材料研发

引文格式：侯焕焕，胡博强，王建立，等. 工业氢氧化铝制备 Low-α 射线氧化铝试验研究[J]. 中国有色冶金，2026，55(3)：106-116.

HOU Huanhuan, HU Boqiang, WANG Jianli, et al. Preparation process of low-α alumina by industrial aluminum hydroxide[J]. China Nonferrous Metallurgy, 2026, 55(3): 106-116.

工业氢氧化铝制备 Low-α 射线氧化铝试验研究

侯焕焕，胡博强，王建立，张晓旭，杨　旭，王　毅

（中铝郑州有色金属研究院有限公司，河南 郑州　450041）

［摘　要］ 氧化铝在高端领域的应用需要低放射性，新型合成技术要求以高纯度铝（4 N，放射性核素含量极低）为原料，显著增加了生产成本。本研究采用普通工业氢氧化铝为原料，采用水热合成勃姆石-酸性中和解离放射性元素-煅烧的方法，制备了 Low-α 射线氧化铝产品，并对工艺进行了优化，产品进行了表征分析。在水热反应时间 2 h、反应温度 200℃的条件下，制备的勃姆石比表面积与孔容均达到最大值；原料研磨细化操作可破坏氢氧化铝团聚体的聚集结构，使包裹于团聚体内部的放射性元素充分暴露，经过后续水热法工艺，可实现杂质与放射性元素 Th、U 的有效去除；酸性中和反应可以使勃姆石为前驱体中裹挟的 U、Th 等放射性杂质充分转化为可溶离子进入溶液，在 10% 盐酸、反应时间 2 h 的条件下酸溶，再经 1 250℃煅烧 2 h 后，产品中放射性元素 Th、U 含量均低于 10 ppb（10^{-9}），Na_2O 含量仅为 0.006%，且 α 相转化率超过 90%。本研究以工业氢氧化铝为原料，通过“研磨-水热反应-酸洗-高温煅烧”的组合工艺，制备了符合高端领域要求的 Low-α 射线氧化铝产品，该研究结果可解决目前 Low-α 射线氧化铝生产需要高纯度原料的难题，大幅降低了 Low-α 射线氧化铝产品成本。

［关键词］ 工业氢氧化铝；Low-α 射线氧化铝；勃姆石；研磨；水热-酸溶；孔隙率

［中图分类号］ TF125.2+2；　［文献标识码］ A　［文章编号］ 1672-6103(2026)03-0106-11

DOI：10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2026.03.011

0　引言

氧化铝（Al_2O_3）作为一种性能优异的无机非金属材料，拥有更高的耐火温度、更强的断裂韧性和硬度，以及更优异的耐侵蚀性、电阻率、化学稳定性和生物相容性，广泛应用于电子、陶瓷、航空航天等工业领域[1-3]。然而，天然铝土矿中常伴生铀（U）、钍（Th）等天然放射性核素，其释放的 α 射线对人工智能、半导体、核工业、医疗设备等对放射性要求严苛的高端领域产生不良影响，因此常规的氧化铝产品已无法满足需求[4,5]，亟需开发低放射性氧化铝的制备技术，特别是 Low-α 射线氧化铝产品。

目前已知的 Low-α 射线氧化铝的制备技术有“原料提纯法”、“工艺除杂法”及“新型合成法”三大类，核心技术都是通过降低物料中放射性元素含量来控制制备过程中放射性。目前工业界的主流选择，是通过物理或化学方法对氧化铝生产的核心原料进行分离杂质矿物预处理，从源头上去除其中伴生的 U、Th 等放射性元素。除了原料提纯外，也可以在氧化铝的煅烧、研磨、成型等后续制备流程中，通

［收稿日期］ 2025-11-15　［修订日期］ 2025-12-15

［录用日期］ 2025-12-19　［出版日期］ 2026-06-01

［第一作者］ 侯焕焕（1992—），女，汉族，河南郑州人，硕士，工程师，主要研究方向为精细氧化铝新产品开发及应用。

［通信作者］ 王毅（1984—），男，汉族，河南洛阳人，硕士，高级工程师，主要研究方向为精细氧化铝研发及产业化方面的研究。

［基金项目］ 国家科技支撑计划项目（2012BAB20G01），中国铝业股份公司科技项目“回转窑煅烧生产低钠亚微米氧氧化铝技术研究”（ZZ2018083）。

过改进工艺参数或加入除杂步骤，进一步降低放射性。通常在还原性气氛（例如氢气或者一氧化碳）中，在 1 600℃下 UO_3 被还原为易挥发的 UO_2，结合尾气收集装置，可去除部分 U 杂质。该方法对设备要求较高，目前未在工业生产上采用。另外用回转窑代替静态煅烧炉，使氢氧化铝颗粒等原料在煅烧过程中充分翻动，减少放射性杂质在颗粒表面的富集，同时延长高温停留时间（2 ~ 4 h），促进微痕量挥发性放射性物质的释放，可使总放射性比活度再降低 10% ~ 20%。但是回转窑工况复杂，易引入杂质，设备不稳定，生产难度较大[6-12]。

但是对于核工业、量子器件等对放射性要求极严格的高端领域（放射性比活度低于 1 Bq/kg），传统原料提纯法已经很难满足需求，因此，需采用新型合成技术，真正从源头——无放射性原料出发制备氧化铝。以高纯度铝（4 N ~ 6 N，放射性核素含量极低）为原料，在惰性气氛中与高纯水（电阻率 18 MΩ·cm 以上，去除水中的 U、Th 离子）反应生成氢氧化铝。生成的氢氧化铝经过洗涤、干燥，最后高温煅烧为氧化铝，该方法能够完全避免天然原料中的放射性杂质，制备的氧化铝放射性比活度可低于 0. 1 ppm（10^{-6}），但 4 N 高纯铝本身成本较高，所制备产品售价偏高，不利于下游客户规模化应用；而 6 N 高纯铝成本为 4 N 铝的 3 ~ 5 倍，全球仅少数企业可稳定供应，目前仅适用于实验室研究及小批量高端产品制备[13-16]。同样，也可以用高纯有机铝盐为前驱体，原料纯度高（有机铝盐再经蒸馏提纯后，U、Th 含量可低于 1 ppb（10^{-9}）），通过与高纯水、乙醇混合形成溶胶，再控制水解、缩聚反应形成凝胶，可均匀分散杂质，避免合成过程中放射性核素的富集。最后经低温干燥、高温煅烧后得到高纯氧化铝产品，适用于制备低放射性氧化铝薄膜、纳米粉体等特殊形态的产品，但整体工艺较为复杂，难以在工业产线上实现[17-19]。本文创新性采用普通工业氢氧化铝为原料，通过水热加快反应速率，促进溶解-再结晶过程，形成高孔隙率的勃姆石中间体，再利用酸性条件将吸附在晶系间的 U、Th 元素分散，经过抽滤、高温干燥处理降低其放射性元素含量，经过高温煅烧后获得 Low-α 射线高导热性氧化铝，原料价格低廉，工艺相对简单，易于工业化生产。

