



实验报告

姓名: 黄德勇

学号: 22202331940132

专业班级: 材料物理03班成绩:

实验课程	材料科学基础实验B		
实验名称	球磨法制备粉体材料		
实验时间	2024年9月28日下午 17:50	实验地点	麦田村实验室

一、实验预习

1. 实验目的

本次实验旨在通过实际操作,使学生深入理解和掌握长体材料的制备核心技术以及表征方法:

1. 理解球磨法制粉的基本原理和机制: 通过实验深入学习颗粒在球磨过程中受到冲击、研磨和剪切作用而细化过程,掌握滚筒球磨机和行星球磨机的规范操作办法。

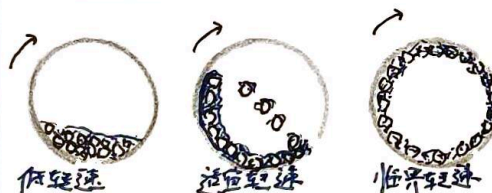
2. 比较不同球磨方式的制粉效果与效率: 通过对比分析传统滚筒球磨和行星球磨在相同条件下(例: 球料比,研磨时间,转速)下对如氧化亚铜粉末的制粉率效果,直观体会行星球磨在制备超微粉体方面的优势和效率。

3. 掌握粉末粒径的基本表征方法: 学习并熟练运用筛分法对所制备的粉末的粒径分布进行测量和分析,为后续的粉体性能和材料制备奠定基础。

通过本次实验,期望学生能够熟练掌握球磨制粉的基本技能,更能将其与材料科学中的粉末冶金与纳米材料制备等前沿课题结合起来,理解粉体特性对材料最终的关键影响。

2) 2物

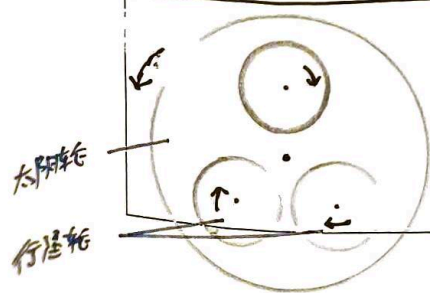
2. 实验原理



滚筒球磨机: 球磨罐绕其自身轴线水平旋转,物料和磨球在罐内被提升一定高度后落下,主要依靠磨球的冲击力和研磨作用使物料粉碎。这种方式能量输入相对较低,研磨过程较为温和,通常适用于对能量输入不敏感或需要避免过度机械损伤的物料,制备的粉末粒径相对较大,所需时间较长。

在临界转速时,有: $mg = \frac{mv^2}{R}$, 且 $v = \omega R = \frac{2\pi}{T} R = 2\pi f R$, 即: $f_{\text{临}} = \sqrt{\frac{g}{2\pi^2}} \cdot \frac{1}{D}$, $D = 2R$

$f_{\text{临}}(\text{转速}) = \frac{42.4}{\sqrt{D}}$ (转/分), 其中D的单位为(米)。



行星球磨机: 行星球磨机的球磨罐除了绕自身轴(“太阳轮”)公转外,还围绕太阳轮的轴线高速自转,其自转方向通常与公转方向相反,这种复合运动使得磨球在罐内产生复杂的、高速度的交互运动,磨球之间以及磨球与罐壁之间的碰撞频率和冲击力远大于滚筒球磨机。由于科里奥利力作用,磨球运动轨迹呈四叶形,能够产生极大的磨力和冲击力,因此,行星球磨属于高能球磨,制粉效率高,能够获得更细的粉末,甚至纳米级。它更适合于制备超微粉体材料。

3. 实验内容

本次实验的主要目的是通过滚筒球磨和行星球磨两种方法制备二氧化硅(SiO_2)粉体,并利用筛分法分析产物的粒径分布,

- ① 原料称量与初始粒径分析;
- ② 用两种方法进行制粉;
- ③ 产物收集与粒径分析;
- ④ 样品处理与回收.

二、实验过程

1. 实验装置

筛分机、行星球磨仪、滚筒球磨机

2. 实验装置示意图

筛分机



行星球磨仪



卧式双层滚筒球磨机



4. 实验现象记录和数据记录

筛网初始质量

目数	40	100	200	300	底盖
质量(g)	250.95	260.06	251.86	244.98	200.55

行星球磨的组别

目数	40	100	200	300	底盖
200转 球磨前(g)	350.98	260.06	251.87	244.94	200.46
200转 球磨后(g)	350.41	260.41	251.97	245.00	200.49
400转 球磨前(g)	350.8	261.8	248.9	247.9	206.9
400转 球磨后(g)	294.7	270.5	282.0	260.8	208.7

滚筒球磨的组别

目数	40	100	200	300	底盖
200转 球磨前(g)	350.53	260.06	251.84	244.94	200.45
200转 球磨后(g)	351.01	260.11	251.93	245.01	200.57
400转 球磨前(g)	350.91	260.03	251.85	244.95	200.46
400转 球磨后(g)	349.95	260.43	252.04	245.09	200.48

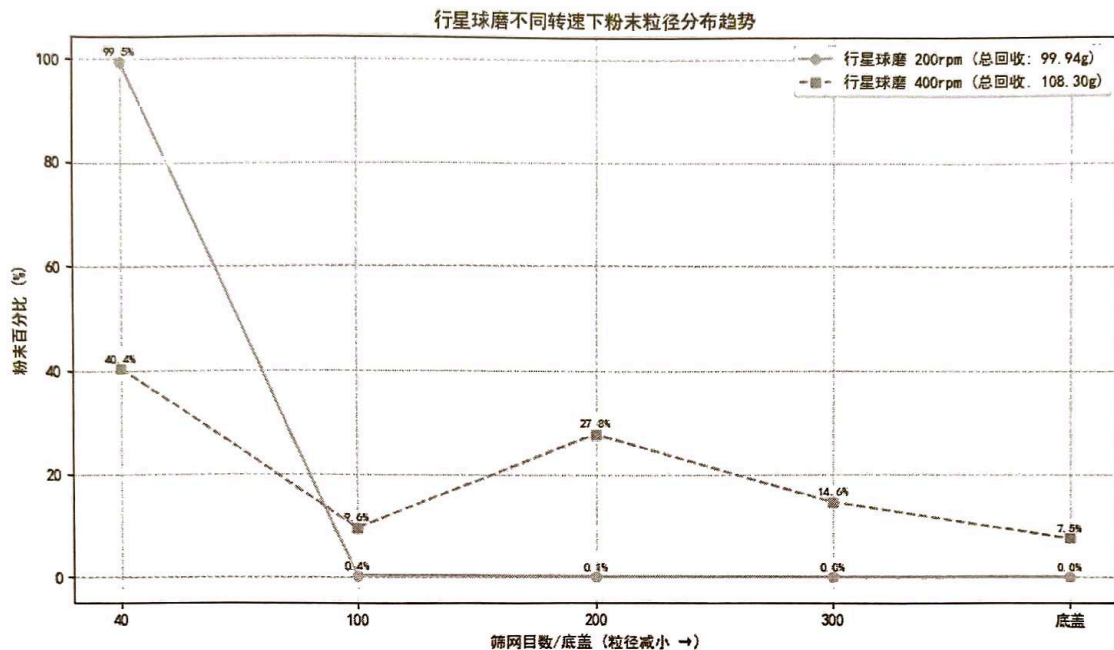
样品量(初始)

组别	行星200转	行星400转	滚筒200转	滚筒400转
质量	100.06	100.39	100.09	100.07

三、分析讨论

1. 实验结果与分析

行星球磨不同转速对粉末粒径分布的影响



行星球磨 200rpm:

