

粒子冲击钻井系统中粒子分选装置的研制

周爱照^{1,2} 刘永旺³ 赵健³ 徐依吉³ 毛炳坤³

1.中国地质大学(北京) 2.中国石化胜利油田黄河钻井三公司 3.中国石油大学(华东)

周爱照等.粒子冲击钻井系统中粒子分选装置的研制.天然气工业,2014,34(8):97-101.

摘 要 粒子冲击钻井过程中,能否快速高效地分离出已破碎粒子直接关系到粒子冲击钻井的效率。为此,以综合利用粒子旋转的离心力和外部注入气流的气流拖拽力来实现好、坏粒子分离的新思路为指导,设计出了由分选装置、引风机 2 个部分组成的粒子分选装置。进而通过调节电机转速和引风机的引风量参数,实验研究了分选装置的分离效果及其影响因素。结果认为:①钢粒子的分散性是影响分级效率和分离处理量的重要条件,获得较大力场可为获得较好分散创造有利条件;②钢粒子在分选装置中旋转越快,分选装置分级效率越高;③粒子直径越大,分选装置分级效率和处理量越大;④好坏粒子混合物中的坏粒子的相对含量会影响分级效率,坏粒子含量越低,分级效率越高。实验结果表明,设计的粒子分选装置能够有效实现好坏粒子的分离,这为粒子冲击钻井技术的实现提供了设备上的支持和理论上的保障。

关键词 粒子冲击钻井 粒子分选 分离效果 分级效率 影响因素 设计 处理量 实验

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2014.08.015

Research and development of the particle separation device in a particle impact drilling system

Zhou Aizhao^{1,2}, Liu Yongwang³, Zhao Jian³, Xu Yiji³, Mao Bingkun³

(1.China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. No.3 Huanghe Drilling Company of Shengli Oilfield Company, Sinopec, Dongying, Shandong 257064, China; 3. China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266580, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 34, ISSUE 8, pp.97-101, 8/25/2014. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: Fast and efficient separation of broken particles is directly related to the efficiency in the process of particle impact drilling. For this purpose, this paper put forward a new idea of utilizing the centrifugal force of particle rotation and the air drag force of an external injected air flow to separate sound and broken particles. On this basis, we designed a particle separation device composed of a separation device and some induced draft fans. The separation effect and influencing factors of the separation device were studied in experiments through adjusting the motor rotation rate and air volume of draft fans. The following findings were obtained. (1) The grading efficiency and separation capacity will be decided by the steel particle dispersion; and a bigger force field can help create favorable conditions for better dispersion. (2) The faster the steel particles rotate in the separation device, the higher the grading efficiency of the separation device; the larger the particle size, the stronger the grading efficiency and capacity of the device. (3) The relative content of broken particles in the mixed particles affects the grading efficiency, specifically the less the broken particle content, the higher the grading efficiency will be. Experimental results also validated that the designed particle separation device can effectively separate the sound and broken particles. This study provides mechanical and theoretical support for the realization of particle impact drilling technology.

Keywords: particle impact drilling, particle separation, separation effect, grading efficiency, influencing factors, design, capacity, experiment

基金项目:山东省自然科学基金重点项目“粒子冲击钻井技术理论及关键技术研究”(编号:ZR2010EZ004)。

作者简介:周爱照,1969年生,高级工程师,博士;在中国地质大学(北京)在站博士后,从事石油工程技术与管理工作。地址:(100083)北京市海淀区学院路丁11号。电话:(010)82322027。E-mail:zhouazh@163.com

我国陆上浅层油气资源因长时间开发而日趋枯竭,勘探开发的重点和热点已转向深部硬地层及复杂地质条件区域。其中前者是各石油公司提高油气勘探开发效益、提升企业竞争力的关键^[1-6]。但目前的深井超深井硬地层钻井存在着许多困难(钻进进尺慢等)。因此,开发出高效的深井硬地层钻井方法意义重大^[7-9]。

粒子冲击钻井技术(Particle Impact Drilling,简称PID)是一种能够有效提高深井硬地层钻井速度的钻井新技术,具有很好的发展前景。然而,在粒子钻井过程中,需要不断地向井底注入完好无损的粒子,完全使用新粒子成本昂贵,将井底返出的可用粒子再次注入井底是可行的方案。但从井底返回的钻井液中含有岩屑、破损粒子、完好粒子等多种固相颗粒,要想将井底返出的完好粒子重新注入井内,则需要将完好粒子从井底返出的多种固相颗粒中分离出来。因此需要设计一套合理有效的粒子分离系统来实现钻井液的净化和完好粒子的回收^[10-12]。