1　实验材料和方法

1.1　实验原料与仪器

1）原料及试剂。本实验采用不同产地的氢氧化铝作为原料。其中氢氧化铝的理化指标见表 1。本实验所用的水为去离子水；化学试剂盐酸为分析纯（山西同杰化学试剂有限公司）。

1）主要设备。UPR-Ⅱ-15TNZP 超纯水机；1 L 高压反应釜；1 L 砂磨机；电子天平；PHS-3E 型 pH 剂；YLG-9070A 型精密鼓风干燥箱；T-1700M 箱式高温炉；GDMS 辉光放电质谱仪；NOV/A800 全自动比表面和孔隙率分析仪；百特 2000 激光粒度分析仪；Hitachi Flex SEM1000 扫描电子显微镜；原子吸收分光光度计 4510F；傅里叶分光光度计 732N 型。

1.2　实验方法

将氢氧化铝原料研磨预处理后再水热合成，得到高孔隙率、分散性优异的勃姆石粉体。将所得勃姆石置于酸性介质中进行离子置换反应，实现晶系间放射性元素的解吸与分散；随后经抽滤分离、高温干燥处理，完成放射性元素的脱除与含量降低；最终通过高温煅烧工艺，制得 Low-α 射线氧化铝产品。

1.3　测试与表征

勃姆石含量通过 X 射线衍射仪及灼减含量测试；勃姆石比表面积和孔容结果通过比表面仪测试；氧化铝产品杂质含量通过原子吸收光谱仪、傅里叶分光光度计测试；氧化铝产品放射性元素含量通过 GDMS 测试仪测试；α 相含量通过 X 射线衍射仪测试；微观结构通过扫描电子显微镜（SEM）测试。

2　结果与讨论

2.1　不同产地原料元素分析

为筛选低放射性、低杂质的氢氧化铝原料制备 Low-α 射线氧化铝，本研究选取不同产地的氢氧化铝（AH）样品开展元素、比表面积、粒度分析测试，具体结果见表 1。由表中数据可知，不同产地氢氧化铝的杂质含量存在显著差异，这一现象主要归因于各生产企业所采用的原料组分与制备工艺的不同。在放射性元素含量方面，所有样品中 Th 的含量均低于 100 ppb（10^{-9}），整体处于较低水平；而 U 的含量则相对偏高，且不同样品间差异显著，其中 AH-4 的 U 含量最高，达到 1 500 ppb，AH-2 的 U 含量最低，仅

为150ppb。同时，AH-2比表面积最大，且SiO_2、Fe_2O_3、Na_2O等杂质含量也均处于较低区间。图1为不同产地氢氧化铝的电镜结果，其微观形貌存在显著差异：AH-1、AH-3、AH-5呈现出较大的块状聚集体，晶粒尺寸不均一，AH-4则以不规则团聚体为主，原晶边界模糊，而AH-2的晶粒呈现出均匀的细小颗粒状，原晶尺寸显著小于其他样品。这一特征使得AH-2在后续研磨工序中更易实现精细化处理，为制备粒度可控的Low-α射线氧化铝提供了有利条件。综上，基于低放射性、低杂质、易后处理的原料筛选原则，本研究选取AH-2作为前驱体原料，开展后续Low-α射线氧化铝的制备实验。

表1 不同产地氢氧化铝物理及化学性能分析

Table 1 Analysis of physical and chemical properties of aluminum hydroxide from different origins

样品编号	放射性元素含量/ppb		杂质含量(wt)/%			粒度D_{50}/μm	比表面积/($m^2 \cdot g^{-1}$)
	Th	U	SiO_2	Fe_2O_3	Na_2O		
AH-1	70	380	0.015 0	0.010 0	0.300	66.31	0.227
AH-2	34	150	0.012 3	0.003 4	0.120	45.75	0.456
AH-3	24	185	0.014 4	0.004 2	0.154	57.12	0.251
AH-4	86	1 500	0.005 7	0.005 6	0.370	55.33	0.288
AH-5	5	278	0.036 0	0.004 8	0.150	60.14	0.335

注：$PPb=10^{-9}$。

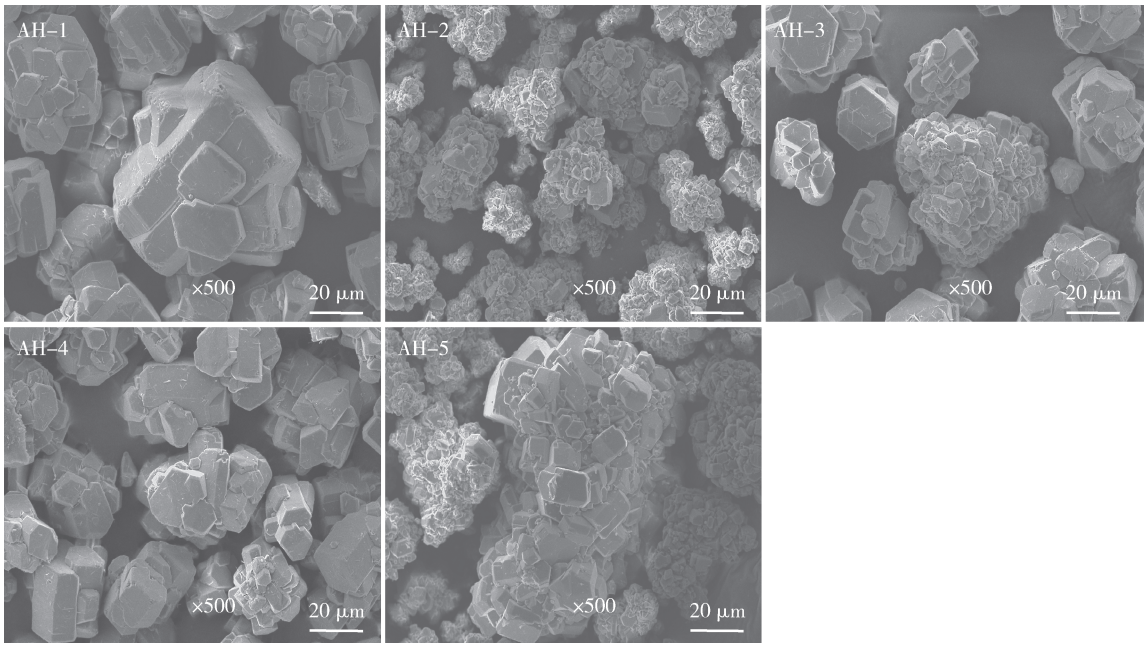


图1 不同产地氢氧化铝的SEM图

Fig. 1 The SEM images of aluminum hydroxide from different origins

2.2 不同水热条件对制备勃姆石孔隙率的影响

2.2.1 不同反应时间对勃姆石孔隙率的影响

采用AH-2为原料，加去离子水制备固含为180 g/L的浆料，并置于1 L反应釜中，搅拌速率为180 r/min，在压力0.5 kPa、温度200℃的条件下，设定不同的反应时间1 h、1.5 h、2 h、2.5 h，待反应结束温度降低至室温后，取样，过滤，并用2 L去离子水冲洗，干燥后进行XRD测试，结果如图2所示。图2表明，在不同的水热反应时间下，所有的衍射峰都为勃姆石的特征峰，未出现氢氧化铝原料或其他杂相的特征衍射峰，表明在反应温度为200℃，当反应时间超过1 h，可以制备勃姆石产品。

