



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105445160 B

(45)授权公告日 2018.03.06

(21)申请号 201510783133.5

审查员 屈海京

(22)申请日 2015.11.16

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105445160 A

(43)申请公布日 2016.03.30

(73)专利权人 南京林业大学

地址 210037 江苏省南京市龙蟠路159号

(72)发明人 李强 高磊 罗海龙 张帅

李国芬

(74)专利代理机构 江苏永衡昭辉律师事务所

32250

代理人 杨楠

(51)Int.Cl.

G01N 15/08(2006.01)

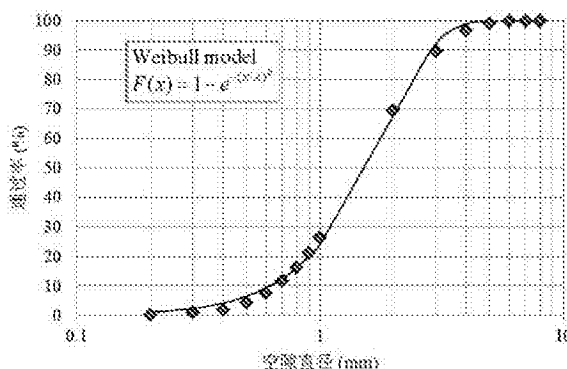
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种沥青混合料的空隙特征及其提取方法

(57)摘要

本发明公开了一种沥青混合料的空隙特征，属于土木工程材料技术领域。所述空隙特征为由尺度参数和形状参数所构成的二维特征向量；所述尺度参数和形状参数是利用双参数韦伯分布模型对沥青混合料的空隙级配曲线进行拟合得到；所述空隙级配曲线的对数横坐标为空隙的大小度量值，纵坐标为小于该大小度量值的空隙的数量占比。本发明还公开了一种上述空隙特征的提取方法。本发明能够比较全面准确地反映材料中空隙的尺度空间分布信息，对于不同材料间的区分度高，且形式结构简单，便于后续的计算机仿真建模；该空隙特征也可替代现有的空隙率，作为表征沥青混合料特性的一种材料参数。



1. 一种沥青混合料的空隙特征,其特征在于,所述空隙特征为由尺度参数和形状参数所构成的二维特征向量;所述尺度参数和形状参数是利用双参数韦伯分布模型对沥青混合料的空隙级配曲线进行拟合得到;所述空隙级配曲线的对数横坐标为空隙的大小度量值,纵坐标为小于该大小度量值的空隙的数量占比。

2. 如权利要求1所述沥青混合料的空隙特征,其特征在于,所述空隙的大小度量值为空隙的等效直径。

3. 一种如权利要求1或2所述空隙特征的提取方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1、制备沥青混合料的标准试件,并获取该标准试件的CT扫描图像;

步骤2、对所述CT扫描图像进行数字图像处理,得到标准试件中的空隙分布数据;

步骤3、根据所述空隙分布数据绘制出标准试件的空隙级配曲线,所述空隙级配曲线的对数横坐标为空隙的大小度量值,纵坐标为小于该大小度量值的空隙的数量占比;

步骤4、利用双参数韦伯分布模型对所述空隙级配曲线进行拟合,得到双参数韦伯分布模型的尺度参数和形状参数,以该尺度参数和形状参数所构成的二维特征向量作为所述沥青混合料的空隙特征。

4. 如权利要求3所述空隙特征提取方法,其特征在于,在对CT扫描图像进行数字图像处理前,先剔除其中沿标准试件高度方向上的顶面和底面的CT扫描图像。

5. 如权利要求3所述空隙特征提取方法,其特征在于,所述对CT扫描图像进行数字图像处理包括图像分割,所述图像分割具体如下:对于圆形截面的CT扫描图像,利用基于环形区域和OTSU法的图像分割方法进行图像分割;对于矩形截面的CT扫描图像,首先对待分割的原始图像进行底帽变换,然后计算出原始图像与底帽变换后原始图像之间的差值图像,最后对所得到的差值图像进行阈值分割。

6. 如权利要求5所述空隙特征提取方法,其特征在于,所述底帽变换使用直径为50像素的圆形结构元素。

7. 如权利要求5所述空隙特征提取方法,其特征在于,所述对CT扫描图像进行数字图像处理还包括对图像分割所得到的二值图像进行集料颗粒图像连接的分离;所述集料颗粒图像连接的分离具体为使用直径为2像素的圆形结构元素对所述二值图像进行开运算。