针对以上需求,本文提出综合利用粒子旋转的离心力和外部注入气流的气流拖拽力来实现好坏粒子分离的新思路,并设计了粒子分选装置。对装置的分离效果及影响因素进行了实验研究,为粒子冲击钻井技

术的实现提供了设备上的支持和理论上的保障。

1 粒子分选装置工作原理

粒子冲击钻井技术过程中注入钢粒子的直径为1~3 mm,从井底返出的钻井液中钢粒子表面破损体积较小,一般破损的体积不足完好钢粒子的1/2,好坏钢粒子有以下共同特性:①好坏粒子都是钢颗粒,其密度均大于钻井液及岩屑密度;②好坏粒子密度是相同的;③最大截面积基本相同。因此,利用钢粒子质量的差别分离好坏钢粒子是最为可行的手段,基于上述分析,考虑综合利用离心力和气流拖拽力的作用实现两者的分级。

依据上述原理设计的粒子分选装置由分选装置及配套装置引风机2个部分组成(图1、2)。当所有粒子的混合物由接料斗进入分选装置后,在分选装置旋转部件的旋转作用下会变得分散,物料由于惯性落到分级锥面上时,钢粒子将会因受到分级锥面的摩擦力而被带动旋转,产生一个离心力(f),同时下部引风机为钢粒子施加一个吸风作用。此时,钢粒子受到的力有3个:气流拖拽力(f_1),重力(mg),摩擦力(f')(可忽略不计)。

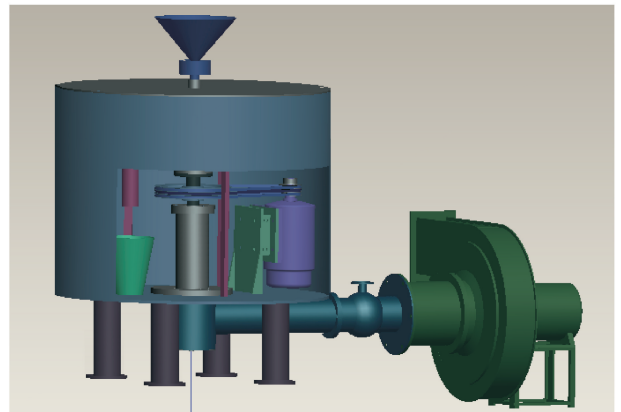
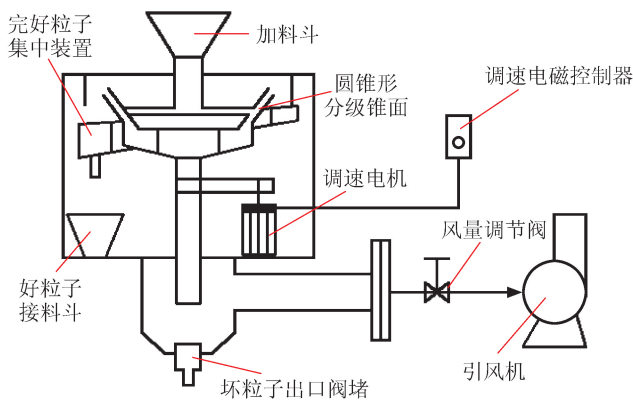


图1 粒子分选装置结构及实物图

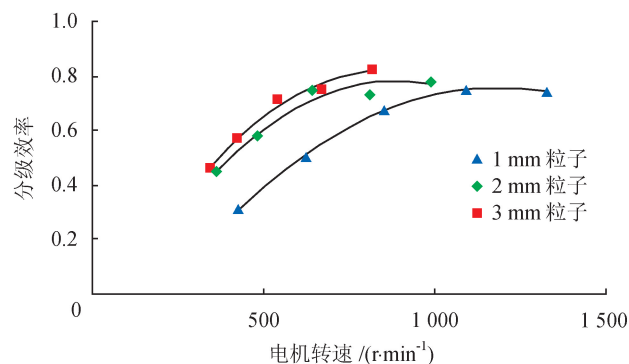


图2 不同直径的好坏粒子的分级效率图

当粒子质量大于临界质量时,此粒子将沿分级锥面向上运动进入完好粒子出口。当粒子质量小于临界质量时,粒子向下运动进入破损粒子出口并被收集。这样就实现了完好粒子和表面破损粒子的分级。

