

表 7：

湖北省地方标准编制说明

2022 年 9 月 21 日

标 准 名 称	公路酸性集料加工工艺与质量控制指南		
被 修 订 或 整 合 标 准 名 称		被 代 替 标准编号	
起 草 单 位 ( 盖 章 )	武汉理工大学 湖北交通投资集团有限公司 湖北长江路桥有限公司 武汉市工程咨询部有限公司		
1.项目简介：			
一、背景及必要性			
<p>沥青路面建设养护工程在选取石料时，理应遵循“就地取材”的原则，以便缩短集料运距、降低工程造价。但在传统沥青路面设计施工中，石料选取过多偏重于以往工程经验，主要以酸碱性为指标评判沥青-集料黏附性，普遍认为酸性集料与沥青的黏附性能不佳，尽量限制使用花岗岩等酸性集料，优先选用玄武岩、石灰岩等中性及碱性集料。在酸性石料分布较广的地区，特别是在湖北省，如鄂咸高速附近的安山岩、麻城的片麻岩、江汉平原的卵石、砾石等。这些地区建设公路时为避免使用酸性石料，必须从外地远运碱性或中性石料，显著增加了集料运距、增大了工程造价。对于典型高速公路沥青路面结构，集料运距每增加 100 公里，每公里路段的建设成本增加约 50 万元。这不仅浪费当地石料资源，还可能引起碱性、中性集料过度开采造成料源紧张、环境破坏，甚至延误工期，无法实现沥青路面材料高效利用。酸性集料具有耐磨性较强、材质比较坚硬等优点，在制备混合料时起到加强集料间嵌挤作用的目的，从这一方面可以说是物理性质优良的路面建筑材料。但是，酸性集料一般与沥青的黏附性较差，易产生水损害问题，使得酸性集料的应用受到阻碍。由于公路建设的快速发展，对集料的需求量也快速增长，对酸性集料的利用显得尤为重要。</p>			
<p>集料的性状除了受其本身的物化特性影响外，与集料场的加工工艺有着很大的关系，从集料破碎开始到分档出料，包括料场的管理体系都有着不同程度的影响。因此，有必要针对集料加工工艺与控制标准开展研究。湖北原有酸性集料加工品质不高，难以满足路面集料的质量要求。根据现场调研酸性集料开采和初步加工的情况，发现酸性集料加工成品易出现针片状含量过高、粉尘含量大等问题，如不进行加工工艺的改进和优化，将不能满足沥青面层的设计、施工等要求。酸性集料因 SiO<sub>2</sub> 含量高导致与沥青的黏附性能较差，因此在探究改性沥青的同时，通过优化加工工艺改善酸性集料的表现特性也尤为重要。</p>			

因此，制定标准的酸性集料加工工艺，对显著提高酸性集料的品质、提高沥青路面使用寿命具有重要意义。酸性集料加工工艺标准化是科研成果、路面建设之间的桥梁。将科研成果纳入标准，能使得成果迅速得到推广和应用。

## 二、主要内容

（细化至章、节，并简述每一节的主要内容）

### 1.当前针对酸性集料的集料加工工艺不足

目前，在我国的沥青路面设计中，对集料性能指标的衡量主要体现在压碎值、洛杉矶磨耗损失、含泥量、密度等物理力学特性方面，并未给出集料表观特性的具体指标与测试方法。但随着国内外学者的研究发现，集料的表观特性对沥青混合料性能有着巨大的影响。哈尔滨工业大学的谭忆秋、陈国明通过激光轮廓仪对集料表面纹理指标进行测量，得出随着粗集料表面纹理指标下降，混合料抗水损害性能、抗车辙性能均会下降。集料的表观特性会直接对沥青混合料的特性产生很大的影响，包括集料颗粒的外形、棱角以及表面纹理，会直接或者间接地影响沥青混合料成型后集料颗粒之间的作用位置以及有效作用面的大小。通常有着粗糙表面和丰富棱角的集料颗粒，在成型后能够通过相互之间的摩擦、嵌挤作用，形成较大的摩擦力并能形成稳定的骨架结构。而新、旧沥青路面施工技术规范中只提出沥青混合料用粗、细集料规格要求，但没有给出具体这些集料的标准化加工方法以及微观上的量化评价指标；目前石灰岩、玄武岩采取的方法多为一级颞破加二级反击破式的破碎方法，但酸性集料自身存在一定的不良特征，比如硬度高、难破碎，常规加工时易成片，为了将安山岩应用于路面中，降低工程造价，所以必须对安山岩进行全面分析，升级集料加工方法，以将其应用于沥青路面。

研究初期采用二级破碎工艺加工得到的酸性集料针片状颗粒含量约 20%，通过相关调整工艺参数后（如延长破碎时间），集料针片状颗粒含量可以降低至 10%以下。但由于酸性集料硬度高，设备磨损较大，如果不及时进行动态调整，同一天的集料针片状颗粒含量波动可能在 9%~20%，依然处于不理想的情况，其制备的混合料各项体积指标可能出现不符合规范要求的情况，用传统改进措施对酸性集料加工工艺进行调整不能完全解决问题，所以考虑利用 AIMS 系统全面分析酸性集料存在的问题，进而有针对性的提出改性方案。

### 2.集料图像测试系统

#### 2.1 集料图像测试系统的测试原理

AIMS 是一种可以客观反映集料各项表观特性的试验系统，该系统将集料图像的采集模块以及分析程序合为一体，不仅可以测试粗集料的表观特性，同样也可以对细集料的各项表观特性进行测试。该系统分为两部分，一个是图像的采集系统，一个是数据的分析系统，图像采集系统主要由一个高倍率的照相机、集料托盘、照明系统和显微镜构成；数据分析系统则由计算机和分析软件构成，通过对采集的图像进行分析，并利用 Excel 对分析的数据进行输出。

该系统分为两种操作模式，一种模式是对粗集料（ $>4.75\text{mm}$ ）进行测试分析，主要得到粗集料的棱角、纹理、球度指标（见图 1）；另一种模式是对细集料（ $<4.75\text{mm}$ ）进行测试分析，主要得到细集料的棱角和二维形状指标，其中纹理指标是在灰度图模式下分析得到的，其余指标则是在黑白图像的模式下分析得到的。

该系统的试验精度较高，所以在利用该分析系统对集料表观特性进行扫描分析之前，需要先将待测集料清洗干净，去除尘土以及其他杂质，以免对测试结果产生干扰，影响结果的准确

性。待测集料样本需进行筛分使集料的粒径与托盘的尺寸相对应，且该仪器是进口的，采用的集料粒径标号与我国采用的粒径单位可能不一致，下表就是两者之间的对应关系。

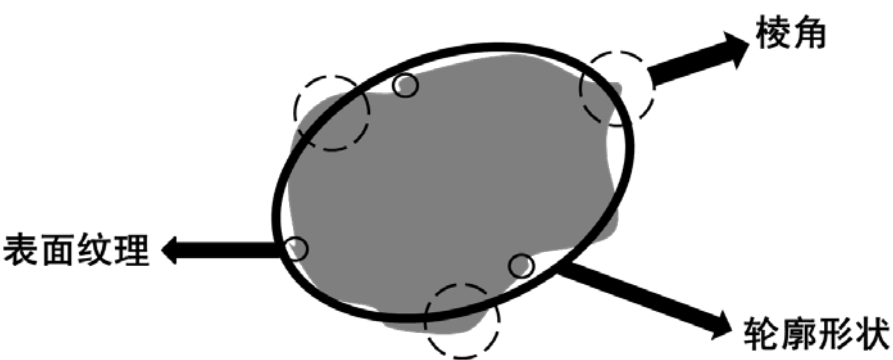


图 1 集料的表观特征

表 1 托盘标号与集料粒径对应表

粗集料					
托盘标号	1”	3/4”	1/2”	3/8”	#4
集料粒径	25.4mm	19mm	12.5mm	9.5mm	4.75mm
细集料					
托盘标号	#8	#16	#30	#60	#100
集料粒径	2.36mm	1.18mm	0.6mm	0.3mm	0.15mm

该系统能够快速获取集料个体颗粒的表观特性，获得的表观特性参数直接导入 Excel 表格中，按照规定的格式输出各项形状特征的累积分布曲线，同时可以直观地显示出集料颗粒的个数、各项参数的平均值、标准差等，方便在试验后对所需要的数据进行调用和提取。

2.2 集料成像系统的参数指标

(1) 二维形状指数 (Form 2D)

