

高能射流式液动锤在花岗岩中的钻进研究

孙强, 杨冬冬, 彭视明, 纪天坤, 张鑫鑫

(吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026)

摘要: 由于干热岩地层通常为火成岩, 研磨性强、可钻性差, 现有常规工艺方法钻进效率低, 为此专门研制了用于干热岩钻进用的 SC-86H 型高能射流式液动锤, 并对该高能射流式液动锤样机进行了地面钻进试验。试验采用可钻性等级为 10 级的完整花岗岩作为钻进对象, 观测了冲锤质量、活塞行程和泵量对机械钻速的影响。试验结果表明: 增大冲锤质量、活塞行程和泵量有利于提高机械钻速。试验过程中获得的最大机械钻速为 5.19 m/h, 较常规回转钻进机械钻速提升显著。

关键词: 干热岩; 钻进; 可钻性; 花岗岩; 高能; 射流式液动锤; 机械钻速

中图分类号: P634.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2016)08-0039-05

Experimental Research on High Energy Liquid-jet Hammer in Granite Drilling/SUN Qiang, YANG Dong-dong, PENG Jian-ming, JI Tian-kun, ZHANG Xin-xin (College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China)

Abstract: Hot dry rock strata usually are of igneous rocks with strong abrasion and poor drillability. Because of the low drilling efficiency of conventional drilling methods, SC-86H high energy liquid-jet hammer was specially developed for hot dry rock strata drilling, and the ground drilling tests were carried out on the prototype. Intact granite with drillability of grade X was taken as simulation strata, the effects of hammer mass, piston stroke and inputting flow rate on the drilling efficiency were studied. The test results show that increasing the hammer mass, piston stroke and inputting flow rate are beneficial to improve the drilling efficiency. The maximum ROP obtained in the tests is 5.19m/h, which is significantly more than that of conventional rotary drilling machines.

Key words: hot dry rock; drilling; drillability; granite; high energy; liquid-jet hammer; rate of penetration

0 引言

干热岩是一种储量大、分布广的可再生清洁能源, 具有极高的开发价值与应用前景^[1-2], 但干热岩的热能多赋存于各种变质岩及结晶类岩体中, 如花岗岩、花岗闪长岩等, 地层研磨性强、可钻性差^[3], 且埋深一般超过 2000 m, 开发难度大, 常规开采方式难以实现。液动冲击回转钻进是一种专用于硬质地层的钻进技术, 与普通回转钻进工艺相比, 液动锤回转钻进工艺使钻头能够体积破碎岩石, 提高钻进速度, 降低钻进成本; 钻进所需的钻压低、转速低, 防斜效果好, 井身质量高, 在中硬、坚硬和硬脆岩层中的技术经济指标均优于回转钻进^[4], 有望用于干热岩快速钻进。

目前, 射流式液动锤在固体矿产钻探和科学钻探工程等领域已取得了良好的应用效果, 具有工作

可靠性高, 工作性能不受背压影响, 管路振动小等优点^[5-8]; 固体矿产小径勘探的大量实践表明, 液动冲击回转钻进技术与普通回转钻进技术相比能够提高钻进效率 50%~60%, 降低钻进成本 20% 以上, 且能大幅提高钻头的使用寿命^[9]。高参 1 井常规回转钻进平均机械钻速 1 m/h^[10], YSC-178A 型射流式液动锤在松南气田长岭断陷层火成岩气藏平均机械钻速 1.15 m/h^[11]。

然而, 常规液动锤单次冲击功有限, 难以获得与气动潜孔锤相当的高钻进效率^[12], 限制了其应用领域和范围。为大幅提升钻进效率, 研制了具有高冲击功的 SC-86H 型高能射流式液动锤, 并进行了地面钻进试验, 取得了显著效果。

收稿日期: 2016-01-30; 修回日期: 2016-05-27

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项项目“干热岩快速钻井用高压高能射流式液动锤研究”(编号: 201311112)

作者简介: 孙强, 男, 汉族, 1989 年生, 在读硕士研究生, 地质工程专业, 主要研究方向为多工艺冲击回转钻进技术, sunqiangjlu@163.com。