在 200rpm 的转速下，绝大部分粉末（99.5%）依然停留在 40 目筛网上，后续 100 目、200 目、300 目及底盖上的粉末百分比均接近于 0（分别为 0.4%，0.1%，0.0%，0.0%）。这表明在较低转速下，行星球磨对 SiO₂ 颗粒的粉碎效果非常有限，粉末粒径基本没有发生显著细化。

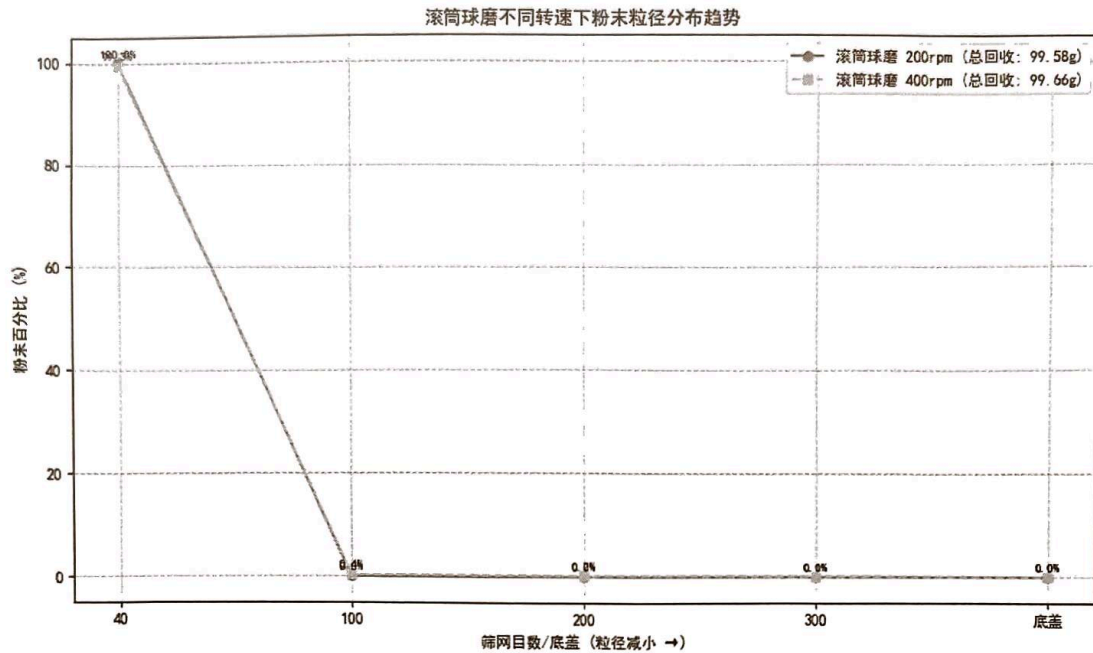
行星球磨 400rpm:

在 200rpm 的转速下，情况发生了显著变化。40 目筛网上的粉末比例大幅下降至 40.4%。与此同时，更细的粉末比例显著增加：100 目占 9.6%，200 目占 27.8%，300 目占 14.6%，底盖（代表最细颗粒）也收集到了 7.5% 的粉末。

结论:

对比两条折线，可以清晰地看到转速是影响行星球磨效果的关键因素。400rpm 相比 200rpm，能将更多的粗颗粒粉碎成细颗粒，使粉末的整体粒径显著减小，粒径分布也更宽，向细颗粒方向移动。

滚筒球磨不同转速对粉末粒径分布的影响



滚筒球磨 200rpm:

在 200rpm 下，滚筒球磨后的粉末几乎 100%都停留在 40 目筛网上，其余目数筛网及底盖上的粉末量可以忽略不计。

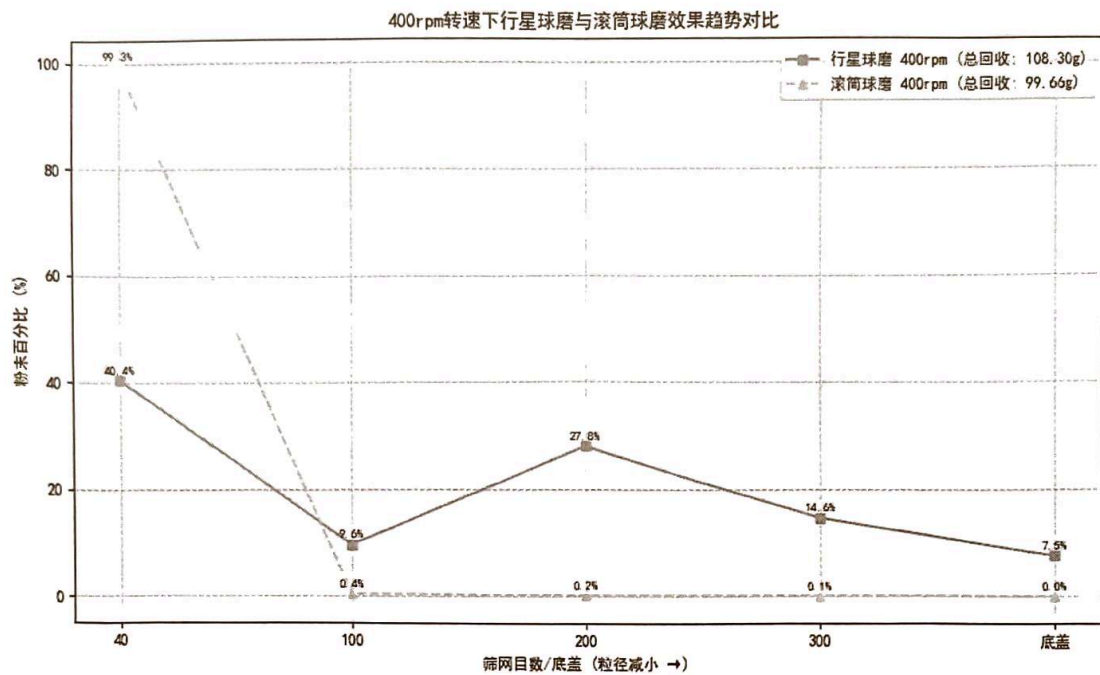
滚筒球磨 400rpm:

即便将转速提高到 400rpm，滚筒球磨的效果改善依然不明显。99.3%的粉末仍滞留在 40 目筛网，仅有极少量（100 目 0.4%，200 目 0.2%，300 目 0.1%）通过到更细的筛网。

结论:

对于滚筒球磨，在本实验设定的 10 分钟球磨时间内，无论是 200rpm 还是 400rpm，其对 SiO₂ 颗粒的粉碎效果都非常微弱。提高转速并未带来显著的粒径细化。

400rpm 转速下行星球磨与滚筒球磨效果对比



行星球磨 400rpm:

如前所述, 在 400rpm 下, 行星球磨显著降低了 40 目粉末的比例 (40.4%), 并在 100 目 (9.6%)、200 目 (27.8%)、300 目 (14.6%) 及底盖 (7.5%) 均获得了可观的细粉比例。