二维形状指数主要用于细集料的分析，通过系统采集到的集料二维形状图对细集料的二维形状指标进行定量的描述。采用计算式 (1) 进行计算，其数值范围为[0, 20]，当集料颗粒的二维形状为圆形时该指标等于 0。

$$Form2D = \sum_{\theta=0}^{\theta=360-\Delta\theta} \left[ \frac{R_{\theta+\Delta\theta} - R_{\theta}}{R_{\theta}} \right]$$

(1)

式中： $\theta$ -方向角； $R_{\theta}$ -集料在角度为 $\theta$ 处的半径； $\Delta\theta$ -测量时的角度差值。

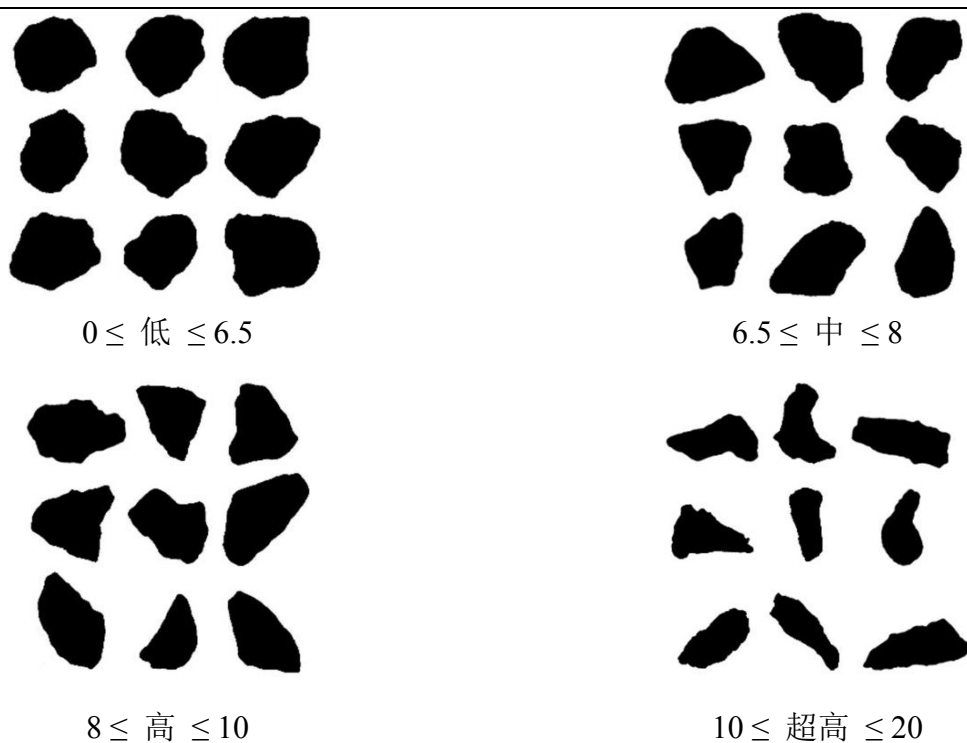


图 2 细集料二维形状指标范围

## (2) 棱角性指数 (GA)

棱角性指数采用梯度方法定量表征粗、细集料颗粒的大小及其轮廓的变化。棱角性指数范围为[0, 10000]，棱角性指标为 0 表示该集料颗粒为无棱角的圆形。

梯度角用于量化集料颗粒梯度上的变化并与二维图像上集料边界的尖锐程度相关，梯度向量的平均值被用于反映集料颗粒的棱角性，见式 (2)。

$$GA = \frac{1}{\frac{n}{3} - 1} \sum_{i=1}^{n-3} |\theta_i - \theta_{i+3}| \quad (2)$$

式中： $\theta_i$ -集料轮廓上第  $i$  个点的倾斜角； $n$ -集料轮廓线上所采集点的总数； $i$ -集料轮廓线上采集的第  $i$  个点。

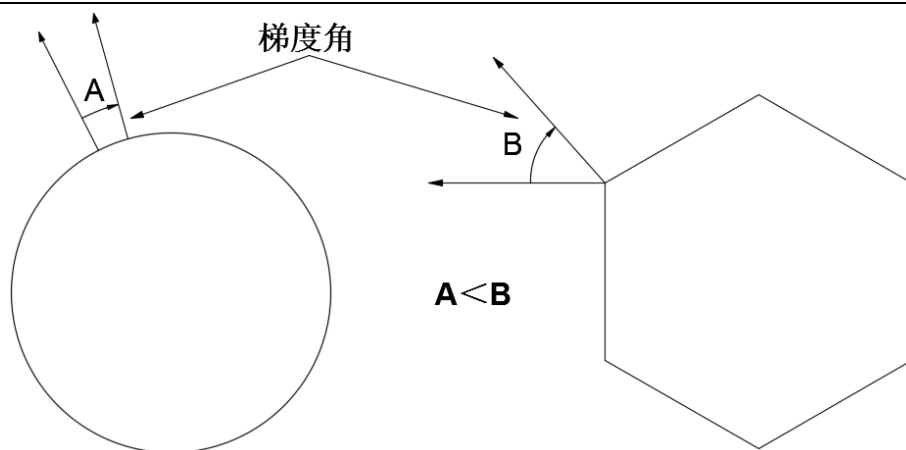
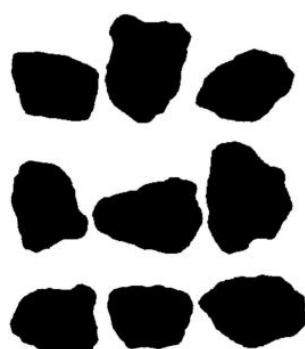


图 3 光滑和棱角丰富集料的梯度角



$0 \leq \text{低} \leq 2100$



$2100 \leq \text{中} \leq 3975$



$3975 \leq \text{高} \leq 5400$



$5400 \leq \text{超高} \leq 10000$

图 4 集料棱角性指数值范围

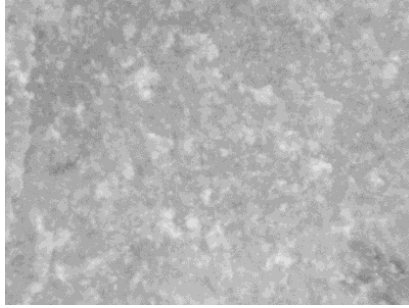
### (3) 纹理指数 (TX)

纹理指数采用小波分析方法，将集料图像分解到一定程度，在横向、纵向、斜向的三个不同图像中描述集料表面纹理，并计算特定分解度下三个方向的小波系数的平方数的均值，将其作为纹理指标，如公式 (3) 所示。纹理指标的数值范围为[0, 1000]，该指标接近 0 则表示集料

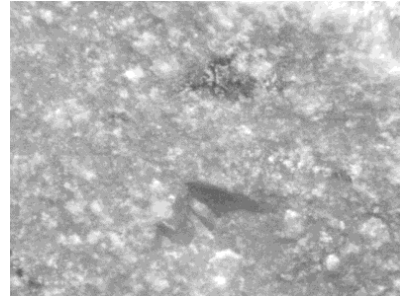
颗粒表面为完全光滑的表面。

$$TX = \frac{1}{3N} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^N (D_{i,j}(x, y))^2 \quad (3)$$

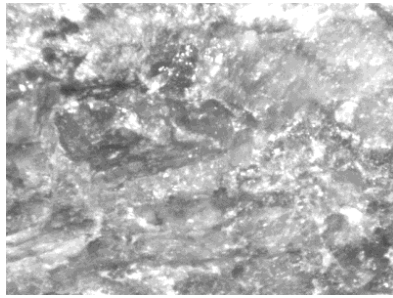
式中：  $D$  -图像分解方程；  $N$  -单个图像中的小波系数的总数；  $i$  -图像编号，取值为 1、2、3；  $j$  -小波系数指数；  $(x, y)$  -小波系数在变换域中的坐标。



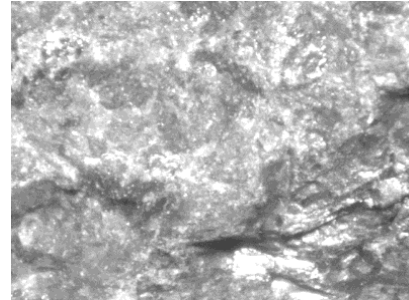
0 ≤ 低 ≤ 200



200 ≤ 中 ≤ 500



500 ≤ 高 ≤ 750



750 ≤ 超高 ≤ 1000

图 5 粗集料纹理指数范围

#### (4) 球度指数 (SP)

球度指数用于描述粗集料的三维形状，以公式 (4) 进行计算，其数值范围为[0, 1]。球度指标为 1 表示该集料各方向长度相等，是一个立方球体。

$$SP = \sqrt[3]{\frac{d_s d_l}{d_L^2}} \quad (4)$$

式中：  $d_s$  -集料最短方向的尺寸；  $d_l$  -集料中间方向尺寸；  $d_L$  -集料最长方向的尺寸。

## 2.3 试验操作

### (1) 试样准备

在进行集料的表观特性测试之前需要将集料清洗干净，需要经过多次清洗保证集料表面的洁净，清浄之后需要放置在烘箱内加热烘干，待烘干之后将试样放置于密封的干燥箱内，作为集料表观特性测试的待测样品。