通讯作者: 彭视明, 男, 汉族, 1975 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事多工艺冲击回转钻进技术研究和地质工程教学工作, 吉林省长春市西民大街 938 号, pengjm@jlu.edu.cn。

1 射流式液动锤的特点及 SC-86H 型高能射流式液动锤高能输出特性的实现

射流式液动锤是利用双稳射流元件作为控制元件,高压高速流体进入缸体的上下腔体,从而驱动活塞往复运动冲击钻头实现冲击碎岩。与阀式液动锤相比,射流式液动锤运动部件少,没有弹簧等易损件,工作可靠,工作寿命较长^[13];冲锤向下运动至撞击砧子整个冲程阶段,活塞始终受到上腔的高压推力作用,使冲锤获得较高的冲击末速度,从而产生较高的冲击能量;射流式液动锤是靠射流元件来控制冲程与回程的转换,故其冲锤冲程运动过程中不受回程弹簧的抵消力及节流阻力的影响,有利于使冲锤获得较高的冲击末速度;射流式液动锤的工作受围压、温度等条件的影 响小,有利于在深孔条件下使用。

射流式液动锤的工作原理参见图 1。高压水经接头进入射流元件,从喷嘴喷出,射流产生附壁作用,如先附壁于右侧,高压水由 C 输出进入缸体的上部,推动活塞下行,与活塞连接的冲锤便冲向砧,产生对钻头的冲击;在锤击砧时冲锤突然停止下行,则在上腔产生一水击,此水击以波动的形式经信号道 D 反射到控制道,推动主射流切换,而附壁于 E 输出道,高压水进入活塞下腔,推动活塞上行,当活塞到达上死点并与缸体上部接触,又在下腔产生水击,重新附壁于右侧,从 C 输出进入上腔,开始下一个周期。

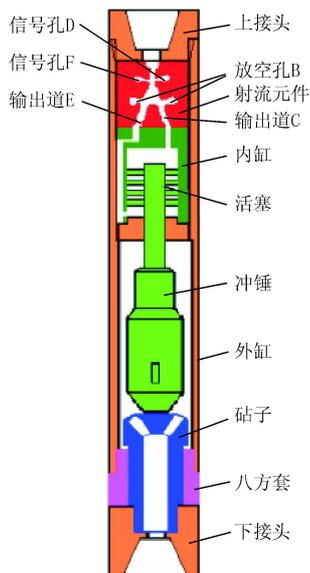


图 1 射流式液动锤工作原理图

SC-86H 型高能射流式液动锤是在保证较为适宜冲击频率的前提下,对现有射流元件参数进行

优化研究设计,并通过提高整机压降和增大射流式液动锤的活塞行程,提高单次冲击功,实现其高能输出特性。

2 地面钻进试验

2.1 试验设备与装置

试验所用主要设备和装置包括:JDD-100 型全液动力头式地质勘察多功能钻机,3P30 型三柱塞高压泵,稳压罐,SC-86H 型高能射流式液动锤,Ø95 mm 硬质合金球齿钻头。试验设备布置简图见图 2。

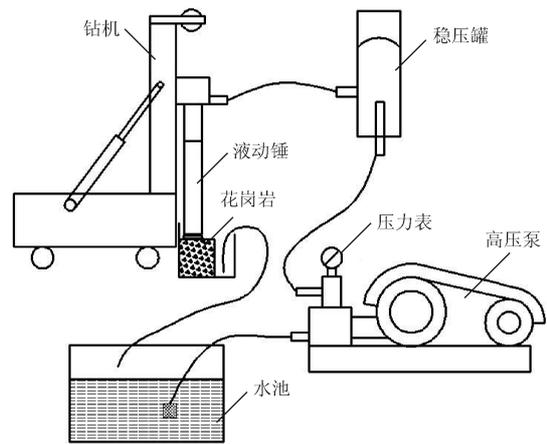


图 2 试验设备布置简图

JDD-100 型全液动力头式地质勘察多功能钻机为顶驱式车载钻机,其回转速度和钻压均可调节,满足射流式液动锤钻进试验要求。SC-86H 型高能射流式液动锤以及配套的 3 种质量冲锤、3 个行程的活塞杆,可以根据试验要求更换与调节;冲锤质量为 4、6 与 8 kg,冲锤行程为 80、100 与 120 mm。3P30 型三柱塞高压泵额定功率 90 kW,最大泵量 250 L/min,最高泵压 18 MPa,自带变频调节控制柜,可以无级调节泵量。稳压罐是为试验专门设计的,能够保证泵压平稳,减少泵的流量脉动。硬质合金球齿钻头具有 9 颗 Ø14 mm 硬质合金齿。