8. 如权利要求5所述空隙特征提取方法,其特征在于,所述对CT扫描图像进行数字图像处理还包括在图像分割之前,使用空间域图像增强方法对CT扫描图像进行图像增强。

一种沥青混合料的空隙特征及其提取方法

技术领域

[0001] 本发明涉及土木工程材料技术领域,尤其涉及一种沥青混合料的空隙特征及其提取方法。

背景技术

[0002] 沥青混合料的空隙特征在一定程度上影响着路面病害的发生,也造成了不同混合料之间的性能差异,主要体现在影响混合料的马歇尔稳定度、回弹模量、劈裂强度、抗水损害、永久变形等。目前相关研究仅仅从空隙率大小的角度进行分析,还不够深入,具有相同空隙率的沥青混合料的空隙分布、空隙结构、空隙尺寸、空隙数量等空隙特征均可能不同,从而造成再生混合料的性能差异。因此,准确地确定沥青混合料的细观结构,尤其是空隙特征,对于研究其宏观性能十分必要。

[0003] 对于沥青混合料的空隙特征而言,一方面其应该能够充分清楚地表征细观结构的特点,即具有足够的区分度;另一方面,考虑到后续计算机建模、仿真等实际应用的需要,其表达形式应简单,以便减小后续研究的计算复杂度。显然,简单地以传统的空隙率作为沥青混合料的空隙特征,远远无法满足研究要求。

[0004] 20世纪90年代至今,工业CT技术越来越多地被应用在土木工程材料研究领域。工业CT作为一种无损检测手段,已经成为识别沥青混合料三维细观结构的有效方法。结合数字图像处理技术和计算机数字试件模拟,国内外学者对沥青混合料的内部空隙分布、集料接触与离析、压实过程中细观结构变化、室内试验中试件的破坏过程以及沥青混合料的细观结构对其力学性能的影响等方面进行了研究。因此,CT扫描技术可为研究沥青混合料试件内部空隙特征提供可靠的技术手段。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题在于克服现有技术的不足,提供一种沥青混合料的空隙特征及其提取方法,该空隙特征可较准确全面地表达沥青混合料的空隙信息,不同材料间的区分度高,且特征向量结构简单,便于后续运算。

[0006] 本发明采用以下技术方案解决上述技术问题:

[0007] 一种沥青混合料的空隙特征,所述空隙特征为由尺度参数和形状参数所构成的二维特征向量;所述尺度参数和形状参数是利用双参数韦伯分布模型对沥青混合料的空隙级配曲线进行拟合得到;所述空隙级配曲线的横坐标为空隙的大小度量值,纵坐标为小于该大小度量值的空隙的数量占比。

[0008] 优选地,所述空隙的大小度量值为空隙的等效直径。

[0009] 一种如上所述空隙特征的提取方法,包括以下步骤:

[0010] 步骤1、制备沥青混合料的标准试件,并获取该标准试件的CT扫描图像;

[0011] 步骤2、对所述CT扫描图像进行数字图像处理,得到标准试件中的空隙分布数据;

[0012] 步骤3、根据所述空隙分布数据绘制出标准试件的空隙级配曲线,所述空隙级配曲

线的横坐标为空隙的大小度量值,纵坐标为小于该大小度量值的空隙的数量占比;

[0013] 步骤4、利用双参数韦伯分布模型对上述空隙级配曲线进行拟合,得到双参数韦伯分布模型的尺度参数和形状参数,以该尺度参数和形状参数所构成的二维特征向量作为所述沥青混合料的空隙特征。

[0014] 优选地,在对CT扫描图像进行数字图像处理前,先剔除其中沿标准试件高度方向上的顶面和底面的CT扫描图像。

[0015] 进一步地,所述对CT扫描图像进行数字图像处理包括图像分割,所述图像分割具体如下:对于圆形截面的CT扫描图像,利用基于环形区域和OTSU法的图像分割方法进行图像分割;对于矩形截面的CT扫描图像,首先对待分割的原始图像进行底帽变换,然后计算出原始图像与底帽变换后原始图像之间的差值图像,最后对所得到的差值图像进行阈值分割。