图3为不同反应时间下样品的氮气吸脱附曲线。由图可知，所有样品的吸附等温线均与国际理

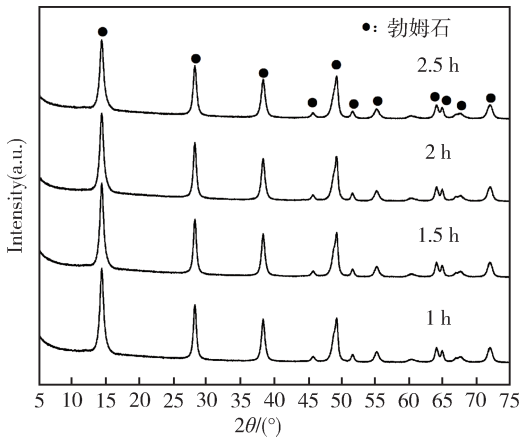


图 2　不同水热反应时间下样品的 XRD 衍射图谱

Fig. 2　XRD diffraction patterns of samples under different hydrothermal reaction time

论与应用化学联合会(IUPAC)定义的Ⅳ型等温线特征高度吻合，表明产物具有典型的介孔结构。在相对压力 P/P_0=0. 5~0. 9 区间内，吸附支与脱附支发生分离，形成 H3 型滞后环，这一现象进一步证实材料中存在介孔孔道，且孔型大概率为狭缝状或片状颗粒堆积孔，同时伴随多层吸附与毛细凝聚效应。对比不同反应时间的样品性能可知，当水热反应时间为 2 h 时，样品的吸附容量达到最大值，且滞后环的闭合体积最大；结合实验条件分析，在反应温度为 200℃时，反应时间 2 h 制备的勃姆石样品具有最优的孔隙率。

孔容、比表面积测试结果如图 4 所示。从图 4 结果可以看出随着反应时间的增加，产品的孔容值不断增加，反应时间为 2 h 达到最大，继续增加反应时间，孔容值反而降低。比表面积结果与孔容结果一致，说明在反应时间为 2 h 时，勃姆石的孔隙率最大。可能的原因是随着反应时间的增加，勃姆石的晶体生长更加完善、晶粒尺寸更均匀。均匀的晶粒堆积时会形成更规则的堆积间隙，减少无效的致密堆积区域，并且晶体生长过程中会逐渐排出内部残留的水分子或杂质，形成新的微孔。

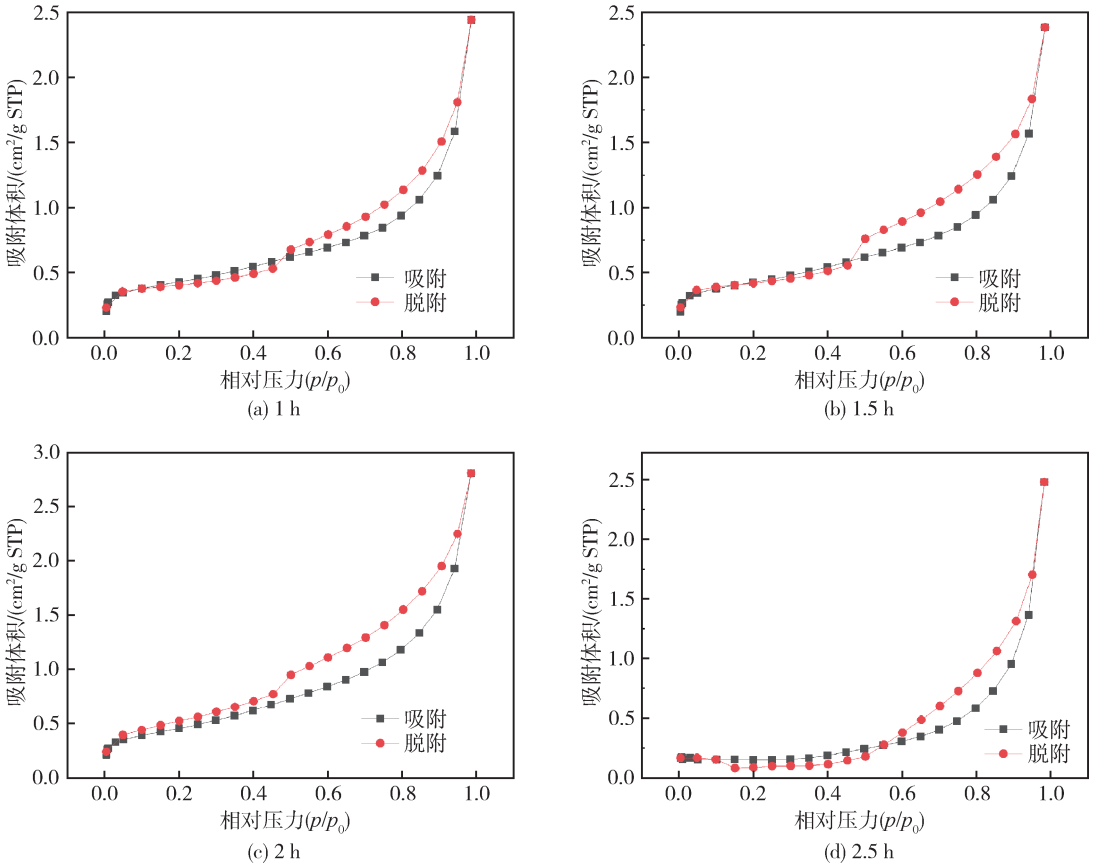


图 3　不同水热反应时间下样品的氮气吸脱附曲线

Fig. 3　Displays the nitrogen adsorption-desorption isotherms of samples prepared under different hydrothermal reaction time