AIMS 每次进行测试时，需要根据测试集料样本的粒径预估集料颗粒的数量，当采集到设定数量的集料样本的信息后，系统会自动停止运行，否则会提示继续添加样本的数量。在试验开始之前操作人员需要确定集料样本试验所需的最小数目和质量，为了能够更加准确地反映集料样本的表观特性，系统给出待测样品所需的最小质量和推荐的最小数量的集料颗粒数，如下表 2 所示，不同粒径的集料样本最多可以分析 500 颗。

表 2 推荐的集料样本数量

粒径	最小质量	最小颗粒数目
0.075mm（#200）	200g	150
0.15mm（#100）	200g	150
0.3mm（#50）	200g	150
0.6mm（#30）	200g	150
1.18mm（#16）	200g	150
2.36mm（#8）	200g	150
4.75mm（#4）	2kg	50
9.5mm（3/8”）	2kg	50
12.5mm（1/2”）	2kg	50
19.0mm（3/4”）	2kg	50
25.0mm（1”）	5kg	50

（2） 系统设定

在对集料样本测试前，需要对于操作系统的参数进行设置，包括测试得到的文件存储的位置、测试的类型、待测集料颗粒的粒径以及所需要采集的集料颗粒的数量、操作人员以及测试集料的种类等，具体的设定界面如下图 6 所示。

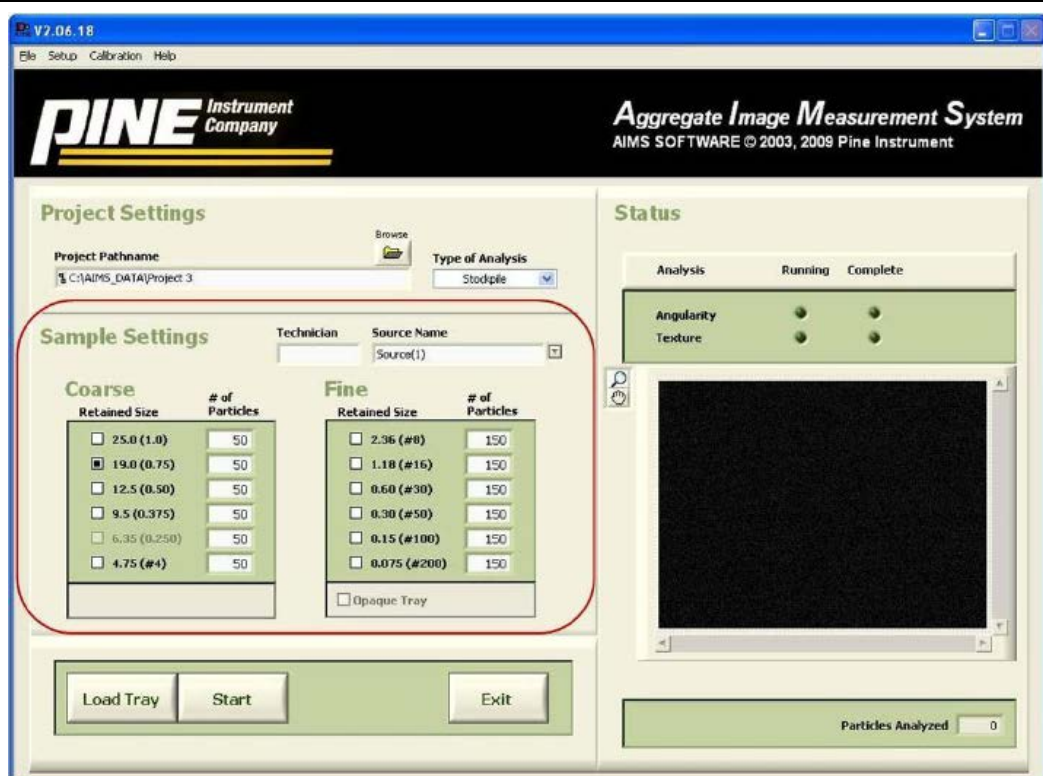


图 6 系统设定

### (3) 放置集料

集料测试之前应洗净并烘干，集料托盘也需要清理干净，以排除其他无关因素的干扰。根据待测集料样本的粒径选择对应的托盘尺寸，保证在该分辨率下能够清晰获取所需要的集料表面特性，且托盘上标注的尺寸需和测试系统内设置的集料尺寸保持一致，集料颗粒也必须放置在集料托盘的嵌槽内，否则系统无法获取集料颗粒的相关信息。

在放置粗集料时，集料颗粒之间需保证不发生相互重叠（见图 7），重叠在一起的集料颗粒将不会被系统识别，该步骤可以利用系统的“托盘装载”功能（见图 8）进行辅助，在该功能下托盘会按照一定的速度旋转，试验人员只需站在一个固定的位置即可将待测集料样本放置于集料托盘的嵌槽内，集料颗粒的方向应该是随机分布的，同时可以对托盘的旋转速度进行调节，选择适合的速度，通过查表 2 确定需要的集料颗粒的数量。





图 7 放置粗集料



图 8 “托盘装载” 功能

所有的细集料都需要放置在 19mm 的托盘上（透明或不透明）进行测试。细集料测试一般采用背光，但是浅色或者透明的集料需要一个比较暗的背景和顶光来获得足够的对比度，在透明托盘上无法采集信息时，就需要换成不透明的托盘并在系统对应位置选择不透明的托盘选项。

细集料撒布同样需要保证不出现相互的重叠的现象（见图 9），“托盘装载”功能同样可以帮助细集料的撒布，由于测试细集料需要的颗粒数量较多，一般需要对托盘的转速进行调节，试验所需细集料颗粒的数量可以通过查表 2 确定。



图 9 撒布细集料

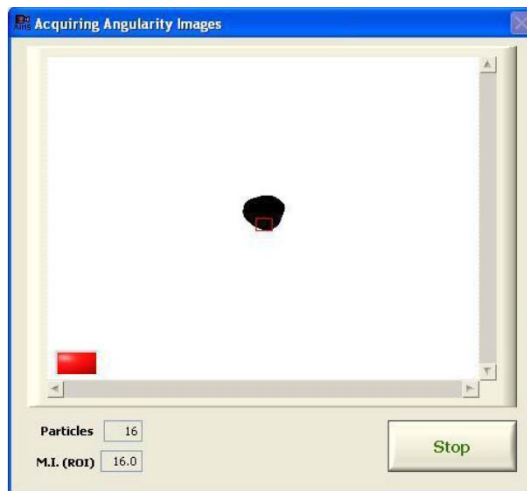
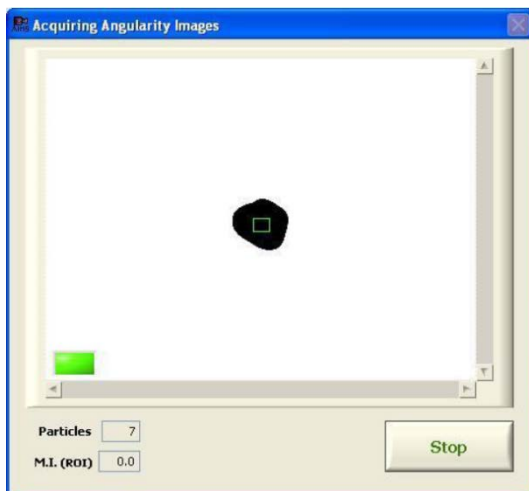
#### (4) 集料测试

放置集料之后需要将图像采集系统完全封闭，让集料测试保持黑暗的条件，环境的灯光同样会对测试的结果产生影响，且试验过程中需要保持测试系统的稳定，当系统产生晃动时可能会导致集料颗粒的位置产生变化进而影响测试结果的精度，点击“开始”键开始测试，系统会自动记录信息。

试验开始后托盘会匀速旋转，并通过背光获得集料的轮廓形状。集料颗粒的图像将在相机的视野范围内进行筛选（见图 10a、b）并记录下合格集料颗粒的位置，若采集的集料图像的是合格的，搜索框会呈现绿色；若采集的集料图像未能覆盖住搜索框，则会呈现红色。