[0016] 进一步地,所述对CT扫描图像进行数字图像处理还包括对图像分割所得到的二值图像进行集料颗粒图像连接的分离;所述集料颗粒图像连接的分离具体为使用直径为2像素的圆形结构元素对所述二值图像进行开运算。

[0017] 进一步地,所述对CT扫描图像进行数字图像处理还包括在图像分割之前,使用空间域图像增强方法对CT扫描图像进行图像增强。

[0018] 相比现有技术,本发明具有以下有益效果:

[0019] 本发明提出了一种全新的两参数空隙特征表达方式,其能够比较全面准确地反映材料中空隙的尺度空间分布信息,对于不同材料间的区分度高,且形式结构简单,便于后续的计算机仿真建模;该空隙特征也可替代现有的空隙率,作为表征沥青混合料特性的一种材料参数;

[0020] 本发明利用CT成像及数字图像处理技术来获得沥青混料中的空隙分布数据,并对图像分割、图像后处理等多方面进行了改进,获得的数据更准确,处理效率更高。

附图说明

[0021] 图1为沥青混合料级配曲线与双参数韦伯分布模型示意图;

[0022] 图2为两种沥青混合料的空隙特征对比。

具体实施方式

[0023] 下面结合附图对本发明的技术方案进行详细说明:

[0024] 针对现有技术采用空隙率来表征空隙特征的不足,本发明的思路是首先获取沥青混合料的空隙分布数据,然后根据空隙分布数据绘制空隙级配曲线,最后利用双参数韦伯分布模型对空隙级配曲线进行拟合,并用拟合得到的尺度参数和形状参数作为表征沥青混合料中空隙在尺度空间中的分布信息。

[0025] 为了便于公众理解,下面以一个具体实施例来对本发明技术方案进行详细说明。

[0026] 一、沥青混合料空隙分布数据的取得:

[0027] 得益于日渐成熟的CT技术以及数字图像处理技术,利用CT成像技术对沥青混合料内部细观结构进行分析研究成为可能。本发明可采用各种现有利用CT成像技术及数字图像处理技术对沥青或混凝土材料三维细观结构进行分析的方法来获得沥青混合料空隙分布

数据。本实施例中具体包括以下步骤：

[0028] 步骤1、制备沥青混合料的标准试件，并获取该标准试件的CT扫描图像。

[0029] 本实施例中采用马歇尔击实法成型一系列不同类型沥青混合料的标准试件；采用工业CT设备对不同类型的沥青混合料试件进行细观结构扫描，获得断层投影值；采用CT设备配置的图像处理软件分别从顶面TOP方向、正面FRONT方向、以及侧面SIDE方向分别重建出沥青混合料试件的CT断面灰度图像。其中，沿标准试件高度方向上的顶面和底面的CT扫描图像质量较差，为了避免影响后续的处理结果，本实施例中将顶面和底面的CT扫描图像剔除，不参加后续的数字图像处理。

[0030] 步骤2、对所述CT扫描图像进行数字图像处理，得到标准试件中的空隙分布数据。具体包括以下子步骤：

[0031] 步骤2-1、图像增强：

[0032] 图像增强是指增强图像中的有用信息，它可以是一个失真的过程，其目的是要改善图像的视觉效果，针对给定图像的应用场合，有目的地强调图像的整体或局部特性，将原来不清晰的图像变得清晰或强调某些感兴趣的特征，扩大图像中不同物体特征之间的差别，抑制不感兴趣的特征，使之改善图像质量、丰富信息量，加强图像判读和识别效果，满足某些特殊分析的需要。图像增强可分成两大类：频率域法和空间域法。前者把图像看成一种二维信号，对其进行基于二维傅里叶变换的信号增强。采用低通滤波（即只让低频信号通过）法，可去掉图中的噪声；采用高通滤波法，则可增强边缘等高频信号，使模糊的图片变得清晰。后者空间域法中具有代表性的算法有局部求平均值法和中值滤波（取局部邻域中的中间像素值）法等，它们可用于去除或减弱噪声。

[0033] 本发明优选采用空间域图像增强方法对CT扫描图像进行图像增强，具体为：先用中值滤波去除图像噪声，提高图像质量；然后用直接灰度变换的方法增强图像的对比度，增大沥青混合料CT扫描图像中空隙、沥青胶浆和集料颗粒三种材质的灰度值差异，有助于提高后续图像分割的准确性。

