

附件 2

卫生陶瓷行业碳减排技术指南

为深入贯彻落实党中央、国务院关于碳达峰、碳中和的重要决策部署，完整、准确、全面贯彻新发展理念，坚决遏制“两高”项目盲目发展，践行“宜业尚品、造福人类”建材行业发展目标，科学做好卫生陶瓷行业节能降碳改造升级，推动卫生陶瓷行业节能降碳和绿色转型，根据《关于严格能效约束推动重点领域节能降碳的若干意见》《高耗能行业重点领域节能降碳改造升级实施指南（2022年版）》《工业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）》《建材行业碳达峰实施方案》，制定本技术指南。

一、总体要求

完整、准确、全面贯彻新发展理念，科学处理发展和减排、短期和中长期的关系，突出标准引领作用，深挖节能降碳技术改造潜力，按照“因业施策”、“因企施策”、“一线一策”的原则，加快推进卫生陶瓷行业节能降碳步伐，带动全行业绿色低碳转型，确保如期实现碳达峰目标。

二、遵循原则

因地制宜，综合考虑技改投资与收益，不以提产为主要目标，采用适宜的技术方案，降低单位产品碳排放，以最优的技术经济指标运行。对拟建、在建项目，应对照能效标杆水平建设实施，推动能效水平应提尽提，力争全面达到或优于标杆水平。对能效落后于行业基准水平的存量项目，明确改造升级和淘汰时限，（一般不超过3年），引导企业有序开展节能降碳技术改造，在规定时限内将能效改造升级到基准水平以上，力争达到或优于能效标杆水平；对于不能按期改造完成的项目进行淘汰。

三、现状分析

目前，全国卫生陶瓷行业规模以上企业 370 多家，卫生陶瓷隧道窑生产线 200 多条，梭式窑 1000 多座，其中广东、河南、河北三省的卫生陶瓷总产量约占全国产量的 77%。主要产区有广东佛山及潮州、河南长葛、河北唐山、湖北宜昌等。2022 年，我国卫生陶瓷产量超过 2 亿件，出口超过 1 亿件，是全球最大的卫生陶瓷生产国。根据《高耗能行业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023 年版）》，卫生陶瓷能效标杆水平为 300 千克标准煤/吨，基准水平为 630 千克标准煤/吨。截至 2022 年底，卫生陶瓷行业能效优于标杆水平的产能占比小于 10%，能效落后于基准水平的产能占比小于 5%。卫生陶瓷行业作为落实建材行业碳达峰的重点行业，节能降碳的压力较大，但通过采用先进的技术和装备，也具有较大的提升改造潜力。

受工业和信息化部委托，中国建筑材料联合会选取了 2 家典型卫生陶瓷企业，其中年产 300 万件和年产 100 万件的卫生陶瓷生产线各 1 家，作为落实建材行业碳达峰实施方案的“试验田”，开展解剖“麻雀”式的调查研究，这 2 家企业涵盖了传统的组合注浆生产线和压力注浆生产线，且具有一定的自动化程度，在卫生陶瓷行业具有一定的代表性、典型性，为本指南提供了主要的基础数据和节能降碳技术路径支撑。

四、主要目标

到 2025 年，卫生陶瓷行业能效标杆水平以上产能比例达到 30%，能效基准水平以下产能基本清零，行业节能降碳效果显著，绿色低碳发展能力大幅增强。

到 2030 年，标杆水平进一步提高，达到标杆水平企业比例大幅提升，行业整体能效水平和碳排放强度达到国际先进水平，为如期实现碳达峰目

标提供有力支撑。

表 1 卫生陶瓷行业能效标杆水平和基准水平（2023 年版）

指标名称	指标单位	标杆水平	基准水平	参考标准
卫生陶瓷	kgce/t	300	630	GB 21252

五、卫生陶瓷行业节能降碳技术清单

卫生陶瓷行业碳排放分为直接排放和间接排放，直接排放包括燃料燃烧排放和生产过程（碳酸盐分解）排放两部分；间接排放包括卫生陶瓷生产环节中的电力消耗，以及发电、供热和运输等非生产环节的能耗所折合的二氧化碳排放。

目前卫生陶瓷行业的燃料结构以天然气为主，原料加工过程电耗不足单位产品综合能耗的 5%，成型及坯体干燥工序能耗占单位产品综合能耗的 25%-35%，产品烧成过程的天然气能耗占单位产品综合能耗的 55%-70%，辅助用能环节的电耗小于单位产品综合能耗的 10%。对照碳排放产生环节和影响因素，提升能效技术包括窑炉耐火材料和保温性能整体提升、窑车窑具材料轻型化、低能耗烧成、高效球磨、高压注浆成型、卫生陶瓷轻量化等；降碳技术包括燃料和能源替代技术、原料替代技术，这些技术目前均较为成熟，分别具有不同的节能降碳潜力，可作为指导卫生陶瓷企业进行碳减排优化改造实施的行动指南。

表 2 卫生陶瓷行业节能降碳技术清单

序号	技术名称	
1	提升能效技术	1.软硬质原料分开球磨化浆技术
		2.球磨机节能降耗技术
		3.泥浆加热系统与压力罐封闭送浆技术
		4.高压注浆成型技术
		5.低压快排水注浆技术
		6.少空气干燥技术

		7.微波干燥技术
		8.隧道干燥系统
		9.窑炉耐火材料和保温性能整体提升技术
		10.窑车窑具材料轻型化技术
		11.窑炉烧嘴脉冲燃烧控制技术
		12.宽断面窑炉烧成技术
		13.轻量化技术
		14.低能耗快烧技术
		15.窑炉余热利用综合管理系统
		16.智能化生产技术及成套装备开发
2	燃料、能源替代技术	1.生物质燃料替代技术
		2.光伏发电技术
3	原料替代技术	1.低品位原料替代技术和废泥料、废瓷料回收利用技术
		2.压榨污泥处理回用技术

六、卫生陶瓷行业节能降碳技术路径及预期效果

(一)提升能效技术

旨在提高现有卫生陶瓷工业设备的性能和效率，通过技术优化和局部改进降低系统能耗，达到碳减排的目的，卫生陶瓷企业可根据实际使用的设备及工艺状况组合使用。

1. 软硬质原料分开球磨化浆技术

技术路径：将原料分别加工，硬质料直接球磨，软质料直接化浆，然后两种浆料混合。减少球磨料的量，提高生产效率，并且可保护部分浆料结构性能不被破坏，提升浆料性能，提高产品的成品率，进一步降低产品的单位生产能耗。

预期效果：单位产品能耗降低 0.8~1kgce/t。

2. 球磨机节能降耗技术

技术路径：采用定期更换球磨机磨损内衬；调整球石级配；研磨球石

更换为高铝球石，提高球磨装载量和球磨效率；加装变频电机，通过变频调速，确定球磨机的最佳转速；永磁电机应用。

预期效果：节省球磨能耗 0.6~1kgce/t。

3. 泥浆加热系统与压力罐封闭送浆技术

技术途径：利用窑炉余热对泥浆进行水浴加热和管道保温，使泥浆温度保持在 35℃左右，并通过压力将供浆罐泥浆稳定地输送至注浆模具。

预期效果：单位产品能耗降低 0.2~0.5kgce/t。

4. 高压注浆技术

技术路径：采用树脂模具和高压注浆设备，利用多孔树脂模将泥浆中水分压滤排出，实现卫生陶瓷坯体快速成型。将成型周期由原有的每日注浆 1 次提高到每日注浆 40~50 次，模具寿命达 1 万次以上，同时压力注浆技术取消了模具干燥工艺，比传统注浆方式节省模具干燥和加热工作环境所需的热能。

预期效果：降低单位产品能耗 12~14kgce/t。

5. 低压快排水注浆技术

技术路径：以高强石膏作为模具，通过特殊方式在模具内形成直径约 5mm 的互联多孔通道，该通道主管道与真空、压力管路系统相连，采用组合浇注生产方式，注浆压力在 0.1~0.2MPa，注浆效率达到每天两班，每班两次，模具的使用寿命可达 180 次。

预期效果：降低单位产品能耗 4~6kgce/t。

6. 少空气干燥技术

技术路径：少空气干燥技术采用对密闭干燥室内的空气不断循环加热，使置于干燥室内的陶瓷坯体内部、表面的水蒸气分压与干燥室内水蒸气分压趋于平衡，坯体内外不产生应力，然后再升温排湿，从而达到快速

干燥的目的。

预期效果：坯体合格率 95%，蒸发能耗 1200kcal/（kg 水），较常规干燥降低能耗 50%，过程自动可控，干燥节能约在 13~15kgce/t。

7. 微波干燥技术

技术路径：微波干燥技术通过微波辐射作为能量源，将物料内部分子发生振动并摩擦产生热，使卫生陶瓷内外同时受热，使坯件内外温差更小，受热更均匀，使得最终产品的质量更高。

预期效果：一般可节能约 8~10kgce/t。

8. 隧道干燥系统

技术路径：利用窑炉余热，采用机器人装车、隧道窑梯度干燥的方式，通过自动控制系统，达到连续生产的目的，系统包括隧道干燥系统、自动装载系统，自动化运转系统。

预期效果：减少干燥用热风炉，节约标煤约 28~30kgce/t。

9. 窑炉耐火材料和保温性能整体提升技术

技术路径：窑炉窑墙采用低导热系数或新型高效隔热材料代替传统的材料；加厚或定期更换管路保温，减少管路散热；在窑体内壁喷涂节能涂料，增加窑体内衬材料的热反射率，强化窑内辐射传热，提高窑炉内的温度，降低窑体内壁温度。

预期效果：烧成能耗降低 3%~5%，可节约烧成能耗 9~15kgce/t。

10. 窑车窑具材料轻型化技术

技术路径：采用高强度铝合金、轻质钢和碳纤维复合材料等高强度、轻质材料替代原钢材，减小窑车的重量；对窑车的支撑结构进行优化设计，采用节能型框架式窑具，减少冗余的结构，提升装载能力，使窑炉单车瓷重增加，热能利用率提高；取消窑车底部盖瓦，直接使用耐火棉。

预期效果：节能降耗 8~10kgce/t。

11. 窑炉烧嘴脉冲燃烧控制技术

技术路径：采用间断燃烧的方式，使用脉宽调制技术，通过调节燃烧时间的占空比（通断比）实现窑炉的温度控制，燃料流量可通过压力调整预先设定，烧嘴一旦工作，就处于满负荷状态，保证烧嘴燃烧时的燃气出口速度不变，同时，脉冲火焰具有搅拌作用，可减小窑内上下温差。

预期效果：降低烧成能耗 8~10kgce/t。

12. 宽断面隧道窑烧成技术

技术路径：采用超大宽断面结构，预热带阻尼气幕、烧成带拱顶结构、冷却段大流量分散急冷气幕和换热器式窑体结构等，提高热效率，降低能耗。

预期效果：单位产品能耗相比传统结构窑炉节省 15%~25%，节能降耗 36~60kgce/t。

13. 轻量化技术

技术路径：在保证产品质量和功能的前提下，控制器型过于复杂、过度强调装饰效果的重量偏大的产品生产；与金属、高分子材料结合，产品融合创新设计，实现结构简单化、轻量化，有效减少原材料的使用，同时也可减少能源的消耗。

预期效果：卫生陶瓷轻量化可以减少 20%以上原材料消耗，整体节能 15~20kgce/t。

14. 低能耗快烧技术

技术路径：通过调整配方组成或粉料的细度，使坯体始熔温度降低；或者在坯料中选取烧成温度低的原料，增加有助熔作用的原料或采用多元复合熔剂，降低产品的烧成温度，从而减少产品的能耗。

预期效果：烧成温度降低 100℃，降低能耗 15~20kgce/t。

15. 窑炉余热利用综合管理系统

技术路径：采用余热利用与车间设计整体融合的设计理念，利用余热回收装置，将窑炉急抽、尾抽风和窑底换热得到能量，按比例、效率、路径分配到干燥、助燃、保温等用能工段，用于坯体和模具的干燥、助燃风和泥浆加热、压力注浆泥浆和洗模水加热，通过闭路循环充分利用热能后排空。

预期效果：能耗可以降低 18~20kgce/t。

16. 智能化生产技术及成套装备开发

(1) 智能化生产技术及管理

技术路径：围绕智能装备、智能生产、智能管理、智能运维等方面进行研究改造，分阶段、分工序、分等级使卫生陶瓷生产实现自动化、数字化、智能化。

智能装备：开发具有自学习功能的施釉机器人、注浆机器人、修坯机器人、装窑机器人、智能化高效干燥系统，机械手喷釉单个马桶喷釉时间比人工减少 15%。

智能生产：从原料球磨、化浆、浆料输送均实现一键启停、自动控制，各种异常工况均能全自动连锁保护，初步实现烧成系统寻优控制，完成质量全自动闭环控制，实现智能自动配料，风、天气、料、窑速匹配，使窑况稳定性增强；车间温度湿度自动控制系统；采用 AGV 系统实现自动运输，采用 RFID 识别系统，对产品进行全程跟踪。

智能管理：构建智能化能源管理体系，对重点设备进行能耗动态监测，建立和完善能效测评、用能标准、能耗统计、能源审计、能效公示、用能定额、节能服务等各项能源运行管理指标，找出能源浪费环节，做好管控

及统计，建立数据分析模式，有效提升能耗分析效率、精准性。

智能运维：由视频巡检与主辅机在线监测，视频监控系统、原料、燃料在线监测系统、现场专业巡检融合构建一体化高效智能巡检体系；设备巡检、检修、隐患处理通过自动流转方式实行闭环管控。

预期效果：智能化生产技术的应用，实现生产线定员定岗减少 50%，综合能耗降低 12~14kgce/t。

(2)空压机组大数据智能控制节能系统

技术路径：利用先进的检测传感器等设备，通过先进的大数据、边缘云计算等技术，对企业空压系统进行监控，优化合理调度各台空压机设备的运转，满负载运行，达到最高效率，降低企业能耗与生产成本。

预期效果：综合能耗降低 10~12kgce/t。

(二)燃料、能源替代技术

卫生陶瓷中 CO₂ 排放的主要来自燃料燃烧，少量来自碳酸盐分解和发电的间接排放。技术方向旨在从原料、燃料替代出发，通过采用不同的原料或燃料，从工艺角度减少卫生陶瓷系统的碳排放量，需要卫生陶瓷企业根据环境条件、自身情况，在国家鼓励政策下选择使用。

1. 生物质燃料替代技术

技术路径：用生物质燃料来替代化石能源，减少化石燃料的利用，减少燃料产生的碳排放，提高现有碳基燃料的单位热效应。

预期效果：综合能耗降低 60~80kgce/t。

2. 光伏发电技术

技术路径：利用卫生陶瓷厂的自然环境和地理位置，使用光伏技术，通过在屋顶加装太阳能等绿色能源技术途径减少卫生陶瓷生产过程中外购电力的消耗，使其实现“零购电”或“近零购电”，促进卫生陶瓷生产

的绿色能源低碳转型。

预期效果：增加一套 11.8MWP 光伏发电项目，则年发电量约 1200 万度。

（三）原料替代技术

1. 低品位原料替代技术和废泥料、废瓷料回收利用技术

技术路径：通过在坯体使用低品位的原料，减少原料开采和加工过程中产生的碳排放；或用废泥料、废瓷料替代部分原料作为坯料，通过回用每年可节约原料约 8000 吨。

预期效果：实现优质原料替代率 30%，单位产品碳减排 5%~10%。

2. 压榨污泥处理回用技术

技术路径：通过采用污水杂物源头识别与过滤沉降控制技术、污水除铁过筛技术、污泥成分调配技术等，使压榨泥成分接近陶瓷原料成分组成，引入 8%~10% 到配方中直接作为坯料使用，污泥回收利用率可达到 100%。

预期效果：单位产品碳减排 1%~3%。

七、不同能耗水平卫生陶瓷企业技术改造提升建议

本指南仅以试点企业提出碳减排技术方案，不同原燃料条件的卫生陶瓷企业根据其实际使用的工艺、设备进行个性化的选择，以达到最大化的节能降碳为目标。各卫生陶瓷企业在实际实施中宜查漏补缺，补短板增强项，最终实现综合能耗及碳排放的降低。

本指南以国家发展改革委员会发布的《工业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023 版）》中定义的基准水平值和标杆水平值为碳减排技术应用目标，为不同能耗水平的卫生陶瓷企业提供对应的碳减排技术应用方案。指南中所列举的碳减排技术方案仅为建议方案，卫生陶瓷企业在实际

应用中可根据具体情况选择使用。

(一)能耗基准水平以下企业节能降碳技术改造建议

综合能耗基准水平以下的企业往往是采用较落后的设备和工艺，通过设备升级或工艺技术优化可以降低卫生陶瓷生产综合能耗，使其综合能耗达到基准水平或标杆水平。

表 3 综合能耗达到基准水平或标杆水平采取的技术措施

技术名称	达到基准水平能耗	达到标杆水平能耗
软硬质原料分开球磨化浆技术	√	√
球磨机节能降耗技术	√	√
泥浆加热系统与压力罐封闭送浆技术	√	√
高压注浆成型技术		√
低压快排水注浆技术	√	√
少空气干燥技术		√
微波干燥技术		√
隧道干燥系统	√	√
窑炉耐火材料和保温性能整体提升技术	√	√
窑车窑具材料轻型化技术	√	√
窑炉烧嘴脉冲燃烧控制技术		√
宽断面隧道窑烧成技术		√
轻量化技术	√	√
低能耗快烧技术		√
窑炉余热利用综合管理系统	√	√
智能化生产技术及成套装备开发		√
生物质燃料替代技术		√
光伏发电技术		√
低品位原料替代技术和废泥料、废瓷料回收利用技术	√	√
压榨污泥处理回用技术		√

