中 华 人 民 共 和 国 建 材 行 业 标 准

JC/T XXXXX—20XX

煤矸石基高强轻集料

编 制 说 明

（征 求 意 见 稿）

建材行业标准《煤矸石基高强轻集料》编制组

二〇二六年十一月

目录

一、工作简况 1
（一）任务来源 1
（二）制定背景 1
（三）起草过程 5
（四）起草单位和起草人任务分工 6
二、标准编制原则、主要内容及其确定依据 7
（一）编制原则 7
（二）主要内容 8
（三）技术指标值确定依据 17
三、调研情况、试验验证分析、技术经济论证与预期效益 24
（一）调研情况 24
（二）试验验证分析 29
（三）技术经济论证与预期效益 45
四、与国际、国外同类标准技术内容的对比情况 48
五、采用国际标准和国外先进标准的情况 50
六、与有关法律、行政法规及相关标准的关系 51
七、重大分歧意见的处理经过和依据 52
八、涉及专利的有关说明 53
九、实施行业标准的要求与措施建议 54
十、其他应当说明的事项 55

一、工作简况

（一）任务来源

根据中华人民共和国工业和信息化部办公厅《关于印发2026年第二批行业标准制修订和外文版项目计划的通知》（工信厅科函〔2026〕192号），《煤矸石基高强轻集料》列入2026年建材行业标准制定计划，计划编号为2026-0262T-JC。

本文件为首次制定，标准名称为《煤矸石基高强轻集料》（英文名称：Coal gangue high-strength lightweight aggregate），标准类型为建材行业标准，由中国建筑材料联合会提出，由建材工业综合标准化技术委员会归口管理，由建筑材料工业技术监督研究中心承担组织编制工作并负责起草，标准参加起草单位还包括安徽东辰新材料科技有限公司、山西省交通规划勘察设计院有限公司、北京恒石道路科技集团有限公司、北京科技大学、中能建科锐技术（大同）有限公司、中国建筑材料联合会、延安车村煤业（集团）有限责任公司、安徽理工大学、中国地质大学（北京）、武汉理工大学、北京工业大学、哈尔滨工业大学、伊犁师范大学、安徽建筑大学、北京城建十六建筑工程有限责任公司、黄陵循环生态新型建材有限公司、南通装配式建筑与智能结构研究院等生产、科研、设计、检测与应用单位。

（二）制定背景

1. 行业发展历程与现状

煤矸石是煤炭开采和洗选加工过程中产生的伴生固体废弃物，是我国排放量最大的工业固体废弃物之一。2024年我国原煤产量47.8亿吨（国家统计局统计公报口径），煤矸石产生量约8.2亿吨、综合利用量6.07亿吨，综合利用率约73.6%；2025年原煤产量 48.5 亿吨（+1.4%，《2025 年国民经济和社会发展统计公报》）；全国煤矿数量降至4200处以内。2025年大型矿区煤矸石综合利用率达75%（《煤炭行业社会责任蓝皮书(2026)》）。每年仍有约2亿吨新增煤矸石堆存，累计堆存量已超70亿吨，形成2600余座矸石山，压占土地约1.5万公顷。矸石山长期堆存不仅占用大量

土地，还易引发自燃、扬尘、酸性淋滤水污染等区域性生态环境问题，是资源型城市转型必须破解的“生态包袱”。

从利用结构看，现有煤矸石综合利用途径中约 60%用于路基填筑、采空区充填、土地复垦和填埋等低值化处置，约 30%用于生产建筑材料、矸石发电及其他燃料利用，其余约 10%用于土壤改良、生态修复、有价组分提取等。总体呈现“消纳量大、附加值低”的特征，建材领域的高值化利用比例仍然偏低，与《“十四五”大宗固体废弃物综合利用指导意见》提出的“推动大宗固废由低效利用向高效高值利用转变”的要求尚有差距。

