

# 液动锤钻进减轻岩心堵塞机理的研究

赵远刚<sup>1,2</sup>, 张伟<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 610081)

**摘要:**通过对液动锤取心钻进过程中钻具的受力分析, 论述了液动锤减轻岩心堵塞的作用机理, 阐明了液动锤钻进技术的适用地层范围, 介绍了其在汶川地震断裂带科学钻探工程 WFSD-4 号孔中应用取得的成果。

**关键词:**岩心钻探; 液动锤; 岩心堵塞; 作用机理

**中图分类号:** P634.5<sup>+</sup>6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2013)07-0081-03

**Study on Mechanism of Reducing Core Blockage in Hydro-hammer Drilling/ZHAO Yuan-gang<sup>1,2</sup>, ZHANG Wei<sup>2</sup>**  
(1. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China; 2. Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 610081, China)

**Abstract:** By the force analysis on core barrel in hydro-hammer coring drilling process, this paper discusses the action mechanism of reducing core blockage in hydro-hammer drilling. In addition, the applicable stratum range for hydro-hammer drilling are clarified and the results achieved during the drilling operation for the hole WFSD-4 of Wenchuan earthquake fault scientific drilling project are introduced.

**Key words:** core drilling; hydraulic hammer; core blockage; action mechanism

## 0 引言

我国早在 1958 年就已经开始液动锤技术研究工作, 发展至今该项技术已经较为成熟, 形成了包括双作用、正作用、射流式和射吸式等多种形式的液动锤。在我国的地质、石油、煤田、科学钻探等钻探工程中得到较为广泛的应用。该技术具有减轻岩心堵塞、大大提高钻进回次进尺和机械钻速、一定程度上提高岩心采取率、减少钻孔弯曲、节约生产成本等优点, 对钻探技术的发展起到了巨大的促进作用。我国对液动锤钻进技术的研究和应用居世界领先地位。

中国地质科学院勘探技术研究所研制的 YZX127 型液动锤在中国大陆科学钻探工程 CCSD-1 井共计下井 505 回次, 累计进尺 3526.3 m, 最大井深 5118.20 m。在可钻性 8~9 级榴辉岩和片麻岩中, 该钻具平均钻进时效 1.32 m, 最高钻进时效 2.46 m, 较回转提高近一倍, 回次满管率达 95% 以上, 岩心采取率为 90% 以上。

吉林大学研制的射流式液动锤在 CCSD-1 井先导孔取心钻进 1945.56 m 中, 平均机械钻速 1.10 m/h, 平均采取率 90.70%, 平均回次进尺 3.87 m, 平均回次心长 3.51 m。最大回次进尺 8.3m, 最大机械钻速 3.5 m/h。平均机械钻速提高 50%~

200%, 平均回次进尺提高 50%~70%, 平均岩心采取率提高 69%~90%。

SYZX 型液动锤绳索取心技术在该矿区的 ZK0401、ZK4005 和 ZK2701 三个钻孔中得到成功应用, 平均回次进尺由原来的 1 m 左右提高到 3 m, 平均钻进时效提高了 46.6%, 台月效率提高了 47.1%, 平均岩心采取率提高了 30%, 每米单位成本降低了近 30%。

液动锤钻进能够显著的减轻岩心堵塞和提高回次进尺长度已被大量的实际工程应用所证实, 但是对于其减轻岩心堵塞和提高回次进尺长度的原理和发生过程, 众多文献中却并没有详细的论述。本文在分析取心钻进过程中岩心管的受力状况的基础上, 分析了液动锤在减轻岩心堵塞方面的作用机理和作用效果, 并介绍了液动锤钻进技术在汶川科学钻探工程 WFSD-4 号孔应用取得的成果。

## 1 取心钻进过程中钻具受力分析

### 1.1 常规取心钻具钻进时的受力情况

取心钻进过程中, 经常会遇到因为岩层节理发育、岩石破碎或工作人员操作不当、钻具组合不合理等因素导致岩心堵塞被迫起钻, 影响施工效率。目

收稿日期: 2013-06-15

基金项目: 科技部科技支撑重大专项“汶川地震断裂带科学钻探(WFSD)”项目之“科学钻探与科学测井”课题

作者简介: 赵远刚(1983-), 男(汉族), 四川人, 中国地质大学(武汉)研究生在读, 中国地质科学院探矿工艺研究所, 地质工程专业, 从事钻探工艺及器具研究工作, 四川省成都市金牛区一环路北二段 1 号, 171613061@qq.com。