一旦系统采集到指定数量的集料颗粒数目，或者托盘旋转了整整一圈，将会执行第二部分纹理特性的扫描。在此次扫描中，托盘将加速旋转，根据第一圈记录的合格颗粒的位置进行定位，放大适当的倍率获取清晰的集料纹理特性。第二圈扫描完成之后，第三圈则会对集料颗粒的微观纹理图像进行拍照（见图 11）。

通过三圈的数据采集，粗集料样本的数据采集基本完成。若获取到设定数目的集料样本数量，数据将自动加载到 Excel 中。否则，系统会提示继续进行测试，直到获取指定数量的集料样本信息。



(a) 采集的数据合格

(b) 采集的数据不合格

图 10 粗集料图像筛选

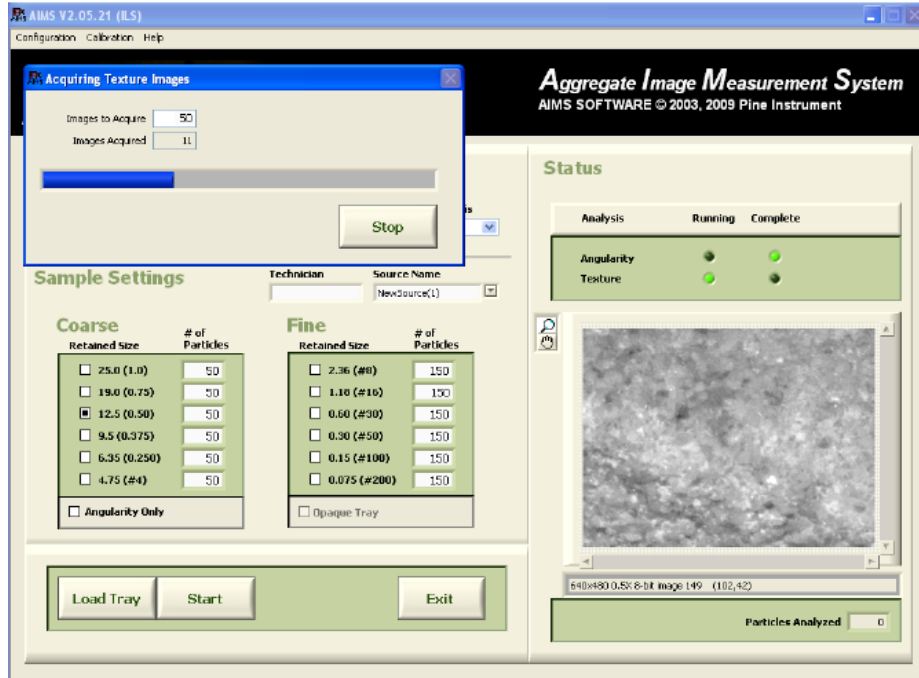


图 11 粗集料数据采集

表面纹理的不足会降低其与沥青的黏附性。有文献证明随着粗集料表面纹理指标下降，混合料抗水损害性能、抗车辙性能均会下降。这也验证了由酸性集料拌合的沥青混合料高温稳定性及水稳定性性能不足的原因很大程度上源于酸性集料表面纹理的不足。下文将重点分析酸性集料表面纹理不足的原因，并通过改进加工工艺来提高酸性集料的表面纹理指数。

### 3 针对酸性集料性能问题改进加工工艺

#### 3.1 集料破碎设备

在集料的整套加工系统中，破碎系统最为重要，是集料控制不可或缺的关键环节。集料的破碎作业方式按工作原理和结构特性的不同可分为多种类型，通常有颚式破碎、圆锥式破碎、反击式破碎等。

##### (1) 颚式破碎机

颚式破碎机（见图 12）一般用于第一级破碎，其性能特点是破碎比大，集料粒度均匀，结构简单，工作可靠，维修简便，运营费用低，但生产出的集料扁平细长，颗粒含量较高。其给料粒径随设备型号不同也有差异，给料粒径范围较宽，大致为 45mm-1000mm，且适用于破碎抗压强度不超过 320MPa 的各种物料，故颚式破碎机常用于集料的粗碎和中碎，即通常称为集料的头破过程。



图 12 颚式破碎机

### (2) 圆锥式破碎机

圆锥式破碎机（见图 13）一般用于第二级破碎，设备主要有 2 个同方向的圆锥体组成。工作时，定锥固定不动，动锥由电机通过皮带经传动轴带动，在偏心套的迫动下作旋摆运动，使物料在破碎腔内不断受到冲击、挤压和弯曲作用，从而达到物料破碎的目的。圆锥破碎机由于采用层压破碎原理，生产的碎石针片状石料较好，粒级较为均匀，料粒形状较好，且由于破碎与排料同时进行，故破碎效率高。但缺点是调整和维护较为困难。



图 13 圆锥式破碎机

### (3) 反击式破碎机

反击式破碎机（见图 14 所示）可作为破碎系统的二级或三级破碎使用。通过反击板锤击石料并使石料与反击架碰撞进行破碎。石料进入板锤作用区时，与转子上的板锤撞击被破碎，接着又被抛向反击装置再次被破碎，然后又从反击板弹回板锤作用区。石料由大到小进入反击腔重复破碎，直至被破碎到所需粒度，由出料口排出。反击破碎机的优点是可控制出料粒度，颗粒形状好，同时具有石料破碎比大、破碎效率高、维修方便等特点，其最大的缺点是板锤和反击板特别容易磨损，两者磨损严重时生产出来的集料颗粒可能会产生较大的变化，故需经常更换且在生产时粉尘较大。



图 14 反击式破碎机

#### (4) 冲击式破碎机

根据工作原理的不同，冲击式破碎机（见图 15 所示）可分为“石打石”和“石打铁”两种；从目前应用情况来看，“石打石”设备运行成本要低于“石打铁”设备，应用更为广泛。石料由机器上部垂直落入高速旋转的叶轮内，在高速离心力的作用下，与另一部分以伞形方式分流在转盘四周的物料产生高速碰撞。石料在互相撞击后又会在叶轮和机壳之间形成涡流而多次撞击，再经过摩擦粉碎，从下部排料斗排出。冲击式破碎机对给料粒径要求较高，粒径太小或太大都影响破碎效果，适宜的粒径范围为 10 mm~70mm，其设备结构简单合理、破碎率高、针片状含量低，特别适用于加工机制砂或进行碎石整形，但其运行成本较高。



图 15 冲击式破碎机

### 3.2 筛分机分类

从采石场开采出来的或未经过破碎的石料，是以各种大小不同的颗粒混合在一起的，而石料在使用前需要分成粒度相近的几种级别，这就需要使用到筛分机。筛分机利用散粒物料与筛面的相对运动，使部分颗粒通过筛孔，将砂、砾石、碎石等物料按颗粒大小分成不同级别。

按照作用特性分，筛分机可分为固定筛和活动筛：

#### (1) 固定筛

固定筛的工作部分固定不动，靠物料沿工作面滑动而使物料得到筛分，主要用于预先的粗筛，在石料进入破碎机或下级筛分机前筛出超粒径的大石料。

固定筛有格筛和条筛两种。格筛通常水平安装在粗矿仓上部，以保证粗碎机的入料块度合适，格筛的筛上大块需要用手锤或其他方法破碎使其过筛。条筛一般为倾斜安装，主要用于粗

碎和中碎前作预先筛分，倾角应大于物料对筛面的摩擦角，使物料能沿筛面自动下滑。

## （2）活动筛

活动筛的筛面有水平，也有倾斜安装的。按照传动方式的不同，活动筛分为圆筒旋转筛和振动筛等。振动筛又可按工作部分运动特性分为半偏心振动筛、惯性振动筛、共振筛等。

### 3.3 改进酸性集料加工流程

集料的加工生产就是将合格的片石、料石或砾石通过除杂、破碎、磨碎、筛分等工序，制成满足性能要求的路面集料的过程。理想的集料应是具有坚硬棱角、粗表面纹理、近似立方体形状、粒径规格合要求的洁净碎石。

施工初期集料破碎方式采用常规的二级破碎，即一级颚式破碎加二级反击式破碎方法。一级破碎采用的颚式破碎机由颚板和可动颚板两部分组成。作为一级破碎，其功能主要是一级粗破，破碎力大，但是缺点是破碎后集料针片状含量高。