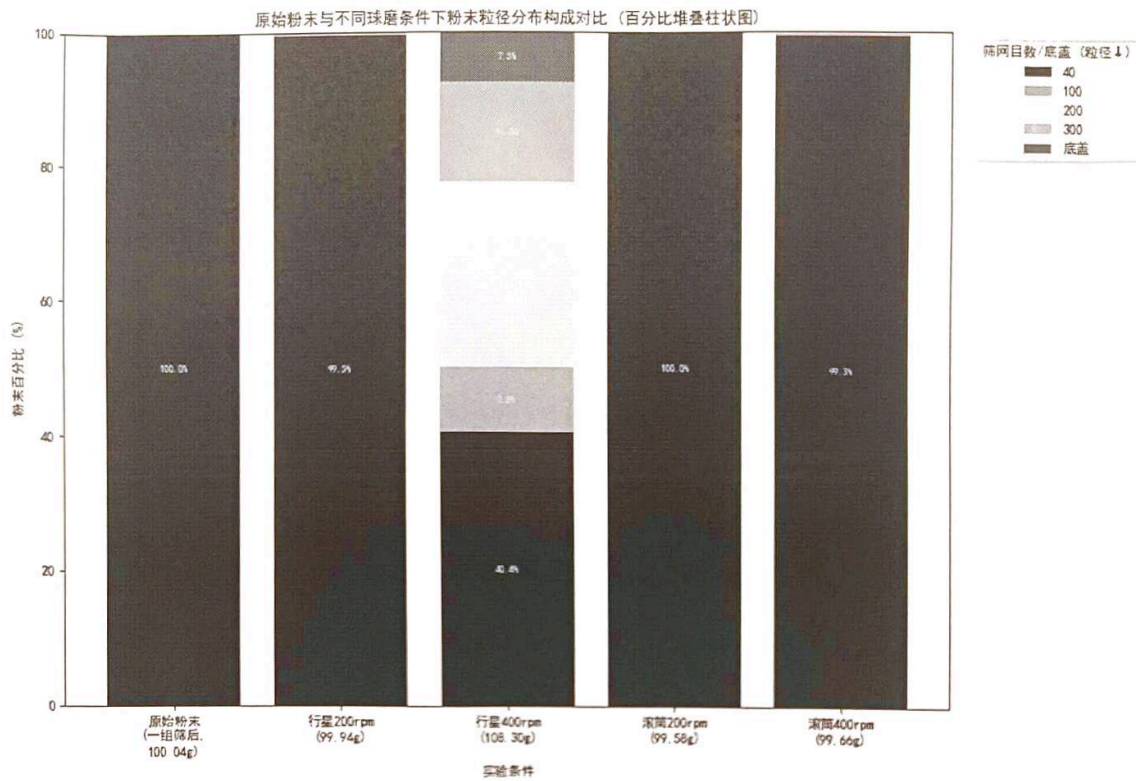
滚筒球磨 400rpm:

相比之下, 滚筒球磨在相同 400rpm 转速下, 40 目粉末比例仍高达 99.3%, 细粉含量极低。

结论:

此图清晰地展示了在相同较高转速 (400rpm) 和相同球磨时间下, 行星球磨的粉碎效率远高于滚筒球磨。行星球磨能够提供更高的能量输入, 从而更有效地将颗粒细化。

原始粉末与不同球磨条件下粉末粒径分布综合对比



综合结论:

球磨方式的差异:

行星球磨(高能球磨)的制粉效率远高于传统的滚筒球磨。在实验条件下,行星球磨能够显著减小 SiO₂ 颗粒的粒径,而滚筒球磨效果甚微。

转速的影响:

对于行星球磨,提高转速(从 200rpm 到 400rpm)能显著提升粉碎效果。对于滚筒球磨,在实验的转速范围内和球磨时间内,转速的提升并未带来明显的细化效果,可能需要更长的球磨时间或更高的转速才能观察到变化。

最佳条件:

在本实验所考察的条件中,“行星球磨 400rpm 10min”是制备 SiO₂ 细粉效果最好的组合。它不仅降低了粗颗粒的比例,还显著增加了细颗粒(通过 200 目、300 目筛网及底盖收集的粉末)的含量。

2. 问题提出与讨论

A1: 为什么在本实验中, 行星球磨法的表现最为优异, 但在实际生产中, 工厂仍青睐滚筒球磨法或球磨法?

行星球磨法追求极致的速度和性能, 非常适合在可控的实验环境下突破极限、探索新材料, 而滚筒法则相比之下, 更像“重型卡车”, 虽然速度不快, 但设备皮实耐用, 产量大且成本低, 简单的设计易于自动化生产, 因此, 出于对大型设备成本与运维成本、产能和可靠性的综合考虑, 实际的工厂仍普遍采用技术成熟可靠的滚筒法。

A2: 随着高压气流、超声技术的不断发展, 实验室中采用振动筛在工业粉末筛分中的应用占比逐渐减少, 这是为什么?

传统振动筛的两大核心问题: 无法有效解决精细粉体筛分中的“堵网”和“团聚”问题, 以及长时间机械振动对某些晶体材料具有破坏作用。

高压气流筛分 (Air Jet Sieve)

在筛网下方设置了一个或几个可旋转的加料嘴, 持续向上喷出高压气流。

反向喷射不仅实现了主动筛网, 还可以分散物料, 广泛用于石炭粉、药粉的生产。

超声筛分 (Ultrasonic Sieve)

通过筛网在超声的同步内振幅振动, 能瞬间弹开任何试图堵塞筛网的粉末且清网比气流更速, 广泛用于金属3D打印粉末、电浆材料的生产。

筛网三相, 流动性好
筛分效率

筛分方法	筛网三相, 流动性好 筛分效率	筛网三相, 流动性好 筛分效率	筛网三相, 流动性好 筛分效率	筛网三相, 流动性好 筛分效率
传统振动筛	差	低 (清网和团聚)	差 (需频繁停机清理筛网)	
← 高压气流筛	优 (主动清网)	高 (气流分散物料)	优	
超声筛	极高 (高振清网)	极高 (粉碎和团聚)	优	

指导教师签名:

日期:

四、其它

备注：

1. 第四部分（其它）由教师自行规定填写内容，可为课程大纲设置但本实验报告前三部分未包含在内的学习任务。
2. 若本课程不涉及其它内容，教师不需要在第四部分后的“指导教师签名”处签名。

A large, empty rectangular box with a thin black border, occupying most of the page. It is intended for the student to write their report or answer questions.

指导教师签名:

日期:



实验报告

姓名: 黄德勇

学号: 22202331920132

专业班级: 材料物理3班 成绩:

实验课程	材料科学基础B		
实验名称	制粒、压制成型的设计与实践		
实验时间	2025年6月4日 下午17:50	实验地点	麦回村实验室

一、实验预习

1. 实验目的

① 理解成型剂和制粒的作用和意义

成型剂通常包含粘结剂、润滑剂,在粉末冶金中有重要作用。

粘结剂能够增加粉末颗粒之间的结合力,从而提高压坯强度(即压坯密度),使其在后续运输和烧结过程中不易损坏。

润滑剂则可以减少粉末颗粒之间以及粉末与模具壁之间的摩擦力,这有助于提高粉末的流动性和填充均匀性,降低压制压力,减少模具磨损,并使得压坯密度分布更均匀。

② 掌握压制成型的设计与操作

压制成型的设计:

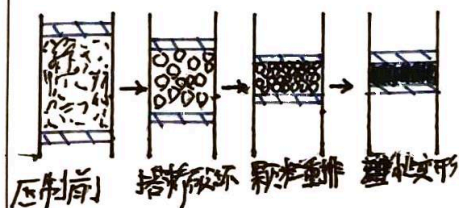
压制成型的设计: 质量计算,材料选择,工艺参数设定

压制成型的操作: 模具清理、装粉、压制、卸压、脱模等一系列标准操作流程。

2. 实验原理

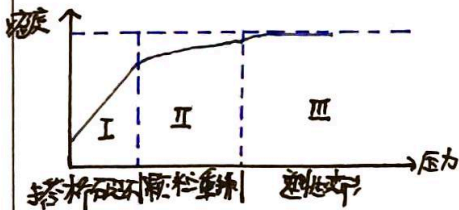
钢压成型

本次钢压成型中的过程如左图所示。



压制成形的过程一般包括有: 装粉 → 压制 → 保压 → 卸模。在刚开始压制时,粉末会因为相互之间的摩擦作用而形成相互的搭桥及成桥作用。

之后这些搭桥会被破坏,颗粒会发生自然重排,密度会逐渐上升,会进行弹性变形。



3. 实验内容

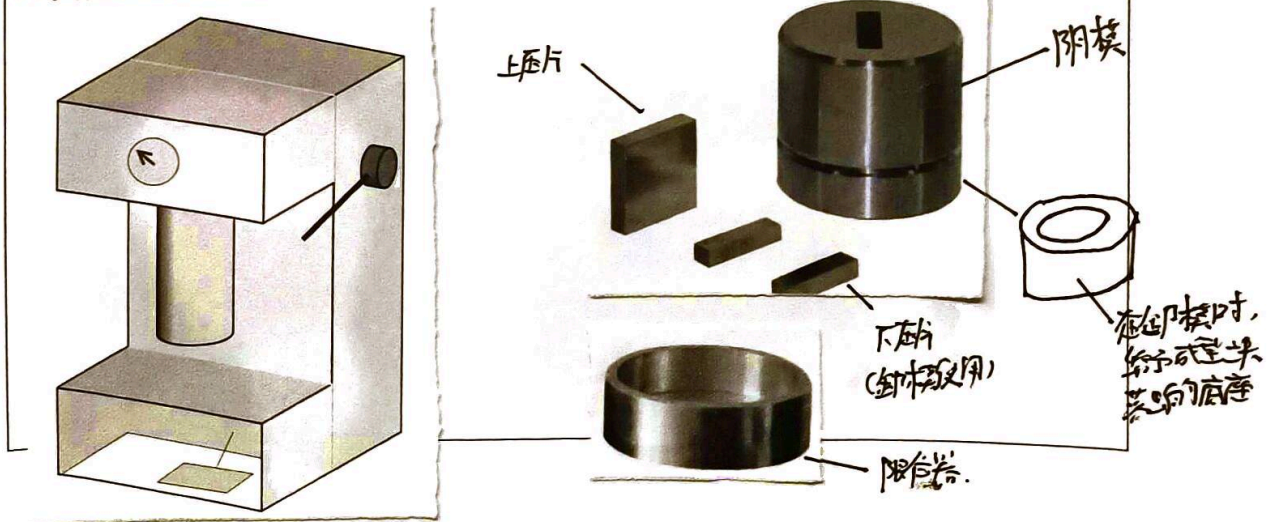
- ① 原料准备与设计
- ② 压制成型
- ③ 对比分析
- ④ 清理与整理

二、实验过程

1. 实验装置

单臂油压机；块状粉末模具

2. 实验装置示意图

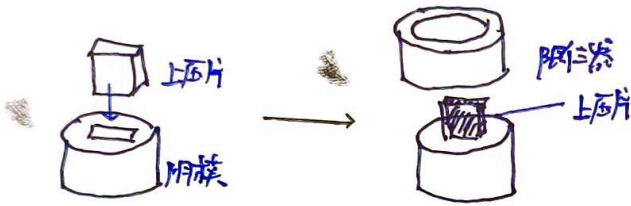


3. 实验步骤

(1) 计算压制所需的粉末质量

(2) 称量粉末

(3) 将粉末放入阴模中, 并放置在液压机压台上, 并保证:
阴模放置在压筒中心位置, 且保持水平. 上压片及限位器

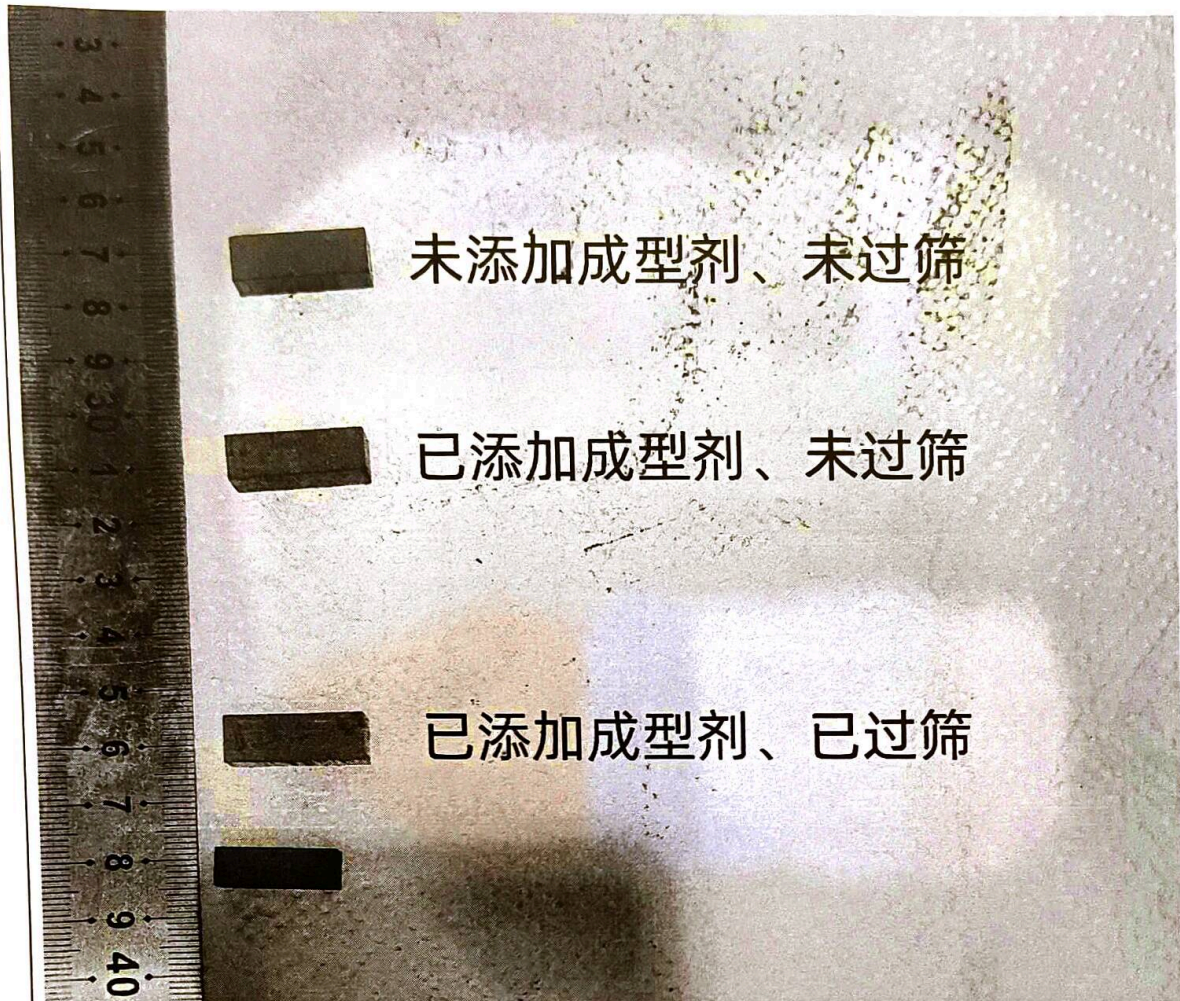


(4) 压制, 要注意: 液压机下压时, 身体的任何部位都禁止靠近工作范围!
当下压到限位处后, 要保压约 10s.

(5) 卸模, 翻转模具, 并将凹模底放置在阴模下方, 并放置好下压片,
在卸模时不用保压.

在添加石蜡塑化剂时, 须将石蜡研磨为细小粉末,
并与粉末充分混合.