[0034] 步骤2-2、图像分割：

[0035] 图像分割就是把图像分成若干个特定的、具有独特性质的区域并提出感兴趣目标的技术和过程，它是由图像处理到图像分析的关键步骤。现有的图像分割方法主要分以下几类：基于阈值的分割方法、基于区域的分割方法、基于边缘的分割方法以及基于特定理论的分割方法等。图像分割技术没有适用于一切图像的最优方法，分割的效果也没有绝对的标准。在选择具体的图像分割方法时，需要综合考虑图像的特点和算法实现的难易程度。本发明优选采用基于阈值的分割方法，其具有算法简单、直观和分割效果较好的优点。本实施例中采用李智等[李智，刘佳辉.基于分区OTSU法的沥青混合料图像分割技术[J].武汉理工大学学报,2011,33(6):50-53.]所提出的基于环形区域和OTSU法的图像分割方法，该方法是一种局部阈值分割技术，能够取得较好的效果。

[0036] 但在对沥青混合料CT扫描图像进行实际分割时发现存在以下问题：(1)由于矩形截面图像的亮度不均匀分布，因此基于环形区域和OTSU法的图像分割方法对于矩形截面CT扫描图像的效果不理想。(2)分割结果存在将几个相连的集料颗粒认定为同一个颗粒的现象，影响图像分析结果的准确性。本发明针对这两个问题也分别提出了相应对策。

[0037] 为了解决第一个问题，本发明的解决方法是对于圆形、矩形截面CT扫描图像采用

不同的阈值分割方法:对于圆形截面的CT扫描图像,利用基于环形区域和OTSU法的图像分割方法进行图像分割;对于矩形截面的CT扫描图像,首先对待分割的原始图像进行底帽变换,然后计算出原始图像与底帽变换后原始图像之间的差值图像,最后对所得到的差值图像进行阈值分割。其中,底帽变换优选使用直径为50像素的圆形结构元素。

[0038] 对于第二个问题,本发明的解决方法是对图像分割所得到的二值图像进行集料颗粒图像连接的分离;所述集料颗粒图像连接的分离具体为使用直径为2像素的圆形结构元素对所述二值图像进行开运算。

[0039] 经过上述图像处理,即可将空隙与其他集料区分开,并进一步得到每个空隙的最大直径、体积、截面积、所处位置,以及空隙的空间分布,不同大小空隙数量等数据。

[0040] 步骤3、根据所述空隙分布数据绘制出标准试件的空隙级配曲线,所述空隙级配曲线的横坐标为空隙的大小度量值,纵坐标为小于该大小度量值的空隙的数量占比。

[0041] 沥青混合料中的空隙实际是由不同大小的空隙构成。类似于集料的级配分布,沥青混合料中的空隙也存在一定的“级配”。为了体现空隙统计特性和分布规律,本发明提出“空隙级配”的概念,设定一系列具有固定长度尺寸的虚拟“筛孔”,将每张空隙图像上的所有空隙按照其等效直径的大小过筛,统计结果为各个筛孔的空隙面积通过百分率。本发明用空隙级配曲线来描述空隙空间尺度分布信息,空隙级配曲线代表了空隙在不同大小尺度上的分布比例,如图1所示。空隙级配曲线的横坐标为空隙的大小度量值,纵坐标为小于某一大小度量值的空隙的累计百分比,为了放大较小尺度空隙的百分比数据,横坐标采用对数坐标。空隙的大小度量值可采用空隙的最大宽度、最大截面积、体积、等效直径等,本发明优选采用空隙的等效直径,即与空隙等体积球体的直径。

[0042] 步骤4、利用双参数韦伯分布模型对所述空隙级配曲线进行拟合,得到双参数韦伯分布模型的尺度参数和形状参数,以该尺度参数和形状参数所构成的二维特征向量作为所述沥青混合料中的空隙特征。

[0043] 实际上,步骤3所得到的空隙级配曲线,或者空隙在不同尺度的分布数据,或者不同大小空隙的分布直方图等,都可以直接作为空隙特征的表达形式;但这些特征表现形式均属于高维特征,会给后续的应用带来极大不便。因此有必要对空隙级配曲线进行特征降维。

