

## 一种跨尺度广谱粒径堵漏配方粒度分析方法

### 技术领域

本发明涉及钻井完井工程堵漏配方粒度分析领域，具体涉及一种跨尺度广谱粒径堵漏配方粒度分析方法。

### 背景技术

堵漏配方的粒度分布与裂缝宽度之间的匹配关系，直接影响到了裂缝性地层的封堵承压能力和封堵效率。为了达到最优充填效果，需要堵漏材料在形成桥接堵漏时大小不同粒径的颗粒紧密配合，刚性、回弹性和纤维状的不同种类材料相互协助，提高封堵层形成效率和承压能力，更有效的保护储层不受工作液及其他工作液的侵蚀和危害。

目前，堵漏配方粒度分析普遍采用激光粒度仪进行分析，然而激光粒度仪的测试的粒度范围在 1mm 以下，不适合大颗粒粒径的堵漏材料。因此存在较大的局限性。研究一种能跨越微米-毫米-厘米范围的广谱粒径堵漏配方粒度分析方法，对工作液漏失控制、安全高效钻井完井和储层保护有重要的意义。

### 发明内容

本发明目的在于提供一种跨尺度广谱粒径堵漏配方粒度分析方法，该方法采用激光粒度仪测量微米级颗粒材料粒度分布，采用成像粒度分析法对毫米级、厘米级及以上堵漏材料进行粒度分析，最后结合两种方法的试验结果，以各颗粒堵漏材料在堵漏配方中的加量为权重，进行加权平均计算堵漏配方的粒度分布，为优化设计储层保护堵漏配方粒度分布提供依据。

本发明通过以下技术方案实现：

本发明提供了一种跨尺度广谱粒径堵漏配方粒度分析方法，包括以下步骤：

步骤 1：对堵漏配方中每一种颗粒堵漏材料分别根据其尺寸进行分级归类，所述尺寸分级为微米级、毫米级和厘米级；

步骤 2：通过粒度分析法获取每一种颗粒堵漏材料粒度分布和累积粒度分布，具体粒度分析方法选取原则如下：

根据堵漏材料的尺寸差异，采用激光粒度分析法对微米级堵漏材料进行粒度分析，采用成像粒度分析法对毫米级、厘米级及以上堵漏材料进行粒度分析；

堵漏配方所使用的架桥颗粒粒径分布较为广泛，微米尺度、毫米尺度、厘米尺度及以上皆有分布，激光粒度仪测量粒度分布适用于微米尺度，大于微米尺度则测量不准确；成像分析法粒度分析适用于毫米尺度和厘米尺度，小于毫米尺寸则测量不准确；这就将激光粒度分析法和成像粒度分析法结合，兼顾了不同尺寸颗粒的测量需要，提高了跨越微米-毫米-厘米范围的堵漏材料粒度分析的可行性和准确性。

## 说明书

步骤 3：计算堵漏配方粒度分布和累积粒度分布：

通过步骤 2 获得的每一种粒堵漏材料的分布获取该颗粒堵漏材料在粒度区间  $i$  的频率  $a_n^i$ ，以各颗粒堵漏材料加量为权重，通过公式（1）获得堵漏配方粒度分布，通过公式（2）获得堵漏配方累积粒度分布，具体计算公式如下：

$$f(i) = \frac{a_1^i x_1 + a_2^i x_2 + \cdots + a_n^i x_n}{x_1 + x_2 + \cdots + x_n} \quad (1)$$

$$c(i) = \sum_{j=1}^{j=i} f(i) \quad (2)$$

式中： $i$  为粒度区间， $n$  为颗粒堵漏材料种类数量， $f(i)$  为堵漏配方在粒度区间  $i$  的分布频率， $a_n^i$  为第  $n$  种颗粒堵漏材料在粒度区间  $i$  的分布频率， $x_1, x_2, \cdots, x_n$  为堵漏配方中第 1、2、 $\cdots, n$  种颗粒堵漏材料的体积比加量， $c(i)$  为堵漏配方在粒度区间  $i$  的累积分布频率；