将煤矸石经破碎、配料、造粒、焙烧等工艺制备为高强轻集料，是近年来发展较快的煤矸石建材化利用技术路线。煤矸石中的黏土矿物在高温下脱水、膨胀、烧结，形成内部多孔、外壳致密的陶粒状结构，兼具轻质、高强、吸水率低、保温隔热和耐久性好的特点，可直接替代天然碎石配制结构轻集料混凝土，用于高层建筑、大跨桥梁、装配式建筑构件和桥面铺装等对自重敏感的工程部位，是煤矸石从“低值消纳”走向“高值替代”的重要方向。

从产业基础看，我国人造轻集料（陶粒）产业已具备相当规模。据中国混凝土与水泥制品协会统计，我国现有陶粒产能约 3200 万立方米/年，其中固废类陶粒产量占比已达 70%左右，煤矸石、粉煤灰、污泥、工程渣土等已成为主要原料来源；但产能利用率不足七成，产品结构以超轻陶粒、普通陶粒为主，高强陶粒产能占比仅约 12%，产品偏低端，难以满足结构保温、装配式建筑等中高端市场需求。据编制组调研，目前国内从事煤矸石制建材的企业约 370 家，其中涉及煤矸石基高强轻集料的企业约占 30%，近五年年复合增长率约 28%，2025 年产值已突破 100 亿元，初步形成了以山西、河南、内蒙古、陕西、安徽等煤炭资源富集省份为核心的产业集聚区，头部企业已建成多条年产 40 万立方米级智能化生产线，产品在武汉双柳长江大桥等国家重点工程中得到应用。

与产能快速扩张形成反差的是标准供给的明显滞后。由于缺乏针对煤矸石基高强轻集料的专门标准，企业只能参照 GB/T 17431.1《轻集料及其试验方法 第 1 部分：轻集料》中通用轻集料的指标组织生产，或以企业标准自行约定，导致产品密度等级、筒压强度、吸水率、有害物质限值差异悬殊，同一密度等级产品性能可相差 30%以上；部分企业以低强产品冒充高强产品、以高含碳量产品冒充低烧失量产

品，工程应用中出现轻集料混凝土强度不足、泵送堵管、后期开裂等质量纠纷，行业无序竞争问题突出。标准缺失已成为制约煤矸石基高强轻集料规模化、高值化应用的首要瓶颈。

2. 政策体系支撑

制定本文件是落实国家绿色低碳发展和大宗固废资源化利用部署的具体举措，主要政策依据包括：

一是“双碳”战略与《“十四五”规划》。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》明确提出“推广绿色建材”，要求提高大宗固废综合利用水平。以煤矸石基高强轻集料替代天然碎石，可在不降低结构性能的前提下减少天然砂石开采和水泥用量，直接降低建筑材料隐含碳排放，是建材行业碳达峰的重要技术路径。

二是 2026 年 1 月国务院印发《固体废物综合治理行动计划》（国发〔2025〕14 号），要求到 2030 年大宗固废年综合利用量达 45 亿吨、完成全国 60%以上历史遗留固废堆存场所治理；2025 年黄河流域 9 省区煤矸石及粉煤灰规模化利用项目 128 个、利用量超 1 亿吨。

三是《“十四五”大宗固体废弃物综合利用指导意见》。该意见提出到 2025 年大宗固废综合利用能力显著提升，煤矸石等重点固废的综合利用率进一步提高，明确支持“煤矸石生产新型墙体材料、陶粒及轻集料”等高值化利用方向，并要求“完善大宗固废综合利用标准体系”。

四是《煤矸石综合利用管理办法》。该办法对煤矸石综合利用项目的技术路线、产品方向和环境保护提出明确要求，将煤矸石建材制品列为鼓励类利用方式，本文件为其提供了产品质量判定依据。

五是《绿色建材产业高质量发展实施方案》。工业和信息化部等六部门提出实施“三品”行动（品种培优、品质强基、品牌建设），要求加快绿色建材标准研制，扩大绿色建材产品认证范围。本文件可为煤矸石基高强轻集料进入绿色建材产品认证目录、政府投资项目优先选用提供技术支撑。