二级破碎——反击式破碎机的破碎原理是利用石料与破碎机内部的板锤及反击板的冲击作用对矿料进行破碎。石料通过进料口落入高速旋转的破碎腔以内，随着板锤的运动，石料与板锤碰撞，再与反击板碰撞进行破碎，又弹回板锤破碎，如此循环，石料在互相打击后，又会在破碎腔内和反击板之间形成涡流运动而造成多次的互相打击、摩擦、粉碎。石料由大变小，直至达到所需粒度后从下出料口排出，形成闭路多次循环。

项目初期集料破碎经一级颚破后，采用先碎后筛的二级破碎闭式循环系统，即一级破碎机的排料全部给入二级破碎段的进料口进行破碎，然后最后将不满足粒料要求的石料返回二级反击破重新进行破碎。项目初期采用闭合系统是为了降低集料针片状含量。因为一级颚破出来的石料中含有细集料等，实际为连续级配，从而保证原料间空隙较小，让石料间可以充分接触挤压。在此过程中针片状颗粒较快地在受力下沿脆弱面断开，达到降低集料针片状含量的目的。

但是这种闭式的循环系统使得集料间过度接触，且连续级配的破碎程度明显小于骨架级配。所以在这个过程中，集料破碎时间明显变长，这相当于一个磨耗的过程，酸性集料硬度普遍高于碱性石料，难以破碎的同时其表面被不断的磨光，从而使得其表面纹理下降，降低了与沥青间的黏附性，使得混合料的高温稳定性和水稳定性无法满足要求。为此需改变二级反击破碎加工方式。

同时，二级破碎方式的改变会造成针片状含量的上升，为此，添加冲击破碎机为三级破碎以降低针片状含量。立轴冲击式破碎机是利用高速运动的物料相互自行破碎及物料之间的摩擦而粉碎。由于其破碎原理的优势，冲击破碎机不仅能够对矿料进行破碎，而且矿料在高速冲击时可以对矿料中的扁平颗粒及软弱棱角进行磨蚀，起到对矿料的整形作用。所以引入冲击式破碎机可以进一步降低针片状含量。同时，与二级破碎不同的破碎方式使得集料以新的方式破裂，便不会对集料表面过度磨耗，从而使得集料的表面纹理不会过度降低。

基于以上分析，在提升集料表面纹理指标的同时，又保证集料针片状含量符合规范，改进加工系统如下：

- 1、将先碎后筛的二级反击破碎闭式循环系统更换为先筛后碎的二级反击破碎开式循环系统；

- 2、添加冲击式破碎机作为三级破碎装置，同时与二级反击破碎相同，也为先筛后碎的三级破碎开式循环系统。



基于以上分析，初步建立本项目集料加工流程如下：

#### （1）山体清表

在岩石爆破面进行之前，必须彻底清除覆盖层及泥土夹层。这是集料生产的首要环节，用于保证集料无风化、洁净、无杂质。

#### （2）石料除杂

经过开采的片石或者就地取材的砾石，所含的细料中经常会有山皮土、风化石料、有机质等杂质，会严重影响到成品集料的质量，所以在石料生产前应进行除杂。石料的除杂应在片石或砾石装车运输前进行，通常是找一处有深度较大的台阶，按照斜坡的方式搭建一定间隔的条棒，然后将石料由高处滚落至低处，在滚落的过程中其中的细料就会被条棒过滤掉。

#### （3）石料粗筛

石料粗筛是石料的第一级筛分，在石料破碎前进行，就是在振动给料机后加入一定规格的栅筛以筛去 10cm 以下的小块石、泥土、杂质等。

#### （4）一级破碎

石料的一级破碎属于粗碎，将石料破碎至其他破碎机可以加工的尺寸。由于要求比较简单，从设备经济性考虑，选用效率较高、结构简单的颚式破碎机进行破碎。

#### （5）二次筛分

经过粗碎的石料颗粒需要进行第二次筛分，从而筛去 0~5mm 的粒料。因为小于 5mm 的石屑属于比较软弱的石料，且其中还夹带一定数量的杂质，影响石料的品质。

#### （6）二级破碎

经过二次筛分的石料，由调速振动给料机（或调速皮带给料机）稳定连续供料至二级破碎设备进行中细破碎。采用反击式破碎机进行破碎，从破碎的效果来看，破碎出的集料形状较规则，且形状、针片状含量均能满足路用集料要求，石料的二级破碎是石料生产的关键环节。后文还将对其关键性参数进行调整。

#### （7）三级破碎

三级破碎采用的破碎机一般是冲击式破碎机，可以降低针片状含量，同时进一步提高破碎比，生产出多种规格的碎石成品。

#### （8）三级筛分

经过三次破碎的石料，通过成品振动筛分机，筛分出各种规格集料产品。不满足粒度要求石料颗粒应返回二级破碎，再进行加工处理。

除上述工艺流程外，相邻破碎机之间增设料仓，这主要是从两个方面进行考虑：一是当集料加工生产流程的后段发生机械故障时，前段可以不受影响地仍继续生产，从而将损失减小到最小，从而保证加工进度；二是控制材料喂送率，保证供应给破碎机的石料均衡稳定，从而保证成品料的颗粒形状和颗粒级配稳定。

由于二级和三级破碎中，圆锥式、反击式等破碎机会产生大量粉尘，一方面会造成集料颗粒表面脏、不洁净，另一方面会对环境造成污染。集料表面的粉尘遇水则成为泥土混入料中，

造成集料质量下降，若经过水洗，很难满足集料级配的要求，也必然会影响混合料的质量。因此，为了获得洁净的集料，也为了保护环境，要在振动筛分机皮带出口安装水洗设备，在反击式破碎机前安装除尘设备。

3.4 酸性集料加工工艺关键参数分析

3.4.1 反击板间距参数调整

(1) 设置四组反击板与板锤间距

二级破碎作为破碎的主力，需要重点进行参数设置的优化。着重分析反击板与板锤间距对表观纹理的影响。

目前，集料加工工艺中，反击板与板锤间距一般作为控制集料粒度和级配的关键参数。其中，在加工沥青路面中、下面层集料时，常用的第一层反击板与板锤的间距为 35mm，即矿料从反击式破碎机进料口进入到下一层板锤与反击板后矿料被破碎为小于等于 35mm 的颗粒；第二层反击板与板锤的间距为 25mm，即矿料进入到第二层破碎腔后被破碎为粒径小于等于 25mm 的颗粒后排出。考虑到反击板与板锤间距会对影响集料的粒度，所以根据这个间距，以 3cm 为调整幅度，仅设置四组，以保证集料的生产粒径及级配均在合理范围内。对应命名如表 3 所示。然后根据这四种间距分别生产出对应的酸性集料，用 AIMS 测量其表观特性指标。

表 3 反击破碎板间距对应酸性集料名称

命名	间距设定
安山岩 A	第一层反击板与板锤的间距为 32mm，第二层反击板与板锤的间距为 22mm
安山岩 B	第一层反击板与板锤的间距为 35mm，第二层反击板与板锤的间距为 25mm
安山岩 C	第一层反击板与板锤的间距为 38mm，第二层反击板与板锤的间距为 28mm
安山岩 D	第一层反击板与板锤的间距为 41mm，第二层反击板与板锤的间距为 31mm

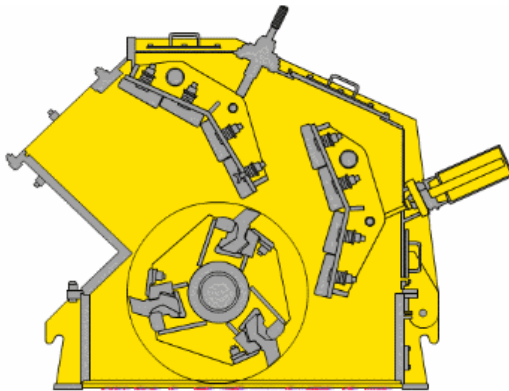


图 16 反击式破碎机工作原理



(2) 根据集料表观特性指标选定最佳间距

由前文可知，酸性集料主要存在的问题是在表面纹理不足上，同时考虑到可能出现因加工方式改变导致针片状含量变化的问题，所以本次表观特性指标测量结果保留表征针片状含量的扁平比和纹理指数两个指标。以鄂咸安山岩为例，将四个间距对应生产的安山岩集料的表观数据测量结果列于表 4 中。