前,为避免岩心堵塞,通常选用单动双管取心钻具。该钻具主要由钻头、扩孔器、卡簧、卡簧座、内管、单

动总成和上接头等部分组成,内管在钻具的轴向具有一定的自由行程(如图1)。

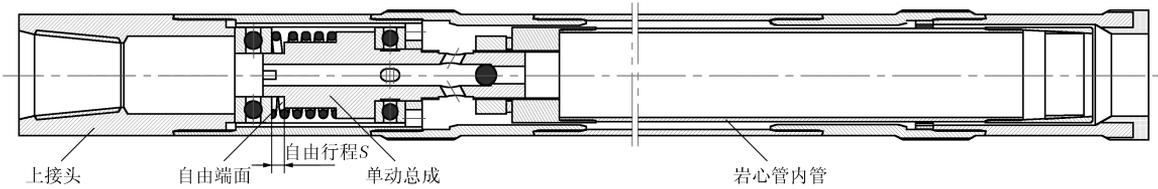


图1 单动双管钻具结构图

采用单动双管钻具进行取心钻进时,钻压和扭矩通过外管传递到钻头上。如图2所示,在完整地层中,内管与岩心柱之间的环状间隙中基本没有碎岩块。由于内管与外管之间存在着轴向间隙 $S$ ,在未发生岩心堵塞时,内管基本上不承受轴向力和扭矩的作用,岩心可以顺畅地进入内管。在这种情况下,岩心与岩心管之间的摩擦力 $f_c$ 很小,内管几乎不转动或者仅轻微转动,稳定的内管对岩心起到了较好的保护作用。

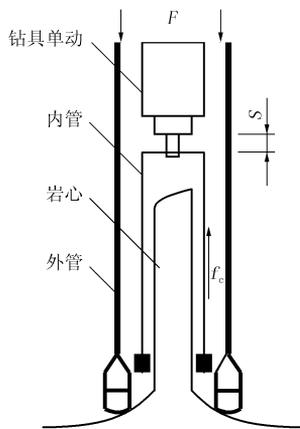


图2 正常钻进条件下岩心管受力示意图

## 1.2 液动锤钻具钻进时的受力情况

液动锤钻进时,外管和钻头在受到钻压作用的同时,还受到一个由液动锤钻具产生的冲击力的作用。根据资料介绍,液动锤钻具的冲击频率一般在15~40 Hz范围内变化(根据钻具直径不同而不同),冲击力随冲击功的增大而升高。以 $\varnothing 75$  mm 绳索取心钻头为例,当液动锤取心钻进在钻头工作上的冲击功为 $6.1 \times 10^4$  J(以钻进时效3.0 m计算)时,冲击力通常在10~25 MPa,为工作压力的7~16倍。钻头在瞬间受到如此巨大的力的作用,因此破碎岩石的效率大大提高。这就是液动锤钻进提高机械钻速的原理。如果未发生岩心堵塞,液动锤钻进时内管的受力情况与正常钻进时的相同,即基本上不承受轴向力和扭矩的作用,岩心可以顺畅地进入内管,岩心与岩心管之间的摩擦力 $f_c$ 很小。

## 1.3 回转钻进中岩心堵塞时钻具的受力变化

钻进施工中,由于地层和岩心破碎,导致越来越多的碎岩石块掉进岩心柱与内管之间的环状间隙(图3a),使岩心柱进入岩心管受到的摩擦阻力 $f_c$ 不断加大。等到摩擦阻力 $f_c$ 大于岩心管重力时,内管就会在摩擦阻力 $f_c$ 的作用下被向上推动,内管与外管之间的轴向间隙逐渐缩小。当间隙缩小至零时,内管与外管在轴向实现耦合,部分钻压将直接作用在内管轴向上,可在一定程度上克服摩擦阻力 $f_c$ 的作用,维持岩心向岩心管的进入。但随着岩心堵塞越来越严重,摩擦阻力 $f_c$ 越来越大。摩擦阻力 $f_c$ 增大到一定程度时,就会接近或等于内管上部所受到的轴向力,岩心被堵死,进尺十分缓慢。

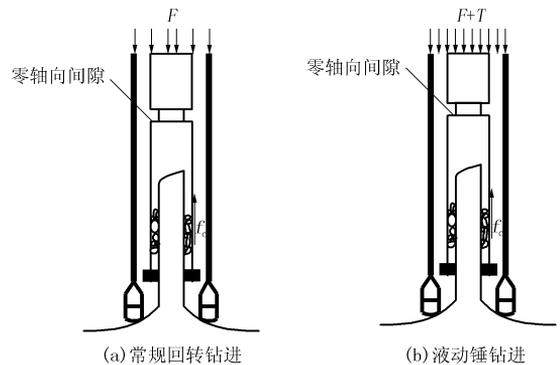


图3 岩心堵塞时钻具内管的受力分析示意图

## 2 液动锤钻进减轻岩心堵塞机理

液动锤钻进中发生岩心堵塞时,岩心管的受力变化情况与回转钻进时一样。只不过,当内管与外管之间的轴向间隙缩小至零,内管与外管实现轴向耦合之后,内管不仅会受到钻压 $F$ 的部分作用,还会受到液动锤钻具高频冲击力 $T$ 的部分作用(图3b)。这种冲击力作用在钻具上瞬间可以达到最大值,此时的冲击力比钻压高出许多倍,并且具有突然作用的特点,比较容易克服岩心进入岩心管时受到的摩擦阻力 $f_c$ 的作用,使岩心比较顺畅地进入岩心管。