为达到综合能耗基准水平需要将卫生陶瓷生产的设备及工艺提升至

目前主流的软硬质原料分开球磨化浆技术、球磨机节能降耗技术、窑炉余热利用技术等。

(二)能耗标杆水平以下企业节能降碳技术改造建议

综合能耗达到基准水平但未达到标杆水平的卫生陶瓷企业大都采用了部分先进的设备或工艺，在达到能耗基准值的基础上选择高压注浆成型、低温快烧、卫生陶瓷轻量化等技术组合降低能耗，进一步提升卫生陶瓷生产线智能化程度，引入卫生陶瓷注浆机器人、卫生陶瓷修坯机器人、装窑机器人、施釉机器人，提高生产效率，降低产品综合能耗，最终达到标杆水平。

八、未来卫生陶瓷企业碳减排技术展望

行业未来发展，需要研发攻关具有前沿性、颠覆性，具有流程再造的绿色低碳技术。主要方向：

(一)推动清洁能源燃料替代技术

推动生物能、氢能、氨能和天然气混用以及光伏发电等清洁能源的使用，实现卫生陶瓷厂碳排放大幅降低和“近零购电”，从而起到节能减排的效果。

(二)推广原料标准化、集约化发展

鼓励公司内部优先实行原料标准化，逐步形成原料、粉料的成品化，进一步对原料集中均化处理，建立原料标准化生产基地，同时建立陶瓷原料标准化体系。

(三)推动节能降碳技术的应用

推动卫生陶瓷轻量化、低能耗快烧、新型干燥方式、盆类等静压及干压成型等技术的应用，进一步探索卫生陶瓷行业节能降碳新技术。

(四)探索非陶瓷基替代或部分替代卫生陶瓷的生产和应用

探索非陶瓷基替代或部分替代卫生陶瓷的生产和应用，采用亚克力板材、人造石等新材料为原料，通过调整装备和工艺，生产出新型绿色洁具。

(五)探索卫生陶瓷模具材料替代技术及3D打印技术的应用

开发卫生陶瓷新型模具材料，探索高强模具制造技术、高强度微孔塑料模具材料及制作技术。探索用于卫生陶瓷原胎开发的3D打印增材制造技术的设备及原材料，研究基于有限元分析确定陶瓷材料在高温烧结状态不同位置预变形量及应力集中点，实现卫生陶瓷模具开发的智能化，进一步探索利用3D打印技术生产卫生陶瓷。

附言

本指南参加单位及人员

中国建筑材料联合会：孙星寿、刘杨、冯帅、曹会保、宋有崑、张娅妮、张凯博、秦松、刘新琪、罗宁、王韶辉、张萌、王勇、王志超、张轶。

咸阳陶瓷研究设计院有限公司：白战英、成智文、刘小云、刘婷、张婷婷、王笑。

广东省建筑材料行业协会：陈环、陈振广。

广东陶瓷协会：王卫国。

广东东鹏控股股份有限公司：何颖、刘勋功、陈世清、朱伶、钱正平、罗胜华、余金明、赖广成。

箭牌家居集团股份有限公司：刘广仁、霍志标、贺利明、叶茂盛、毛瑞华、张嘉智、刘雪祥。

唐山泰科科技有限公司：吴江龙、夏同超、张光、石宝文、祝文超。

青海西旺实业（集团）有限公司：池立群、韩海波、刘忠、严贵勇。

国建联信认证中心：武庆涛、尹靖宇、李晋梅、张晋、刘庆祎、孙志强、孟晓双、袁侯铖。

中国国检测试控股集团股份有限公司：鹿晓泉。

中化地质矿山总局化工地质调查总院：屈云燕。

《卫生陶瓷行业碳减排技术指南》在征求意见中，得到了华南理工大学曾令可、饶平根；佛山仙湖实验室程一兵、靳世平、龚聪文；科达制造股份有限公司周鹏、隋旭东；佛山德利泰科技有限公司管火金；佛山市迈瑞思科技有限公司郑树龙；国检测试控股集团广东有限公司苑克兴；漳州万晖洁具有限公司欧阳美环；惠达卫浴股份有限公司宋子春、孙立新；广东东鹏陶瓷股份有限公司杨立鑫、陈升、王正旺、薛福勤；唐山森兰瓷科技有限公司刘鸿峰的大力支持。

本指南得到了阎晓峰、陈国庆、刘建华、吴建青、同继锋、钟保民、林克辉等专家的指导、帮助并提出有益的意见及建议。

本指南得到了工业和信息化部原材料工业司领导高度重视并给予了重要指导，建材处相关负责同志全程参与调研，并对项目推进工作做出部署和提出要求。山东省工信厅（临沂市工信局、泰安市工信局、沂水县工信局）、四川省经信厅、广东省工信厅的有关负责同志全程参与本省或本区域相关企业调研。