2 分离能力实验设计

为了测试粒子分选装置的粒子分离能力,设计了实验方案,实验装置及其与配套装置连接情况简图如图1所示。本实验调节的主要参数就是电机转速和引风机的引风量,电机转速通过电磁调速器来调节,引风

机的引风量通过引风机的阀门开度调节,进入分选装置接料漏斗粒子的流量通过秒表计时器控制。具体的实验过程为:①调节电磁调速器,使电机的转速达到需要的数值;②把引风机的阀门开度调节到最大,使风量达到最大;③往接料斗中加入完好粒子,此时如果完好粒子接料桶没有发现存在钢粒子,则慢慢调小引风机的阀门开度;④重复第 3 步,直到发现完好粒子接料桶里有粒子时,则停止调节引风机阀门;⑤改向加料斗加入破损的粒子,确认接料桶内是否出现破损粒子,若没出现破损粒子,则保持阀门开度,加入好坏粒子混合物,正式做实验;若出现破损粒子,则略微调大引风机阀门开度,直到保证接料桶能发现完好粒子而无破损粒子为止。

通过实验得出粒子流量、电机转速和引风机引风量的关系,记录上面得出的数据,并进行分析,从而可以获知粒子分选装置的粒子分离能力及不同因素对分离能力的影响情况。

3 实验结果与分析

3.1 电机转速对分级效率的影响

实验材料是直径分别为 1 mm、2 mm、3 mm 的好坏钢粒子的混合物,好坏粒子混合比例为 2:1。因为引风机的引风量和电机转速是相互对应的关系,所以取电机转速作为变量来进行分级效率实验。分离前物料中好坏钢粒子的体积浓度通过量筒量取好粒子和坏粒子的体积来确定;分离后坏粒子可利用高压水射流和粒子混合后从喷嘴喷出,然后通过筛网筛取坏粒子的方法获得。分级效率的计算公式为:

$$G = \frac{B_1 - B_2}{(1 - B_2)B_1} \times 100\%$$

式中 G 为分级效率; B_1 为待分级物料中的坏颗粒的浓度; B_2 为好颗粒中坏颗粒的浓度。

分选装置的分级效率与电机转速的关系如图 2 所示。从图 2 可以看出:钢粒子直径不同,相同电机转速时分离效率不同,但分级效率随电机转速变化而变化的趋势相似,即电机转速越高,分级的效果越理想,两者的关系近似成正比例趋势。笔者分析认为导致该现象的原因可能是因为电机转速越高,对应的引风量和气流速度越高,则气流的拖拽力越大,则需要分离的粒子所受到的沿斜面向上和向下的力的差别就越大,粒子就越容易及时的分散,则分级效率越高。

3.2 钢粒子处理量对分级效率的影响

以分选装置的分级效率与电机转速实验中最佳分级效率时的电机转速为定值,通过调整混合粒子的处理

量来研究钢粒子处理量与和分级效率的关系(图 3)。

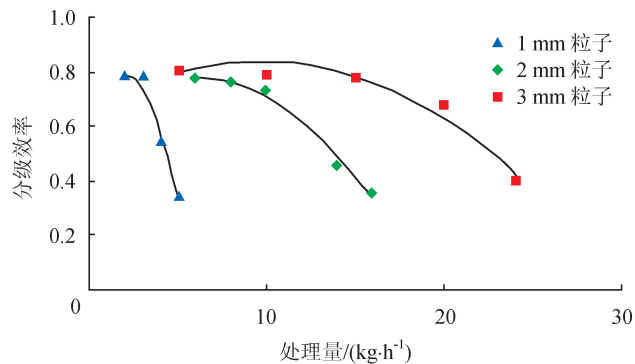


图 3 粒子的处理量与分级效率的关系图

从图 3 中可以看出,对于某一直径的钢粒子混合物,随着粒子处理量的增加,分级效率呈现下降趋势;钢粒子的直径越小,其分级效率受处理量的影响越大。分析得出,出现该种情况的原因是大直径完整粒子与破损粒子的质量差异较大,小直径完整粒子与破损粒子的质量差异较小,该分离机分离好坏粒子的机理在于质量的差异,因此也就出现了分选装置处理粒子的能力和钢粒子直径相关的现象。

