN You - hong, ZHANG Zu - pei

Abstract : Through establishing a mathematics model, the author analyzes the regular variation between drilling speed and three thermo - mechanical drilling regime parameters, and also deduced a equation between them. It helps to determine the optimum parameters in thermo - mechanical drilling and study the mechanism of TM rock fragmentation technology.

Key words : thermo - mechanical rock fragmentation, drilling regime parameters, analyze

[第一作者简介]:



赵建康(1970 年 -), 男, 1993 年毕业于长春地质学院探矿系, 一直从事基础工程施工工作, 现为吉林大学 99 级博士研究生, 主要从事金刚石制品、超硬复合材料及碎岩新机具方面的研究。

通讯地址: 吉林省长春市 长春科技大学勘工系 邮政编码: 130026

“岩土钻掘技术在资源、环境和工程建设中的应用与发展研讨会”征文通知

在 21 世纪到来之际, 为响应党中央关于西部大开发战略号召, 发挥探矿(岩土钻掘)工程技术优势, 为解决资源、环境和工程建设中问题提供科学依据, 为国民经济建设服务, 中国地质学会探矿工程专业委员会将于 2001 年 10 月举办“岩土钻掘技术在资源、环境和工程建设中的应用与发展研讨会”。会议的主要议题: 探讨岩土钻掘新技术、新领域、新装备; 矿产资源、能源、水资源的合理开发与利用; 地质灾害及其防治等问题。

征文要求如下:

- 1) 文字简练、内容翔实、数字准确、实事求是;
- 2) 文章一般不超过 5000 字为宜;
- 3) 图文并茂, 每篇论文可附 2、3 张附图, 图片要求清晰, 黑白、彩色均可;
- 4) 文前应附提要(200 字以内)、关键词和第一作者简介(100 字以内), 重要参考文献附文尾;
- 5) 联名撰写的论文, 一般署名不超过 5 人;
- 6) 作者投稿时请尽量提供用计算机打印的清楚稿件, 并同时提交软盘(标准文本文件格式);
- 7) 欲投稿的作者请于 2001 年 4 月底以前将回执寄到探工学会;
- 8) 截稿时间为 2001 年 5 月 15 日。

地址: 河北省廊坊市金光道 77 号探工学会 联系人: 张林霞 邮编: 065000

电话: (0316) 2015312 — 2227 (2209) 传真: (0316) 2212206