

平板玻璃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,科学做好平板玻璃行业节能降碳改造升级,推动平板玻璃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能效标杆水平和基准水平(2021年版)》《高耗能行业重点领域节能降碳改造升级实施指南(2022年版)》,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,加快推进平板玻璃行业节能降碳步伐,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

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,力争全面达到标杆水平。对能效低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,力争达到能效标杆水平;对于不能按期改造完毕的项目进行淘汰。

三、现状分析

目前,全国平板玻璃生产企业200多家,玻璃熔窑约350座,生产线约450条,生产能力12亿重量箱。根据《高耗能行业重点领域能效标杆水平和基准水平(2021年版)》,平板玻璃(生产能力 $>800\text{t/d}$)能效标杆水平为8千克标准煤/重量箱,基准水平为12千克标准煤/重量箱,平板玻璃($500\leq\text{生产能力}\leq800\text{t/d}$)能效标杆水平为9.5千克标准煤/重量箱,基准水平为13.5千克标准煤/重量箱,截至2020年底,平板玻璃行业能效优于标杆水平的产能占比小于5%,能效低于基准水平的产能约占8%。据此推算,能效低于基准水平的平板玻璃生产能力约有1亿重量箱;按照到2025年,通过实施节能降碳行动,能效达到标杆水平的产能比例超过20%的目标,约有2亿重量箱的平板玻璃生产能力需要改造提升。平板玻璃生产过程中需要消耗燃料油、煤炭、天然气等能源,不同平板玻璃企业生产能耗水平和碳排放水平差异较大,但通过采用先进的技术和装备,也具有较大的节能降碳改造升级潜力。受工业和信息化部委托,中国建筑材料联合会选取了3家典型平板玻璃企业,其中日熔化能力600吨生产线企业2家、日熔化能力900吨生产线企业1家,作为落实平板玻璃行业碳达峰实施方案的“实验田”,开展“解剖麻雀”式的调查研究,这3家企业既有日熔化能力大于500吨的生产线企业,也有日熔化能力大于800吨的生产线企业,技改完成后,既有生产普通玻璃的生产线,又有生产在线镀膜、超白高档玻璃生产线,在行业中具有一定的代表性、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,玻璃行业能效标杆水平以上产能比例达到20%,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。

表1 平板玻璃领域能效标杆水平和基准水平(2021年版)

指标名称	计量单位	标杆水平	基准水平	参考标准
500≤生产能力≤800t/d	kgce/重量箱	9.5	13.5	GB 21340—2019
生产能力 > 800t/d	kgce/重量箱	8.0	12.0	GB 21340—2019

表2 《平板玻璃单位产品能耗限额等级》（GB 21340-2019）

能耗限额等级	生产线设计生产能力t/d	单位产品能耗限定值kgce/重量箱
1	≥500	9.5
	≤800	
	> 800	8.0
2	≥500	11.5
	≤800	
	> 800	10.0
3	≤500	14.0
	> 500	13.5
	≤800	
	> 800	12.0

注：表中500t/d、800t/d指熔窑设计日熔化玻璃液量（不包括全氧燃烧的玻璃熔窑）。

五、平板玻璃行业节能降碳技术路径及预期效果

（一）熔窑

玻璃熔窑能耗占玻璃工厂总能耗的 95%左右，熔窑的能量消耗主要有玻璃液生成热，熔窑表面散热、烟气带走热量三部分。随着窑炉结构优化、规模提高，优质玻璃生产线玻璃生成热目前占比 40%~52%，烟气带走热量低于 25%。要降低熔窑能耗，需要在四个方面进行优化。

1. 整体提高传热效率

技术路径：（1）采用先进技术手段对窑炉整体结构、材料进行优化，综合技术措施效率最大化。（2）采用 0#氧枪、富氧或全氧燃烧技术。通过富氧代替部分或全部空气助燃风，提高火焰燃烧温度，增加火焰辐射效率，加强配合料的预熔、减少烟气生成量，减少烟气带走热量。（3）采用电助熔技术，利用高效率的电能代替部分火焰加热，同时可减少烟气生成量，减少烟气带走热量。（4）采用多级池底台阶结构，配合卡脖水包控制进入成型和回流的玻璃液量，减少玻璃重复加热。（5）采用单排或多排鼓泡，加强玻璃液的强制对流，提高玻璃液吸热效率。

2. 加强配合料系统研究，减少玻璃液生成热

技术路径：（1）控制原料颗粒度及化学成分。原料颗粒大时会导致熔化困难，而过细的颗粒容易造成配合料飞扬、结块，导致配合料混合不均匀，原料化学成分稳定及严格控制杂质含量有利于配合料熔化。

（2）采用配合料块化、粒化和预热技术，调整配合料配方，控制配合料的气体率，调整玻璃体氧化物组成，开发低熔化温度的料方，减少玻璃原料中碳酸盐组成，降低熔化温度，减少燃料的用量，降低二氧化碳排放。（3）配方优化。在不影响玻璃性能的前提下，减少燃料用量。（4）适度增加熟料比例。每增加 1% 碎玻璃，可减少熔窑的能耗约 5kcal/kg 玻璃液。

3. 减少玻璃窑炉表面散热量

技术路径：（1）加强全窑保温及密封。采用新型梯度保温材料对熔化部大碓、胸墙、山墙、小炉、蓄热室进行保温。加强烟道保温和密封，减少散热和漏风。增加熔化部池底保温厚度、优化设计池壁保温，减少池壁暴露面。（2）加强冷却部保温。改变传统冷却部不保温的方式，通过调整卡脖水包尺寸，增加冷却部池壁、胸墙、大碓等部位的保温，减少冷却部表面散热。（3）通过在熔化部大碓及胸墙等部位内表面喷涂高温红外辐射涂料的方式，增加窑内辐射效率，减少碓顶散热。（4）投料口采用挡焰砖代替传统的水包，减少用水量及水带走的热量。（5）投料口设置密封罩，对投料口进行全密封设计，减少投料口处散热。

4. 提高余热回收效率

技术路径：（1）通过提高格子体高度，减少格孔孔径，优化蓄热室分隔方式等途径增加格子体换热面积，提高助燃空气温度，降低出蓄热室烟气温度。（2）增加生产线余热资源的计量设施，蒸汽量单独计量。（3）鼓励蒸汽优先直接用于生产线设施，直接用于厂区生活、办公区采暖或制冷。（4）加强烟道保温、防水、防漏措施。

表 3 熔窑节能技术改造预期效果

序号	节能方式	技术措施	降低热耗(kcal/kg玻璃液)	减少碳排放kgCO ₂ /吨玻璃液
1	减少玻璃液生成热	控制原料颗粒度和化学成分	15 ~ 30	3 ~ 7
		配方优化		
		增加熟料比例		
2	减少表面散热	加强全窑保温和密封	50 ~ 75	10 ~ 17
		加强冷却部保温		
		喷涂高温红外辐射涂料		
		投料口挡焰砖		
		投料口密封罩		
3	提高传热效率	台阶池底	150 ~ 200	30 ~ 50
		0#氧枪		
		鼓泡		
		梯度增氧		
		电助熔（使用绿电）		
4	减少烟气带走热量	增加格子体换热面积	15 ~ 30	3 ~ 7
		减少余热转换层级	50 ~ 80	10 ~ 18

（二）工艺

优化熔窑、锡槽，退火窑及公用工程的工艺控制，提高全厂工艺用能效率。

技术路径：（1）熔窑燃烧系统采用精确控制、小炉燃料量智能化分配、助燃风-燃料量交叉限幅优化控制，实现自动比例调节。设置在线氧量仪，优化燃料消耗，降低能耗。（2）采用先进的喷枪系统，提高火焰燃烧效率。（3）窑炉控制系统能保持窑炉温度、压力、液面、泡界线等稳定在最优工况。（4）风机、水泵类负载采用变频控制，并采取节能自动控制措施。（5）增加燃料热值分析装置，监控燃料的品质稳定，提高熔窑燃烧控制的准确性。（6）增加在线测氢装置，监测锡槽内部微量氧，精确控制保护气比例。（7）退火窑冷却风余热利用，可引至熔窑助燃风提高燃烧效率或用于生产蒸汽及厂区内采暖。（8）利用余热蒸汽直接拖动氮站的原料空气压缩机或代替其它电动机，提高整体效率及减少用电量。

预期效果：通过优化全厂工艺控制，预期可节能约 3%，减少 CO₂ 排放 0.6kg/重量箱玻璃。

（三）电气自动化

技术路径：（1）淘汰高耗能机电设备，空压机、风机、水泵选型符合有关节能规定。电动机、变压器等电气设备采用高效产品。接触器、继电器、电磁阀等元器件采用低功耗产品。（2）提高熔窑自动化水平，窑温、窑压、液面等重要工艺参数自动控制，全面监测窑内玻璃液和耐材温度，对燃烧状况大数据分析，进行优化控制。（3）优化熔窑换向过程，协调控制助燃风吹扫、烟道调节闸板动作，缩短换向时间，换向过程工艺参数最小扰动。（4）提高锡槽自动化水平，锡槽玻璃板宽监控数字化，锡槽自动化改板缩短改板时间。（5）退火窑控制系统应能提供准确、稳定和易于调节的退火温度曲线控制手段。在保证产品质量的前提下，宜采用加热量少的退火温度作业制度和节能控制措施。（6）冷端采用优化系统，可多订单优化切割。（7）车间照明采用高效 LED 灯，厂区可采用太阳能蓄电池路灯；照明宜分区分组控制；照明功率密度应符合相关规范规定。（8）采取措施减少无功损耗，功率因数不低于 0.95。宜采用高压补偿与低压补偿相结合，集中补偿与就地补偿相结合的无功补偿方式。宜采用滤波方式抑制高次谐波，谐波限制符合电力部门有关规定。（9）能源计量满足全厂和各子系统单独计量考核要求。

预期效果：可减少单位产品用电量约 1kWh/重量箱玻璃，减少 CO₂ 排放 0.58kg/重量箱玻璃。

（四）新能源替代技术

技术路径：利用平板玻璃企业的自然环境和地理位置，使用风电、光电技术、风光储技术，吸收工业领域新能源技术探索经验，通过绿色能源技术途径减少平板玻璃生产过程中的电力消耗，结合余热发电，分布式发电等,提升企业能源“自给”能力，减少对化石能源及外部电力依赖，促进平板玻璃生产的绿色能源低碳转型。（五）智能化工厂

智能玻璃工厂是充分利用互联网、云计算、大数据、物联网等技术和设备监控技术实现工厂信息管理和 服务，实时掌握产销流程、提高生产过程可控性、消除信息孤岛，实时精准采集生产线各项数据，实现玻璃工厂降本增效，节能减排，为企业提供生产计划管理、生产调度管理、库存管理、质量管理等管理平台，实现资金流、物流、信息流的统一管理。推广自动化配料、熔窑、锡槽、退火窑三大热工智能化控制，熔化成形数字仿真，冷端优化控制、在线缺陷检测、自动堆垛铺纸、自动切割分片、智能仓储等数字化、智能化技术，推动玻璃生产全流程智能化升级。

1.生产管理与智能优化

技术路径：融入指标、绩效、成本管理等先进管理理念，通过生产日志、台账、报表等方式将人、机、料、法、环有效融合，通过 DCS、PLC 生产线数据采集，将生产管理全过程的数据进行汇总、分析，实时反馈生产订单的产量、完成率、班组绩效。有效提升玻璃生产数字化、智能化水平，提高企业整体管控水平。对生产数据进行大数据分析，对生产过程进行智能优化控制。在中央控制室对各子车间生产进行智能化集中监控和统一管理，在原料、水泵房、空压站、油站等分车间实行就地无人化操控。

2.设备管理

技术路径：以统一的资产编码为纽带，建立完善的设备台账；精确的设备分级分层管理、备品备件管理，建立标准化设备故障停机考核体系，提升设备综合效率，降低对产能及品质影响。

3.安环管理

技术路径：安全管理模块提供隐患排查与治理体系，推动安全隐患治理，降低企业安全事故发生率。环保管理模块可实现对排放数据、环保控制设施运行数据的耦合关系建模和参数调控，降低企业环保管理成本。

4.能源管理

技术路径：采用能效管理系统是对燃料、电、水、蒸汽、压缩空气、氮氢气等能源的实时能耗数据采集、监视，通过大数据分析，找出企业管理、设备、工艺操作中的能源浪费问题；核算企业节能效果，明确企业节能方向，降低单位能耗成本，提高企业综合竞争力。

六、不同能耗水平玻璃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，不同原燃料条件的平板玻璃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。各平板玻璃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 GB 21340—2019《平板玻璃单位产品能耗限额等级》中定义的 1 级、2 级、3 级能耗标准为碳减排技术应用目标。指南中所列举的节能降碳技术方案为建议方案，平板玻璃企业在实际应用中可根据具体情况选择使用。

以综合能耗低于标杆值，但优于 2 级能耗，使其达到标杆值水平，可采用如下技术措施。

（一）熔窑技改建议

1.对熔化部大碓、胸墙、后山墙及小炉、蓄热室采用低导热率的新型梯度保温措施，通过保温材料的导热系数计算不同保温厚度方向的界面温度，并选用相匹配的保温材料，提高保温材料寿命，降低保温材料衰减速度。对烟道采用保温棉加外包钢板形式减少烟道散热和漏风。增加熔化部池底保温厚度，优化池壁保温，减少池壁暴露面。

2.采用多级台阶池底结构，并配合适当的卡脖水包压入深度后，对冷却部池壁、胸墙、前后山墙及大碓进行保温，减少冷却部表面散热。

3.通过在熔化部大碓及胸墙等部位内表面喷涂高温红外辐射涂料的方式，增加窑内辐射效率，减少碓顶散热。

4.热点附近设置单排或多排鼓泡，进一步加强玻璃液的对流吸热效率。

5.优化蓄热室分隔方式，减少格子体孔径，增加格子体体积，提高蓄热室换热效率。

6.投料口采用挡焰砖+密封罩形式，加强投料口密封。

7.适当增加碎玻璃比例，可减少玻璃液生成热，降低熔化温度，每增加 5%碎玻璃比例，可节约 1%。

8.采用富氧代替部分空气助燃风，提高火焰燃烧效率。富氧代替比例 10%~20%，可节约 2%~5%。

9.设置池底电助熔系统，对于 600 吨/天熔窑，若安装电助熔功率 3000kW，使用绿电可代替约 20%燃料，节约 5%。

（二）工艺技改建议

1.设置在线氧量仪，优化燃料消耗，降低能耗。

2.风机、水泵类负载采用高效节能变频电机，并采取节能自动控制措施。

- 3.池壁冷却风嘴设导风板，避免冷风吹入窑内。
- 4.各种物料输送均采用高效、节能、低耗的工艺设备，以便最大限度地节省电耗。
- 5.投料机采用料垄分隔装置，使配合料横向和纵向成垄，增加配合料吸热表面积，提高火焰辐射效率。
- 6.除尘风机电机不满足能效要求的均更换或新增除尘设备。

（三）电气自动化技改建议

- 1.淘汰高耗能机电设备，空压机、风机、水泵选型符合有关节能规定。电动机、变压器等电气设备采用高效产品。接触器、继电器、电磁阀等元器件采用低功耗产品。
- 2.熔窑燃烧系统采用精确控制、小炉燃料量智能化分配、助燃风与燃料量交叉限幅优化控制，实现自动比例调节。
- 3.退火窑控制系统应能提供准确、稳定和易于调节的退火温度曲线控制手段。在保证产品质量的前提下，采用加热量少的退火温度作业制度和节能控制措施。
- 4.车间照明宜采用高效 LED 灯，厂区可采用太阳能蓄电池路灯。
- 5.冷端采用优化系统，可多订单优化切割，可提高成品率从而降低单位产品综合能耗。
- 6.采取措施减少无功损耗，功率因数不低于 0.95。宜采用高压补偿与低压补偿相结合，集中补偿与就地补偿相结合的无功补偿方式。宜采用滤波方式抑制高次谐波，谐波限制符合电力部门有关规定。
- 7.能源计量满足全厂和各子系统单独计量考核要求。
- 8.部分厂房新建改造，可新增部分屋顶光伏发电装机功率。

（四）智能化技改建议

- 1.设置智慧工厂网络系统及生产管理数字化系统，打通信息孤岛，提升玻璃生产数字化、智能化水平，完善设备管理系统，提高企业整体管控水平。
- 2.采用能效管理系统对燃料、电、水、蒸汽、压缩空气、氮氢气等能源的实时能耗数据采集、监视，通过大数据分析，找出企业管理、设备、工艺操作中的能源浪费问题；核算企业节能效果，明确企业节能方向。
- 3.在中央控制室设置数据及控制中心，对各子车间生产进行智能化集中监控和统一管理，在原料、水泵房、空压站、油站等分车间实行就地无人化操控。

七、未来平板玻璃企业碳减排技术展望

（一）加快研发玻璃熔窑利用氢能成套技术及装备、浮法玻璃工艺流程再造技术、玻璃熔窑窑外预热工艺及成套技术与装备、大型玻璃熔窑大功率“火-电”复合熔化技术、玻璃窑炉烟气二氧化碳捕集提纯技术、浮法玻璃低温熔化技术、再生热化学蓄热器（TCR）技术等，加大技术攻关力度，加快先进适用节能低碳技术产业化应用，进一步提升玻璃行业能源使用效率。

（二）研发玻璃生产超低排放工艺及装备，探索推动玻璃行业颗粒物、二氧化硫、氮氧化物全过程达到超低排放。

附 言

本指南参加单位及人员：

中国建筑材料联合会：陈国庆、孙星寿、曹会保、宋有崑、刘杨、张娅妮、张凯博、冯帅、周鸿锦、秦松、石红卫、罗宁、刘新琪、王勇。

中建材玻璃新材料研究总院有限公司：江龙跃、吴琼辉、李道云、张卫、陆晨、盛文彬。

秦皇岛玻璃工业研究设计院有限公司：赵恩禄、陈轶韬、周城。

中国新型建材设计研究院有限公司：程华、沈克俭。

中国建筑材料科学研究总院有限公司：何捷。

中国建筑材料工业规划研究院：郝梅平、白云峰。

中国国检测试控股集团股份有限公司：鹿晓泉、易帅。

中国信息通信研究院：胡景楠。

中化地质矿山总局化工地质调查总院：屈云燕。

北京国建联信认证中心有限公司：武庆涛、尹靖宇、张晋、杨中周、钱建荣、王瑞蕴、方群。

河北南玻玻璃有限公司：张清山、李博、贺杰峰、杨再兴、王振刚。

滕州金晶玻璃有限公司：辛明、曹国、高自强、马西传、高波。

洛玻集团洛阳龙昊玻璃有限公司：刘志刚、陆志强、胡松涛、王磊、魏星。

本指南在编写过程中得到了阎晓峰、李叶青、彭寿、刘成雄、刘起英、张冲、刘世民、隋明洁、包玮、隋同波、蔡玉良等专家及其他相关单位的指导和帮助！工业和信息化部原材料工业司等有关部门全程参与并予以指导！