步骤 4：根据步骤 3 获得的堵漏配方粒度分布和累积粒度分布，画出堵漏配方粒度分布曲线。

当某种颗粒堵漏材料其颗粒粒径分布较广、存在不止一个分类，如既有毫米级颗粒又有微米级颗粒，也可先过筛分类再采用本方法计算该颗粒堵漏材料的粒度分布和累积粒度分布，具体步骤如下：先选用不同孔径筛网对其过筛分类并获取其加量，按照步骤 1 根据颗粒尺寸对其分级，按步骤 2 获取不同级的该种颗粒堵漏材料粒度分布，按照步骤 3 获取该种堵漏材料粒度分布和累积粒度分布。

本发明还提供了一种成像粒度分析法，包括以下步骤：

**S1：**将实验样品分散平铺在与实验样品颜色对比度较高的纸张上，平铺时保证颗粒与颗粒之间分开，无相互接触，且颗粒样本数量不低于 400 个；

**S2：**使用高清相机，对实验样品进行成像操作，成像时在颗粒材料旁放置有明显刻度的标准直尺，对于不同级的颗粒材料可以选择不同精度的标尺便于读数，如对于毫米级颗粒材料选择精度为 0.1 毫米的标尺，对于厘米级颗粒材料选择精度为 1 毫米的标尺；

**S3：**利用软件对步骤 S2 所拍摄的图像进行包括图像去噪、图像增强、阈值选择、图像二值化、边缘检测在内的手段处理，根据最后获得的图片样本，得到样品的单个颗粒粒径；

**S4：**得出每个颗粒粒径后，根据步骤 3 所得的图片统计出在每种粒径范围的颗粒数量，计算出每种粒径范围的颗粒数量占颗粒总数的百分比，从而得出该堵漏材料的粒度分布和累积粒度分布。

与现有技术相比，本发明具有如下有益效果：

（1）结合激光粒度和成像粒度分析方法，解决了堵漏配方所使用的架桥颗粒粒径分布较为广泛，单一粒度分析方法适用性差、分析结果失真的问题，提高了跨越微米-毫米-厘米范围的堵漏材料粒度分析的准确性。

（2）建立了一种跨尺度广谱粒径堵漏配方粒度分析方法，在现场施工前可以分析堵漏配

# 说明书

方架桥颗粒粒度分布,分析堵漏配方形成封堵层效率,从而有效评价堵漏配方封堵裂缝能力,为施工人员优化配方提供依据。

## 附图说明

- 图 1 堵漏配方粒度分析方法流程图;
- 图 2 微米级堵漏材料 A<sub>4</sub> 粒度分布曲线;
- 图 3 堵漏材料高清拍摄图片;
- 图 4 处理后堵漏材料图;
- 图 5 图 4 的局部放大图;
- 图 6 毫米级堵漏材料 A<sub>2</sub> 粒度分布曲线;
- 图 7 毫米级堵漏材料 A<sub>3</sub> 粒度分布曲线;
- 图 8 厘米级堵漏材料 A<sub>1</sub> 粒度分布曲线;
- 图 9 本发明得到的堵漏配方粒度分布曲线。

## 具体实施方式

下面将结合本发明实施例,对本发明的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

### 实施例 1

堵漏配方中颗粒堵漏材料组成及加量如下:  $3\%A_1+1\%A_2+3\%A_3+3\%A_4$

颗粒堵漏材料 A<sub>1</sub>, 质量体积比加量为 3% (3g/100ml), 换算成体积比加量为  $3\%/ \rho_{A1}$ 。

颗粒堵漏材料 A<sub>2</sub>, 质量体积比加量为 1% (1g/100ml), 换算成体积比加量为  $1\%/ \rho_{A2}$ 。

颗粒堵漏材料 A<sub>3</sub>, 质量体积比加量为 3% (3g/100ml), 换算成体积比加量为  $3\%/ \rho_{A3}$ 。

颗粒堵漏材料 A<sub>4</sub>, 质量体积比加量为 3% (3g/100ml), 换算成体积比加量为  $3\%/ \rho_{A4}$ 。

一种跨尺度广谱粒径堵漏配方粒度分析方法, 具体实施步骤如下:

1、根据尺寸对堵漏配方中各颗粒堵漏材料进行分类, A<sub>4</sub> 微米级, A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub> 毫米级和 A<sub>1</sub> 厘米级。

2、通过粒度分析法获取每一种颗粒堵漏材料粒度分布和累积粒度分布

(1) 采用激光粒度分析法对微米级堵漏材料 A<sub>4</sub> 进行粒度分析, 得到微米级堵漏材料 A<sub>4</sub> 粒度分布曲线, 见图 2。

(2) 采用成像粒度分析法对毫米级 A<sub>2</sub> 进行粒度分析, 得出粒度分布曲线, 具体步骤如下:

①将实验样品分散平铺在与实验样品颜色对比度较高的纸张上, 平铺时保证颗粒与颗粒

## 说明书

之间分开，无相互接触，颗粒样本数量 405 个；

②使用高清相机，对实验样品 A2 进行成像操作，成像时在材料旁放置有明显刻度的标准直尺，见图 3；

③利用软件对步骤 2 的图像进行图像去噪、图像增强、阈值选择、图像二值化、边缘检测等手段处理图片，根据最后获得的图上样本，得到样品的单个颗粒粒径，见图 4，图 5 为图 4 的局部放大图；

④得出每个颗粒粒径后，根据步骤③所得的图片统计出在每种粒径范围的颗粒数量和颗粒数量总量即加量，计算出每种粒径范围的颗粒数量占颗粒总数的百分比，从而得出该堵漏材料的粒度分布和累积粒度分布曲线，见图 6。

(3) 按照对颗粒堵漏材料 A2 进行粒度分析的步骤对毫米堵漏材料 A3 进行粒度分析，获得毫米级堵漏材料 A3 粒度分布曲线，见图 7。

(4) 按照对颗粒堵漏材料 A2 进行粒度分析的步骤对厘米级堵漏材料 A1 进行粒度分析，毫米级堵漏材料 A1 粒度分布曲线，见图 8。

3、根据各堵漏材料的粒度分布，以堵漏材料的加量为权重，采用加权求和法计算堵漏配方各粒度区间粒度分布和累积粒度分布，具体计算公式如下：

$$f(i) = \frac{a_1^i x_1 + a_2^i x_2 + \cdots + a_n^i x_n}{x_1 + x_2 + \cdots + x_n} \quad (1)$$

$$c(i) = \sum_{j=1}^{i-1} f(j) \quad (2)$$

式中： $i$  为粒度区间， $n$  为颗粒堵漏材料种类数量， $f(i)$  为堵漏配方在粒度区间  $i$  的分布频率， $a_n^i$  为第  $n$  种颗粒堵漏材料在粒度区间  $i$  的分布频率， $x_1, x_2, \cdots, x_n$  为堵漏配方中第 1、2、 $\cdots, n$  种颗粒堵漏材料的加量（体积比加量）， $c(i)$  为堵漏配方在粒度区间  $i$  的累积分布频率。

4：根据步骤 3 获得的堵漏配方各粒度区间粒度分布和累积粒度分布，画出堵漏配方粒度分布曲线，见图 6。

本方法能适用于跨越微米-毫米-厘米范围的广谱粒径堵漏配方的粒度分布分析。相对于堵漏材料粒度分析的常规方法，该方法具有适用范围更广，实验操作简单，成本低的特点，更适合堵漏配方优化研究。

上述具体实施方案已结合附图对本发明的方法进行详述，但是本发明并不限于上述的具体实施方式，上述的具体实施方式仅仅是示意性的，并不是限制性的，本领域的普通技术人员在本发明的启示下，只要在不超过本发明的主旨范围内，可对实验条件与分析方法及对象进行灵活的变更，这些均属于本发明的保护范围之内。