表 4 4.75mm-26.5mm 粒径安山岩表面纹理指数

粒径：4.75mm		针片状 (%)	纹理指数	粒径：9.5mm		针片状 (%)	纹理指数
安山岩 A	平均值	9.51	310.7	安山岩 A	平均值	8.77	322.8
	标准差	——	89.1		标准差	——	86.6
安山岩 B	平均值	10.32	370.4	安山岩 B	平均值	9.58	399.7
	标准差	——	88.5		标准差	——	85.2
安山岩 C	平均值	9.74	455.1	安山岩 C	平均值	9.43	478.1
	标准差	——	105.0		标准差	——	103.0
安山岩 D	平均值	11.30	461.9	安山岩 D	平均值	10.35	492.4
	标准差	——	144.1		标准差	——	123.2
粒径：13.5mm		针片状 (%)	纹理指数	粒径：16mm		针片状 (%)	纹理指数
安山岩 A	平均值	8.23	310.5	安山岩 A	平均值	8.55	315.3
	标准差	——	89.1		标准差	——	86.6
安山岩 B	平均值	9.17	355.7	安山岩 B	平均值	9.45	370.4
	标准差	——	88.5		标准差	——	85.2
安山岩 C	平均值	9.85	415.2	安山岩 C	平均值	9.16	480.5
	标准差	——	85.2		标准差	——	105.8
安山岩 D	平均值	10.10	417.9	安山岩 D	平均值	10.23	490.7
	标准差	——	141.4		标准差	——	90.5

由前文可知，安山岩存在的主要问题是表面纹理指数的不足，故选取较大表面纹理值对应

间距作为最佳反击板与板锤间距。

因为一、二层反击板与板锤的间距为相同趋势变化，故以一层反击板与板锤间距为横轴，纹理指数为纵轴，绘制二者变化曲线如图 17 所示。

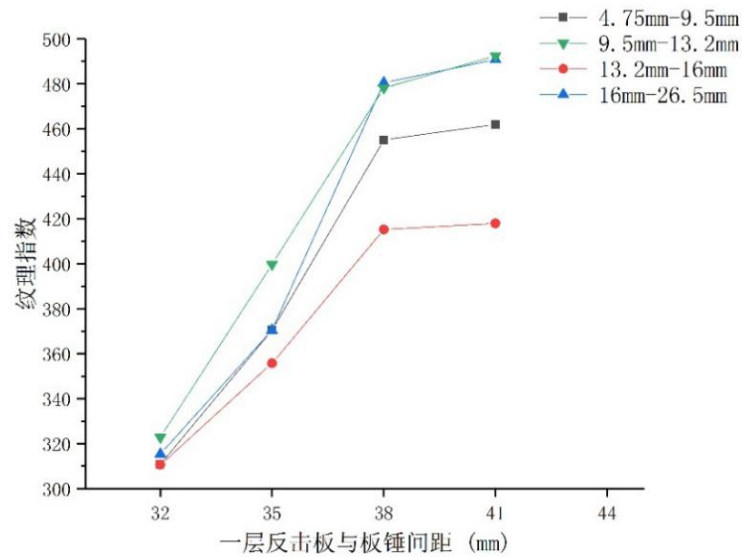


图 17 各粒径纹理指数随反击板间距变化

对比分析可以发现，随着反击板与板锤间距的增加，纹理指数的增加幅度为先增大后减小，且间距大于 38mm 后纹理指数增加幅度很小，并且会带来针片状含量的增加。

同时，随着间距继续变化，部分振动筛上粒径偏粗。表明破碎机的破碎腔反击板与板锤之间的间隙过大。所以最终选定一、二层反击板与板锤间距 38mm、28mm 为最佳间距。

### 3.4.2 集料加工用筛孔

在集料加工生产中，加工筛孔的选择具有重要意义，只有选择一个合适的筛孔组合才能保证加工出合格的集料。目前，在我国的集料加工生产中，普遍存在着集料加工用筛孔乱用现象以及集料规格质量控制指标不明确，致使集料级配变异性极大、合格率很低，最终导致修筑的路面离析严重、病害多、维修费用高、使用寿命短。因此，明确集料加工所用筛孔组合与集料规格之间的关系，对集料的加工生产非常具有指导意义。

通常，在给定的沥青混合料类型下，需要经过确定关键筛孔、集料规格，才能最终确定集料加工用筛孔。

#### (1) 确定关键筛孔

在沥青混合料中，所用集料颗粒的粒径尺寸范围较大。为满足工程对某一混合料设计级配组成的要求，需要将两种或两种以上不同粒径组成的集料进行参配。也就是说，目标级配混合料是用几个适当规格的集料配出的。需根据设计级配范围的要求，确定不同粒径的各档集料在目标级配混合料中的合理比例，其控制指标是标准筛筛孔的通过率。

《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)中对沥青混合料采用集料规格有明确规定。各种规格集料实际上都是一种混合料，都各有一个公称最大粒径，而每种规格集料在其公称最大粒径对应的筛孔通过率，在级配控制中起着关键作用。各种规格集料，都应以其公称最大粒径对应的标准筛筛孔的通过率作为加工质量监控指标(对细集料还应控制 1.18mm、0.6mm、0.075mm 筛孔的通过率)。因此，对于目标级配混合料而言，一种规格集料就足够准确地控制着其公称最大粒径对应的标准筛筛孔的通过率，并对其他若干筛孔有干涉作用，干涉的强弱视其在这 些筛孔的通过率而定。

一种混合料应控制的标准筛筛孔，称为关键筛孔。在标准筛系列筛孔 2.36、4.75、9.5、13.2、16、19、26.5、31.5、37.5、53 中，2.36、4.75、9.5、19、37.5 这五个筛孔从小到大，符合按 2 倍逐渐递增的规则，这是制定筛孔的本意，故应从其中选定控制筛孔。由于 37.5mm 太大，用得较少，可不考虑。31.5mm 和 26.5mm 因为是下面层两种混合料的公称最大粒径，16mm 和 13.2mm 因为是上面层两种混合料的公称最大粒径，才出现在筛孔系列中。应按下面层混合料类型在 31.5mm 和 26.5mm 中选择其一，根据上面层混合料类型在 16mm 和 13.2mm 中选择其一。而 19mm 不仅是中面层的公称最大粒径，也是关键筛孔。

因此，关键筛孔应包括混合料公称最大粒径对应筛孔，以及比它小的从 2.36mm 起，按 2 倍递增的各筛孔。具体说来，下面层控制 26.5mm (或 31.5mm)、19mm、9.5mm、4.75mm、2.36mm 这 5 个筛孔；中面层控制 19mm、9.5mm、4.75mm、2.36mm 这 4 个筛孔；上面层控制 13.2mm (或 16mm)、9.5mm、4.75mm、2.36mm 这 4 个筛孔。下面层控制 5 个筛孔，中、上面层控制 4 个筛孔，满足一种混合料只能直接控制 4~5 个标准筛筛孔的通过率的要求。

(2) 确定集料规格

如表 5 所示，2.36mm、4.75mm、9.5 mm、13.2mm、16 mm 、19 mm、26.5 mm、31.5 mm 作为公称最大粒径时对应的集料规格分别为 S16、S14 (S15)、S12、S10 (S11)、S9F、S9、S8、S7：

表 5 常用规格集料的主要级配要求

集料规格	公称粒径(mm)	通过下列筛孔 (mm) 的质量通过率 (%)							
		31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36
S7	10~30	90/100							
S8	10~25		90/100						
S9	10~20			90/100					
S9F	10~18				90/100				
S10	10~15					90/100			
S11	5~15					90/100	40/70		
S12	5~10						90/100		
S14	3~5							90/100	
S15	0~6							90/100	60/90
S16	0~3								80/100

由关键筛孔确定集料规格可由图 18 表示：

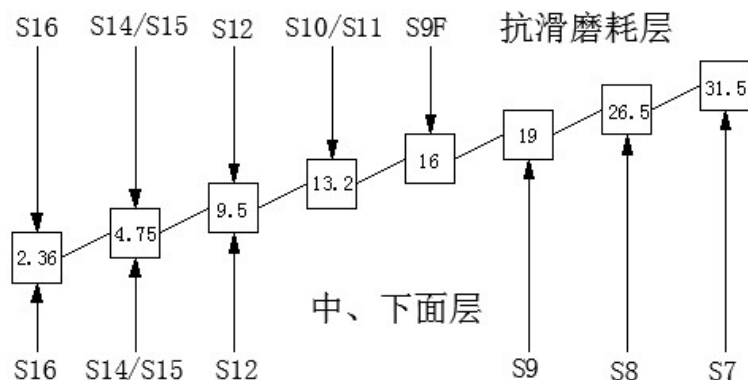


图 18 沥青混合料级配控制图

当石料储量足够大时，通常将中、下面层所用集料一起加工，选用一组筛；对抗滑磨耗层所用集料的加工则应分开来，选用另一组筛。在中、下面层集料加工所用的筛组中，有一个筛孔十分重要，通过合理选择，可使下面层用料备足时，卸掉已用筛组中孔眼最大的一个筛板，继续加工中面层用料。