### 3 液动锤钻进地层的适应范围

液动锤钻进具有明显减轻岩心堵塞的效果,该结论适用于大多数地层,但并不是所有的地层。胶结度很差的松散地层和具有较强流动性的页岩、泥岩地层的抗压强度非常低,在轴向力作用下极易产生横向变形,结果进入岩心管的岩心会充满岩心管的全部横断面,岩心与岩心管之间没有间隙,继续钻进时,岩心被挤压得越来越实,导致严重的岩心堵塞。这种岩心堵塞一旦发生,采用液动锤钻进也无法解除。

在液动锤钻进无法减轻岩心堵塞的地层中钻进时,如果岩心堵塞形成,内岩心管将会受到钻压和液动锤钻具冲击力的共同作用。由于冲击力远大于钻压,内管会受到强烈轴向力作用并产生弯曲变形。因此,对于抗压强度很低的岩层来说,采用液动锤钻进方法有害无益。

### 4 实际应用情况

汶川科钻 WFS D-4 号孔取心钻进中大量应用了液动锤+长半合管+螺杆马达钻进技术,回次进尺最长 9.07 m,获得岩心 8.90 m,是目前为止国内采用液动锤+半合管取心技术取得的最长回次进尺。之所以能够取得如此长的进尺和岩心,主要是因为液动锤钻进具有减轻岩心堵塞的作用,另外是由于采取了一系列有效的技术措施,例如在半合管内壁涂抹润滑油脂,采用井底驱动工具螺杆马达和结构优化的底喷钻头等。图 4 所示岩心照片是 WFS D-4 号孔三开取心钻进第 27 回次取得的岩心,照片中刻痕 a 和擦痕 b 明显能够看出岩心在内管中的受力状态。刻痕 a 是内管与岩心间的岩屑颗粒刻出的轴向深槽,擦痕 b 则是岩心与内管内壁挤压摩擦出来的黑色发亮的周向痕迹。说明该回次取心钻进过程中遇到了岩心堵塞情况,但是由于液动锤工作产生的冲击力克服了岩心进入岩心管的摩擦阻力,从而减轻了岩心堵塞,顺利完成该回次的钻进。



图4 WFS D-4号孔三开取心第27回次岩心(砂岩)

WFS D-4号孔主要采用了长度6m和9m半

合管配合螺杆马达、液动锤井底动力钻具进行取心钻进,半合管内壁涂抹润滑类油脂,取得的具体技术指标见表1。

表1 WFS D-4号孔部分取心情况统计

钻具组合方式	井段/m	总进尺/m	岩心采取率/%	回次长度/m	机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> )
6.0 m 半合管钻具+螺杆马达	1444.55 ~ 1511.25	66.70	92.97	5.13	1.11
6.0 m 半合管+液动锤+螺杆马达	1511.25 ~ 1546.70	35.45	97.01	5.91	1.55
9.0 m 半合管+液动锤+螺杆马达	2014.30 ~ 2065.40	51.10	97.63	8.52	1.50

表1中可以明显看出,采用液动锤的钻具组合方式在回次长度、岩心采取率和机械钻速方面明显优于没有加液动锤的钻具组合方式,回次长度可以提高 15.2% ~ 66.1%,岩心采取率提高 4.3% ~ 5.0%,机械钻速提高 35.1% ~ 39.6%。

### 5 结论和建议

(1)液动锤钻进技术的合理应用可以有效减轻岩心堵塞的程度,提高回次进尺和机械钻速。

(2)液动锤钻进方法适用于大多数地层,包括硬、脆、碎复杂地层,但是不适用于抗压强度很低的松散地层和塑性流动地层。

(3)岩心管内壁涂抹润滑类油脂可以起到减轻岩心堵塞的作用。也可以采取半合管内壁喷刷涂层的方法来减轻岩心堵塞。

(4)建议提高钻具的加工精度,如同心度、直度和圆度等,并选择刚度较大的管材做岩心管,以提高液动锤钻进配套岩心管的抗弯能力。

### 参考文献:

- [1] 张伟,贾军.汶川地震科学钻探二号孔取心钻进方法的选择[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(7).
- [2] 王建华,苏长寿,左新明.深孔液动潜孔锤钻进技术研究与应用[J].勘察科学技术,2011,(6).
- [3] 罗冠平.SYZX75型绳索取心液动锤在肃北德勤诺尔铁矿区的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(1).
- [4] 蒋光旭,唐振华,李德波,等.SYZX96/75绳索取心液动锤钻具的应用效果[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(6).
- [5] 苏自武.YZX127液动锤产生的应力波及其传播研究——以中国大陆科学钻探工程中使用的液动锤为例[D].四川成都:成都理工大学,2005.
- [6] 吴斌,高森.孕镶金刚石钻头碎岩机理的模拟实验研究[J].探矿工程,1987,(1):14-17.
- [7] 王稳石,朱永宜,贾军.汶川地震断裂带科学钻探项目取心钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9).
- [8] 樊腊生,王达.科钻一井钻探施工技术路线和钻探施工概述[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(7).