3.3 好坏粒子混合比例对分级效率的影响

实验材料仍为直径分别为 1 mm、2 mm、3 mm 的好坏粒子的混合物,但好坏粒子混合比例变为 1:1 (体积比),得到分级效率和电机转速之间的关系(图 4)。

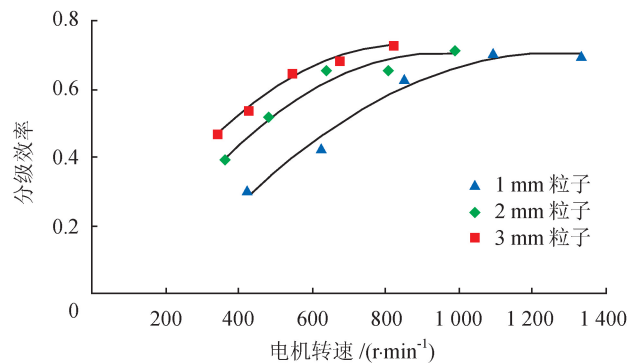


图 4 不同粒子比例的分级效率的关系图

从图 4 可以看到,在混合粒子中好坏粒子比例发生变化时,分级效率依然和电机转速近似成正比关系。对比图 4 与图 2 发现,同一直径的例子,随着混合比例的不同,分级效率存在着差异。图 4 中的分级效率相对于图 2 的分级效率略低,笔者分析认为,随着坏粒子含量的增多,粒子破损面和分级锥面接触的机会就相对增多,导致其受到气流拖拽力小于理论的气流拖拽

力,影响了后来粒子受力,进而影响后来的粒子的分离,最终导致分级效率的降低。

3.4 粒子组成对分级效率的影响

为了进一步论证分选装置分级原理的可行性及破损钢粒子对分选装置分级效率的影响,选取了陶瓷微珠来代替破损钢粒子进行实验。由于破损的钢粒子和完好钢粒子之所以能分离的关键因素就是它们的最大直径相同造成的气流拖拽力相同与体积的微小差别造成二者质量不同而实现好坏钢粒子的分离。而陶瓷微珠的密度为 2.7 g/cm^3 ,和相同直径的完好钢粒子比较,密度不同造成质量的不同,但受到的气流拖拽力仍相同,因此这种陶瓷微珠完全可以代替破损的钢粒子和完好钢粒子混合在一起实验粒子分选装置的性能。下面分别用 1 mm 、 2 mm 、 3 mm 的钢粒子和相同直径的陶瓷微珠混合做实验,混合比例为 $2:1$ 。得到分选装置的分级效率与电机转速关系曲线图(图5)。

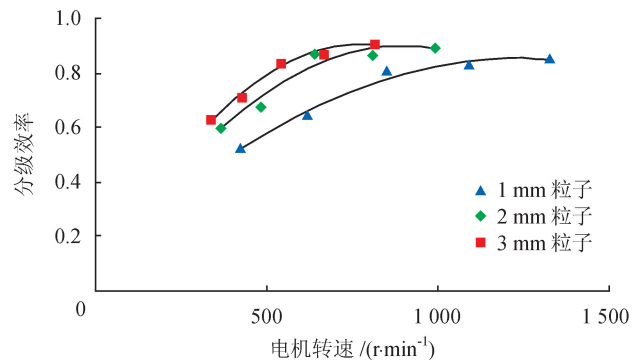


图5 粒子成分对粒子分级效率的影响图

从图5可以看出,粒子分级效率与电机转速也是成正比趋势,但用陶瓷颗粒代替破损的钢球颗粒与完好钢粒子混合在一起进行分离的效果好于以往的效果。导致该现象的原因为:在理论上,陶粒在冲到分级锥面上时受到气流的拖拽力都应该是相同的,而所有破损钢粒子冲到分级面上的时候受到的气流拖拽力并不都相同,原因是当破损的钢粒子的破损面与分级锥面一开始就接触时,它的受力面积就会减少,则受到的气流拖拽力自然就会比理论值小,其走向自然就没有确定性了,因此影响后来的粒子受力和移动,进而影响粒子在分级锥面上的及时分散,最终影响分级效率。而陶粒没有破损,就不会出现像上述情况,所以会出现分离效果更佳的现象。