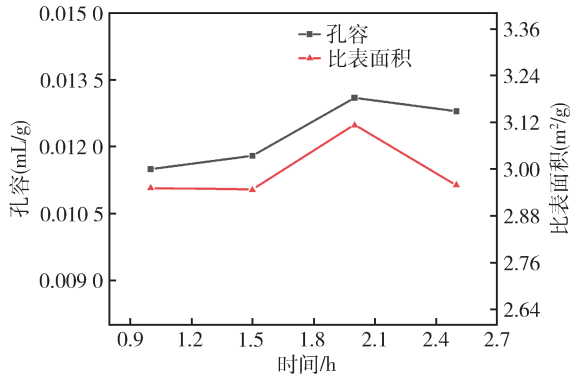


图4 不同水热反应时间下样品的孔容、比表面积结果

Fig. 4 Pore volume and specific surface area results of samples under different hydrothermal reaction time

2.2.2 不同反应温度对勃姆石孔隙率的影响

采用AH-2为原料，在水热反应的条件下，设置不同的温度180、190、200、210℃，分别反应2 h，待反应结束温度降低至室温后，取样，过滤，并用2 L去离子水冲洗，干燥后进行XRD测试，XRD结果见图5。结果表明，所有的衍射峰都是勃姆石特征峰，未出现氢氧化铝原料或其他杂相特征衍射峰，表明在反应时间2 h条件下，反应温度高于180℃时，反应完全，生成了勃姆石。

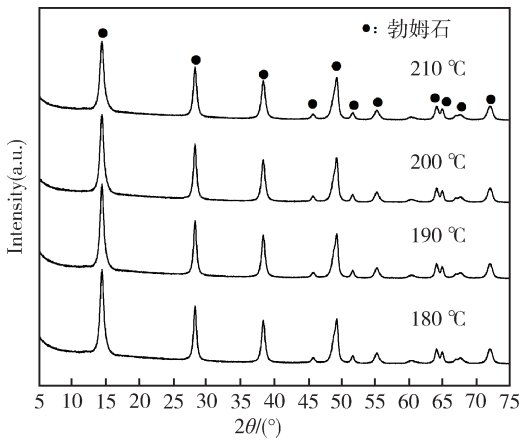


图5 不同水热反应温度下样品的XRD衍射图谱

Fig. 5 XRD diffraction patterns of samples under different hydrothermal temperatures

图6为不同反应温度下样品的氮气吸脱附曲线。图6表明，所有样品的吸附等温线均与IV型曲线大致相符合，说明产物中存在介孔，并且在相对压力 P/P_0=0.5~0.9区间内，吸附支与脱附支发生分离，形成H3型滞后环。对比不同反应温度下的样品

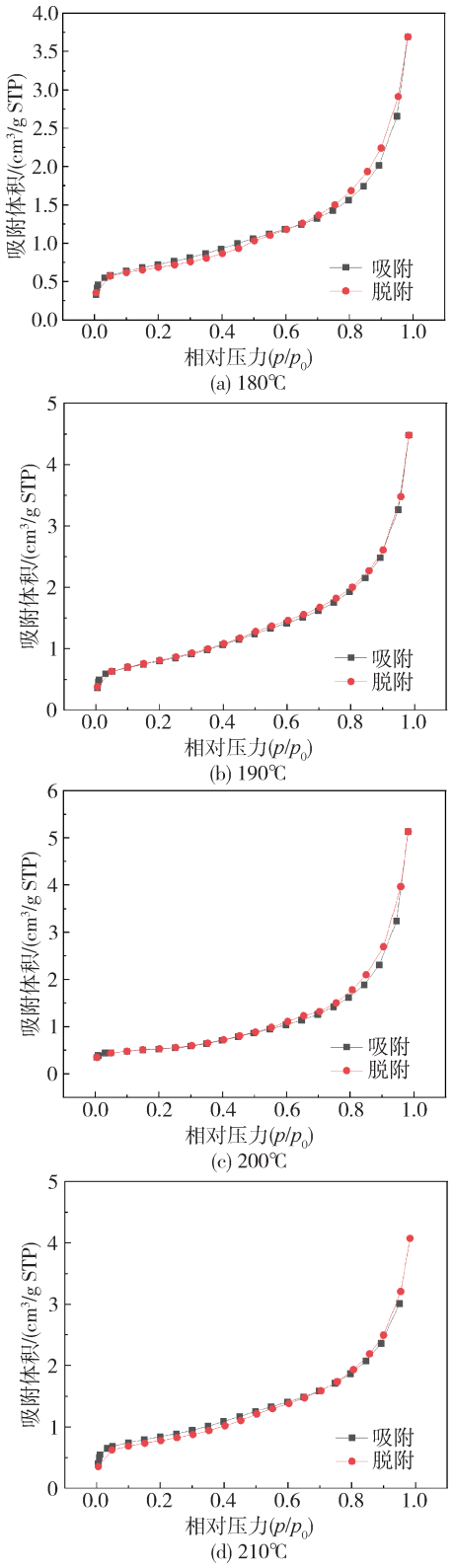


图6 不同水热反应温度下样品的氮气吸脱附曲线

Fig. 6 Displays the nitrogen adsorption-desorption isotherms of samples prepared under different hydrothermal reaction temperatures

性能可知，当水热反应温度为 200℃时，样品的吸附容量达到最大值，且滞后环的闭合体积相对较大；结合实验条件分析，反应时间 2 h、反应温度 200℃条件下制备的勃姆石样品具有最优孔隙率。

图 7 为不同水热温度下所制备勃姆石样品的孔容、比表面积分析结果，结果表明，随着反应温度升高，产品孔容值不断增加，比表面积的大小变化不规律，但是在反应温度为 200℃时比表面积达到最大，勃姆石样品的孔隙率为最大。分析原因，可能是水热反应温度的升高促使勃姆石晶体快速成核并生长，加速了晶体转化，强化了孔道形成与扩张，从而使勃姆石孔隙率增大；但是温度过高时，勃姆石易发生晶粒异常长大，且存在液相烧结融并，使原本由细晶粒搭接形成的多孔结构发生坍塌，孔隙被致密晶粒填充，晶内孔也因晶粒长大被挤压闭合，使得孔隙率显著下降。

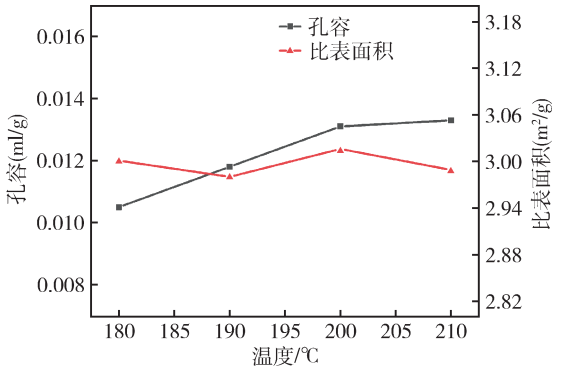


图 7　不同水热反应温度下样品孔容、比表面积

Fig. 7　Pore volume and specific surface area results of samples under different hydrothermal reaction temperatures