[0044] 经研究发现,对于沥青混合料中的空隙级配曲线,双参数韦伯分布模型对其拟合结果非常好。韦伯(Weibull)分布是一种应用广泛的非正态分布,最初用于描述材料的断裂强度统计特性,后来经过长期的发展,在其它领域也得到了较好的应用,如材料的开裂力学机理研究、可靠性研究、环境科学、气象学和海洋学等。韦伯分布模型的模型参数包括尺度参数 λ 和形状参数 k ,其概率密度函数和分布函数分别如下所示:

$$[0045] \quad f(x) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda} \right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k}, x > 0 \quad (1)$$

$$[0046] \quad F(x) = 1 - e^{-(x/\lambda)^k}, x > 0 \quad (2)$$

[0047] 经过大量实验发现,对于不同沥青混合料中的空隙级配曲线,利用双参数韦伯分布模型拟合得到相应的尺度参数 λ 和形状参数 k 可很好地反映空隙级配的粗细状况。其中,比例参数 λ 描述了空隙尺寸的范围,比例参数 λ 越大,则空隙尺寸的范围越大,空隙级配越粗;

形状参数 k 描述了空隙级配在某一空隙尺寸范围内的集中程度,形状参数 k 越小,则不同尺寸空隙的数量分布越均匀,较大尺寸的空隙数量越多,空隙级配越粗。因此可以用尺度参数 λ 和形状参数 k 作为沥青混合料的空隙特征,这样的二维特征对于后续利用计算机进行的仿真建模等工作会带来很大的便利。

[0048] 图2显示了平均空隙直径相似的两种沥青混合料CIR-20与AC-20的空隙级配曲线图和韦伯分布拟合结果。从图中可以看出两者的空隙在不同直径上的分布是有显著差异的。与AC-20相比,CIR-20混合料的空隙直径的变化范围更小,且CIR-20混合料的空隙“级配”更“粗”。CIR-20与AC-20的空隙分布在 $0.1\sim 1\text{mm}$ (小空隙)的比率分别是14%和7%,而CIR-20与AC-20的空隙分布在 $4\sim 10\text{mm}$ (大空隙)的比例分别是8%和27%。CIR-20混合料的空隙直径均小于 7mm ,分布在 $1\sim 2\text{mm}$ 区间内的比例最大。相比于AC-20,CIR-20混合料的小空隙偏多,大空隙偏少。而两者韦伯分布拟合的尺度参数 λ 和形状参数 k 充分体现出了两者的区别。

[0049] 综上所述,本发明所提出的空隙特征能够比较全面准确地反映材料中空隙的尺度空间分布信息,对于不同材料间的区分度高,且形式结构简单,便于后续的计算机仿真建模;该空隙特征也可替代现有的空隙率,作为表征沥青混合料特性的一种材料参数。