4. 实验现象记录和数据记录



- ① 已烧结的小砖块强度和硬度最高；
- ② 未添加成型剂、未过筛的小砖块强度和硬度最低，通过钢尺就可以进行破坏；
- ③ 已添加成型剂、未过筛的小砖块是所有未烧结砖块当中强度和硬度最高的，是因为在本次实验当中研磨使用的是坩埚，并且没有在混合时使用行星球磨法，使得石蜡的尺寸大小符合过筛要求，导致强度反而比添加石蜡之后，没有过筛的低。

三、分析讨论

1. 实验结果与分析

一、成型方式对压坯性能的影响

实验中分别采用三种方式制备了G8合金压坯：

- A组：未添加成型剂，未过筛
- B组：已添加成型剂，未过筛
- C组：已添加成型剂，已过筛

从实验的记录来看，压坯的机械性能表现如下：

样品类型	压坯强度	成型密实性	备注
A组	最低	松散	可被筛网及破坏，结构不稳定
B组	中等偏高	良好	颗粒较大，粉料结合性差
C组	中等不明显	一般	颗粒在筛分时脱落一部分，效果并不显著
烧结样	最强	致密	组织致密，性能优异。

结论：添加成型剂并进行制粒处理，能显著提升压坯强度和结构稳定性。

二、C组的公平对工艺因素的影响

本次实验未采用高能行研磨，造成部分颗粒较大的颗粒在筛分时筛出，提示成型剂加入时，也要与研碎和混合。

2. 问题提出与讨论

如何应对不同粉末材料因烧结体收缩率不同, 频繁定制压模具的问题?

在实际工程生产过程中, 不同粉末材料(如: WC-Co, TiC-SiC等)因烧结(成)时的体收缩率不同, 若全部采用刚性模具进行单向压制(或双向压制、浮动压制), 则需对每种材料单独设计且模具开发与加工成本高昂, 周期长, 灵活较差。

推荐方案: 采用冷等静压(CIP)技术作为通用成型方案。

技术优势: 通用模具: CIP使用柔性橡胶模具, 适配多种粉末材料, 无需针对每种材料定制刚性压模。

各向致密性一致: 压力在各方向均匀增加, 压坯还优于双向、单向压制。

适应收缩压导: 通过调整初始粉末填充和等静压参数, 可补偿材料烧结后不同的收缩率。

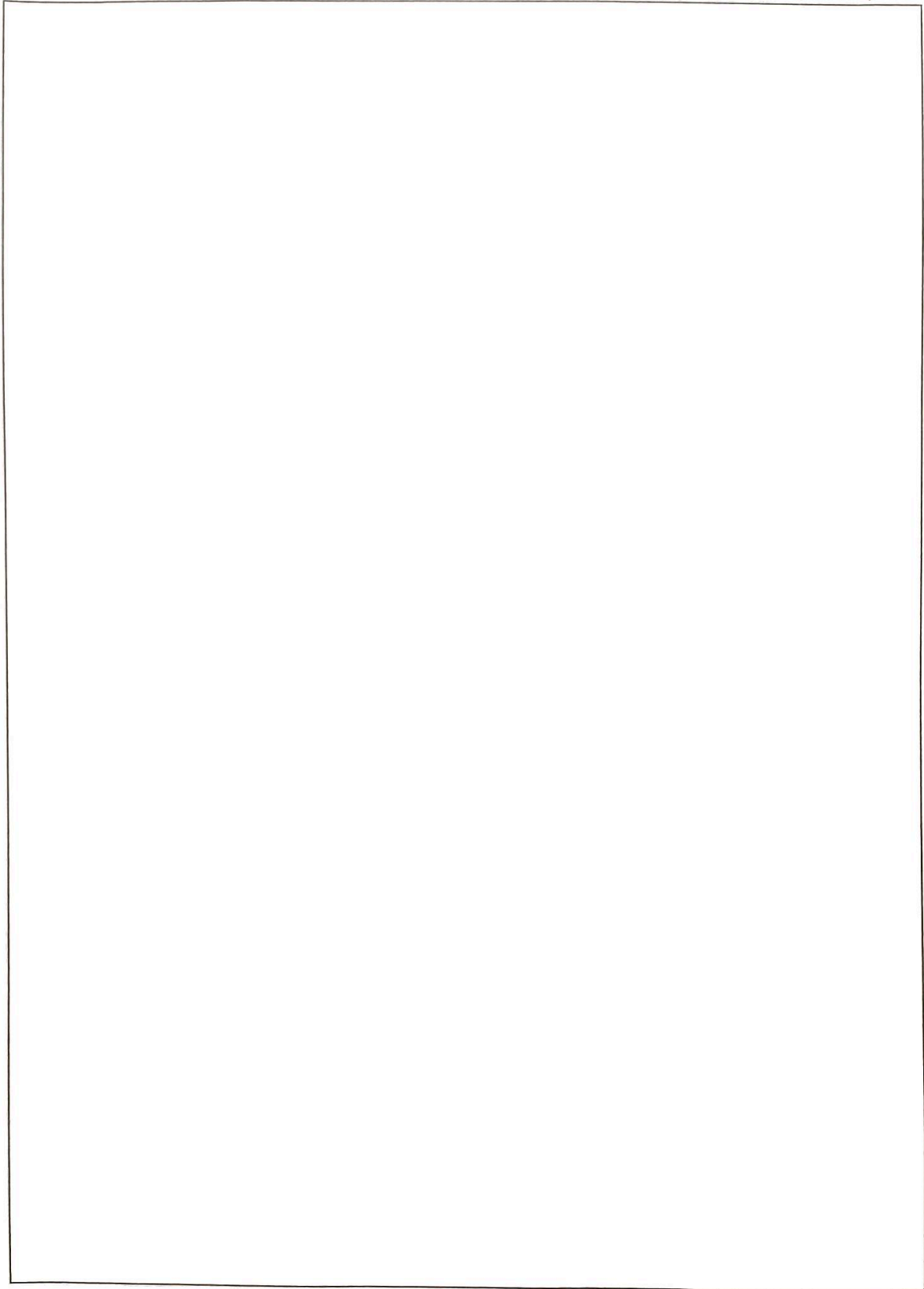
指导教师签名:

日期:

四、其它

备注：

1. 第四部分（其它）由教师自行规定填写内容，可为课程大纲设置但本实验报告前三部分未包含在内的学习任务。
2. 若本课程不涉及其它内容，教师不需要在第四部分后的“指导教师签名”处签名。



指导教师签名:

日期:



实验报告

姓名: 黄德勇

学号: 222023319210132

专业班级: 材料物理02班 成绩:

实验课程	材料科学基础实验B		
实验名称	粉体和块状体的基本性质评测		
实验时间	2025年6月11日 下午 17:50	实验地点	麦田村实验室

一、实验预习

1. 实验目的

- ① 掌握粉体流动性、松装密度和振实密度的测定。
- ② 掌握块状体的密度、相对密度、维氏硬度及断裂韧性。

2025.6.11

2. 实验原理

① 密度的测定

$$\rho_{\text{真实}} = \frac{m_1}{m_2} \rho_{\text{理论}}, \text{ 其中 } m_1 \text{ 为块状体在空气中的质量}$$

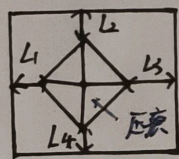
$$m_2 \text{ 为块状体悬挂在水中的质量}$$

$$\text{相对密度 } \rho_{\text{相对}} = \frac{\rho_{\text{真实}}}{\rho_{\text{理论}}} \times 100\%$$

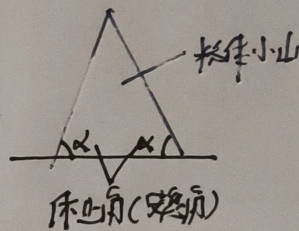
② 维氏硬度

$$HV = 0.1891 \frac{P}{d^2}$$

$$K_{IC} \text{ 断裂韧性} = 0.15 \sqrt{\frac{HV_{0.05}}{\Sigma L}}$$



③ 粉末的流动性



3. 实验内容

- ① 密度及相对密度的测定
- ② 维氏硬度及显微硬度的测定
- ③ 粉体流动性, 松装密度, 振实密度的测定

二、实验过程

1. 实验装置

华银 HV 维氏硬度计

FYJ - 200 S 粉末综合特性测试仪

电子天平

烧杯, 口罩绳.

