

《固废制轻骨料绿色工厂设计》

Design Criteria of Green Plant in Lightweight Aggregate Using Waste Industry

编制说明

（征求意见稿）

标准编制组

二零二二年三月

目录

一、工作简况

（一）任务来源

（二）主要工作过程

二、标准编制原则和主要内容

（一）标准编制原则

（二）主要指标来源说明

三、主要试验验证情况分析 with 指标确定

四、标准中如果涉及知识产权说明

五、产业化情况和预期达到的经济效益等情况

六、与国际、国外同类标准水平的对比情况

七、与现行相关法律、法规、规章及标准，特别是强制性标准的协调性

八、重大分歧意见的处理经过和依据

九、指标体系性质的建议说明

十、贯彻标准的要求和措施建议

十一、废止或代替现行相关标准的建议

十二、其他应予说明的事项

一、 工作简况

（一）任务来源

根据中国建筑材料联合会《关于下达 2021 年第四批协会标准制定计划的通知》（中建材联标发（2021）66 号）和中国混凝土与水泥制品协会《关于下达 2021 年中国混凝土与水泥制品协会标准制修订计划（第一批）的通知》（中制协字（2021）9 号）的要求，《固废制备轻骨料绿色工厂设计》（计划号：2021-46-xbjh）为协会标准制订项目。

本标准由中国建筑材料联合会和中国混凝土与水泥制品协会共同负责管理，由天津水泥工业设计研究院有限公司等单位负责起草并组织相关单位共同完成。

（二）主要工作过程

本标准的参加单位及所做工作如下：

序号	参加单位	主要工作
1	中国混凝土与水泥制品协会	沟通协调、综合管理
2	天津水泥工业设计研究院有限公司	大纲拟定、标准撰写
3	安徽节源环保科技有限公司	试验/生产验证（主要技术指标验证）
4	山东恒远环保科技有限公司	试验/生产验证（主要技术指标验证）
5	山东京博环保科技有限公司	试验/生产验证（主要技术指标验证）
6	天津津彤源环保科技有限公司	试验/生产验证（主要技术指标验证）
7	中材国际环境工程（北京）有限公司	绿色设计相关章节校核
8	安徽畅九衢环保科技有限公司	试验/生产验证（主要技术指标验证）
9	天津中材工程研究中心有限公司	环保章节校核
10	昆明顺弘混凝土制品有限公司	试验/生产验证（主要技术指标验证）
11	北京建筑材料科学研究总院有限公司	试验验证（入窑物料重金属限值确定）
12	武汉理工大学	试验验证（入窑物料重金属、有害元素限值确定）

本标准编制过程如下：

中国混凝土与水泥制品协会于 7 月 27 日组织召开了标准编制启动会，有 12 家单位 30 名核心骨干参加了启动会。在会上，主编单位介绍了编制标准的意义、必要性，标准的大纲，并对标准编制的分工及具体的时间安排进行详细的介绍。

与会领导、专家纷纷表达了支持的意见，也一致认同大纲、分工及具体的时间安排，由此编制组正式启动编制工作。

此后，编制组查阅了大量资料，调研 9 家轻骨料生产企业，实地了解了轻骨料企业的生产线运行状况和运行指标。并对安徽畅九衢环保科技有限公司年产 50 万立方米陶粒生产线及江苏建华陶粒有限公司年产 10 万立方米陶粒生产线热耗、电耗、环保指标进行了检测，也取样对原料、产品进行了分析、检测。编制组针对固废制备工艺和绿色发展要求，参考相关的国家、行业、地方标准，编制完成本标准的草稿。并于 2021 年 9 月、11 月及 2022 年 1 月，三次征求了部分轻骨料生产企业及研究设计单位的意见。在充分吸纳各单位提出的意见，修改完成了本征求意见稿。

二、 标准编制原则和主要内容

（一）标准编制原则

以科学、合理、先进、实用为原则，结合国内轻骨料企业的发展、生产流程优化及工艺技术装备进步需要，参考国内外相关的标准，符合《绿色工厂评价通则》(GB/T36132)的要求，根据轻骨料行业的特点制定本团体标准。

既要符合轻骨料生产的要求,又要符合固废处理特点,即对固废的多样性、成分不稳定性、有害组分多等特性,要有完备的固废预处理设施及系统,确保配料后物料的稳定性和后续煅烧创造条件。

参考及应用资料如下：

GB 6566 建筑材料放射性核素限量

GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准

GB 14554 恶臭污染物排放标准

GB/T 17431.1 轻集料及其试验方法 第 1 部分：轻集料

GB/T 17431.2 轻集料及其试验方法 第 2 部分：轻集料试验方法

GB 18613—2020 电动机能效限定值及能效等级

GB/T 30760—2014 水泥窑协同处置固体废物技术规范

GB/T 30810 水泥胶砂中可浸出重金属的测定方法

GB/T 36132 绿色工厂评价通则

（二）主要指标来源说明

为促进国内轻骨料生产技术进步，满足生产流程优化及工艺技术装备进步需要，参

考相关标准，从轻骨料工厂设计的角度出发，制定本标准指标体系。主编单位对烧成系统热耗、碳指标等进行了理论计算，对固废制轻固料企业安徽畅九衢、江苏中信元钧等多企业进行调研，对安徽畅九衢及江苏建华陶粒现场热工标定，并结合建材其他行业类似指标比较，确定具体指标。

1) **术语中指标说明** 固废合计用量 75%的指标，主要考虑在轻骨料的生产中加大固废利用比例，实现固废大比例资源化利用。同时考虑，轻骨料生产企业，在使用固废比例大于 70%以上，能得到政府的增值税优惠。

2) 设计指标及说明

轻骨料生产系统热耗指标

配料综合水分	热耗	标煤耗		
	kJ/kg. 陶粒	kgce/t. 陶粒	kgce/m ³ . 陶粒	
			陶粒堆积密度 900kg/ m ³	陶粒堆积密度 400kg/ m ³
≤20%	≤2132	≤73	≤66	≤29
<20~30%	≤2751	≤94	≤85	≤38

轻骨料生产系统电耗、余热利用、固废利用比例、CO₂ 排放量指标

配料综合水分	生产线电耗	余热利用率	固废使用比例	CO ₂ 排放量	
	kWh/ m ³ 陶粒	%	%	kg/ m ³ . 陶粒	
				陶粒堆积密度 900kg/ m ³	陶粒堆积密度 400kg/ m ³
≤20%	≤40	≤18	≥75	≤177	≤79
<20~30%	≤55	≤24	≥75	≤229	≤102

混合原料组分要求

陶粒性质	组分名称 (%)					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO+ MgO	K ₂ O+ Na ₂ O	烧失量
烧胀陶粒	53-79	10-25	13-26	0~10	1-5	4-13
高强陶粒	55-65	18-25	6-10	3.5~5	1.5-4	3-5

生产的排放烟气排放标准（按基准氧含量 10%计）

重点控制区 mg/Nm ³		一般控制区 mg/Nm ³	
SO ₂	35	SO ₂	50
NO _x	100	NO _x	150
粉尘	10	粉尘	20

固废轻骨料生产大气污染物最高允许排放浓度

序号	污染物	最高允许排放浓度限值 mg/Nm ³ （二噁英类除外）
1	氯化氢（HCl）	10
2	氟化氢（HF）	1
3	汞及其化合物（以 Hg 计）	0.05
4	铊、镉、铅、砷及其化合物（以 Tl+Cd+Pb+As 计）	1.0
5	铍、铬、锡、锑、铜、钴、锰、镍、钒及其化合物 （以 Be+Cr+Sn+Sb+Cu+Co+Mn+Ni+V 计）	0.5
6	二噁英类	0.1ng TEQ/m ³

（1）热耗说明

配料综合水分以“干基”为基础计；

入窑料球水分为 2%时，烧成系统热耗为 510kcal/kg. 陶粒，出窑烟气和冷却机余热可供含水率<20%的湿料球烘干。当进厂原料的综合水份是 20%时，系统热耗 72.85 kgce/t. 陶粒。

按每公斤水蒸发理论需热：~600 kcal/kg-水，烘干设备有效热利用率：45%计算，每公斤水蒸发理论需热：1333kcal/kg-水，相当于 0.19kg-标煤/kg-水；

生熟料折合比按 1.1kg/kg-陶粒计算。

根据此计算：

30%水分时，吨陶粒会增加热耗：20.9 kgce/t-陶粒；可得总热耗：93.75 kgce/t-陶粒。

（2）CO₂排放指标说明：

CO₂排放量主要由热耗和电耗两部分折算得到。根据 GB/T 2589-2020《综合能耗计

算通则》中电力折标准煤系数为 0.1229kgce/kwh。根据 GB/T 51366-2019《建筑碳排放计算标准》，标准煤的碳排放因子 2.493kgCO₂/kg。

陶粒密度为 900kg/m³：

当进厂原料的综合水分是 20%时，电耗折算到标准煤耗：1.84 kgce/m³-陶粒，总标准煤耗：67.84 kgce/m³-陶粒，则可得 CO₂排放量：169.13 kgCO₂/m³-陶粒。

当进厂原料的综合水分是 30%时，电耗折算到标准煤耗：2.46 kgce/m³-陶粒，总标准煤耗：87.46 kgce/m³-陶粒，则可得 CO₂排放量：218.04 kgCO₂/m³-陶粒。

当进厂原料的综合水分是 45%时，电耗折算到标准煤耗：2.83kgce/m³-陶粒，总标准煤耗：115.83 kgce/m³-陶粒，则可得 CO₂排放量：288.76 kgCO₂/m³-陶粒。

陶粒密度为 400kg/m³：

当进厂原料的综合水分是 20%时，总标准煤耗：30.84 kgce/m³-陶粒，则可得 CO₂排放量：76.88 kgCO₂/m³-陶粒。

当进厂原料的综合水分是 30%时，总标准煤耗：40.46 kgce/m³-陶粒，则可得 CO₂排放量：100.87 kgCO₂/m³-陶粒。

当进厂原料的综合水分是 45%时，总标准煤耗：52.83kgce/m³-陶粒，则可得 CO₂排放量：131.71 kgCO₂/m³-陶粒。

(3) 化学组分的说明

根据编制单位的试验研究和查阅文献，确定配料控制注意点

固废须具有适宜的基础成分，这是形成陶粒的必要条件：

一是成陶主要成分，包括 SiO₂ 和 Al₂O₃，属酸性氧化物，在原料中一般占 75%左右。SiO₂ 和 Al₂O₃ 在高温下反应生成莫来石等矿物相，构成陶粒骨架，为陶粒提供强度。二是助熔成分，主要是 K₂O、Na₂O、CaO、MgO 和 FeO 等碱性氧化物；三是发气物质，是指在高温下经还原分解和相互反应能产生 CO₂、CO 及少量 SO₂ 气体的成分，这是陶粒产生膨胀性能的基础。

(1) Riley 三角形提出 SiO₂ 含量 53%~79%，Al₂O₃ 含量 10%~25%，助熔剂含量之和为 13%~26%时，原料能具有良好的膨胀；控制原料成分：SiO₂ 为 55%~65%；Al₂O₃ 为 18%~25%，Fe₂O₃+FeO 为 6%~10%；CaO+MgO 为 3.5%~5.0%；K₂O+Na₂O 为 1.5%~4.0%；烧失量为 3%~5%，较适合烧制高强陶粒。

(2) CaO+MgO 之和小于 10.0%，如果高于 10.0%，此时对煅烧制度影响较大，钙镁属于助溶剂，会降低熔融温度，使得烧成温度范围变窄，容易造成陶粒黏连

在一起，甚至引起窑内结圈或者结大块等。此外，在烧制超轻骨料时，过多的 CaO、MgO 会产生游离 CaO、游离 MgO，如遇水可能会产生膨胀开裂风险。

(3) 作为主要的成陶组分，SiO₂和 Al₂O₃，需要在一个适宜的范围，不能过高或过低。SiO₂含量较高时，陶粒的耐火度增加，熔融温度越高，液相黏度就会增大，膨胀性能相应变差；Al₂O₃含量过高，烧成温度会相应提高、黏度加大，对陶粒的膨胀产生不利影响，当 Al₂O₃，含量过低时，陶粒的强度会降低。

(4) Fe₂O₃、CaO、MgO、K₂O、Na₂O 在陶粒焙烧过程中起助熔和降低烧成温度的作用，其中助熔效果最强的为 K₂O、Na₂O，CaO、MgO、Fe₂O₃次之。控制适宜的助熔剂总含量有利于保证陶粒的烧成温度范围适宜、窑炉的正常运转及成品率有着至关重要的关系。

(5) 对于固废配料制备轻质骨料来说，原料中的硅铝氧化物（SiO₂、Al₂O₃）和与金属氧化物（Fe₂O₃、CaO、MgO、K₂O、Na₂O）之和的总比值控制在 3.5~10 之间时，生产轻骨料最佳。比值超出此范围时就会出现坍塌、粉化、过烧等现象，陶粒呈扁球状，性能也会大幅度降低，不利于陶粒的制备

(6) 应对配料后的混合料取样检测成分，以调整配料，保证配料后成分稳定

(4) 有害物质限值说明

产品的重金属的指标限值主要参考《水泥窑协同处置固体废物技术规范》GB 30760，检测方法参照重金属的检测参照 GB/T30810—2014 水泥胶砂中可浸出重金属的测定方法

固废轻骨料有害物质控制指标

项目名称		技术指标
氯化物（以氯离子含量计）含量（/%）		≤0.03
安定性		合格
放射性		符合 GB 6566
可浸出重金属含量 (mg/l)	镉	<0.03
	锰	<1.0
	铅	<0.3
	铬	<0.2
	砷	<0.1
	镍	<0.2
	锌	<1.0

	铜	<1.0
--	---	------

(5) 环保指标说明

查阅了国内轻骨料行业的烟气排放标准，目前仅有山东省出台标准“建材工业大气污染物排放标准”(DB37/2373-2018)规定了新建陶粒生产企业的烟气排放的 NO_x, SO₂, 粉尘值分别为 150mg/m³(标), 100 mg/m³(标), 20 mg/m³(标)，已有陶粒生产企业烟气排放的 NO_x, SO₂, 粉尘值分别为 150mg/m³(标), 150 mg/m³(标), 30 mg/m³(标)。考虑到我国建材行业都在开展烟气超低排放的工作，例如水泥工业的烟气超低排放的 NO_x, SO₂, 粉尘值分别为 100mg/m³(标), 30 mg/m³(标), 20 mg/m³(标)。而轻骨料的煅烧温度比水泥熟料的烧成温度低近 200℃，NO_x 的本底排放就低。目前我国轻骨料生产基本都用生物质燃料，其燃料中硫含量一般比较低。目前高效袋收尘器广泛使用，到达粉尘排放浓度 20 mg/m³(标)完全有保证，基于上述分析，因此，本标准确定轻骨料生产企业的烟气排放的 NO_x, SO₂, 粉尘值分别为重点区域：100mg/m³(标), 35 mg/m³(标), 10 mg/m³(标)；一般区域 150mg/m³(标), 50 mg/m³(标), 20 mg/m³(标)。

三、主要试验验证情况分析指标确定

1、固废制陶硫浸出毒性试验验证

参编单位对固废制陶粒浸出毒性试验验证值如下：

元素 编号	可浸出重金属含量/(mg/L)							
	砷 As	铅 Pb	镉 Cd	铬 Cr	铜 Cu	镍 Ni	锌 Zn	锰 Mn
陶粒 1	0.09	0.01	未检出	0.04	0.32	1.61	0.03	0.05
陶粒 2	0.08	0.01	未检出	0.02	0.03	0.03	未检出	0.06
陶粒 3	0.01	0.01	未检出	未检出	0.01	未检出	0.20	0.01
陶粒 4	0.02	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	0.21	0.01
陶粒 5	未检出	未检出	未检出	未检出	0.06	0.27	0.13	0.01
陶粒 6	未检出	未检出	未检出	0.017	0.076	0.034	0.37	0.18
陶粒 7	未检出	未检出	未检出	0.001	0.042	0.002	无	0.22
陶粒 8	0.004	未检出	未检出	0.002	0.065	0.038	0.98	0.33

上述数据除镍的一个值略高于《水泥窑协同处置固体废物技术规范》GB30760-2014，产品重金属浸出值。其他重金属浸出值，均优于标准值，因此，本标准选用 GB30760 的

值和对应的检测方法。

2、热耗、电耗验证

编制组调研了国内 8 家陶粒生产企业，查阅了生产数据。

1) 2021 年 10 月 8~11 日，对参编单位 1 的工厂的热耗、电耗运行数据进行了热工标准。参编单位 1 建设工厂生产 370kg/m³ 陶粒 热耗 98kg/t，全厂电耗折合到单位产品值是 24kWh/m³。

2) 参编单位 2 建设的工厂的热工标定数据，烧成系统电耗 32.7kWh/t-陶粒，热耗：41.64kgce/t

3、排放指标验证

1) 参编单位 1 工厂的运行指标

名称	单位	数值
粉尘	mg/m ³	29.60
SO ₂	mg/m ³	20.71
NO _x	mg/m ³	33.08

2) 调研工厂 1d 的 NO_x 30~40mg/Nm³ (氧含量 15%~18%)

4、总结

1) 从参编单位工厂长期运行数据分析，本标准制定的环保指标基本均能实现。

2) 能耗指标中的电耗，一些工厂能实现。热耗指标与进厂物料的湿含量有关，物料湿含量低、且工艺先进的工厂，能实现标准中标煤耗指标。而在本标准设定的进厂物料综合水份的条件下，需要在先进的工艺、技术装备下才能实现。

四、标准中如果涉及专利，应有明确的知识产权说明

本标准中没有涉及专利

五、产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效果等情况

本标准是在调研近期建设的规模大、技术先进的安徽畅九衢环保科技有限公司、江苏元均环保科技有限公司等企业的调研基础上编制，指标既有先进性，又有可操作性，具有广泛推广前景。当前，许多轻骨料生产企业规模小，运行能耗高、环保指标不先进，存在提升改造空间。我国当前的轻骨料产量约为年产 2000 万吨。据预测，我国未来五年的发展，轻骨料产量将达到年产 1 亿吨，且对轻质高强、性能稳定的陶粒的需求会不断提升。因此会有不少新线建设。而新线建设必需采用先进、节能、低碳、环

保的技术和采用新进的技术指标，因此本标准可以作为轻骨料生产的技术改造和新线建设的准则，而新线建设和老线改造会产生新的经济效益。按新增产量，能耗同比下降，碳排放量下降，带来的经济效益显著。

通过设计标准的制定和实施，规范轻骨料行业工程设计，引入全生命周期思想，促进轻骨料行业工艺技术及装备升级，推动轻骨料企业向绿色化目标发展，促进产业健康、可持续发展。对我国的生态文明建设，起到积极作为，环保效益，社会效益显著。

六、采用国际标准和国外先进标准情况，与国际、国外同类标准水平的对比情况，国内外关键指标对比分析或与测试的国外样品、样机的相关数据对比情况

标准编制组查阅了大量的国内外关于轻骨料文献及标准，目前国内外有不少产品质量标准，但没有关于固废制备轻骨料的绿色设计标准，本标准属于该方面首创的标准，填补了国内行业标准的空白，

标准编制组调研了多家轻骨料生产企业，全面收集了相关生产厂家的排放数据。了解轻骨料生产的运行数据、产品质量数据、环保指标。并对两家轻骨料企业进行指标验证性测试。对固废制轻骨料的多个样品进行重金属浸出特性的验证试验。

标准编制组全面系统深入分析研究标准的所有要素，从原料到产品，从工艺、装备、自动化，到能效指标、环保指标，碳排放指标，职业安全卫生，全面贯彻绿色设计的要求。内容完整，依据充分、可靠。

标准中的能耗指标、氮氧化物、二氧化硫、粉尘的排放指标，碳排放指标均是国际先进指标。

本标准对规范轻骨料生产企业的运行，具有重要意义，促进轻骨料行业技术进步。

七、与现行相关法律、法规、规章及标准，特别是强制性标准的协调性

本标准与国家、地方现行的法律、法规、规章及相关标准协调一致。

本标准完全包含-绿色设计导则的基本要求，又针对行业的特征，具体化地表述了热耗、排放、工艺、管理要求。本标准指标优于 95%工厂的运行指标，体现团体标准的先进性和时效性。与建材行业现有绿色标准-水泥工厂绿色评价导则比，充分吸收了“水泥行业绿色工厂评价导则”指标体系及指标确定思路。但本标准用固废制备轻骨料，与水泥制造环节有差异，另外“水泥行业绿色工厂评价导则”强调的工厂的运行结果的评价，包含着运行管理的要素，本标准是绿色工厂设计，是从工厂工艺、技术、装备的基

础层面为绿色工厂提供保证，关注点也有所不同。因此既与现有标准协调一致，又有特色创新。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

九、指标体系性质的建议说明

建议《固废制备轻骨料绿色工厂设计》作为推荐性节能与综合利用标准发布实施。

十、贯彻标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过度办法、实施日期等）；

建议本指标系统批准发布即实施。

十一、废止或代替现行相关标准的建议

无。

十二、其他应予说明的事项

无。

《固废制备轻骨料绿色工厂设计》编制工作组

2022 年 4 月 8 日