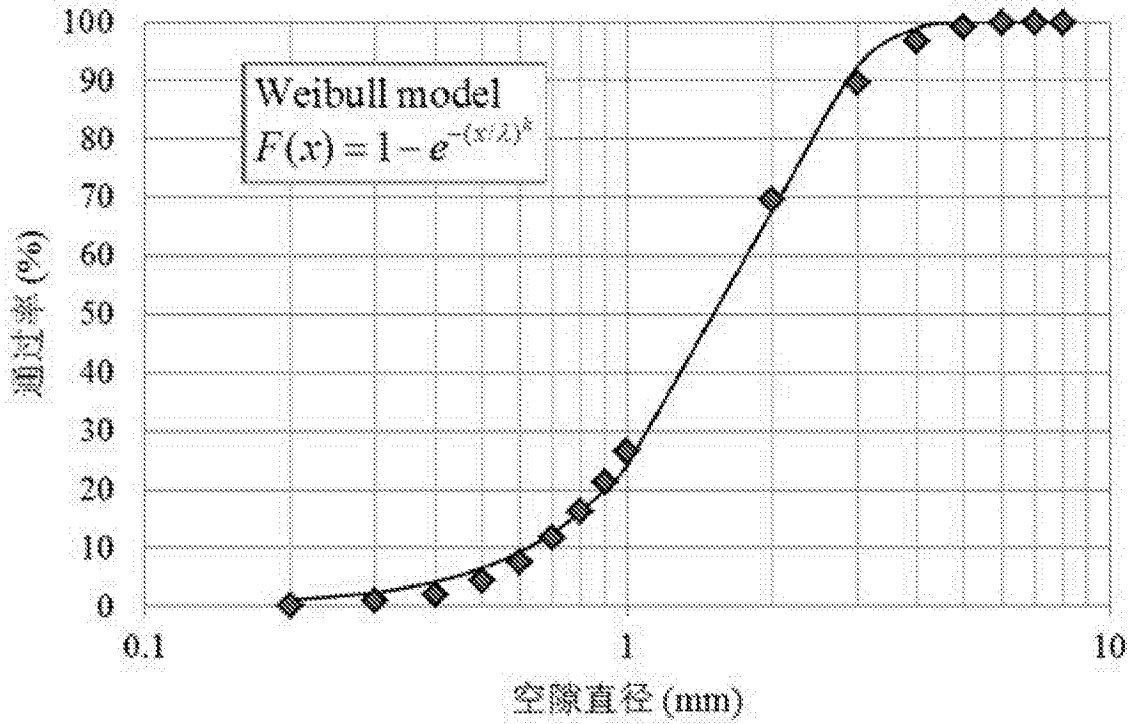


图1

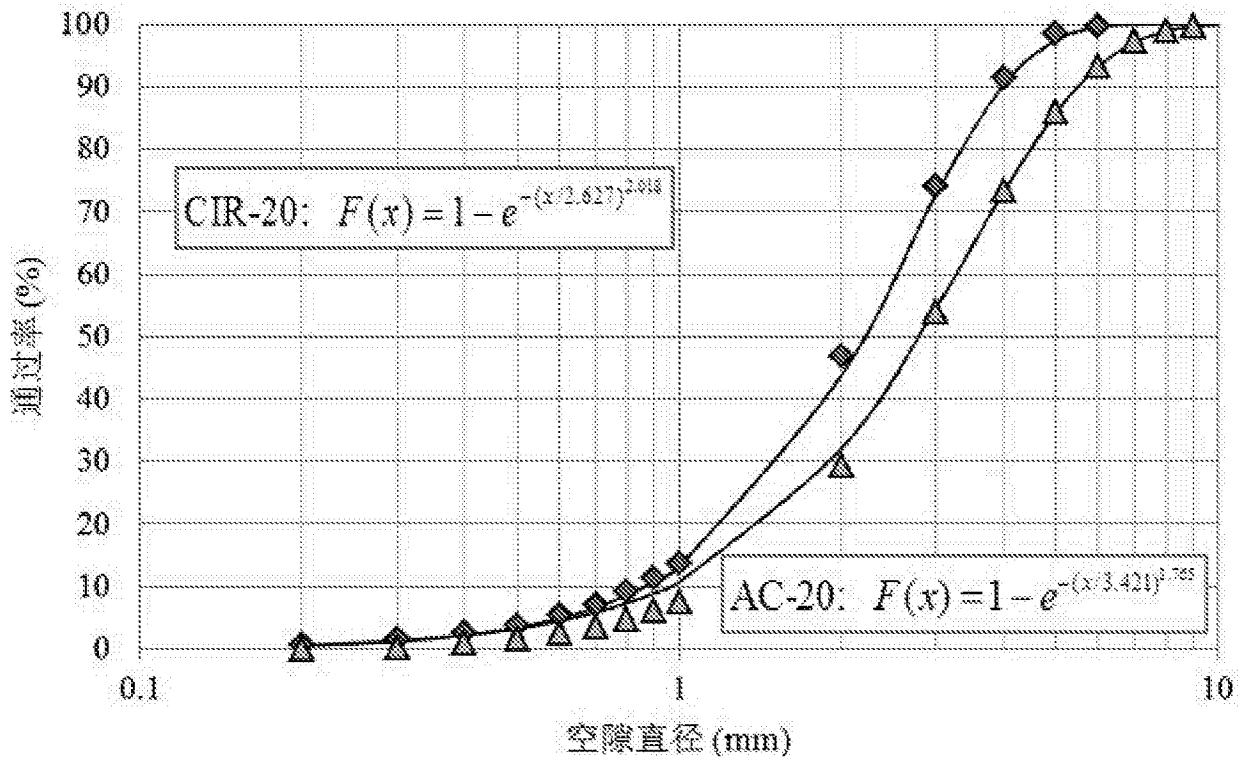


图2