集料规格选取原则如下：当确定关键筛孔、明确关键筛孔与集料规格之间的关系后，可以提出由沥青混合料类型确定集料规格的集料规格选用规则，如表 6 所示，其中必选集料规格的公称最大粒径与混合料的最大公称粒径相同，对混合料的质量起着决定性的作用；选用规格按照比最大公称粒径小的从 2.36mm 起，按 2 倍递增的各筛孔对应的集料规格。当确定了“必须规格”和“选用规格”以后，一些公称最大粒径小于该混合料公称最大粒径的“不宜选用规格”可以外加进去。

表 6 各种混合料的集料规格选用规则

混合料类型	必选规格	选用规格	不宜选用的规格
AC-30	S7	S9、S12、S14(S15)、S16	S9F、S10、S11
AC-25	S8	S9、S12、S14(S15)、S16	S7、S9F、S10、S11
AC-20	S9	S12、S14(S15)、S16	S7、S8、S9F、S10、S11
SMA-16	S9F	S12、S14(S15)、S16	S9、S10、S11
AC-13 SMA-13	S10(S11)	S12、S14(S15)、S16	S9、S9F

### 3.5. 改进型安山岩集料沥青混合料性能验证及结果

随着粗集料表面纹理指标下降，混合料抗水损害性能、抗车辙性能均会下降。为此，成型 AC-25 混合料，对比改进加工工艺前后酸性集料（以安山岩为例）混合料高温稳定性和水稳定性变化，以验证集料表面纹理指数特性的提升。将改进后的安山岩集料按原油石比 4.2% 及最佳油石比 4.5% 分别成型 AC-25 沥青混合料试件。

将三组数据汇总与表 7 中。

表 7 安山岩 AC-25C 沥青混合料马歇尔试验结果

检测项目	采用改进前安山岩 集料成型实测数据 (4.2%油石比)	采用改进后安山岩 集料成型实测数据 (4.2%油石比)	采用改进后安山岩 集料成型实测数据 (4.5%油石比)	技术要求
油石比 (%)	4.2	4.2	4.5	—
毛体积相对密度	2.299	2.291	2.297	—
最大理论相对密度	2.418	2.412	2.412	—
空隙率 VV (%)	5.0	5.3	4.8	4~6
矿料间隙率 VMA (%)	14.3	14.6	14.6	>13
沥青饱和度 VFA (%)	65.3	63.8	67.3	55~70
稳定度 (kN)	9.4	11.03	13.35	≥8
流值 (0.1mm)	28.0	31.0	33.4	15~50
残留稳定度	86.0	92.7	95.3	≥80
冻融劈裂抗拉强度比 (%)	79.7	87.1	91.3	≥75
动稳定度 (次/mm)	1092	1189	1375	≥1000

对比两者成型混合料数据可发现,改进加工工艺后的安山岩集料用于混合料时,混合料整体性能有很大提升,其中稳定度、流值均高于改进之前。

当采用相同 4.2%的油石比时,随着集料表面纹理的增大,集料间缝隙增大,矿料间隙率、空隙率均会增大,沥青饱和度也会降低,但此时表征高温稳定性的动稳定度已经提升 8.9%,表征水稳定性的冻融劈裂抗拉强度比已经提升 9.3%。

当改进后的安山岩集料采用最佳油石比时,对比改进工艺前的安山岩集料,由于表面纹理的增大,集料单位面积裹附的沥青增多,所以油石比增大;但空隙率及稳定度流值等一系列指标均获得提升,对比与改进加工工艺前的安山岩混合料,此时表征高温稳定性的动稳定度提升 25.9%,表征水稳定性的冻融劈裂抗拉强度比提升 14.5%。这验证了安山岩表面纹理指标的提升,同时也代表着安山岩集料可以应用于路面下面层。

3 小结

(1) 为研究酸性集料成型的混合料存在高温稳定性、水稳定性不足的原因,采用 AIMS 集料表观特性测试系统,全面测量安山岩集料表观特性指标,发现传统的集料加工方法会导致其表面纹理指数过低。

(2) 针对表面纹理指数不足,改进集料加工系统,最终得到一级颚破、改进关键参数后的二级反击破、三级冲击破的开式循环集料加工系统;保障针片状含量合格的同时,减少集料磨耗,提高集料表面纹理指数,使其沥青路面具有更好的路用性能。

(3) 针对部分酸性集料存在针片状含量高、粉尘含量高等问题, 导致其性能指标无法满足路用需求。如鄂咸的安山岩采用传统加工工艺针片状含量为 20%, 只可满足二级公路要求, 改进后针片状含量为 10%, 可满足高速公路及一级公路要求; 麻城的花岗片麻岩采用传统加工工艺粉尘含量为 3.6%, 无法满足路用要求, 改进后粉尘含量小于 1%, 满足高速公路及一级公路要求。

(4) 若按照本研究加工工艺制备碱性和中性集料, 与传统加工工艺相比没有明显提升, 且碱性和中性集料很少存在针片状含量高、粉尘含量高等问题, 故本研究不考虑碱性和中性集料。

### 三、技术应用情况

本项目制定的酸性集料加工工艺与质量控制体系已成功应用到多个沥青路面建设项目, 具体如下:

#### (1) 安山岩集料用于高速公路沥青面层技术研究项目

黄冈至咸宁的南北纵向通道中的鄂州至咸宁段, 路线全长 63.29 公里, 面层碎石需求量接近 80 万吨, 其中上面层约为 18 万吨, 中下面层约为 62 万吨。

鄂咸项目主要位于鄂州市梁子湖区, 附近无传统的、适用于沥青面层的石料资源(如石灰岩、辉绿岩、玄武岩等)。设计文件推荐可用于上面层的集料有京山鑫源工贸有限公司、红安县汉红石材有限公司生产的玄武岩, 运距分别为 300km、200km, 结合出厂价, 实际到场价分别为 220 元/吨、240 元/吨; 可用于中下面层的集料有咸宁的石灰岩, 运距为 100km 左右, 实际到场价为 110 元/吨。鄂咸项目三分部(K46+300) 30km 范围内可开采安山岩, 运距小、集料自加工成本低(约为 50 元/吨)。本着节约运距、降低费用的原则, 本研究将安山岩全部应用于沥青上中下面层, 相比于采用运距较远的碱性集料, 节约集料总费用约 7000 万元, 降低工程成本 63.6%。

#### (2) 花岗片麻岩集料在道路中的应用技术研究项目

湖北沪蓉高速麻城龟峰山连接线高速公路起点位于麻城市龟山镇, 终点位于麻城市龟山镇大桥边村, 全长 5.588 公里, 基层所需碎石 18 万多吨, 面层所需碎石 4 万多吨。

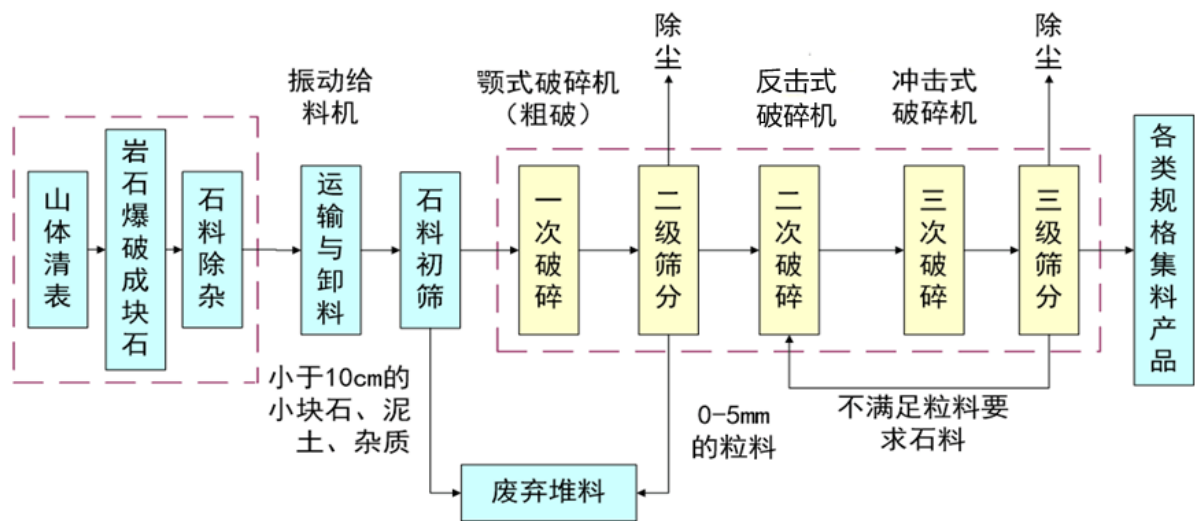
该项目沿途石灰岩、玄武岩等碱性优质石料资源匮乏, 而花岗岩类的酸性石料相当丰富。采用花岗片麻岩显著降低石料综合运距 40km, 花岗片麻岩购置成本较碱性集料每吨降低 30 元, 较玄武岩、辉绿岩每吨降低 60 元。本着节约运距、降低费用的原则, 本研究将花岗岩全部应用于沥青上中下面层, 相比于采用运距较远的碱性集料, 合计节省成本 785 万元。