2.2 试验所用岩样

试验所钻岩石为新鲜完整无任何风化的花岗岩(如图 3 所示),其主要矿物成分含量:长石 56%,石英 40%,云母 4%,单轴抗压强度为 129 MPa,岩石可钻性级别达到 10 级。

2.3 试验方法

(1) 活塞行程对高能射流式液动锤的机械钻速的影响试验。设计加工的不同活塞行程有 80、100、120 mm 三种,试验分别将 3 种行程的活塞安装到 SC

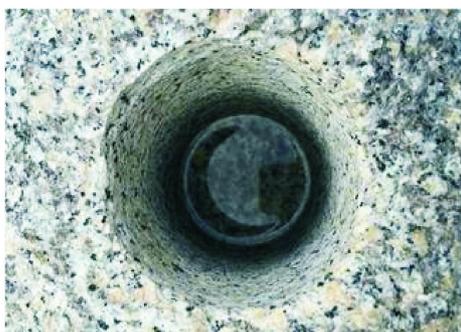


图 3 全面钻进试验用花岗岩岩样

-86H 型高能射流式液动锤上,进行全面钻进试验。

(2) 冲锤质量对高能射流式液动锤的机械钻速的影响试验。设计加工的不同冲锤质量有 4、6、8 kg 三种,试验分别将 3 种质量的冲锤安装到 SC-86H 型高能射流式液动锤上,进行全面钻进试验。

(3) 泵量对高能射流式液动锤的机械钻速的影响试验。试验中对每组参数的 SC-86H 型高能射流式液动锤,更改高压泵的泵量,分别为 180、200、220 L/min,进行全面钻进试验。

3 试验结果与分析

在试验的泵量和钻压条件下,高能射流式液动锤均能够正常启动并处于稳定工作状态,高能射流式液动锤地面钻进试验典型工作场景如图 4 所示。



图 4 SC-86H 型高能射流式液动锤地面钻进试验现场

在冲击荷载条件下,岩石表现为脆性增大^[14]。使用液动锤在较坚硬的地层中钻进时,液动锤提供

的较大冲击力通过钻头传至岩石,接触应力瞬间达到很大值,使岩石内部形成微小裂隙同时也加速一些裂隙的发育,再在钻头的回转作用下,很容易实现体积破碎^[15]。使用 SC-86H 型高能射流式液动锤钻进排出的岩屑颗粒较为不规则,且粒径较大,最大可达 18 mm 以上,因此可以看出该钻具能够产生较大体积破碎,碎岩和排屑效果很好,机械钻速较高。钻进过程中上返的大粒径岩屑如图 5 所示。



图 5 钻进上返的大粒径岩屑照片

3.1 活塞行程对机械钻速的影响

试验所用活塞杆直径 18 mm,行程 80、100、120 mm。依次更换 3 种规格的活塞杆进行全面钻进试验,试验结果见表 1。根据表 1 数据,绘制活塞行程对高能射流式液动锤机械钻速的影响图见图 6。

表 1 活塞行程对高能射流式液动锤机械钻速的影响

活塞行程/ mm	冲锤 质量/ kg	泵量/ (L· min ⁻¹)	泵压/ MPa	钻压/ kN	转速/ (r· min ⁻¹)	机械钻 速/(m· h ⁻¹)
80	4	200	13	7	25	1.48
100	4	200	13	7	25	1.62
120	4	200	13	7	25	2.06
80	4	220	15	7	25	2.75
100	4	220	15	7	25	2.92
120	4	220	15	7	25	3.15