4 结论

1)笔者提出综合利用粒子旋转的离心力和外部注入气流的气流拖拽力来实现好坏粒子分离的新思路,

设计制造出了粒子分选装置。

2)利用实际样机,研究不同因素对粒子分选装置分离效率的影响,发现:电机转速越高,分选装置分级效率越高;粒子直径越大,分选装置分级效率和处理量均越高;钢粒子的直径越小,其分级效率受处理量的影响越大。为了提高分级效率,需要降低粒子分选装置的处理量。好坏粒子混合物中的坏粒子的含量会影响整体的分级效率,较少的坏粒子含量可以获得相对较高的分级效率。粒子的良好分散是获得比较好的分级效率和较高的处理量的前提和重要条件,而较大力场是获得较好分散的有利条件。

3)设计的粒子分选装置能够有效实现好坏粒子的分离作用,这为粒子冲击钻井技术的实现提供了设备上的支持和理论上的保障。

参 考 文 献

- [1] TIBBITTS G A. Impact excavation system and method with suspension flow control: USA, US7798249B2 [P/OL]. (2010-09-21) [2013-12-23]. <http://www.google.com/hk/patents/US7798249?dq=us7798249&hl=zh-CN&sa=X&ei=yWl0U6OGKIq8ugSjm4DoBQ&ved=0CDoQ6AEwAA>.
- [2] TIBBITTS G A. Impact excavation system and method with suspension flow control: USA, US7343987B2 [P/OL]. (2008-3-16) [2013-12-23]. <http://www.google.com/patents/US7343987>.
- [3] TIBBITTS G A, GALLOWAY G G. Particle drilling alters standard rock-cutting approach [J]. World Oil, 2008, 229 (6):37-44.
- [4] TIBBITTS G A, PADGETT P O, HARDER N J, et al. Impact excavation system and method with particle separation: USA, US20090200080A1 [P/OL]. (2009-08-13) [2013-12-24]. <http://www.google.com/patents/US20090200080>.
- [5] LORD R. Bit technology keeps pace with operator activity [J]. World Oil, 2006, 227(11):71-80.
- [6] HARDER N J, CURLETT H B, PADGETT P O, et al. Impact excavation system and method with two-stage inductor: USA, US 7398838 B2 [P/OL]. (2008-07-15) [2013-12-24]. <http://www.google.com/patents/US7398838>.
- [7] 管志川,刘永旺,魏文忠,等.井下钻柱减振增压装置工作原理及提速效果分析[J].石油钻探技术,2012,40(2):8-13. GUAN Zhichuan, LIU Yongwang, WEI Wenzhong, et al. Downhole drill string absorption & hydraulic supercharging device working principle and analysis of speed-increasing effect [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(2): 8-13.
- [8] LIU Yongwang, GUAN Zhichuan. Discussion on the energy

- sources of down-hole accelerate ROP tool in the process of drilling deep or ultra-deep wells[C]//International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE), 1-3 June 2012, Nanjing, China. Nanjing:RSETE, 2012.
- [9] 刘永旺. 井下减振增压装置设计研究[D]. 东营: 中国石油大学(华东), 2007.
LIU Yongwang. Design research on drilling string shock absorption & down hole hydraulic pressurizing system[D]// Dongying: China University of Petroleum (East China), 2007.
- [10] 王亦逍. 粒子冲击钻井系统中粒子分离回收规律的试验研究及分析[D]. 北京: 北京化工大学, 2010.
WANG Yixiao. Experimental research on the separation and recycling efficiency of particles in particle impact drilling system[D]// Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2010.
- [11] 陈熹臻, 张杨, 温荣林. 粒子冲击钻井系统研究初探[J]. 石油机械, 2010, 38(5): 8-10.
CHEN Xiqiu, ZHANG Yang, WEN Ronglin. A preliminary exploration of the particle impact drilling system[J]. China Petroleum Machinery, 2010, 38(5): 8-10.
- [12] 徐依吉, 毛炳坤, 赵健. 粒子冲击钻井粒子分级装置原理及结构设计研究[J]. 钻采工艺, 2012, 35(3): 5-8.
XU Yiji, MAO Bingkun, ZHAO Jian. Principle analysis and structure design of particle grading device in particle impact drilling [J]. Drilling & Production Technology, 2012, 35(3): 5-8.

(修改回稿日期 2014-05-13 编辑 凌 忠)