

汶川地震科钻 WFS D - 3 孔金刚石钻进 岩粉粒度分析研究

刘徐三, 张化民, 陈礼仪, 张统得

(成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要:固相控制是维护钻井液性能的关键工作。通过对汶川地震断裂带科学钻探三号孔(WFS D - 3)金刚石钻进产生的岩粉进行激光粒度测试,分析岩粉粒度分布规律,从而为科学设计地质岩心钻探固控设备和合理配置地质岩心钻探固控系统提供依据,最终达到有效控制固相含量,稳定钻井液性能的目的。

关键词:金刚石钻进;岩粉;粒度分析

中图分类号:P634.5 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2013)03-0021-03

Study on Rock Powder Particle Size Analysis in Diamond Drilling of Hole WFS D - 3 in Wenchuan Earthquake Scientific Drilling/LIU Xu-san, ZHANG Hua-min, CHEN Li-yi, ZHANG Tong-de (Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 601159, China)

Abstract: Solid phase control is important to the maintenance of drilling fluid properties. Through the laser particle size measurement of the rock powder from diamond drilling of hole No. 3 (WFS D - 3) in Wenchuan earthquake fault zone scientific drilling, this paper analyzes the rock powder particle size distribution to provide the basis for the scientific design of geological core drilling solid control equipment and reasonable configuration of geological core drilling solid control system, and ultimately achieve the aims that the content of harmful solid in drilling fluid is effectively controlled to stabilize the drilling fluid performance.

Key words: diamond drilling; rock powder; particle size analysis

0 引言

钻井液的重要作用之一是将钻头在孔底产生的岩粉携带到地面,再经过固控设备或其他固控手段进行清除,以维持良好的钻井液性能。长期以来由于种种原因,绝大部分地质钻探项目对岩粉的清除重视不够,特别是当前深孔钻探项目,由于岩粉清除不及时,钻井液性能变坏,导致严重孔内事故,浪费大量人力物力的现实,给钻探工作者敲响了警钟,促使人们思考金刚石钻进的岩粉清除问题。由于金刚石钻进碎岩机理的不同,所产生的岩粉粒度也不同,完全采用石油钻井振动筛清除岩屑效果不佳,采用石油钻井离心机则体积庞大,价格昂贵,难以适应地质钻探现场要求。因此,对金刚石钻进岩粉粒度进行分析研究是科学合理设计或选择地质钻探固控设备的重要前提。

本文采用当今世界较先进的 Mastersizer2000 激光粒度仪,通过对汶川地震断裂带科学钻探三号孔(WFS D - 3)金刚石钻进的岩粉进行粒度分析,研究其粒度分布规律,以期为我国地质钻探行业研究设

计专用固控设备,合理配置固控系统,有效控制钻井液固相含量,维持钻井液性能提供帮助。

1 粒度分析实验

1.1 样品来源

汶川地震断裂带科学钻探三号孔(WFS D - 3)位于四川省绵竹市九龙镇猫儿坪,属于龙门山前山断裂安县-灌县断裂带的上盘。WFS D - 3 井所钻遇地层岩性主要为:砂岩、角砾岩、砂砾岩互层、煤层、泥岩等。本文以所采取 1、2 和 3 号岩粉样品为研究对象,取样孔段为 1140 ~ 1170 m,采用 $\varnothing 150$ mm 孕镶金刚石钻头钻进取心。钻遇地层岩性主要为泥质粉砂岩。所使用钻机为 HXY - 8B 型。钻压 25 ~ 30 kN,转速 135 ~ 136 r/min,泥浆泵排量 165 L/min。

1.2 实验原理

Mastersizer2000 激光粒度仪是通过激光器产生单色相干性极好的激光,经滤波扩束系统,得到一个扩展的、照明散射颗粒理想化的光束,分散好的颗粒

收稿日期:2012-11-01; 修回日期:2013-01-30

作者简介:刘徐三(1983-),男(汉族),山东日照人,成都理工大学在读硕士,地质工程专业,研究方向为岩土钻掘工程,四川省成都市成都理工大学银杏园 2-359 室,liuxusan@163.com。

在样品窗内被激光光束照射产生衍射,并形成一定的空间光强分布,设在探测区的非均匀交叉排列扇形主检测器,附加大面积辅助检测器和大角度向前、背向检测器,将光信号转变为电信号并送入计算机,按事先编制的程序根据衍射理论进行数据处理,把衍射谱的空间分布反演为颗粒大小的分布。

Mastersizer2000 激光粒度仪的测量原理是基于颗粒在激光束的照射下,其散射光的角度与颗粒的直径成反比关系,而散射光强随角度的增加呈对数规律衰减。散射光强度 $I(\theta)$ 与颗粒直径有以下关系:

$$I(\theta) = \frac{1}{\theta} \int_0^{\infty} R^2 \cdot n(R) \cdot J_1^2(\theta KR) \cdot dR \quad (1)$$

式中: θ ——散射角度; R ——颗粒半径; $I(\theta)$ ——以 θ 角散射的光强度; $n(R)$ ——颗粒的粒径分布函数; K —— $K = 2\pi/\lambda$, λ ——激光的波长; J_1 ——第一型贝叶斯函数。