2. 实验装置示意图



3. 实验步骤

密度的测量 (排水法) / (悬浮法)

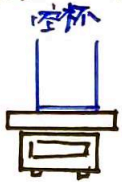
- ① 测量待测块体的质量，后放上装有一半水的烧杯，并使天平归零(去皮)。
- ② 将小块体用口罩绳系好，并用油性笔标记入水后绳和块体的深度，记录排开水的质量；将块取出，将绳没入到相同位置再记录一次。



硬度、韧性的测量

- ① 将样品块放置到试样台上，应注意放置时下调样品台，并且不要让手接触到镜头。
- ② 调整焦距，在清晰后，选取致密层纹的区域，启动下压程式。
- ③ 四点测量法对硬度韧性进行测量。

松装密度和振实密度

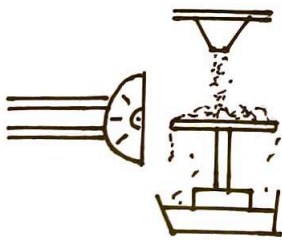


松装密度采用空的容量量杯，并通过加量口加入粉末，并且微溢出一部分，用刷子刷平，后称量两杯质量。



安装好量筒并加入粉体，记录振前后的质量。

测量休止角 (安息角)



将粉体自由流到平面上，待锥型成型后，用量角器测量角度。

4. 实验现象记录和数据记录

一、已烧结块体的密度测量

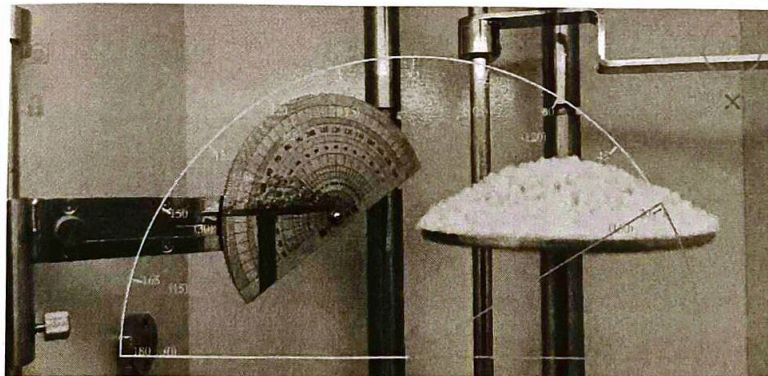
实际密度	质量(g)	5	理论密度 (g/mL)	6.69	相对密度 (g/mL)	93.42%
	带绳(mL)	1				
	绳子(mL)	0.2				

二、已烧结块体的硬度韧性

	D1(μm)	D2(μm)	维氏硬度(HV)	韧性(KIC)
第一次取点	324.34	321.83	532.94	4.36
第二次取点	293.40	297.11	638.15	NA
第三次取点	324.36	313.20	547.44	4.17

三、二氧化硅粉体性能测试

		滚筒球磨 200rpm	滚筒球磨 400rpm	行星球磨 200rpm	行星球磨 400rpm
松装密度	质量(g)	37.8	40.5	39.0	38.1
	体积(mL)	25.0	25.0	25.0	25.0
	密度	1.5	1.6	1.6	1.5
振实密度	质量(g)	75.7	93.2	36.6	93.6
	体积(mL)	48.0	58.0	53.0	44.0
	密度	1.6	1.6	0.7	2.1
休止角(安息角)		26°	31°	28°	42°