通过表 1 和图 6 可以看出,在冲锤质量、泵量和钻压一定时,随着活塞行程增大,高能射流式液动锤的机械钻速增大。在冲锤质量 4 kg、泵量 200 L/min、钻压 7 kN、转速 25 r/min 条件下,活塞行程由 80 mm 增加到 120 mm 时,机械钻速从 1.48 m/h 提高到 2.06 m/h,提高了 40%;在冲锤质量 4 kg、泵量 220 L/min、钻压 7 kN、转速 25 r/min 条件下,活塞行程由 80 mm 增加到 120 mm 时,机械钻速从 2.75 m/

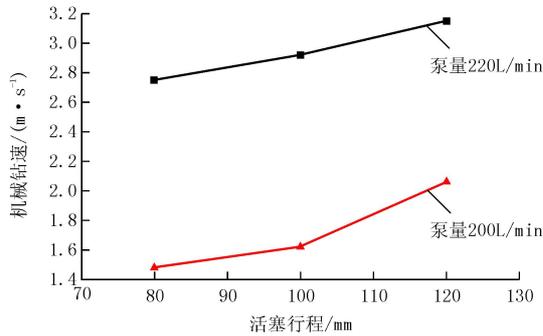


图6 活塞行程对高能射流式液动锤机械钻速的影响

h 提高到 3.15 m/h, 提高了 15%。在冲锤质量、泵量和钻压一定时, 随着活塞行程的增大, 冲锤末速度增大, 高能射流式液动锤的单次冲击功增大, 因此获得的机械钻速增大。

3.2 冲锤质量对机械钻速的影响

试验采用的冲锤质量为 4、6、8 kg。对 3 种质量的冲锤分别进行钻进试验, 每种质量的冲锤都进行泵量的调整试验和与活塞行程改变的全面钻进试验, 试验结果见表 2。根据表 2 数据, 绘制冲锤质量对高能射流式液动锤机械钻速的影响图见图 7。

表2 冲锤质量对高能射流式液动锤机械钻速的影响

活塞行程/mm	冲锤质量/kg	泵量/(L·min ⁻¹)	泵压/MPa	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	机械钻速/(m·h ⁻¹)
120	4	200	13	7	25	2.06
120	6	200	13	7	25	2.98
120	8	200	13	7	25	4.10
120	4	220	15	7	25	3.15
120	6	220	15	7	25	4.00
120	8	220	15	7	25	5.19

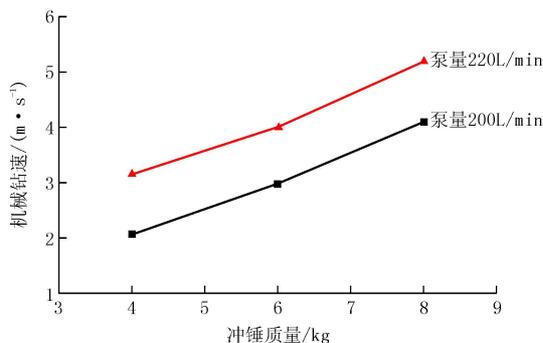


图7 冲锤质量对高能射流式液动锤机械钻速的影响

从表 2 和图 7 可以看出, 在活塞行程、泵量和钻压一定时, 随着冲锤质量的增大, 高能射流式液动锤的机械钻速增大。在活塞行程 120 mm、泵量 200 L/min、钻压 7 kN、转速 25 r/min 条件下, 将质量为 4

kg 的冲锤更换为质量为 8 kg 的冲锤时, 机械钻速由 2.06 m/h 提高到 4.10 m/h, 提高了近 1 倍; 在活塞行程 120 mm、泵量 220 L/min、钻压 7 kN、转速 25 r/min 条件下, 将质量为 4 kg 的冲锤更换为质量为 8 kg 的冲锤时, 机械钻速由 3.15 m/h 提高到 5.19 m/h, 提高了 65%。活塞行程、泵量和钻压一定时, 随着冲锤质量的增大, 高能射流式液动锤的单次冲击功增大, 因此获得的机械钻速增大。