根据上式关系,通过所测得的 $I(\theta)$,可反演求得粒径分布 $n(R)$ 。

1.3 实验方法

检测金刚石钻进岩粉的粒度。湿法测量时,在清洗干净的样品槽中加入分散剂(清水),启动超声波消除气泡并充分扩散后,打开泵的开关,使分散剂在系统中开始循环。然后根据系统提示添加样品,加入适量岩粉样品后,系统将进行样品精确测量、结果计算并保存计算结果。根据上述测量原理分析所得到的原始数据。分析后的有关粒度的信息可以用不同的方式来显示。

1.4 实验结果

概率累积曲线图是最常用的一种图解法。它表示大于(或小于)任一选定粒级的颗粒在样品中的含量。概率累积曲线不仅可以反映出岩粉的粒度组成,还可以反映出主要粒度组成的粒度范围、特定粒径区间的含量、各个粒度组分的分选程度等信息;而粒度频率分布曲线可以较为直观地反映出岩粉各个粒级的含量、众数粒径及其粗细沉积颗粒的相对关系。根据实验数据绘制的1、2和3号岩粉样品的粒径概率累积曲线和频率曲线如图1、图2所示。

2 结果分析

粒度参数是以一定的数值定量地表示岩粉的粒度特征。常用的粒度参数包括:平均粒度、中值粒径、偏态和峰度等。

平均粒度代表了岩粉粒度分布的集中趋势,即

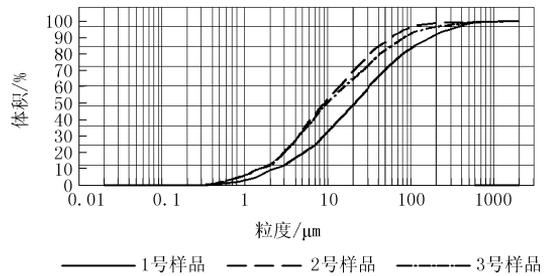


图1 粒径概率累积曲线

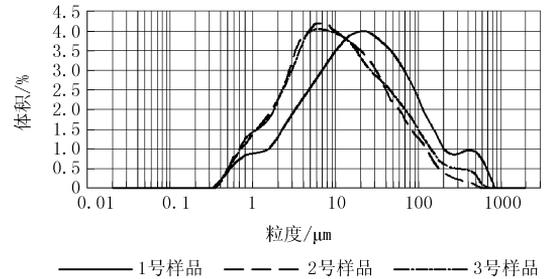


图2 粒径分布频率曲线

岩粉的粒度一般是趋向于围绕着这个平均的数值分布的。

平均粒度(M_z):

$$M_z = (\varnothing_{16} + \varnothing_{50} + \varnothing_{84})/3 \quad (2)$$

式中: \varnothing_{16} 、 \varnothing_{50} 、 \varnothing_{84} ——分别代表概率累积曲线上百分含量为16%、50%、84%三处的粒径。

根据图1 粒度曲线,由公式(2)可得汶川地震断裂带科学钻探三号孔(WFSD-3)金刚石钻进岩粉的1号样品平均粒度 M_z 为 $38.0 \mu\text{m}$,2号样品 M_z 为 $20.8 \mu\text{m}$,3号样品 M_z 为 $17.4 \mu\text{m}$ 。

中值粒径(M_d)表示一个岩粉样品中粒度分布的趋势,取自于粒度累积百分比曲线上50%处对应的粒径。用 M_d 表示,由图1可知汶川地震断裂带科学钻探三号孔(WFSD-3)金刚石钻进岩粉1号样品的中值粒径 M_d 为 $20 \mu\text{m}$,2号样品 M_d 为 $10 \mu\text{m}$,3号样品 M_d 为 $10 \mu\text{m}$ 。

偏态 S_{ki} 是用来表示频率曲线对称性的参数,实质上反映粒度分布的不对称程度。其表达式为:

$$S_{ki} = \frac{\varnothing_{16} + \varnothing_{84} - 2\varnothing_{50}}{2(\varnothing_{84} - \varnothing_{16})} + \frac{\varnothing_5 + \varnothing_{95} - 2\varnothing_{50}}{2(\varnothing_{95} - \varnothing_5)} \quad (3)$$

式中: \varnothing_5 、 \varnothing_{16} 、 \varnothing_{50} 、 \varnothing_{84} 、 \varnothing_{95} ——分别代表概率累积曲线上百分含量为5%、16%、50%、84%、95%五处的粒径。

频率曲线按其对称形态特征可分为3类:正态、正偏态和负偏态。若峰两侧粗细粒径的百分含量相互对应地减少,形成以峰为对称轴的对称曲线,说明岩粉的分选型较好,即 $S_{ki} = 0$,则为正态;若曲线形