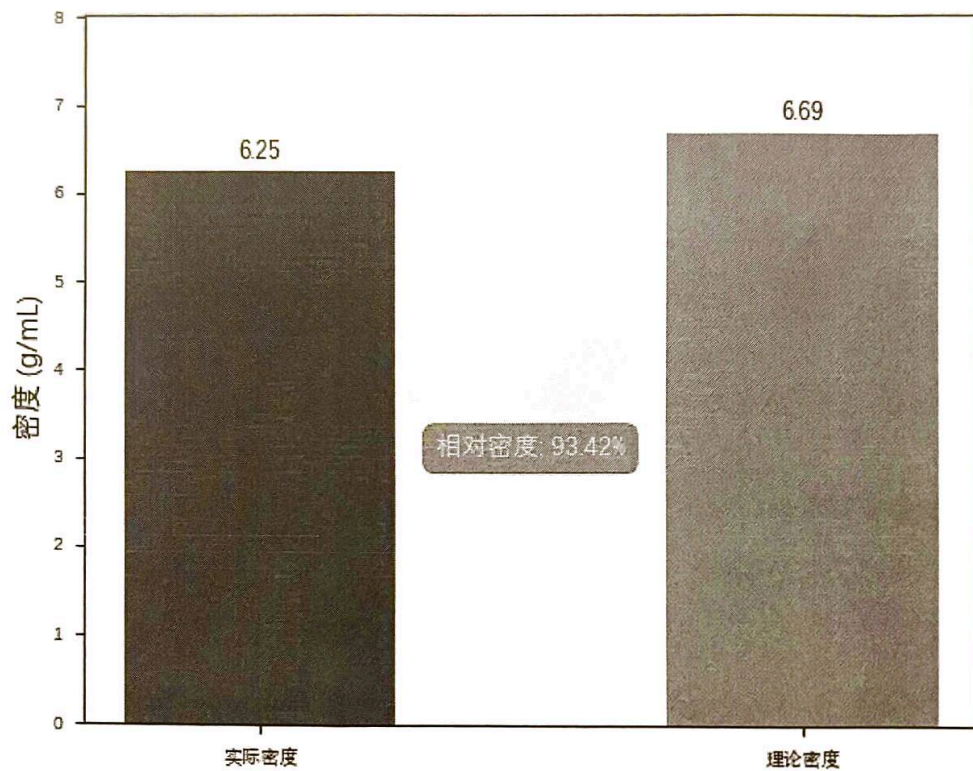
使用智能摄像程式以量安息角的图示。

三、分析讨论

1. 实验结果与分析

一、密度与相对密度

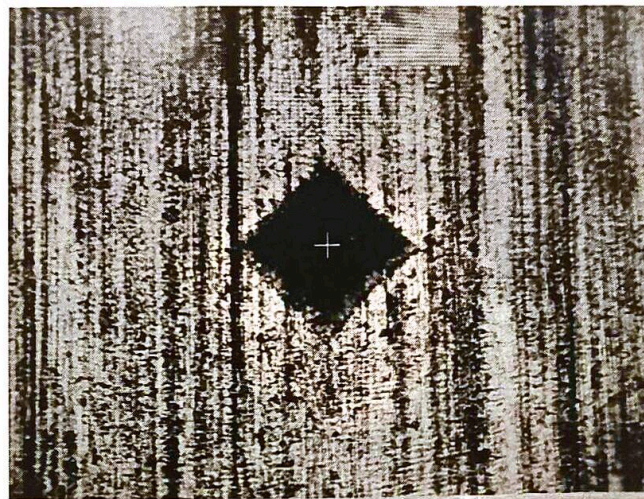
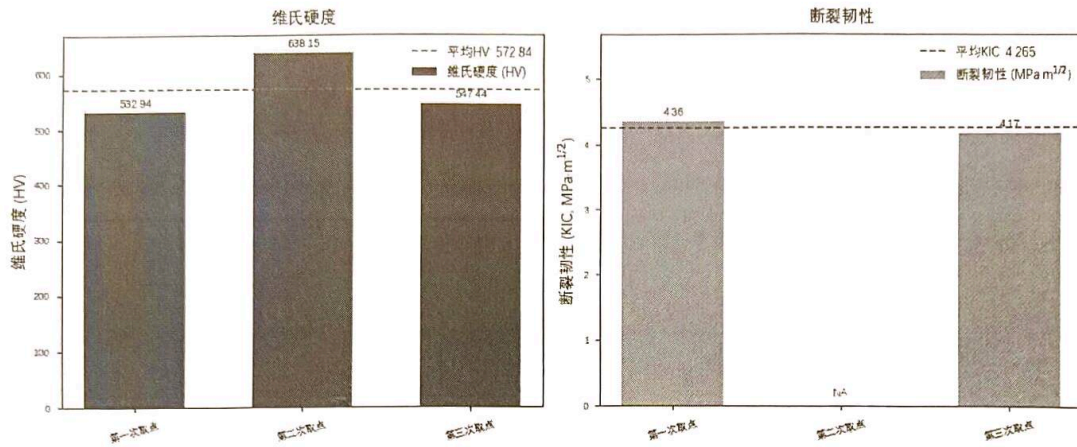
图1: 烧结块体密度比较



烧结体的致密化程度直接影响其最终性能。相对密度为 93.42%，表明烧结体内部存在约 6.58% 的孔隙。这在常规烧结中是常见的，但孔隙的存在会降低材料的力学性能。为提高相对密度，可考虑优化烧结工艺（如提高温度、延长保温时间、施加压力）或改进粉末处理工艺。

二、维氏硬度与断裂韧性

图 4-12 维氏硬度及断裂韧性测试结果



维氏硬度：三次测量值分别为 532.94 HV、638.15 HV 和 547.44 HV，平均值为 572.84 HV。数据存在一定波动，最高值与最低值相差约 105 HV。这种波动可能源于材料内部微观结构的不均匀性（如晶粒大小、孔隙分布或第二相偏聚）或取点位置的代表性差异。

断裂韧性：两次有效测量值为 4.36 MPa·m^{1/2} 和 4.17 MPa·m^{1/2}，平均值为 4.265 MPa·m^{1/2}。第二次测量数据缺失 (NA)，可能由于在该压痕点未形成符合测量标准的理想裂纹。断裂韧性值相对接近，表明在这两个有效测量点，材料抵抗裂纹扩展的能力相似。

三、二氧化硅粉体性能

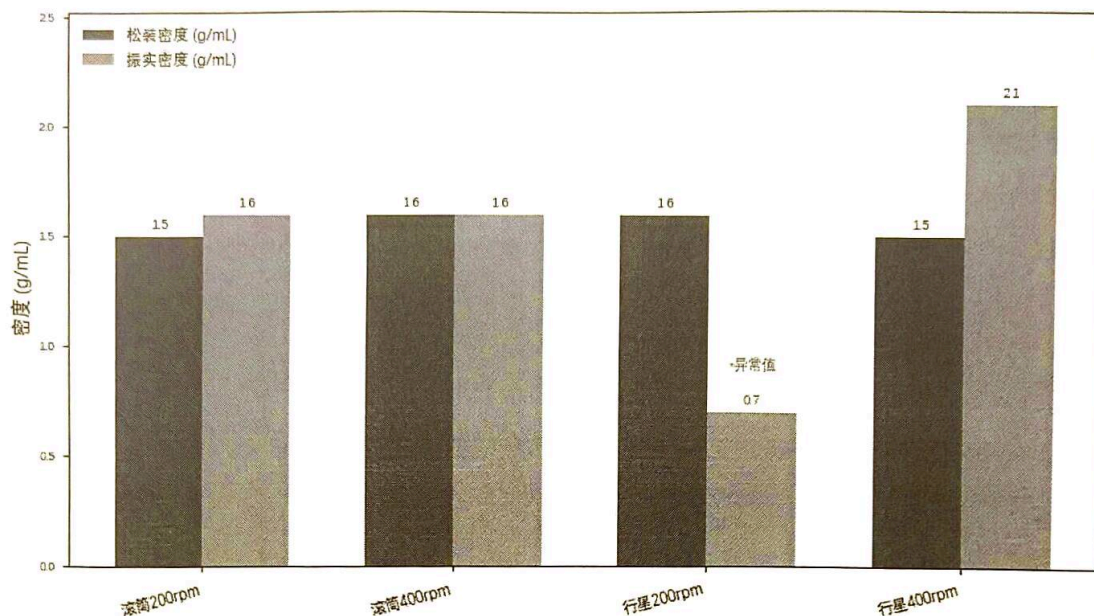
为了更全面地评估粉体特性，我们引入豪斯纳比（Hausner Ratio, $HR = \text{振实密度} / \text{松装密度}$ ）和卡尔指数（Carr Index, $CI = (\text{振实密度} - \text{松装密度}) / \text{振实密度} \times 100\%$ ）作为流动性和压缩性的辅助评价指标。

- **豪斯纳比 (HR)**: 一般认为 $HR < 1.25$ 表示流动性好; $1.25 \leq HR \leq 1.5$ 表示流动性一般; $HR > 1.5$ 表示流动性差。
- **卡尔指数 (CI)**: 一般认为 $CI \leq 10\%$ 表示流动性极好; 11-15% 好; 16-20% 一般; 21-25% 尚可; $>25\%$ 差。

球磨条件	松装密度 (ρ_b)	振实密 度 (ρ_t)	休止角 (θ)	HR (ρ_t/ρ_b)	CI (%)	流动性评估 (基 于 HR/CI)
滚筒 200rpm	1.5	1.6	26°	1.067	6.25%	良好-极好
滚筒 400rpm	1.6	1.6	31°	1.000	0.00%	极好 (低压缩性)
行星 200rpm	1.6	0.7	28°	0.438	-128.57%	异常数据
行星 400rpm	1.5	2.1	42°	1.400	28.57%	一般-差