3.3 泵量对机械钻速的影响

试验中改变的泵量有 180、200、220 L/min, 分别采用冲锤质量 8 kg、活塞行程 100 mm 与冲锤质量 8 kg、活塞行程 120 mm 的高能射流式液动锤, 进行全面钻进试验, 试验结果见表 3。根据表 3 数据, 绘制泵量对高能射流式液动锤机械钻速的影响图见图 8。

表3 泵量对高能射流式液动锤机械钻速的影响

活塞行程/mm	冲锤质量/kg	泵量/(L·min ⁻¹)	泵压/MPa	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	机械钻速/(m·h ⁻¹)
100	8	180	11	7	25	2.85
100	8	200	13	7	25	3.20
100	8	220	15	7	25	5.04
120	8	180	11	7	25	3.35
120	8	200	13	7	25	4.10
120	8	220	15	7	25	5.19

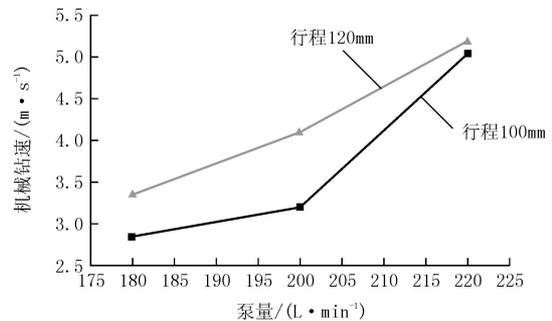


图8 泵量对高能射流式液动锤机械钻速的影响

从表 3 和图 8 可以看出, 在活塞行程、冲锤质量和钻压一定时, 随着泵量增大, 高能射流式液动锤的机械钻速增大。在冲锤质量 8 kg、活塞行程 100 mm、钻压 7 kN、转速 25 r/min 条件下, 当泵量由 180 L/min 增加到 220 L/min 时, 机械钻速由 2.85 m/h 提高到 5.04 m/h, 提高了 77%; 在冲锤质量 8 kg、活塞行程 120 mm、钻压 7 kN、转速 25 r/min 条件下, 当泵量由 180 L/min 增加到 220 L/min 时, 机械钻速由 3.35 m/h 提高到 5.19 m/h, 提高了 55%。在活塞行程、冲锤质量和钻压一定时, 随着泵量增大, 高

能射流式液动锤的冲击功和冲击频率均增大,因此高能射流式液动锤的机械钻速增大。

4 结论

本文通过 SC-86H 型高能射流式液动锤钻进对可钻性级别为 10 级花岗岩的全面钻进试验,得出以下结论。

(1) 根据试验可知,活塞行程、冲锤质量、泵量对 SC-86H 型高能射流式液动锤的机械钻速具有重要影响,通过增大 SC-86H 型高能射流式液动锤的活塞行程、冲锤质量、泵量,均能获得冲击功与机械钻速的提高。

(2) 在其他试验条件一定时,活塞行程由 80 mm 增加到 120 mm 时,机械钻速从 1.48 m/h 提高到 2.06 m/h,提高了 40%;质量为 4 kg 的冲锤更换为质量为 8 kg 的冲锤时,机械钻速由 3.15 m/h 提高到 5.19 m/h,提高了 65%;泵量由 180 L/min 增加到 220 L/min 时,机械钻速由 2.85 m/h 提高到 5.04 m/h,提高了 77%。

(3) 在现有试验条件下,利用该高能射流式液动锤进行地面钻进试验获得了 5.19 m/h 的机械钻速,较常规回转钻进机械钻速提升显著。

参考文献:

[1] 许天福,张延军,曾昭发,等.增强型地热系统(干热岩)开发技

术进展[J].科学导报,2012,30(32):42-45.