2.3　原料粒径对勃姆石孔隙率及放射性元素含量的影响

将原料用砂磨机研磨至粒度为 20 μm、10 μm、5 μm 左右，按照最佳反应条件进行水热反应后，制备勃姆石样品。样品理化性质测试结果见表 2，XRD 测试结果见图 8，样品电镜结果见图 9。

表 2 数据表明，随着原料氢氧化铝 D_{50} 粒径的减小，所制备勃姆石样品的孔容与比表面积均呈显著递增趋势，放射性元素 Th、U 的含量则呈逐渐降低趋势。其中，当原料 D_{50} 粒径从 68.21 μm 降至 5.51 μm 时，勃姆石孔容由 0.013 6 mL/g 提升至 0.015 2 mL/g，比表面积由 2.990 m^2/g 增大至

表 2　原料粒径对勃姆石性能的影响

Table 2　Effect of raw material particle size on the properties of boehmite

D_{50}/μm	孔容/(mL·g^{-1})	比表面/(m^2·g^{-1})	Th/ppb	U/ppb
68.21	0.013 6	2.990	<10	110
24.56	0.013 8	3.764	<10	104
9.44	0.014 4	5.642	<10	100
5.51	0.015 2	5.884	<10	92

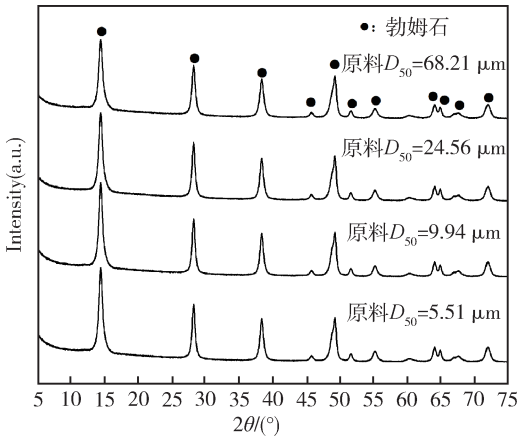
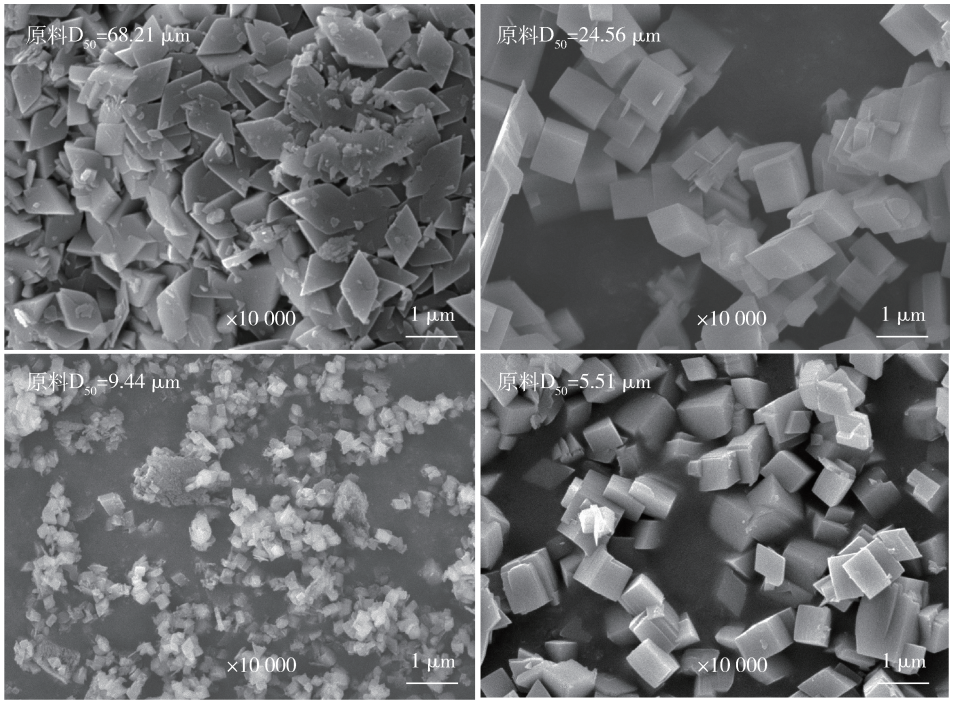


图 8　不同粒径氢铝原料制备出勃姆石样品的 XRD 衍射图谱

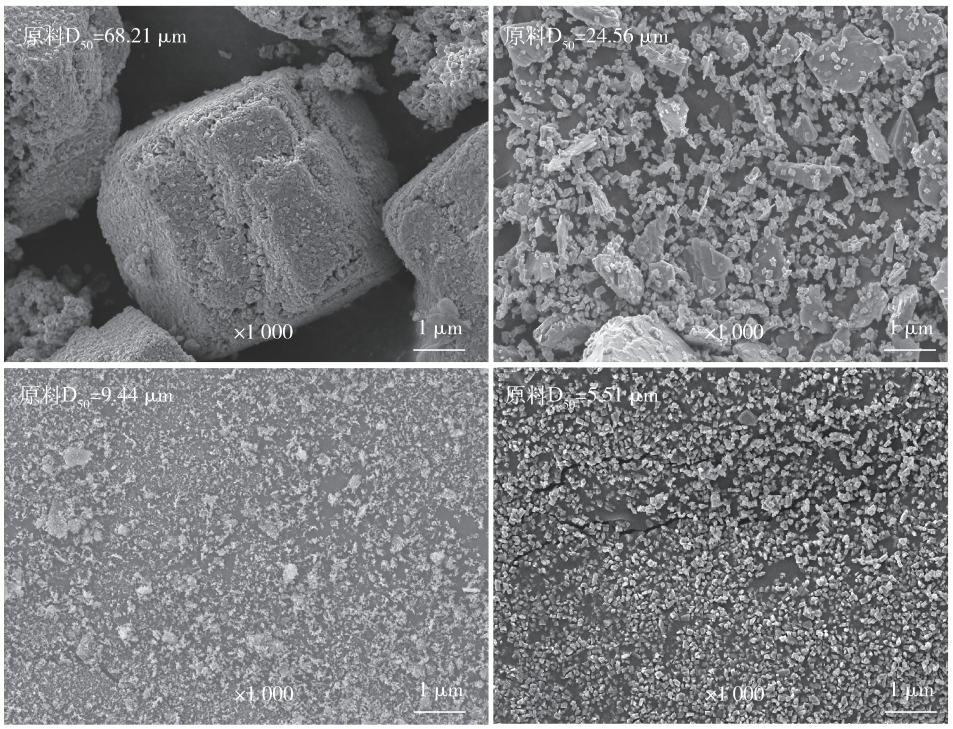
Fig. 8　XRD diffraction patterns of boehmite samples prepared from hydrogen-aluminum raw materials with different particle sizes