态不对称,峰偏向粗粒度一侧,细粒度一侧有一低的尾部,说明岩粉以粗组分为主,即 $S_{ki} > 0$, 是为正偏态;若曲线形态不对称,峰偏向细粒度一侧,粗粒度一侧有一低的尾部,说明沉积物以细组分为主,即 $S_{ki} < 0$, 为负偏态。因此根据图2粒度曲线,由公式(3)可得1号样品频率曲线的 S_{ki} 为0.754,2号样品频率曲线的 S_{ki} 为0.751,3号样品频率曲线的 S_{ki} 为0.721, S_{ki} 均大于0,都是正偏态。

峰度(K_g)是用来衡量粒度频率曲线尖锐程度的参数。峰度值一般是用频率曲线尾部展开度与中部展开度之比来表示的,其公式为:

$$K_g = \frac{\bar{D}_{95} - \bar{D}_5}{2.44(\bar{D}_{75} - \bar{D}_{25})} \quad (4)$$

式中: \bar{D}_5 、 \bar{D}_{25} 、 \bar{D}_{75} 、 \bar{D}_{95} ——分别代表概率累积曲线上百分含量为5%、25%、75%、95%四处的粒径。

峰度值越大峰越尖,说明岩粉粒度分布较集中;越小越平,则说明岩粉粒度分布区间较大。根据图2粒度曲线,由公式(4)可得1号样品峰度 K_g 为2.227,2号样品峰度 K_g 为1.932,3号样品峰度 K_g 为1.560,峰度值均很大,说明曲线峰很尖锐,岩粉粒度分布特别集中。

综上所述,汶川地震断裂带科学钻探三号孔(WFSD-3)采用 $\varnothing 150$ mm 孕镶金刚石钻头在泥质粉砂岩中进行取心钻进所产生的岩粉粒径主要分布于2~100 μm 范围之内,岩粉较细,为典型的非均匀颗粒。其中,小于100 μm 颗粒占岩粉颗粒总量近90%,岩粉的平均粒度 M_z 位于17~40 μm 之间;中值粒径 M_d 位于10~20 μm 之间,均为正偏态,且峰度值较大,说明该组岩粉样品粒径较小,分布集中。这主要是由于金刚石钻进的碎岩机理所决定的,取样孔段采用孕镶金刚石钻进方法,钻压较低,转速相对较高。随着胎体的磨损,金刚石出刃不断出露。钻头对岩石产生的破碎,主要靠金刚石的微量出刃对岩石进行磨削,当旧出刃失去工作能力或脱掉时,新出刃就相继出露参加工作。因此,由于孕镶金刚石的特殊碎岩机理,使得在磨削状态下产生的岩粉颗粒非常细小,主要在2~100 μm 粒径范围内。

3 结论

(1)在金刚石钻进过程中,随着转速、钻压、排量等钻进参数、泥浆性能和地层的不同,必然对所产生的岩粉的粒径分布规律存在一定的影响。笔者根据现有条件,仅对汶川地震断裂带科学钻探三号孔(WFSD-3)所取14个样品中的3个样品利用 Mastersizer2000 激光粒度仪进行了岩粉采样粒度分析,得到该孔段岩粉概率累积曲线和频率曲线。根据岩粉粒度概率累积曲线和频率曲线,分析得出该孔段岩粉粒度分布规律,可为地质钻探金刚石钻进岩粉粒度分析方法提供借鉴。而在不同转速、钻压、排量等钻进参数、泥浆性能和地层条件下,所产生岩粉的粒度分布规律的研究,将是下一步研究工作的重点。

(2)通过上述测试分析可见,尽管地质岩心钻探金刚石钻进钻遇地层不同,钻进参数各异,所产生的岩粉粒度也有差异,但这种钻进方法所产生的岩粉粒度总体是偏细偏小的。这种现象充分表明,采用石油钻井传统固控设备是很难满足地质钻探轻便、快速、有效的设备配置要求的。因此,如何科学设计和合理配置地质岩心钻探固控系统是当前深孔岩心钻探工程技术人员必须面对的重要课题。

参考文献:

- [1] 李之军,陈礼仪,贾军,等.汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFSD-1)断层泥孔段泥浆体系的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(12).
- [2] 张统得,陈礼仪,刘徐三,等.汶川地震断裂带科学钻探项目WFSD-3孔泥浆技术的设计与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9).
- [3] 陈范生,赵睿鹏,刘锋,等.钻井液的固相控制技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),1999,(S1).
- [4] 张伟,贾军,胡时友,等.汶川地震科学钻探项目的概况和钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(S1).
- [5] 朱迪斯,贾军,李建华,等.TGLW350-692T型钻井液离心机的研制及实验效果[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(S1).
- [6] 黄勇,朱丽红,殷琨,等.潜孔锤循环钻进岩屑粒度分布规律[J].吉林大学学报(地球科学版),2012,42(4).
- [7] 杨道媛,马成良,孙宏魏,等.马尔文激光粒度分析仪粒度检测方法及其优化研究[J].中国粉体技术,2001,8(5).
- [8] 陈营.激光粒度仪法测定HDPE粉末粒度及粒度分布的研究[J].云南化工,2006,32(1).
- [9] 张志军,刘炯天,冯莉,等.一种评价煤泥颗粒凝聚效果的激光粒度分析方法[J].中国矿业大学学报,2012,41(4).