

《普通磨料 振实密度测定方法》

编制说明

（征求意见稿）

一、工作简况

1. 任务来源

本项目是根据工业和信息化部行业标准制修订计划（工信厅科函〔2024〕503号），计划号2024-1938T-JB，项目名称“普通磨料 振实密度测定方法”进行制定。本项目归口单位为全国磨料磨具标准化技术委员会，主要起草单位为郑州磨料磨具磨削研究所有限公司等，项目周期12个月，为基础通用项目。

2. 主要工作过程

起草阶段：接到计划后，根据工作需要成立了标准起草工作组。工作组成立后，对制定工作的具体问题进行了研究、协商，确定了工作方案、人员分工和时间进度。工作组在工作过程中广泛收集、分析国内外相关技术文献和资料，同时对已采用普通磨料振实密度测定方法的部分生产企业进行了调研，确定了结合我国磨料磨具行业的特点和现状，力争做到科学、合理、适用作为起草本标准的指导思想。工作组还收集了具有代表性的国内多家企业的样品，进行了数百次的试验，积累了大量的试验数据，并对试验数据进行了科学的统计、分析、处理。在此基础上进行了标准的起草工作，于2025年6月形成了工作组讨论稿。之后工作组内部经过多次讨论，对标准草案进一步修改完善后形成了标准征求意见稿，并经工作组组长审核后报标委会秘书处。

3. 主要参加单位和工作组成员及其所做的工作

本标准由郑州磨料磨具磨削研究所有限公司、新郑市宝德高技术有限公司、山西太岳磨料有限公司、中国机械工业国际合作有限公司、河南蚂蚁新材料有限公司共同负责起草。

工作组成员：彭振宇、徐明艳、高增禄、宋心愿、张良、夏学锋、赵振刚、余佳音、常艳。

所做的工作：彭振宇任工作组组长，全面协调标准的起草工作；徐明艳负责标准的具体起草工作，并对各方的意见和建议进行归纳和分析；张良负责各阶段标准的审核工作；彭振宇还与夏学锋一起负责资料收集和行业调查工作；高增禄、宋心愿、赵振刚负责对标准的技术内容进行研究分析；余佳音、常艳负责试验验证和数据的整理工作。

二、标准编制原则和主要内容

1. 标准编制原则

本标准的制定工作遵循“面向市场、服务产业、自主制定、适时推出”的原则。标准内容以国内外通用测定方法为基础，结合普通磨料产业的实际情况而制定，既要保证测试的准确性，又要充分考虑测试的效率和普适性，做到技术上先进、经济上合理。

本标准按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》和GB/T 20001.4-2015《标准编写规则 第4部分：试验方法标准》的规定起草。

2. 标准主要内容

本标准描述了普通磨料振实密度的测定方法。

本标准适用于 F24（P24）及以细粒度普通磨料振实密度的测定活动。

（1）术语和定义

在 GB/T 16458《磨料磨具术语》中对普通磨料振实密度没有相关的解释。

振实密度是粉末、颗粒经振实后单位容积的质量，用于评估粉末、颗粒的堆积特性及质量控制。其测量通过特定振动程序实现，受颗粒形状、粒度、尺寸分布及含水率等因素影响。

振实密度是粉末、颗粒在振动等外力作用下达到极限堆积状态时的密度，作为粉末、颗粒的重要参数，其值直接关联颗粒的微观特性（如尺寸、形貌、分布均匀性）及宏观性质（如流动性与压缩性）。该参数常用于工业生产中优化工艺条件，如压缩和填充性能评估。

通过查阅资料可以发现，国内外曾经出现过多种关于粉末“振实密度”的测量方法，也有相应的国际标准 ISO 3953:2011，但是这个标准过于“通用”，以至于各行各业分别制定本行业的振实密度测定方法标准。国内的情况也是如此，2008 年国内发布了 GB/T 21354-2008《粉末产品 振实密度测定通用方法》，冶金、医药、化工等行业也相继发布了本行业的方法标准，最有影响的是 GB/T 5162-2021《金属粉末 振实密度的测定》，磨料磨具行业目前没有最适合本行业特点的方法标准。

不同的测量方法其测量结果是不同的，同一种测量方法其试验条件不同，测量结果也没有对比性。经过行业多年的应用实践，一些测量方法被淘汰，绝大多数（95%以上）企业目前采用的都是本标准所采纳的方法。鉴于此，本标准将振实密度（Tap density）定义为“在规定条件下，磨料在特定容器中经振动后所测得的单位容积的质量”。振实密度测量所获得的直接数据是一个密度，本标准采用法定计量单位“克每立方厘米（ g/cm^3 ）”。

测量过程中，测试管通过凸轮驱动支座上下振动，经过几千次（每分钟振动 250）的振动，使颗粒充分重排。数值越大表明颗粒堆积越紧密。

磨料的振实密度与其性能关联：

1) 切削效率

高振实密度磨料（如 $2.2\text{ g/cm}^3\sim 2.5\text{ g/cm}^3$ ）颗粒堆积紧密，切削刃分布均匀，材料去除率提升15%~20%（实测数据）。

2) 使用寿命

振实密度 $\geq 2.0\text{ g/cm}^3$ 的刚玉磨具，磨损速率降低30%(GB/T 9258.3-2017 验证)。

3) 表面质量

密度 $1.8\text{ g/cm}^3\sim 2.0\text{ g/cm}^3$ 的碳化硅磨料，工件表面粗糙度 $Ra\leq 0.4\text{ }\mu\text{m}$ （ISO 6104:2005标准测试）。

(2) 标准的适用范围

本标准规定的适用范围是“粒度为 F24（P24）及以细普通磨料”，这是基于以下原因：

1) 试验表明磨料的振实密度主要与以下因素有关：

a. 颗粒形貌：球形颗粒因接触面光滑，振动后易紧密排列，振实密度较高；不规则颗粒（如片状、针状）因相互嵌合困难，堆积松散，密度偏低。

b. 粒度分布：宽粒度分布的粉末中，小颗粒可填充大颗粒间隙，提升堆积效率；单一粒径粉末因空隙率较高，振实密度通常较低。

c. 含水率：水分会通过毛细力增强颗粒间黏附，抑制颗粒重排，导致振实密度异常升高或降低（视含水量与颗粒润湿性而定）。

d. 振动条件：振动频率不足或时间过短会导致颗粒未充分重排，测量

值低于真实值；过度振动可能引起颗粒破碎，改变原始特性。

2) 当粒度大于 F24 (P24) 时，颗粒尺寸比较大，属于毫米级别。观察测试管中磨料的上表面比较困难，极易出现错误，实验误差偏大，实验结果超差。因此规定本标准不适用于 F24 (P24) 以粗的磨料。

3) 各种磨料的振实密度见表 2 至表 5。

4) 本标准适用的普通磨料包括各类刚玉、碳化硅磨料。

(3) 对试验设备的规定

1) 郑州磨料磨具磨削研究所是行业最早开展普通磨料振实密度研究的单位，行业目前所采用的普通磨料振实密度测定仪，大约有 90% 以上为该单位制造。市场上的各种振实密度测定仪，原理大同小异，只是参数各不相同。

不同的仪器参数用于测量不同类型的粉末。本标准没有规定试验设备的型号，是基于避免产生排他性的引导，各企业可根据自己的检测要求选择合适的设备。

2) 本标准对试验装置的技术要求来源于现行仪器的技术参数，现行仪器的通用参数是：振动幅度 $3\text{ mm} \pm 0.1\text{ mm}$ ，振动频率可以控制在 250 ± 5 次/分钟。

3) 测量筒的选择对测量结果有比较大的影响。标准规定采用 1 号和 2 号测量筒，并对 1、2 号测量筒的技术要求进行了规定。这些规定符合 GB/T 12804 《实验室玻璃仪器 量筒》的规定，而且易于获得。

(4) 对试样制备的规定

标准规定：试样的抽取和缩分按 GB/T 4676 的规定进行。这样做的目的是为了确保样品的代表性。

标准规定：待测试样应干燥。干燥方法为：将待测试样置于烘箱中，于（110±5）℃下干燥1 h，取出，放入干燥器中，冷却至室温。这是因为水分会通过毛细力增强颗粒间黏附，抑制颗粒重排，导致振实密度异常升高或降低，从而影响到测量的精度。

（5）对试验步骤的规定

1）本标准规定的测定步骤与方法来源于振实密度测定仪的使用说明，不同型号、不同参数的仪器，在该部分的说明都是基本相同的。

2）本标准规定需要振动 3000 次，这个规定比 ISO 3953:2011（振动次数 5000 次）和标准 GB/T 5162-2021（振动次数 5000 次）都要少一些。实验表明这个变动对普通磨料是合理的，不仅没有显著降低测量精度，而且大幅度提高了检测效率。不同磨料粒度与振动次数之间的关系见表 7。

（6）对数据处理的规定

本标准对数据处理的规定源于振实密度测定仪的使用说明，而振实密度测定仪对数据处理的规定源于 ISO 3953:2011、GB/T 5162-2021，该种数据处理方法在行业沿用已久，为了保持数据积累的连续性、一致性，本标准在此没做修改。

表 1 不同振实密度测定方法标准对比

| 现行版本 | ISO 3953:2011 | ASTM B527-23 | GB/T 5162-2021 | 本标准 |
|------|---------------|---------------------------|----------------|-------------|
| 振动频率 | 250±15 次/分钟 | 300 次/分钟， | 250±15 次/分钟 | 250±15 次/分钟 |
| 振幅 | 3±0.1mm | 1.6mm | 3±0.1mm | 3±0.1mm |
| 振动次数 | 5000 次 | 1000 次 | 5000 次 | 3000 次 |
| 适用材料 | 金属、陶瓷等精细粉末。 | 更偏向工业快速检测，数据一致性要求较低。效率优先。 | 金属、陶瓷等精细粉末。 | 普通磨料 |

| | | | | |
|---|--------------------------|-------------------|------------------------|------------|
| 重复性限：极差 | $\leq 2\%$ | $\leq 5\%$ | | $\leq 2\%$ |
| 再现性限 | --- | $\pm 5\%$ | --- | --- |
| 修订动态 | 2023 年启动技术审查，重点关注纳米材料适应性 | 新增工业 3D 打印粉末的测试附录 | 明确振动频率容差 ± 10 次/分钟 | 初次制定 |
| 说明：常规磨料振实密度典型值 $1.2 \sim 2.5 \text{g/cm}^3$ 。 | | | | |

3. 解决的主要问题

本标准为首次制定，填补了普通磨料振实密度测定方法标准的空白，解决了行业当前在普通磨料振实密度测定方法上无统一标准可循的问题，为磨料产品质量的控制、以及磨料产品的合理选择和使用提供了重要的技术依据。

三、主要试验（或验证）情况分析

1. 主要技术指标确定的依据

本标准主要技术指标确定的依据详见第二章。

2. 制定后验证的情况

（1）磨料振实密度测量结果与分析

1) 为了验证测量过程及磨料的振实密度变化规律，设计了这组试验。试验样品由 5 家磨料磨具企业提供。其中棕刚玉及微粉有 27 个样品，白刚玉及微粉有 27 个样品，棕刚玉高温煅烧磨料有 11 个样品，绿碳化硅微粉有 9 个样品。

2) 每个样品按照本标准规定的方法获得 3 个有效测量数据，取其算术平均值为测量结果，计算测量结果的极差和标准偏差、精度、相对误差。计算测量精度时置信因子取 1.96（对应的置信度为 95%）。

3) 检测结果及数据处理情况见下表。

计算方法:

每一个样品获得 3 个测量数据 R_1 、 R_2 、 R_3 。

平均值 $X = (R_1 + R_2 + R_3) / 3$;

极差 $= R_{\max} - R_{\min}$;

标准偏差 $\sigma M = \text{极差} / dn$ (当 $n=3$ 时, $dn=1.69$) ;

精度 $\beta M = 1.96 \cdot \sigma M$ (对应的置信度 95%) ;

相对误差 $CV = (\beta M / X) \times 100$ 。

表 2 磨料振实密度测量结果与分析 A

| 试验材料 | | F 系列棕刚玉磨料测试结果 | | | | | | | |
|-------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|-----------------|------------|-----------|----------|
| | | 测量 结果 1 | 测量 结果 2 | 测量 结果 3 | —— 平均值 | 极差 | 标准 偏差 | 精度 | 相对 误差 |
| 种 类 | 粒度 (#) | g/cm^3 | g/cm^3 | g/cm^3 | X | g/cm^3 | σM | βM | CV |
| 棕 刚 玉 | 14 | 2.132 | 2.182 | 2.143 | 2.152 | 0.050 | 0.030 | 0.058 | 0.027 |
| | 22 | 2.248 | 2.205 | 2.192 | 2.215 | 0.056 | 0.033 | 0.065 | 0.029 |
| | 24 | 2.245 | 2.234 | 2.265 | 2.248 | 0.031 | 0.018 | 0.036 | 0.016 |
| | 36 | 2.266 | 2.275 | 2.243 | 2.261 | 0.032 | 0.019 | 0.037 | 0.016 |
| | 46 | 2.274 | 2.294 | 2.265 | 2.278 | 0.029 | 0.017 | 0.034 | 0.015 |
| | 54 | 2.280 | 2.262 | 2.240 | 2.261 | 0.022 | 0.013 | 0.026 | 0.011 |
| | 60 | 2.233 | 2.263 | 2.271 | 2.256 | 0.038 | 0.022 | 0.044 | 0.020 |
| | 70 | 2.198 | 2.220 | 2.224 | 2.214 | 0.026 | 0.015 | 0.030 | 0.014 |
| | 80 | 2.205 | 2.168 | 2.182 | 2.185 | 0.037 | 0.022 | 0.043 | 0.020 |
| | 90 | 2.136 | 2.122 | 2.105 | 2.121 | 0.014 | 0.008 | 0.016 | 0.008 |
| | 100 | 2.095 | 2.088 | 2.120 | 2.101 | 0.032 | 0.019 | 0.037 | 0.018 |
| | 120 | 2.088 | 2.108 | 2.081 | 2.092 | 0.027 | 0.016 | 0.031 | 0.015 |
| | 150 | 2.091 | 2.088 | 2.068 | 2.082 | 0.023 | 0.014 | 0.027 | 0.013 |
| | 220 | 2.076 | 2.058 | 2.064 | 2.066 | 0.012 | 0.007 | 0.014 | 0.007 |
| | 240 | 2.130 | 2.165 | 2.165 | 2.153 | 0.035 | 0.021 | 0.041 | 0.019 |
| | 280 | 2.124 | 2.107 | 2.139 | 2.123 | 0.015 | 0.009 | 0.017 | 0.008 |
| | 320 | 2.066 | 2.077 | 2.092 | 2.078 | 0.026 | 0.015 | 0.030 | 0.015 |
| | 360 | 2.053 | 2.075 | 2.078 | 2.069 | 0.025 | 0.015 | 0.029 | 0.014 |
| | 400 | 2.043 | 2.061 | 2.064 | 2.056 | 0.021 | 0.012 | 0.024 | 0.012 |
| | 500 | 2.067 | 2.038 | 2.047 | 2.051 | 0.029 | 0.017 | 0.034 | 0.016 |
| | 600 | 2.043 | 2.062 | 2.038 | 2.048 | 0.024 | 0.014 | 0.028 | 0.014 |
| | 700 | 2.026 | 2.049 | 2.056 | 2.044 | 0.030 | 0.018 | 0.035 | 0.017 |
| | 800 | 2.002 | 2.002 | 1.972 | 1.992 | 0.030 | 0.018 | 0.035 | 0.017 |

| | | | | | | | | | |
|--|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1000 | 1.860 | 1.857 | 1.836 | 1.851 | 0.024 | 0.014 | 0.028 | 0.015 |
| | 1200 | 1.852 | 1.805 | 1.832 | 1.830 | 0.020 | 0.012 | 0.023 | 0.013 |
| | 1500 | 1.738 | 1.761 | 1.748 | 1.749 | 0.023 | 0.014 | 0.027 | 0.015 |
| | 2000 | 1.627 | 1.622 | 1.627 | 1.625 | 0.005 | 0.003 | 0.006 | 0.004 |

表 3 磨料振实密度测量结果与分析 B

| 试验材料 | | F 系列白刚玉磨料测试结果 | | | | | | | |
|-------------|------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|-------|-------|-------|
| | | 测量结果 1 | 测量结果 2 | 测量结果 3 | —— 平均值 | 极差 | 标准偏差 | 精度 | 相对误差 |
| | | g/cm ³ | g/cm ³ | g/cm ³ | X | g/cm ³ | σM | βM | CV |
| 白 刚 玉 | 14 | 2.058 | 2.108 | 2.081 | 2.082 | 0.050 | 0.030 | 0.058 | 0.028 |
| | 20 | 2.108 | 2.148 | 2.115 | 2.124 | 0.040 | 0.024 | 0.046 | 0.022 |
| | 24 | 2.209 | 2.243 | 2.225 | 2.226 | 0.034 | 0.020 | 0.039 | 0.018 |
| | 36 | 2.225 | 2.206 | 2.202 | 2.211 | 0.023 | 0.014 | 0.027 | 0.012 |
| | 46 | 2.191 | 2.208 | 2.172 | 2.190 | 0.036 | 0.021 | 0.042 | 0.019 |
| | 54 | 2.193 | 2.184 | 2.165 | 2.181 | 0.019 | 0.011 | 0.022 | 0.010 |
| | 60 | 2.166 | 2.171 | 2.178 | 2.172 | 0.012 | 0.007 | 0.014 | 0.006 |
| | 70 | 2.144 | 2.116 | 2.115 | 2.125 | 0.029 | 0.017 | 0.034 | 0.016 |
| | 80 | 2.128 | 2.114 | 2.095 | 2.112 | 0.033 | 0.020 | 0.038 | 0.018 |
| | 90 | 2.092 | 2.118 | 2.094 | 2.101 | 0.026 | 0.015 | 0.030 | 0.014 |
| | 100 | 2.094 | 2.090 | 2.068 | 2.084 | 0.026 | 0.015 | 0.030 | 0.014 |
| | 120 | 2.055 | 2.082 | 2.066 | 2.068 | 0.027 | 0.016 | 0.031 | 0.015 |
| | 150 | 2.053 | 2.058 | 2.041 | 2.051 | 0.017 | 0.010 | 0.020 | 0.010 |
| | 220 | 2.038 | 2.035 | 2.059 | 2.044 | 0.024 | 0.014 | 0.028 | 0.014 |
| | 240 | 2.260 | 2.262 | 2.286 | 2.269 | 0.026 | 0.015 | 0.030 | 0.013 |
| | 280 | 2.222 | 2.250 | 2.239 | 2.237 | 0.028 | 0.017 | 0.032 | 0.015 |
| | 320 | 2.149 | 2.172 | 2.152 | 2.158 | 0.023 | 0.014 | 0.027 | 0.012 |
| | 360 | 2.121 | 2.116 | 2.145 | 2.127 | 0.029 | 0.017 | 0.034 | 0.016 |
| | 400 | 2.107 | 2.086 | 2.110 | 2.101 | 0.024 | 0.014 | 0.028 | 0.013 |
| | 500 | 2.084 | 2.071 | 2.078 | 2.078 | 0.013 | 0.008 | 0.015 | 0.007 |
| | 600 | 2.047 | 2.043 | 2.063 | 2.051 | 0.020 | 0.012 | 0.023 | 0.011 |
| | 700 | 2.049 | 2.043 | 2.060 | 2.051 | 0.017 | 0.010 | 0.020 | 0.010 |
| | 800 | 2.038 | 2.034 | 2.060 | 2.044 | 0.026 | 0.015 | 0.030 | 0.015 |
| | 1000 | 2.018 | 2.013 | 2.045 | 2.025 | 0.032 | 0.019 | 0.037 | 0.018 |
| | 1200 | 1.843 | 1.848 | 1.835 | 1.842 | 0.005 | 0.003 | 0.006 | 0.003 |
| | 1500 | 1.785 | 1.784 | 1.758 | 1.776 | 0.027 | 0.016 | 0.031 | 0.018 |
| | 2000 | 1.638 | 1.660 | 1.635 | 1.644 | 0.025 | 0.015 | 0.029 | 0.018 |

表 4 磨料振实密度测量结果与分析 C

| 试验材料 | | 棕刚玉高温煅烧磨料测试结果 | | | | | | | |
|------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|------|----|------|
| | | 测量结果 1 | 测量结果 2 | 测量结果 3 | —— 平均值 | 极差 | 标准偏差 | 精度 | 相对误差 |
| | | g/cm ³ | g/cm ³ | g/cm ³ | X | g/cm ³ | σM | βM | CV |
| 种类 | 粒度 (#) | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|-----------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 高温 煅烧 棕刚玉 | 24 | 2.213 | 2.198 | 2.192 | 2.201 | 0.021 | 0.012 | 0.024 | 0.011 |
| | 36 | 2.157 | 2.184 | 2.180 | 2.174 | 0.027 | 0.016 | 0.031 | 0.014 |
| | 46 | 2.166 | 2.173 | 2.151 | 2.163 | 0.015 | 0.009 | 0.017 | 0.008 |
| | 54 | 2.146 | 2.144 | 2.178 | 2.156 | 0.034 | 0.020 | 0.039 | 0.018 |
| | 60 | 2.158 | 2.127 | 2.133 | 2.139 | 0.031 | 0.018 | 0.036 | 0.017 |
| | 70 | 2.010 | 2.022 | 2.028 | 2.020 | 0.018 | 0.011 | 0.021 | 0.010 |
| | 80 | 2.002 | 2.012 | 2.035 | 2.016 | 0.033 | 0.020 | 0.038 | 0.019 |
| | 90 | 2.021 | 2.034 | 2.041 | 2.032 | 0.020 | 0.012 | 0.023 | 0.011 |
| | 100 | 2.056 | 2.042 | 2.038 | 2.045 | 0.018 | 0.011 | 0.021 | 0.010 |
| | 150 | 2.062 | 2.056 | 2.077 | 2.065 | 0.021 | 0.012 | 0.024 | 0.012 |
| | 220 | 2.091 | 2.087 | 2.065 | 2.081 | 0.026 | 0.015 | 0.030 | 0.014 |

表 5 磨料振实密度测量结果与分析 D

| 试验材料 | | 绿碳化硅微粉测试结果 | | | | | | | |
|----------------------------|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------|-------|
| | | 测量结果 1 | 测量结果 2 | 测量结果 3 | 平均值 | 极差 | 标准偏差 | 精度 | 相对误差 |
| | | g/cm ³ | g/cm ³ | g/cm ³ | X | g/cm ³ | σM | βM | CV |
| 绿 碳 化 硅 微 粉 | 280 | 1.803 | 1.806 | 1.815 | 1.808 | 0.009 | 0.005 | 0.010 | 0.006 |
| | 320 | 1.779 | 1.786 | 1.779 | 1.781 | 0.007 | 0.004 | 0.008 | 0.005 |
| | 360 | 1.761 | 1.767 | 1.778 | 1.769 | 0.017 | 0.010 | 0.020 | 0.011 |
| | 400 | 1.766 | 1.753 | 1.772 | 1.764 | 0.019 | 0.011 | 0.022 | 0.012 |
| | 500 | 1.774 | 1.752 | 1.751 | 1.759 | 0.023 | 0.014 | 0.027 | 0.015 |
| | 600 | 1.715 | 1.750 | 1.701 | 1.722 | 0.049 | 0.029 | 0.057 | 0.033 |
| | 700 | 1.613 | 1.697 | 1.777 | 1.696 | 0.164 | 0.097 | 0.190 | 0.112 |
| | 800 | 1.695 | 1.673 | 1.693 | 1.687 | 0.022 | 0.013 | 0.026 | 0.015 |
| | 1000 | 1.657 | 1.686 | 1.672 | 1.672 | 0.014 | 0.008 | 0.016 | 0.010 |

(2) 磨料振实密度测量误差验证与分析

1) 为了评估与验证磨料振实密度测量误差，设计了这组试验。试验样品由 5 家磨料磨具企业提供。其中粗磨粒以 60#为代表号、中间粒度以 320#为代表号、细粒度以 1000 号为代表号。

2) 每个样品按照本标准规定的方法获得 10 个有效测量数据，取其算术平均值为测量结果，计算测量结果的标准偏差、精度、相对误差。计算测量精度时置信因子取 1.96（对应的置信度为 95%）。

3) 检测结果及数据处理情况见下表 6。

计算方法：

每一个样品获得 10 个测量数据 R_1 、 R_2 …… R_9 、 R_{10} 。

平均值 $X = (R_1 + R_2 + \dots + R_9 + R_{10}) / 10$ ；

残差 $= R_i - X$ ；

标准偏差 $\sigma_M = \sqrt{\sum (R_i - X)^2 / n}$ ；

精度 $\beta_M = 1.96 \cdot \sigma_M$ （对应的置信度 95%）；

相对误差 $CV = (\beta_M / X) \times 100$ 。

表 6 磨料振实密度测量误差验证与分析

| 材料 | | 棕刚玉 60# | 棕刚玉 320# | 棕刚玉 1000# | 白刚玉 60# | 白刚玉 320# | 白刚玉 1000# | 绿碳 320# | 绿碳 1000# |
|-----------------|----|------------|-------------|--------------|------------|-------------|--------------|------------|-------------|
| 测量 结果 | 1 | 2.233 | 2.066 | 1.860 | 2.225 | 2.149 | 2.018 | 1.779 | 1.653 |
| | 2 | 2.263 | 2.077 | 1.857 | 2.206 | 2.172 | 2.013 | 1.786 | 1.686 |
| | 3 | 2.271 | 2.092 | 1.836 | 2.202 | 2.152 | 2.045 | 1.779 | 1.677 |
| | 4 | 2.252 | 2.083 | 1.842 | 2.215 | 2.166 | 2.043 | 1.770 | 1.655 |
| | 5 | 2.265 | 2.085 | 1.864 | 2.211 | 2.174 | 2.008 | 1.758 | 1.686 |
| | 6 | 2.248 | 2.066 | 1.855 | 2.204 | 2.163 | 2.015 | 1.762 | 1.679 |
| | 7 | 2.241 | 2.071 | 1.853 | 2.210 | 2.152 | 2.036 | 1.773 | 1.650 |
| | 8 | 2.262 | 2.084 | 1.833 | 2.212 | 2.158 | 2.012 | 1.780 | 1.685 |
| | 9 | 2.266 | 2.082 | 1.848 | 2.216 | 2.161 | 2.033 | 1.757 | 1.652 |
| | 10 | 2.226 | 2.075 | 1.862 | 2.208 | 2.170 | 2.042 | 1.760 | 1.682 |
| 累计值 | | 22.527 | 20.781 | 18.510 | 22.109 | 21.617 | 20.265 | 17.704 | 16.705 |
| 平均值 | | 2.253 | 2.078 | 1.851 | 2.211 | 2.162 | 2.027 | 1.770 | 1.671 |
| 标准偏差 σ_M | | 0.0146 | 0.0082 | 0.0103 | 0.0063 | 0.0084 | 0.0139 | 0.0100 | 0.0150 |
| 精度 β_M | | 0.0285 | 0.0160 | 0.0202 | 0.0124 | 0.0165 | 0.0272 | 0.0196 | 0.0294 |
| 相对误差 CV | | 1.1721 | 0.7715 | 1.0933 | 0.6722 | 0.8929 | 1.4707 | 1.0610 | 1.5880 |

（3）振动次数与磨料振实密度之间的关系与分析

1）本标准规定一般情况下振动次数为 3000 次。为了验证这一规定的科学性，也为了评估振动次数与磨料振实密度之间的关系，设计了这组试验。试验样品由 5 家磨料磨具企业提供。其中粗磨粒以 60#为代表号、中间粒度以 320#为代表号、细粒度以 1000 号为代表号。

2) 振动次数以 1000 次起步, 按照每个台阶 500 次累进升高, 最高升至 6000 次, 每个样品获得 11 个测量数据, 将这项测量数据绘制成曲线。就可以反映出测量结果与振动次数的关系。

3) 检测结果及数据处理情况见图 1。

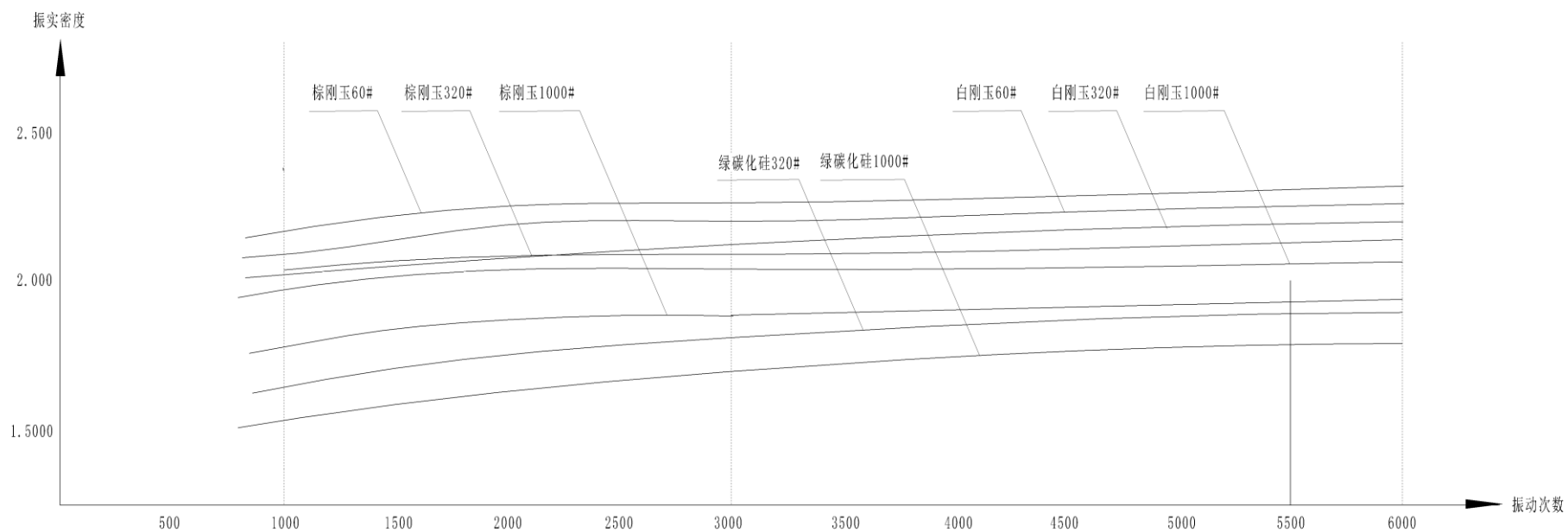


图 1 振动次数与磨料振实密度之间的关系与分析

4) 从上图中可以看出：振实密度的测量结果随振动次数的增加而逐渐增加，并趋于稳定；数据变化比较平稳，基本在 $\pm 1\%$ 之内，继续增加次数意义不大。振动次数从 1000 次到 3000 次时，振实密度变化可能超过 2%。

5) 结论：对检测的精度、成本、速度进行综合考虑，本标准对振动测试的要求是科学、合理、实用的。

通过上述验证与分析，可证明本标准验证数据真实可靠，所描述的测定方法科学可行，可以切实指导普通磨料振实密度的测定工作。

四、本标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利问题。

五、预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

振实密度是指把被测对象装填在特定容器后，对容器进行振动，从而破坏被测对象个体间的空隙，使之处于紧密填充状态后的密度。振实密度是普通磨料的重要技术参数，与磨料的颗粒形状、比表面积、结晶状况、自锐性、磨削效果有着直接的关联，也是磨具配方设计的重要依据，该项检测技术对普通磨料产品的质量控制在合理利用有着重要的、不可替代的作用。从近几年行业技术进步的需求和贸易出口来看，振实密度的测定已成为行业急需规范的检测技术。

本标准通过对振实密度测定仪及测量筒的技术参数、试样制备、试样量、振动次数等要求及数据处理方式进行规范，充分保证了普通磨料振实密度测试方法的统一和测试结果的准确可靠。其中对试样量和振动次数的规定，兼顾了测试的精度、效率和成本，保证了方法的普适性。

本标准的制定，为普通磨料振实密度的测定提供了科学、合理的技术依据，提高了测试结果的一致性、可靠性，为普通磨料的贸易和技术交流

提供了便利，指导产业在普通磨料的生产和应用上进行创新，持续提高磨料的性能和技术水平，促进产业优化升级。

六、与国际、国外对比情况

本标准起草过程中查阅了同类国际、国外标准，并作为参考资料，因为同类国际、国外标准没有涵盖普通磨料的振实密度检测，故没有采标。

本标准起草过程中未测试国外的样品。

本标准水平为国内先进水平。

七、在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章和相关标准，特别是强制性标准的协调性

本专业领域标准体系框图见附图。

本标准属于磨料磨具标准体系“普通磨料”小类。

本标准与现行相关法律、法规、规章及相关标准协调一致。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准在制定过程中无重大分歧意见。

九、标准性质的建议说明

建议本标准为推荐性行业标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议

建议本标准批准发布六个月后实施。实施前由全国磨料磨具标准化技术委员会利用网站、公众号和微信群等信息化平台向行业和社会进行宣传和讲解，企业可根据本标准修改自己的企业标准或技术文件。

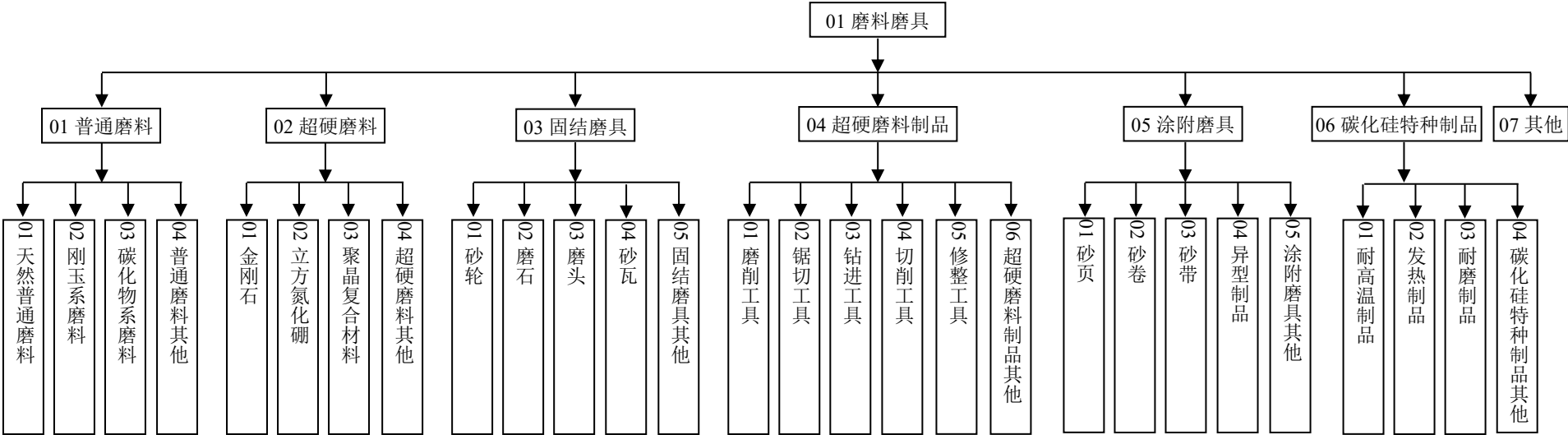
十一、废止现行相关标准的建议

无。

十二、其它应予说明的事项

无。

附图



磨料磨具专业领域标准体系框架图