- [2] 蔺文静,刘志明,马峰,等.我国陆区干热岩资源潜力估算[J].地球学报,2012,33(5):807-811.
- [3] 贾军,张德龙,翁炜,等.干热岩钻探关键技术及进展[J].科技导报,2015,33(19):40-44.
- [4] 苏长寿.液动潜孔锤的现状及其用于石油钻井应注意的几个问题[J].探矿工程,2002,(6):30-31.
- [5] 王人杰,蒋荣庆.液动冲击回转钻进技术[M].北京:地质出版社,1988:97-104.
- [6] DeuschU, Marx C, Rischmuller H. Evaluation of hammer drilling potential for KTB in super-deep drilling and deep geophysical sounding[M]. Heidelberg:Springer-Veerlag, 1995:310-320.
- [7] 朴成哲,殷琨,蒋荣庆,等.KSC-127 型射流式冲击器应用于大陆科学深钻的试验研究[J].世界地质,2000,19(3):295-298.
- [8] 王达,张伟,张晓西.中国大陆科学钻探工程科钻一井钻探工程技术[M].北京:科学出版社,2007:209-233.
- [9] 菅志军,殷琨,蒋荣庆,等.油气勘探钻井用液动射流式冲击器的研究与应用[J].世界地质,1998,17(4):88-92.
- [10] 李贵宾,刘泳敬,柳耀泉,等.堡古 1 井花岗岩地层钻头优选与应用[J].石油钻采工艺,2011,33(6):106-109.
- [11] 沈建中,贺庆,韦忠良,等.YSC-1178 型液动射流冲击器在旋冲钻井中的应用[J].石油机械,2011,39(6):52-54,94.
- [12] 杨红东,武国峰.高性能液动锤的试验与研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(3):37-43.
- [13] 彭视明,殷其雷,赵志强,等.低速射流元件控制的高能液动锤研究[J].石油机械,2010,38(3):1-4.
- [14] 李世忠.钻探工艺学[M].北京:地质出版社,1992:199-200.
- [15] 王跃伟,杨泽英,谢文卫,等.YZX130 型液动锤研究及其在 WFS-4 孔中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):143-145.

(上接第 14 页)

氟橡胶和硅橡胶。

参考文献:

- [1] 刘宁,徐会文,韩丽丽,等.脂肪酸酯分子结构对酯基钻井液性能的影响[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):63-66.
- [2] 刘春朋.冰层回转钻进切削热分析与实验研究[D].吉林长春:吉林大学,2014.
- [3] Talalay, P. G., Fan, X., Xu, H., et al. Drilling fluid technology in ice sheets: Hydrostatic pressure and borehole closure considerations[J]. Cold Reg. Sci. Technol., 2014, 98, 47-54.
- [4] 王莉莉,赵大军,徐会文,等.南极冰层取心钻探酯基钻井液抗低温性能试验[J].世界地质,2013,32(4):862-866.
- [5] Talalay, P., Yang, C., Cao, P., et al. Ice-core drilling problems and solutions. Cold Reg. Sci. Technol., 2015, 120, 1-20.
- [6] Xu Huiwen, Han Lili, Cao Pinlu, et al. Low-molecular-weight, fatty-acid esters as potential low-temperature drilling fluids for ice coring[J]. Annals of Glaciology, 2014, 68.
- [7] 韩俊杰,韩丽丽,徐会文,等.极地冰层取心钻进超低温钻井液

理论与试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(6):23-26.

- [8] 王莉莉,徐会文,赵大军,等.南极冰层取心钻探钻井液对雪层影响的模拟研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(12):1-4.
- [9] 宋佳宇,徐会文,韩丽丽,等.钻井液类型对南极冰层取心钻进工作的影响[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(9):13-17.
- [10] 张玉珂,赵俊廷.基于 Hot Disk 测定食用油的导热系数的研究[J].广州化工,2015,(2):31-33.
- [11] 廖彬,曾祥兵,潘晓霞,等.聚四氟乙烯密封圈密封性能研究[J].真空科学与技术学报,2015,35(1):69-73.
- [12] 李亦健,陈虹,高旭,等.以聚四氟乙烯为密封件的法兰结构低温密封性能研究[J].低温工程,2014,(4):31-34,60.
- [13] 韩丽丽.南极冰钻超低温钻井液技术研究[D].吉林长春:吉林大学,2013.
- [14] 张海明.油脂导热系数的测定及其传热性能的研究[D].河南郑州:河南工业大学,2014.
- [15] 徐会文,韩丽丽,韩俊杰,等.南极冰层取心钻探酯基钻井液的理论与试验[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):279-282.