注：行星 200rpm 的 HR 和 CI 因振实密度异常而无实际参考意义，不参与常规比较

四、松装密度与振实密度

图3: 不同球磨条件下SiO₂ 粉体的松装与振实密度

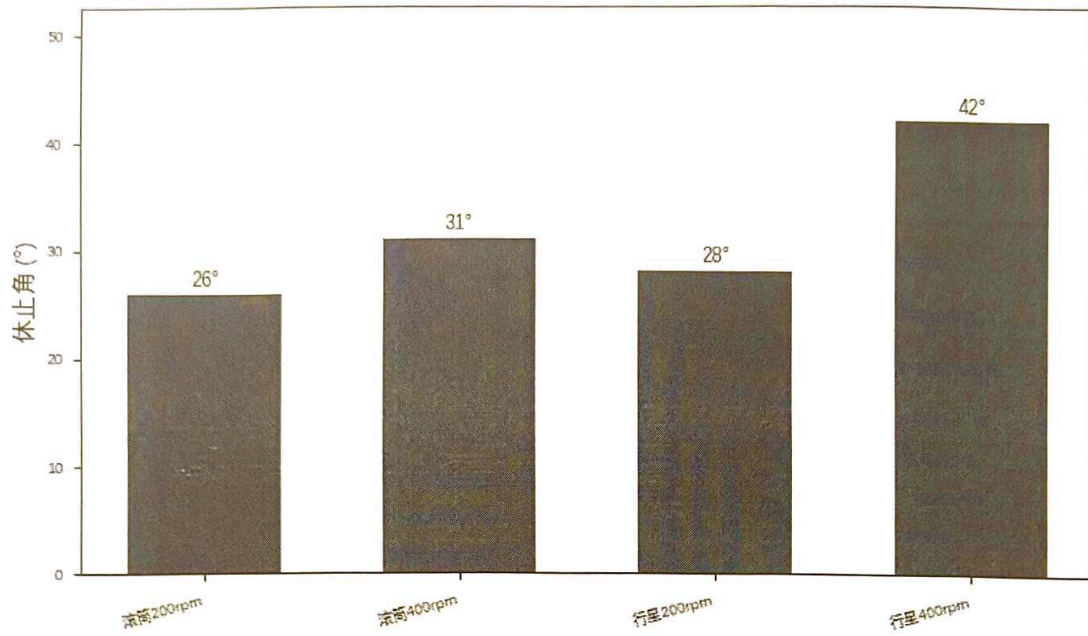
行星球磨 200rpm 的振实密度 (0.7 g/mL) 远低于其松装密度 (1.6 g/mL), 这是一个显著的异常点。根据实验记录, 其振实质量为 36.6g, 体积 53.0mL; 松装质量 39.0g, 体积 25.0mL。这表明在振实测量时, 单位体积内的粉体质量极低。可能原因包括: ① 实验操作错误 (如取样量过少、体积读数错误); ② 粉体在该条件下形成极度蓬松且难以被振实的团聚结构 (但这与其较高的松装密度不完全吻合); ③ 数据记录错误。此数据点在后续比较中需谨慎对待或排除。

行星球磨 400rpm 处理的粉体获得了最高的振实密度 (2.1 g/mL), 表明这种高能球磨方式可能使粉体颗粒更细、级配更宽或形状更有利于紧密堆积。

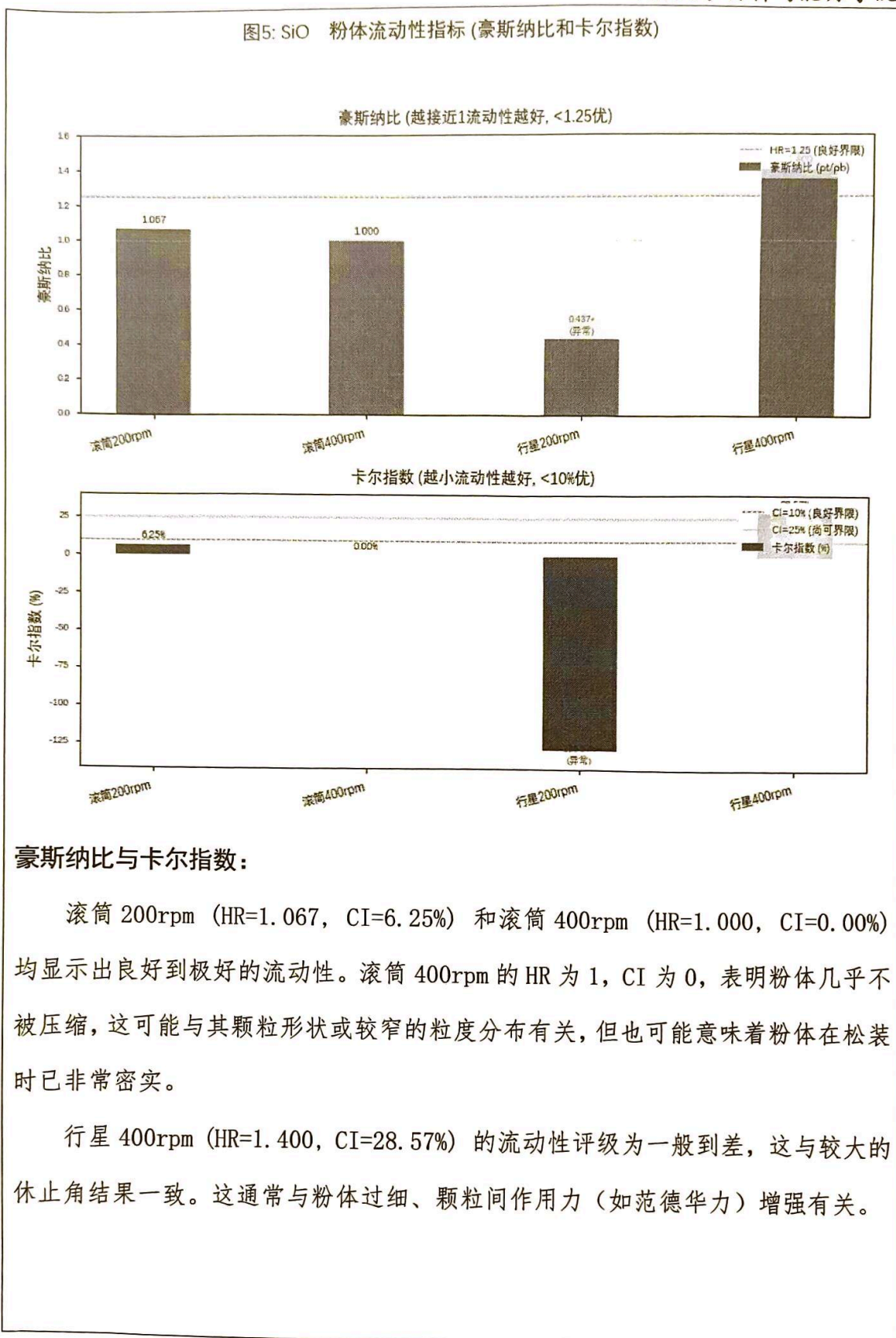
滚筒球磨 400rpm 条件下, 松装密度与振实密度相等 (均为 1.6 g/mL), 表明此粉体本身堆积已较为密实, 可压缩性小。

五、粉体流动性指标：休止角、豪斯纳比和卡尔指数

图4: 不同球磨条件下SiO₂ 粉体的休止角 (越小流动性越好)



滚筒 200rpm (26°) 的休止角最小，表现出最佳流动性。行星 400rpm (42°) 的休止角最大，流动性最差。通常，休止角越小，粉体流动性越好。

图5: SiO₂ 粉体流动性指标 (豪斯纳比和卡尔指数)

2. 问题提出与讨论

(1) 烧结后的块料硬度与刀具磨损力大, 说明了什么?

维氏硬度的测量波动较大 (532.94 HV 至 638.15 HV), 平均值 572.8 HV, 表明微观结构存在不均匀。

(2) 哪种球磨方式下粉体的流动性最好? 其原因是什么? 最差的?

滚筒球磨 400 rpm 的粉体流动性最好, $HR=1.00$, $CI=0\%$, 休止角为 31° 。

粉体压缩性极低, 说明颗粒堆积本身已较为致密, 可能与颗粒形貌及规则、粒度分布集中有关。

行星球磨 400 rpm 的粉体流动性最差, $HR=1.40$, $CI=28.57\%$, 休止角为 42° 。原因可能是颗粒过细、团聚严重, 造成范德华力增强, 粉体间易结块。

(3) 异常数据要如何应对?

行星球磨 200 rpm 的振实密度 (0.7 g/mL) 远低于松装密度 (1.6 g/mL), $HR=0.438$, $CI=-128.57\%$, 明显不合理。可能是操作或记录错误。

指导教师签名:

日期:

四、其它

备注：

1. 第四部分（其它）由教师自行规定填写内容，可为课程大纲设置但本实验报告前三部分未包含在内的学习任务。
2. 若本课程不涉及其它内容，教师不需要在第四部分后的“指导教师签名”处签名。

A large, empty rectangular box with a thin black border, occupying most of the page. It is intended for the main content of the document.

指导教师签名:

日期: