

# 天创粉末 - 球磨罐产品选型总表

## 表一：球磨罐核心参数与特性对比

类别	产品名称	核心材质/工艺	天创型号示例 (容积)	密度/硬度/耐磨性	关键特性 (卖点)	适用物料场景	禁忌与注意事项
金属类	<a href="#">304 不锈钢球磨罐</a>	优质 SUS304 不锈钢	50ml, 100ml, 250ml, 500ml, 1L, 2L, 4L, 5L, 10L, 20L, 25L	密度: ~7.9 g/cm <sup>3</sup> 硬度: HRC 20-30 耐磨性: 中等	坚固耐用、性价比高; 可定制真空罐; 实验室通用主力。	对金属离子不敏感的物料, 如普通化工原料、合金粉末、土壤、矿石等。	忌: 高纯度、忌 Fe/Cr/Ni 污染的物料 (如电池材料、高端陶瓷); 强酸强碱物料。
	<a href="#">硬质合金球磨罐</a>	WC-Co 烧结, 超耐磨	50ml, 100ml, 250ml, 500ml, 1L, 1.5L, 2L	密度: 14.5-15.0 g/cm <sup>3</sup> 硬度: HRA 88-93 耐磨性: 顶级	“研磨之王”, 硬度极高、磨损极微, 寿命超长。投资回报率率高。	超硬材料: 碳化硅、金刚石、硬质合金粉; 高附加值物料的超细研磨。	忌: 不当的剧烈撞击; 极高的采购成本。
陶瓷类	<a href="#">氧化锆球磨罐</a>	钇稳定氧化锆, 高致密烧结	50ml, 100ml, 250ml, 500ml, 1L, 1.5L, 2L, 2.5L, 3L, 4L, 5L	密度: 6.0 g/cm <sup>3</sup> 硬度: HV ~1250 耐磨性: 极佳	高纯高效全能型。零金属污染, 高硬度、高韧性、耐腐蚀, 综合性能最优。	锂电池材料、电子陶瓷、医药纳米粉、高端颜料、催化剂等高纯度要求研磨。	忌: 极端热震 (剧烈冷热交替)。
	<a href="#">氧化铝/刚玉球磨罐</a>	高纯α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 烧结	25ml, 50ml, 100ml, 250ml, 500ml, 1L, 1.5L, 2L, 2.5L, 3L	密度: 3.6-3.9 g/cm <sup>3</sup> 硬度: 莫氏 9 级 耐磨性: 优秀	硬度最高、耐高温、经济之选。耐磨性仅次于氧化锆, 性价比突出。	陶瓷釉料、耐火材料、石英、长石等中高硬度非金属矿物的研磨。	忌: 忌 Al 污染的物料; 易碎, 需防撞击掉落。
高分子类	<a href="#">尼龙球磨罐</a>	纯白尼龙 PA66, 精密加工	25ml, 50ml, 100ml, 250ml, 500ml, 1L, 1.5L, 2L (大容积为不锈钢外壳内衬)	密度: ~1.15 g/cm <sup>3</sup> 硬度: 低 耐磨性: 良好	轻质无金属污染。防锈、防腐蚀, 适合含铁离子的湿法研磨。	贵金属粉末、高档颜料、涂料、部分医药及忌铁离子的物料混合与研磨。	忌: 高温 (<120°C)、强酸、强碱及部分有机溶剂; 高硬度物料。
	<a href="#">聚四氟乙烯 (PTFE) 球磨罐</a>	纯 PTFE (塑料王) 整体加工	25ml, 50ml, 100ml, 250ml, 500ml, 1L, 1.5L, 2L (大容积为不锈钢外壳内衬)	密度: ~2.2 g/cm <sup>3</sup> 硬度: 低 耐磨性: 良好	“耐腐蚀之王”。化学惰性极强, 耐所有酸碱, 表面不粘附, 易清洗。	强酸强碱体系、高活性化学物、要求绝对纯净的特种材料合成与研磨。	忌: 高硬度物料的冲击粉碎; 高温 (<250°C) 下长期使用。
	<a href="#">聚氨酯 (PU) 球磨罐</a>	高耐磨聚氨酯, 整体浇铸	100ml, 250ml, 500ml, 1L	密度: ~1.2 g/cm <sup>3</sup> 硬度: 低 耐磨性: 优秀 (弹性耐磨)	高弹性、缓冲降噪。密封严实, 有效防止浆料泄漏和物料粘壁。	电子浆料、电池浆料、油墨、软性物料的混合、分散与均质, 防晶体破坏。	忌: 高硬度物料粉碎; 高温环境。
天然材质类	<a href="#">玛瑙球磨罐</a>	天然玛瑙	50ml, 100ml, 150ml, 250ml, 300ml, 400ml, 500ml, 1000ml, 2000ml	密度: ~2.65 g/cm <sup>3</sup> 硬度: 莫氏 7 级 耐磨性: 良好	实验室分析“金标准”。100% 无任何金属污染, 确保检测准确性。	地质、环保、农产品等样品前处理; 食品药品检测; 要求绝对本底纯净的科研。	忌: 研磨硬度高于 7 级的物料 (会磨损罐体); 剧烈撞击。
功能/复合类	<a href="#">行星真空球磨罐</a>	主体不锈钢, 配高真空密封系统	根据需求定制 (50ml ~ 2L 常见)	同主体材料	惰性气氛保护。可实现真空或充氩/氮气操作, 防氧化、防挥发、保安全。	活性金属 (如 Mg、Ti、Li 合金)、易氧化物料、低熔点材料、部分危险品的研磨与合成。	忌: 密封圈老化; 需规范操作以维持真空度。

类别	产品名称	核心材质/工艺	天创型号示例 (容积)	密度/硬度/耐磨性	关键特性 (卖点)	适用物料场景	禁忌与注意事项
	不锈钢内衬 氧化锆罐	外壳: 不锈钢; 内衬: 厚壁氧化锆	2.5L, 3L, 4L, 5L, 10L, 15L, 20L, 25L	密度: 复合结构 硬度: 内衬高硬度 耐磨性: 极佳 (内衬)	强韧结合, 大容量 高纯研磨方案。兼具 不锈钢的结构强度与 氧化锆的耐磨纯净。	大批量、长时间运行的高 纯度物料生产, 如电 池材料、电子陶瓷粉体 的中试与量产。	忌: 极端情况下内衬可能 因应力损坏 (概率低)。

## 表二: 行业应用速查表

目标行业	核心工艺需求	首选推荐罐体	次选方案	配套研磨球建议
锂电池材料	超高纯度、零金属污染、超细研磨	氧化锆球磨罐	不锈钢内衬氧化锆罐 (量产)	氧化锆研磨球
电子陶瓷 (MLCC 等)	高纯度、粒度分布均匀、低磨损污染	氧化锆球磨罐	玛瑙球磨罐 (实验室分析)	氧化锆研磨球
高端颜料/涂料	无金属污染、色泽纯净、精细分散	氧化锆球磨罐、尼龙球磨罐	聚氨酯球磨罐 (浆料)	氧化锆球、尼龙球
生物制药	无污染、化学惰性、易于清洗灭菌	玛瑙球磨罐 (分析)、聚四氟乙烯罐 (合成)	氧化锆球磨罐	玛瑙球、氧化锆球
地质/环保检测	绝对无金属污染, 保证分析数据准确	玛瑙球磨罐 (国家标准方法指定)	-	玛瑙研磨球
贵金属粉末	完全忌铁离子混入	尼龙球磨罐、聚四氟乙烯罐	玛瑙球磨罐	尼龙球、玛瑙球
先进陶瓷/耐火材料	高硬度物料研磨, 耐磨损	刚玉球磨罐、氧化锆球磨罐	硬质合金罐 (超硬料)	氧化锆球、刚玉球
化工合成	耐强腐蚀、高纯度反应环境	聚四氟乙烯 (PTFE) 罐		PTFE 组件
金属合金/机械合金化	防止氧化、需要真空或惰性气氛	行星真空球磨罐 (不锈钢主体)		不锈钢球、硬质合金球

## 表三: 按物料特性选型指南

您的物料特性	面临的核心挑战	天创推荐解决方案	选型逻辑简述
高硬度 (莫氏 7 级以上)	1. 磨不细; 2. 罐体磨损快, 污染产品	硬质合金球磨罐 或 氧化锆球磨罐	罐体硬度必须显著高于物料, 才能有效研磨并保持自身低磨损。
要求超高纯度 (忌金属)	微量金属杂质即导致产品失效	玛瑙罐 (分析级) / 氧化锆罐 (生产级) / 聚四氟乙烯罐 (耐腐蚀)	选择非金属、低磨损率的材质, 从根源杜绝污染。
具有强酸/强碱性	罐体被腐蚀, 污染并损坏设备	聚四氟乙烯 (PTFE) 罐	PTFE 几乎耐所有化学介质, 是腐蚀性工况的唯一安全选择。
易氧化、易挥发、活性高	空气中研磨会变质、燃烧或爆炸	行星真空球磨罐	通过抽真空或充惰性气体, 创造安全的惰性氛围环境。
粘性大、易结块	物料粘附罐壁, 出料难, 清洗难	聚氨酯 (PU) 球磨罐 或 刚玉罐 (表面光滑)	聚氨酯弹性不粘料; 刚玉表面致密光滑, 减少附着。
需要混合与分散而非粉碎	过度破碎会导致材料性能下降	尼龙球磨罐 或 聚氨酯球磨罐	高分子材料提供缓冲, 以剪切和混合作用为主, 保护物料晶型。
大批量连续生产	要求罐体耐用、容积大、污染小	不锈钢内衬氧化锆罐 (高纯需求) 或 大容积不锈钢罐 (通用需求)	复合结构兼顾强度与纯净, 适合长时间、高负荷运行。

**表四：天创研磨球详细参数与选型指南**

产品名称	材质构成	主要技术参数	关键特性与优势	推荐应用场景	使用注意事项
<a href="#">不锈钢研磨球</a>	304 或 316 不锈钢	密度: ~7.9 g/cm <sup>3</sup> 硬度: HRC 20-30 规格: Φ1mm - Φ30mm 可定制	<ol style="list-style-type: none"> <li>经济通用: 成本低, 适用于大多数常规研磨。</li> <li>高冲击力: 密度适中, 能提供良好的冲击能量。</li> <li>耐腐蚀: 具有一定防锈、防腐能力。</li> <li>易于获取: 规格齐全, 货源稳定。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>对金属离子污染不敏感物料的粗、中碎。</li> <li>化工原料、陶瓷釉料、土壤、合金粉末的研磨。</li> <li>教学实验及初试工艺开发。</li> </ol>	禁忌: 绝对禁止用于锂电池材料、高档催化剂、电子陶瓷等忌铁、铬、镍离子的高纯材料研磨。
<a href="#">氧化锆研磨球</a>	钇稳定氧化锆 ZrO <sub>2</sub>	密度: 6.0 g/cm <sup>3</sup> 硬度: Hv≥1250, 莫氏硬度≥8.5 磨耗: 极低 ≤0.01 规格: Φ0.1mm - Φ30mm	<ol style="list-style-type: none"> <li>高纯无污染: 研磨过程几乎不引入杂质, 保障产品纯度。</li> <li>高密度高硬度: 研磨效率高, 适用于超细研磨。</li> <li>卓越耐磨性: 使用寿命极长, 综合成本低。</li> <li>“万能介质”: 平衡了性能、纯度与成本, 是高端应用的首选。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>锂电池正负极材料(磷酸铁锂、三元材料等)。</li> <li>电子陶瓷粉体(MLCC、压电陶瓷等)。</li> <li>医药、食品、化妆品级超细粉体。</li> <li>高端颜料、染料和涂料。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>为发挥最佳效能, 建议搭配氧化锆球磨罐使用。</li> <li>不同批次颜色可能略有差异, 不影响性能。</li> </ol>
<a href="#">玛瑙研磨球</a>	天然玛瑙 SiO <sub>2</sub>	密度: ~2.65 g/cm <sup>3</sup> 硬度: 莫氏 7 级 规格: Φ3mm - Φ20mm 等	<ol style="list-style-type: none"> <li>绝对洁净: 100%天然无机材质, 确保分析结果无本底污染。</li> <li>化学惰性: 耐酸(氢氟酸除外)、耐碱, 稳定性好。</li> <li>光泽度高: 表面光滑, 对物料粘附少。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>地质、环境、农业样品的实验室分析前处理(国标指定)。</li> <li>食品药品检测样品制备。</li> <li>对金属离子极度敏感的研究级样品研磨。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>硬度有限, 不适用于研磨刚玉、碳化硅等高硬度物料。</li> <li>脆性较高, 使用中需防止剧烈撞击。</li> </ol>
<a href="#">刚玉研磨球/氧化铝球</a>	高纯氧化铝 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> >90	密度: 3.6 - 3.9 g/cm <sup>3</sup> 硬度: 莫氏 9 级 规格: Φ1mm - Φ50mm	<ol style="list-style-type: none"> <li>硬度最高: 仅次于金刚石和少数超硬材料, 研磨力强。</li> <li>高性价比: 在陶瓷研磨介质中价格更具优势。</li> <li>耐高温耐腐蚀: 适用于特殊工艺环境。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>陶瓷釉料、耐火材料、石英、长石等中等硬度非金属矿的研磨。</li> <li>建材、陶瓷行业的常规研磨工艺。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>会引入铝(Al)元素, 严禁用于忌铝污染的物料(如某些特种陶瓷、铝酸钴等)。</li> <li>脆性相对氧化锆略高。</li> </ol>
<a href="#">聚氨酯包铁芯研磨球</a>	内部: 铸铁/钢芯 外部: 耐磨聚氨酯	整体密度: 可变 约 3.5-5.5g/cm <sup>3</sup> 外部硬度: 邵氏 A 硬度 80-95° 规格: Φ15mm - Φ30mm	<ol style="list-style-type: none"> <li>缓冲保护: 聚氨酯层有效降低冲击力, 防止物料过粉碎或晶型破坏。</li> <li>降低噪音: 显著降低设备运行噪音。</li> <li>耐腐蚀: 外层聚氨酯耐多种溶剂。</li> <li>经济增重: 铁芯保证了研磨所需的重量。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>颜料、油墨、涂料的预分散和混合。</li> <li>电池浆料、电子浆料的温和均质化。</li> <li>对剪切力敏感的生物、食品物料的处理。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>不适用于以破碎为目的的高硬度物料研磨。</li> <li>外层聚氨酯磨损至铁芯暴露后需及时更换, 以免引入铁污染。</li> </ol>
<a href="#">硬质合金研磨球</a>	碳化钨-钴 WC-Co	密度: 14.5 - 15.0 g/cm <sup>3</sup> 硬度: HRA 88-93 磨耗: 极低 规格: 可根据要求定制	<ol style="list-style-type: none"> <li>终极耐磨: 硬度极高, 磨损率可忽略不计, 终身免更换。</li> <li>超高能量: 密度最大, 能产生最强的冲击力, 粉碎效率顶级。</li> <li>超高投入产出比: 虽然单价昂贵, 但对于高附加值物料, 其超长寿命和零污染带来的价值远超成本。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>超硬材料: 碳化硅、碳化硼、人造金刚石、宝石等。</li> <li>高纯难磨物料: 要求极限纯度且硬度高的陶瓷粉体、金属粉末。</li> <li>需要极限研磨细度(纳米级)和效率的科研与生产。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>价格非常昂贵, 主要面向特定高端领域。</li> <li>建议与硬质合金球磨罐配套使用, 以达到最佳效果和性价比。</li> </ol>

## 研磨球选型与使用建议:

1. 硬度匹配原则: 研磨球的硬度应显著高于被研磨物料的硬度, 这是保证效率、防止球体过快磨损污染物料的基础。
2. 污染控制原则: 根据物料对杂质 (特别是金属离子) 的敏感度, 选择化学惰性足够、磨损率低的研磨介质。
3. 密度与效率: 高密度球 (如硬质合金、氧化锆) 冲击能量大, 适用于脆性、高硬度物料的破碎; 低密度球 (如玛瑙、聚氨酯) 冲击柔和, 适用于分散、混合或软性物料的研磨。
4. 成本综合考量: 选择时需计算长期综合成本。对于高附加值产品, 使用高单价但极耐磨的研磨球 (如氧化锆、硬质合金), 往往比频繁更换低单价但磨损快的球更经济、产品质量更稳定。
5. 球径配比: 在实际应用中, 通常采用 2-3 种不同直径的研磨球进行配比, 以提高研磨效率和最终产品的粒度均匀性。

**表六: 常见物料莫氏硬度参考与近似对应表**

近似莫氏硬度	代表物料名称 (涵盖矿物、金属、生物材料、工业制品等)
1 极软	矿物类: 滑石、石墨、叶蜡石 生物/食品类: 面粉、淀粉、奶粉、绿茶茶叶 (干燥)、大部分干燥草本植物 化工制品: 干燥皂块、软质蜡、滑石粉 其他: 粉笔 (无骨)、干燥软质粘土
2 软	矿物类: 石膏、琥珀、岩盐 生物/食品类: 干燥咖啡豆 (浅烘)、巧克力 (块)、部分干果、硬质奶酪 化工制品: 硬质石蜡、某些软质塑料 (如 LDPE) 其他: 人体指甲、干燥的动物角质层
3 中软	矿物类: 方解石、大理石、珍珠 (主要成分) 金属类: 纯金、纯银、纯铜、纯铝 生物类: 干燥的动物骨骼 (核心成分-羟基磷灰石, 但结构多孔)、贝壳内层 (珍珠层) 化工制品: 重钙粉 (填料)、一些干燥的油基腻子
4 中等	矿物类: 萤石、软锰矿 金属类: 铂金、纯铁 生物类: 牙齿的牙本质 (外层釉质更硬)、硬化的骨头 工业制品: 普通玻璃瓶、干燥的水溶性涂料 (成膜后)、一些硬质塑料 (如 PS) 其他: 冰块 (0°C 时, 硬度随温度降低而升高)
5 中硬	矿物类: 磷灰石 工业制品: 普通窗玻璃、部分工程塑料 (如 PA 尼龙, 未增强)、硬化后的部分油墨颜料层、普通陶瓷素坯 (未烧结) 其他: 牙齿的牙釉质 (人体最硬组织, 但易脆)
6 硬	矿物类: 正长石、赤铁矿、纯钛 (金属) 工业制品: 低碳钢、不锈钢 (奥氏体)、高硼硅玻璃 (如耐热烧杯)、增强工程塑料 (如玻璃纤维增强尼龙)、部分高性能颜料颗粒 (如某些酞菁蓝) 其他: 大部分常见的“石头” (如花岗岩中的长石成分)
7 高硬	矿物类: 石英、水晶、玛瑙、紫水晶、翡翠 (硬玉) 工业制品: 陶瓷刀具 (氧化锆)、硬化工具钢 (锉刀刃)、碳化硅砂纸的磨料、高质量的硅微粉 其他: “火石” (燧石)
8 很高硬	矿物类: 黄玉、金绿宝石、合成立方氧化锆 工业制品: 硬质合金 (YG8 等)、氮化钛涂层、部分超硬陶瓷

近似莫氏硬度	代表物料名称 (涵盖矿物、金属、生物材料、工业制品等)
	其他: 顶级磨料如刚玉砂 (人工烧结氧化铝)
9 极硬	矿物类: 刚玉 (红、蓝宝石)、碳化钨、碳化硅 (金刚砂) 工业制品: 碳化钨基硬质合金、碳化硼、氧化铝陶瓷 (99 瓷)、高纯氮化硅陶瓷 其他: 高速钢 (淬火后) 的主要耐磨硬质相
10 最高	矿物/合成材料: 金刚石 (钻石) 工业制品: 聚晶金刚石 (PCD 刀具)、金刚石微粉 其他: 科学概念材料 (如理想的金刚石结构)
>10	前沿合成材料: 聚合钻石纳米棒、立方氮化硼 (cBN)、类金刚石碳膜 (DLC, 部分)、未来超硬材料

此表将传统矿物硬度与常见非矿物物料的研磨特性进行近似关联, 旨在为您的选型提供更直观、广泛的参考。

- “近似对应”原则: 对于非矿物物料 (如茶叶、骨头、涂料), 表中硬度值是其研磨行为 (抗压碎、抗划伤能力) 在莫氏标度上的近似对应和工程参考, 而非严格的矿物学测量结果。
- 物料状态关键: 物料的硬度受含水量、密度、颗粒结构、粘合剂等影响极大。例如:
  - 潮湿的茶叶比干燥的软得多。
  - 烧结后的陶瓷比生坯硬数个等级。
  - 骨头的硬度介于其有机组分 (软) 和无机矿物成分 (硬) 之间。
- 选型核心逻辑: 选择研磨介质 (罐与球) 时, 其硬度必须显著高于表中对应物料的硬度值。对于成分复杂或状态不明的物料, 建议从高硬度、高耐磨性的介质 (如氧化锆) 开始试验, 以确保效果并防止污染。
- 特殊物料处理: 对于墨水、颜料、浆料等, 其主要需求常是分散而非破碎, 因此选用低硬度、高弹性的介质 (如聚氨酯球) 和罐体更为合适, 以防止过度研磨破坏性能。

## 核心选型与使用注意事项详解

### 1. 行星罐 vs. 滚筒罐: 根本差异与选择

特性	行星球磨罐	滚筒球磨罐
运动原理	高能复合运动: 罐体既公转又自转, 产生巨大的离心力, 磨球以抛物线轨迹高速撞击物料。	温和翻滚运动: 罐体绕水平轴旋转, 依靠重力将磨球和物料带至高点后滑落, 以摩擦和剪切为主。
能量输入	极高, 冲击力强, 局部温度可能升高。	较低且温和, 发热量小。
研磨效率	极高, 适用于超细研磨 (微米、纳米级) 和机械合金化, 耗时短。	较低, 适用于混合、均化、粗磨或细磨, 需要更长时间。
适用场景	研发、小试、需要纳米级粒度、新材料合成 (如机械合金化)、高硬度物料破碎。	批量生产、物料混合、对粒度分布要求较宽、易热敏或需长时间温和研磨的物料。
选择关键	追求极限细度、高效率和活性反应时选用。	追求温和处理、大容量、连续生产或混合时选用。

## 2. 行星罐数量选择建议

四个罐 (标配) : 效率最大化。充分利用设备工位, 一次实验获得四份平行样品, 数据重复性好, 对比性强。首选推荐, 尤其适用于工艺优化、条件筛选。

两个罐: 需在对角位置放置两个等重量的配平罐 (空罐或装等量物料), 以保证设备动平衡运行平稳。适用于样品数量不多或需要较大单罐容积时。

单个罐: 严禁单独运行。必须使用三个配平罐严格配平, 否则会导致设备严重偏载, 损坏主轴和齿轮, 引发安全事故。非常不推荐, 除非有特殊夹具。

## 3. 材质混用规则 (重要! )

**基本原则: 强烈建议“同质配套”, 禁止“硬碰软”。**

**安全组合 (罐体硬度  $\geq$  研磨球硬度) :**

- 氧化锆罐 + 氧化锆球: 最佳纯净组合。
- 刚玉罐 + 氧化锆球 / 刚玉球: 经典高硬组合。
- 不锈钢罐 + 不锈钢球: 经济通用组合。
- 玛瑙罐 + 玛瑙球: 绝对纯净组合。
- 硬质合金罐 + 硬质合金球: 顶级超硬组合。
- 高分子罐 (尼龙/PTFE/聚氨酯) + 同材质或更软研磨介质: 用于防污染或分散。

**危险组合 (绝对禁止) :**

- 在软质罐中使用硬质球: 例如, 在玛瑙罐中使用氧化锆球或刚玉球, 会迅速磨损甚至撞碎玛瑙罐, 污染样品。
- 在尼龙/PTFE 罐中使用金属球或陶瓷球: 会严重刮伤内壁, 引入污染并破坏罐体。
- 硬质合金球与任何非硬质合金罐混用: 会对罐体造成灾难性磨损。

## 4. 配套研磨球选择 “三步法”

**第一步: 确定材质 (遵循同质或向上兼容原则)**

- 优先选择与罐体材质完全相同的研磨球 (如锆罐配锆球)。
- 若无法实现, 必须确保研磨球的硬度  $\leq$  罐体的硬度。例如, 刚玉罐 (莫氏 9 级) 可以配氧化锆球 (莫氏 8.5 级), 反之则严重磨损罐体。

**第二步: 确定球径与配比**

- 多球径配比效率远高于单一直径。
- 常见经验配比: 大球 : 中球 : 小球  $\approx$  4 : 2 : 1 (体积比或数量比)。

- 球径选择参考：
  - 大球 (如 $\Phi 10-20\text{mm}$ ) : 提供主要冲击力, 负责破碎大颗粒。
  - 中球 (如 $\Phi 5-10\text{mm}$ ) : 承上启下, 进一步细化颗粒。
  - 小球 (如 $\Phi 1-5\text{mm}$  或更小) : 增加接触点, 负责最终的精细研磨和均化, 对获得均匀纳米粒度至关重要。
- 起步建议: 可按 2/3 大球径球 + 1/3 小球径球 进行初步试验。

### 第三步: 确定装填量

- 研磨球装填量 (以罐体容积计) : 30% - 50% 是安全高效区间。
  - 过少 (<30%) : 球与球、球与物料碰撞概率低, 效率低下。
  - 过多 (>50%) : 运动空间不足, 冲击能转化为热能, 导致物料和设备过热, 效率反而下降。
  - 实验室常用甜点: 1/3 (约 33%) 。
- 物料装填量 (球料比) :
  - 球料比 (研磨球质量 : 物料质量) 通常为 1.5:1 到 4:1。
  - 物料体积建议不超过罐体剩余空间 (扣除研磨球后) 的 1/3, 需为研磨球运动留出足够空间。
  - 硬、脆、粗的物料: 采用高球料比 (如 3:1 ~ 4:1) 。
  - 软、韧、细的物料: 采用低球料比 (如 1.5:1 ~ 2:1) 。

## 5. 快速检查清单 (操作前必核)

- 平衡性: 行星盘上的球磨罐总重量是否对称平衡?
- 装填量: 研磨球总体积是否在罐容积的 1/3 至 1/2 之间? 物料是否留出了足够的运动空间?
- 密封性: 罐盖是否已用专用工具均匀拧紧? 特别是进行湿磨或真空研磨时。
- 材质兼容: 研磨球是否比罐体软或等硬? (再次确认)
- 清洁度: 罐体和研磨球是否已清洗并干燥, 无上次实验的残留?
- 工艺参数: 转速、运行时间、正反转周期是否已根据新物料设置? 建议从较低转速开始测试。

最后建议: 对于全新的物料体系, 最佳实践是进行 “小试正交实验” 。固定其他条件, 仅改变 “球料比” 和 “转速” 两个关键变量进行少量测试, 通过检测出料粒度来确定最优工艺窗口, 这是最科学、最经济的工艺开发路径。

温馨提示: 本表格为天创粉末通用选型指南, 所列资料仅供您参考使用。因出厂批次及工艺改进调整, 数据参数会有一些差异, 最终以实际成交为准。具体请联系我们技术客服和业务专业为您提供更为精准的建议。对于特殊物料或工艺, 建议您提供具体样品和工艺要求, 我们的技术工程师将为您提供一对一的免费选型实验与定制化解决方案。天创粉末, 专为您提供可靠的粉体装备与工艺支持。