5.884 m^2/g，U 元素含量从 110 ppb（10^{-9}）降至 92 ppb，Th 元素含量则始终低于检出限（<10 ppb）。水热合成工艺能够有效提升体系的反应动力学速率，驱动原料发生溶解-再结晶过程。该结果说明，原料研磨细化操作可破坏氢氧化铝团聚体的聚集结构，使包裹于团聚体内部的放射性元素充分暴露，后续水洗工序则可通过溶解与脱附作用，实现对放射性元素 Th、U 的有效去除。

分析图 8 XRD 衍射图谱可知，不同粒径原料所制备的产物均为纯相勃姆石，未出现氢氧化铝原料或其他杂相的特征衍射峰，表明原料粒径的变化不会改变水热反应的物相转化方向，体系始终保持较高的反应转化率。进一步对勃姆石特征衍射峰进行分析，结果显示，随着原料 D_{50} 粒径的减小，产物特征衍射峰的半高宽（FWHM）呈逐渐增大趋势。根据 Scherrer 公式计算可知，勃姆石的晶粒尺寸随原料粒



(a) 10 000倍



(b) 1 000倍

图9 不同粒度勃姆石在不同倍数10 000倍、1 000倍下的SEM图

Fig. 9 SEM images of boehmite with different particle sizes at magnifications of 10 000× and 1 000×

径细化而逐渐减小,这一结论与表2结果对应,晶粒尺寸减小直接导致材料比表面积增大,同时为孔道结构的发育提供了更多位点,最终表现为孔容的提升。结合图9 SEM表征结果可知,原料研磨粒度的细化程度与产物勃姆石的晶粒尺寸、分散性呈正相关,即原料粒径越小,所制备勃姆石的晶粒发育更

均匀，团聚现象更轻微，微观形貌更规整。

图 10 为不同粒度勃姆石的氮气吸脱附曲线。结果表明，所有样品的吸附等温线均与Ⅳ型曲线大致相符合，说明产物中存在介孔。在相对压力 P/P_0=0.5~0.9 区间内，吸附支与脱附支发生分离，形成 H3 型滞后环。随着勃姆石粒径降低，吸附量增加，但是在粒径为 5.51 μm 时回滞环面积最小，说明介孔不发达，但是在高压区吸附量急剧上升，说明存在较多的颗粒空隙。结合实验条件进行分析，说明研磨有利于增大勃姆石的孔隙率。

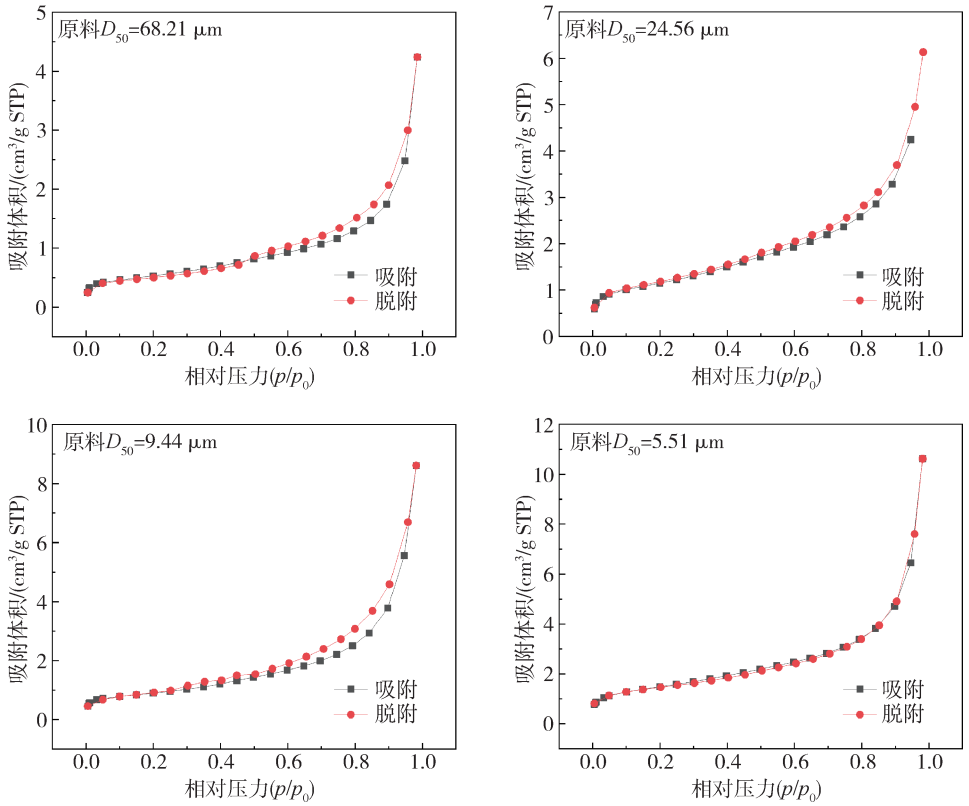


图 10　不同粒度勃姆石的氮气吸脱附曲线

Fig. 10　Nitrogen adsorption-desorption isotherms of boehmite with different particle sizes

2.4　不同酸溶时间对勃姆石放射性元素含量的影响

以大孔隙率勃姆石为前驱体制备浆料，选用浓度 10% 的盐酸（HCl）作为酸性溶剂，通过逐滴加入盐酸并持续搅拌，利用 pH 计实时监测体系 pH 值，以体系 pH=4 为滴定终点；随后在不同酸性反应时长条件下完成中和反应，使前驱体中裹挟的 U、Th 等放射性杂质充分转化为可溶离子进入溶液；所得混合浆料经干燥处理后，对其理化性能开展系统表征，相关测试数据见表 3。

表 3 结果显示，随着酸性溶液反应时间的延长，勃姆石中放射性元素含量呈先降低后升高的变化趋势，同步伴随 Na_2O 含量的相似演变规律。当反应时间从 0.5 h 延长至 2 h 时，样品中 U 元素含量由 52 ppb 降至<10 ppb，达到最低值；Th 元素含量则始终低于检出限（<10 ppb），Na_2O 含量从 0.039% 降至 0.007%。当反应时间进一步延长至 2.5 h 时，U 元素含量回升至 20 ppb，Na_2O 含量亦上升至 0.01%。综合上述指标变化规律，确定 2 h 为该酸

表 3　酸性溶液反应时间对勃姆石理化性能的影响

Table 3　Effect of reaction time in acidic solution on the physicochemical properties of boehmite

反应时间/h	Th/ppb	U/ppb	Na_2O/%
0.5	<10	52	0.039
1.0	<10	45	0.024
1.5	<10	18	0.012
2.0	<10	<10	0.007
2.5	<10	20	0.010

性中和反应的最优时长。分析原因，在酸性反应初期延长反应时间可促进体系中U元素逐步转化为可溶性铀酰离子(UO_2^{2+})，Th元素解离为钍离子(Th^{4+})，离子态的放射性元素更易通过固液分离实现脱除；然而，当反应时间超过2 h后，过量的酸会与勃姆石基体发生深度反应，促使勃姆石晶体结构中的铝氧键断裂，逐步生成无定形铝溶胶，该铝溶胶会覆盖勃姆石表面的活性位点，或通过胶体吸附作用将体系中已解离的放射性离子重新固载于样品表面，进而导致放射性元素含量出现回升趋势。

2.5 制备Low-α射线氧化铝

以获得的大孔隙率勃姆石为前驱体浆料，在不同酸性反应时长条件下完成中和反应，将获得的低放射性勃姆石样品放入高温炉中，1 250℃下煅烧2 h后，取样测试。理化性能测试结果见表4，XRD衍射结果见图11，电镜结果见图12。测试结果表明，采用AH-2为原料，经过研磨、水热反应、酸洗、高温煅烧后，能够制备出放射性元素Th、U小于10 ppb，Na_2O含量为0.006%，α转化率大于90%，晶型为块状的低放射性α-氧化铝。

表4 煅烧对氧化铝理化性能的影响

Table 4 Effect of calcination on the physicochemical properties of alumina

原料	煅烧样品放射性元素及Na_2O含量			α转化率/%
	Th/ppb	U/ppb	Na_2O/%	
AH-2	<10	<10	0.006	94.8

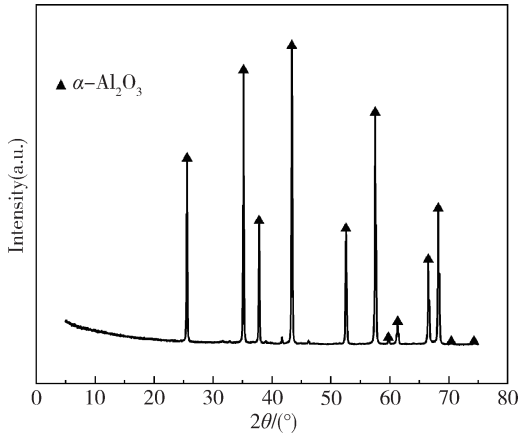


图11 煅烧后氧化铝XRD图

Fig. 11 XRD image of alumina after calcination

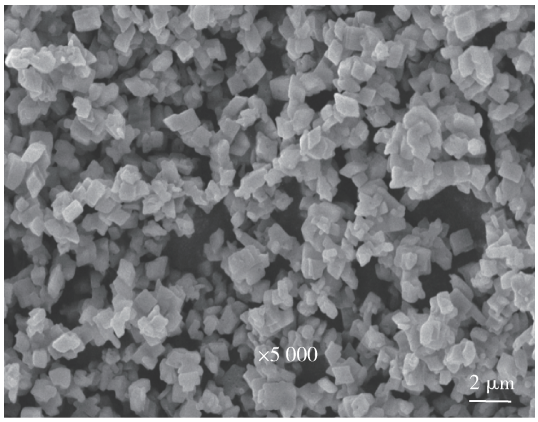


图12 煅烧后氧化铝SEM图

Fig. 12 SEM image of alumina after calcination

3 结论

针对目前制备低放射性氧化铝(Al_2O_3)技术存在的原料纯度要求高的问题，本研究以普通工业氢氧化铝为原料，采用水热合成勃姆石-酸性中和解离放射性元素-煅烧的方法，制备了Low-α射线氧化铝产品。

1)在水热反应时间2 h、反应温度200℃的条件下，制备的勃姆石比表面积与孔容均达到最大值。

2)原料研磨处理可有效降低产品中杂质与放射性元素含量。原料研磨细化操作可破坏氢氧化铝团聚体的聚集结构，使包裹于团聚体内部的放射性元素充分暴露；经过后续水热法工艺，可实现杂质与放射性元素Th、U的有效去除。

3)酸性中和反应可以使勃姆石为前驱体中裹挟的U、Th等放射性杂质充分转化为可溶离子进入溶液，在10%盐酸、反应时间2 h的条件下酸溶，再经1 250℃煅烧2 h后，产品中放射性元素Th、U含量均低于10 ppb，Na_2O含量仅为0.006%，且α相转化率超过90%。

4)本研究以工业氢氧化铝为原料，通过“研磨-水热反应-酸洗-高温煅烧”的组合工艺，制备了符合高端领域要求的Low-α射线氧化铝产品，该研究结果可解决目前Low-α射线氧化铝生产需要高纯度原料的难题，大幅降低了Low-α射线氧化铝产品成本。

[参考文献]

[1] 王建立，宋为聪，张显智. 回转窑煅烧生产电子陶瓷用低钠氧化铝技术研究[J]. 真空电子技术，2015，16(4)：59-62.

WANG Jianli, SONG Weicong, ZHANG Xianzhi. Research on production technology of low sodium alumina for electronic ceramic with rotary kiln[J]. Vacuum Electronics, 2015, 16(4): 59-62.

[2] 王毅，李东红，陈玮，等. α氧化铝晶型结构影响因素分析[J]. 中国有色冶金，2017，6(12)：72-74.
WANG Yi, LI Donghong, CHEN Wei, et al. Influencing factors of alpha alumina's crystal structure [J]. China Nonferrous Metallurgy, 2017, 46(12): 72-74.

[3] 王蕾，武鼎铭，董光，等. 高纯易烧结α-Al_2O_3陶瓷粉体及成瓷性能的工业化研究[J]. Material Sciences，2022，12：61.
WANG Lei, WU Dingming, DONG Guang, et al. An industrial study on high purity and easy to sinter α-Al_2O_3 ceramic powder and its porcelain performance [J]. Material Sciences, 2022, 12: 61.

[4] GARCIA F, MAIROV A, CESERACCIU L, et al. Radiation endurance in Al_2O_3 nanoceramics[J]. Scientific Reports, 2016, 6(1): 33478.

[5] 海然，刘俊霞，李建伟，等. 氧化铝赤泥放射性及其屏蔽机制研究现状[J]. 无机盐工业，2016，48(9)：10-12，17.
HAI Ran, LIU Junxia, LI Jianwei, et al. Research status of radioactivity and shielding mechanism of alumina red mud [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2016, 48(9): 10-12, 17.

[6] 泽野清志，今井笃比古，柏原孝行，等. 制备球形氧化铝粉末的方法：CN201110157941. 2[P]. 2011-04-15.
ZEYE Q Z, JINJING Z G, BAIYUAN X X, et al. Preparation methods of spherical alumina powder: CN201110157941. 2[P]. 2011-04-15.

[7] 胡世成，姜兵，刘雪，等. 一种POP封装用低放射性球形氧化铝及其制备方法：202310945882. 8[P]. 2023-10-24.
HU Shicheng, JIANG Bing, LIU Xue, et al. A low-radioactivity spherical alumina for POP packaging and its preparation method: 202310945882. 8[P]. 2023-10-24.

[8] 张奋航，郭洪，王石平，等. 一种低放射性球形氧化铝及其制备方法和应用：202411655934. 9[P]. 2025-02-21.
ZHANG Fenhang, GUO Hong, WANG Shiping, et al. A low-radioactivity spherical alumina and its preparation method and application: 202411655934. 9 [P]. 2025-02-21.

[9] 马淑云，李清云，付士旭，等. 一种低放射性氧化铝粉的制备方法：202411569869. 8[P]. 2025-01-24.
MA Shuyun, LI Qingyun, FU Shixu, et al. The preparation method of a low-radioactivity alumina powder: 202411569869. 8 [P]. 2025-01-24.

[10] 胡世成，姜兵，彭泽华，等. 一种低放射性氧化铝粉及其制备方法：202211453088. 3[P]. 2023-04-11.
HU Shicheng, JIANG Bing, PENG Zehua, et al. A low-radioactivity alumina powder and its preparation method: 202211453088. 3[P]. 2023-04-11.

[11] 王帅旗. 低放射性氧化铝赤泥地聚物制备机制研究[D]. 郑州：中原工学院，2019.
WANG Shuaiqi. Study on preparation mechanism of low radioactive alumina red mud geopolymer [D]. Zhengzhou: Zhongyuan University of Technology, 2019.

[12] FOUAD S, HESHAM T, NABIL E, et al. A Co-precipitated α-alumina (Al_2O_3) used as a TL-micro dosimete [J]. Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie, 2021, 13 (647): 1354-1362.

[13] ERET M, LOWY L, KLOUZER J, et al. Effect of alumina source on the retention of rhenium during low-activity waste feed conversion to glass[J]. Ceramics International, 2024, 50(21): 42229-42236.

[14] 车洪生，谢庚彪，刘现民，等. 勃姆石制备过程与机理研究[J]. 轻金属，2022 (3)：24-27.
CHE Hongsheng, XIE Gengbiao, LIU Xianmin, et al. Study on preparation process and mechanism of boehmit [J]. Light Metals, 2022(3): 24-27.

[15] 温俊磊，江琦. 多种形貌勃姆石纳米材料制备的研究进展[J]. 材料导报，2016，30(7)：42-48.
WEN Junlei, JIANG Qi. Review for the synthesis of boehmite nanomaterials with diverse morphologie[J]. Materials Reports, 2016, 30 (7): 42-48.

[16] KARLSSON P, PALMQVIS A E C, HOLMBERG K. Surface modification for aluminium pigment inhibition[J]. Advances in Colloid&Interface Science, 2007, 21(128-130): 121-134.

[17] HUANG C L, WANG J J, YEN F S, et al. Microwave dielectric properties and sintering behavior of nano-scaled (α+θ)-Al_2O_3 ceramics[J]. Material Research Bul1etin, 2008, 43(6): 1463-1471.

[18] YAMAMURE K, KOBAYASHI Y, YASUDA Y, et al. Low temperature synthesis of α-alumina through a hydrothermal process combined with a seeding technique [J]. Materials Research Innovations, 2019, 23(3): 166-171.

[19] 张良. 超细粉体勃姆石的制备及其吸附性能研究[D]. 郑州：郑州大学，2022.
ZHANG Liang. Study on the preparation and adsorption properties of ultrafine boehmite powders [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2022.

Preparation process of low-α alumina by industrial aluminum hydroxide

HOU Huanhuan, HU Boqiang, WANG Jianli, ZHANG Xiaoxu, YANG Xu, WANG Yi
(Zhengzhou Non-ferrous Metals Research Institute Co., Ltd. of CHALCO, Zhengzhou 450041, China)

Abstract: Low-radioactivity alumina is highly demanded in high-end applications. However, the emerging synthetic route using 4 N high-purity aluminum (with extremely low radionuclide content) as feedstock leads to a remarkable increase in production cost. In this work, low-α alumina was prepared from ordinary industrial aluminum hydroxide via a combined process: hydrothermal synthesis of boehmite, acid leaching for removal of radioactive elements, and high-temperature calcination. The process was optimized, and the products were systematically characterized. The maximum specific surface area and pore volume of boehmite were achieved at a hydrothermal temperature of 200℃ for 2 h. Grinding pretreatment destroyed the agglomerate structure of aluminum hydroxide, exposing the encapsulated radioactive elements, which facilitated the efficient removal of Th, U and other impurities in the subsequent hydrothermal process. Acid neutralization converted the entrapped U and Th in the boehmite precursor into soluble ions. After acid leaching with 10% HCl for 2 h and calcination at 1 250℃ for 2 h, the contents of Th and U in the product were both below 10 ppb(10^{-9}), the Na_2O content was only 0.006%, and the α-phase conversion ratio exceeded 90%. Using industrial aluminum hydroxide as raw material, high-performance low-α alumina satisfying high-end application requirements was obtained via the grinding-hydrothermal-acid washing-calcination process. This strategy breaks the dependence on high-purity feedstocks for low-α alumina production, and significantly reduces the manufacturing cost.

Key words: industrial aluminum hydroxide; low-α alumina; boehmite; grinding; hydrothermal-acid dissolution; porosity

电解铝柔性生产技术取得重要进展

近日,从郑州大学河南省重大科技项目攻关课题组传来消息,由郑州大学、河南中孚实业股份有限公司及郑州轻冶科技股份有限公司联合承担的河南省重大科技项目攻关课题“大型铝电解生产蓄能调峰试验与工业示范”取得重要进展。

课题组经过为期3年的研究开发,在HORRS系统(“铝电解槽热调控及余热回收系统”,又称“双端节能系统”)支持下,采用在线动态分流技术,在400 kA工业生产线上模拟电解铝负荷大幅度波动的工况,对两台400 kA工业电解槽进行了为期两个月的柔性生产(蓄能调峰)试验。顺利完成电解槽负荷0~-5%、0~-10%、0~-20%波动条件下的运行试验,试验过程中电解槽电压稳定,未产生明显磁流体动力学不稳定性,槽温波动平均值5~6℃、最大值7~10℃,电解槽炉膛内形未产生明显不利改变。试验结果表明,在供电负荷波动-20%的情况下,铝电解槽能够保持稳定运行。该试验结果初步验证了课题组提出的电解铝柔性生产“昼夜型”模型的可靠性。

据悉,课题组目前正在加紧整理试验数据,对相关技术参数、技术指标和试验工作作全面总结评估。

(资料来源:中国有色金属报)