#### (3) 基于表面能理论的酸性火成岩集料定向改性技术研究及其高性能沥青混凝土制备与应用研究项目

婺源县四好农村路县道升级改造设计—施工总承包项目由 19 个路段组成, 涉及婺源县 18 个乡镇、街道、工业园区, 65 个行政村。建设里程约 233.8 公里, 面层集料需求达 40 万吨。

项目沿途优质石料(石灰岩、玄武岩等)匮乏, 而花岗岩等酸性石料丰富, 本着建设绿色公路理念, 采用当地酸性火成岩用于沥青路面铺筑, 节约了建设成本, 缩短了工程周期, 实现就地取材, 综合节约运距 100 公里, 共节省石料运输成本近 4400 万元。

2.技术路线：  
集料加工生产的技术流程图如下图所示：



3. 标准比对：

本标准所属科学技术领域为道路工程，针对的主要科技问题是酸性集料加工工艺和质量控制标准。酸性集料的品质是决定酸性集料用于沥青路面的核心问题， 直接关系沥青面层的路用性能。

我国《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40-2005）中对粗集料的品质有详细要求，而酸性集料由于其本身的物理特性导致按照传统的加工工艺无法满足规范要求。因此本标准的编写有利于补充和完善现有《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40-2005）。

本标准的推广为酸性集料加工提供指导和控制方法。一方面将极大推动了工程当地石料资源的利用效率，显著缩短了集料运距，降低了工程运输车辆的油耗及尾气排放，促进了沥青路面的绿色建造。另一方面，避免了优质碱性石料过度开采造成的山体植被破坏，减少了环境污染，保护了绿水青山，有利促进了人与自然和谐共生、公路交通绿色发展的新生态。

4. 风险分析：

对于标准可能涉及的利益相关方及标准实施可能造成的影响与可能出现的重大事故等，现制定以下安全环保措施。

一、安全措施

1、建立健全安全保卫制度，落实治安、防火管理责任人；建立健全安全生产会议制度，定期召开安全生产会议，督促各分部对施工生产存在的安全隐患进行预防、整改。

2、夜间作业时需保证工地照明设备的完备。对夜间施工人员经常进行教育，提高夜间施工的安全意识，避免产生麻痹大意的思想。

3、集料破碎机在使用过程中发生故障时，必须停机、停电进行处理。

4、对工地所有机械系统进行定期安全检查，消除不安全的因素；各种机械设备均要制定安全技术操作流程，并认真检查落实情况；现场技术人员和机械操作人员必须按照仪器操作规程进行作业。

二、环保措施

1、集料的破碎会产生大量的扬尘和噪音，因此，应将系统的位置选择在距离办公室生活设施和居民区较远的地方，同时破碎筛分设备应尽量安放在山凹区域，避免扬尘和噪音扩散。

2、施工过程中产生的废水应按有关要求进行处理，不得直接排入农田、河流和渠道，应经检测符合环保标准后再进行排放。

3、集料生产场地应避免对耕地和林木的破坏，避免水土流失，保护生态平衡。

4、施工区域和石料存放区在施工期间或完工后应妥善处理，以减少对河流、溪流的侵蚀，防止沉渣进入河道。

5、加强环保教育，强化环保管理，宣传有关环保政策、知识，强化职工的环保意识，使保护环境成为参建职工的自觉行为。

5.宣贯实施计划：

一、编制目的

我国现阶段的石料选取过多偏重于以往的工程经验，普遍认为酸性集料与沥青的黏附性能不佳，这直接导致了当前沥青路面石料选取利用存在着“优碱弱酸”、“放弃本地石料远运优质碱性石料”等现象，进一步导致材料运距增加，工程造价增大与本地石料利用率低等问题。

从物理性质角度考虑，酸性集料是具有石质坚硬、强度高、耐磨性好等特点的优良的路面建筑材料，从集料与沥青的黏附性能考虑，优化加工工艺改善酸性集料的表观特性对改善黏附性能尤为重要。但如果按照传统工艺加工酸性集料，就会导致生产效率低，针片状含量高，容易成粉等现象的发生。因此，针对国内外一直没有针对酸性集料的加工工艺建立行业标准或规范的情况，本标准的提出是为了制定一整套标准化的酸性集料加工工艺和质量控制方法，提高资源利用效率，响应生态文明发展，创造显著经济效应。



## 二、编制过程

本标准由武汉理工大学牵头，联合湖北省交通投资集团有限公司、湖北长江路桥有限公司与武汉工程咨询部有限公司组建编制小组。本标准于 2014 年-2018 年开展标准相关试验操作工作；2019 年开始标准学习；2020 年开始撰写标准，并于 2021 年 1 月完成标准编写工作，之后对标准进行了申报、修改及征求意见的工作，现准备进行技术审查阶段。

## 三、宣贯实施计划

### 1) 积极参加宣贯培训班

积极参加政府组织的宣贯培训班，学习如何制定宣贯实施计划，宣贯流程的培训以及可能出现的问题。

### 2) 加大宣传教育力度，扩大社会影响

充分利用网络、电视、报刊等新闻媒体和宣传栏目等方式，大力宣传表面能理论在道路工程行业中的先进性和重要性，推动本标准的实施。

### 3) 积极开展标准解读宣贯培训

为有效贯彻本标准的实施，应积极开展标准解读宣贯培训活动，明确本标准的名称及实施时间、与上位标准和其他标准的对比、现场模拟操作等流程，使相关人员充分了解标准内容和用途，以满足实际工程需要。

### 4) 对试验人员开展操作培训

严格按照本标准提出的试验方法开展酸性集料加工过程，对试验人员进行理论学习和操作培训，保证操作的准确性。

## 6.专家组：

(标准主要编制研制人员、职责分工等情况，包括姓名、单位、职称职务、专业、联系方式等)

- (1) 罗蓉；工作单位：武汉理工大学；职称：教授；全面负责本标准方案的制订与实施。
- (2) 张世飏；工作单位：湖北交通投资集团有限公司；职称：总工程师；全面负责本标准方案的制订与实施。
- (3) 黄婷婷；工作单位：武汉理工大学；职称：讲师；全面负责本标准的试验进度规划与开展。

- (4) 王丽静；工作单位：湖北交投建设集团有限公司；职称：高级工程师；全面负责本标准方案的制订与实施。
- (5) 陈彧；工作单位：武汉理工大学；职称：讲师；全面负责本标准的试验进度规划与开展。
- (6) 冯光乐；工作单位：武汉市工程咨询部有限公司；职称：教授级高工；全面负责本标准方案的制订与实施。
- (7) 李晓东；工作单位：湖北长江路桥有限公司；职称：高级工程师；全面负责本标准方案的制订与实施。
- (8) 樊向阳；为项目执行期内武汉理工大学博士研究生；主要负责协助试验研究并撰写标准申请材料。
- (9) 廖梦回；为项目执行期内武汉理工大学博士研究生；主要负责协助试验研究并撰写标准申请材料。
- (10) 倪志军；工作单位：湖北长江路桥有限公司；职称：高级工程师；全面负责本标准方案的制订与实施。
- (11) 苗强；为项目执行期内武汉理工大学硕士研究生；主要负责协助试验研究并撰写标准申请材料。
- (12) 刘青海；工作单位：湖北交投建设集团有限公司；职称：高级工程师；全面负责本标准方案的制订与实施。
- (13) 付岗武；工作单位：湖北交投建设集团有限公司；职称：工程师；全面负责本标准方案的制订与实施。
- (14) 李振纲；为项目执行期内武汉理工大学硕士研究生；主要负责协助试验研究并撰写标准申请材料。
- (15) 马浩瑀；为项目执行期内武汉理工大学硕士研究生；主要负责协助试验研究并撰写标准申请材料。

--

注：此表可根据内容多少调整格式，填写时删除斜体的填写说明。