六是《建材行业稳增长工作方案（2025—2026 年）》。方案提出开展“好材料支撑好房子”行动，推动建材产品向高品质、多功能方向升级。高强轻集料是装配式

建筑、超高层建筑和既有建筑改造的关键轻质结构材料，标准制定有助于打通“绿色生产—绿色设计—绿色施工”链条。

七是《城市更新“十五五”规划》。规划提出稳步发展装配式建筑、推广装配式装修、提升装配式建筑应用比例，对轻质高强、可循环的建筑材料提出规模化需求，本文件的制定与实施可为此提供材料端的标准保障。

3. 现阶段标准概况

国际上，结构混凝土用轻集料的主干标准主要有美国 ASTM C330/C330M《结构混凝土用轻骨料标准规范》、ASTM C331/C331M《混凝土砌块用轻骨料标准规范》、欧洲 EN 13055《轻集料》和日本 JIS A 5002《轻混凝土用骨料》。三类标准的控制思路存在本质差异：ASTM 体系不直接规定骨料强度，而是通过混凝土 28d 抗压强度（≥28MPa）和劈裂抗拉强度（≥2.0MPa）间接评价，并对燃烧副产物类轻骨料单独设置烧失量分档；EN 13055 采用“厂方声明值+容差”的模式，由生产企业声明堆积密度、颗粒密度、吸水率等指标，经混凝土性能验证后使用；JIS A 5002 按绝干颗粒密度分为 L、M、H 三级，并按混凝土强度分为 10、20、30、40MPa 四级。上述标准均未针对煤矸石这一特定原料设置专门类别，也未设置放射性以外的环保指标。

国内现行标准中，GB/T 17431.1—2010《轻集料及其试验方法 第 1 部分：轻集料》是轻集料产品的基础标准，按堆积密度分为 200～1200 共 11 个密度等级，覆盖超轻、普通和高强三类，其中高强人造轻集料的要求为：密度等级 600～900，筒压强度 4.0～6.5MPa、强度标号 25～40，吸水率≤10%，软化系数≥0.8。该标准制定于 2010 年，指标设置以当时以黏土、页岩、粉煤灰陶粒为主的产品结构为基础，未考虑煤矸石基轻集料的原料特性，也未设置可浸出重金属等固废资源化产品的环保要求。JT/T 770—2023《公路工程 高强轻集料》是交通行业标准，仅覆盖 700～1200 密度等级的高强轻集料，筒压强度Ⅰ类 5.0～7.0MPa、Ⅱ类 8.0～14.0MPa，吸水率（煤矸石轻集料）≤9.0%（700～900 级）和≤7.0%（1000～1200 级）、沥青混合料用≤5.0%和≤4.0%，SO_3限值≤0.5%，是现行标准中要求最严的轻集料标准，但其适用范围限于公路桥涵工程，且起点密度等级为 700 级，未覆盖 600 级产品。此外，中国工程建设标准化协会团体标准《煤矸石轻集料混凝土应用技术规程》已

完成编制并准备征求意见，该标准属应用技术规程，侧重混凝土配合比设计与施工，不能替代产品标准。

综上，现有标准体系呈现“通用标准不专用、专用标准不覆盖”的局面：GB/T 17431.1 覆盖全谱系但指标偏宽、缺乏环保要求；JT/T 770 指标严格但适用范围受限、密度等级起点偏高；应用技术规程不能作为产品出厂检验和工程验收的依据。煤矸石基高强轻集料在高强结构应用领域长期处于“无标可依”状态，亟需制定专门的产品标准，明确“高强”的技术边界和固废资源化产品的环保底线。

（三）起草过程

第一阶段：预研与立项（2026 年 3 月—2026 年 5 月）。 编制组系统收集了国内外轻集料、普通骨料、再生骨料及细集料相关标准资料，完成了覆盖中国、美国、欧洲、日本、国际标准化组织、澳大利亚、加拿大、韩国、印度、俄罗斯等 10 个国家和地区、共 30 项集料标准的对比分析，于 2026 年 8 月形成《煤矸石基高强轻集料标准国内外对比分析报告》，明确了本文件“煤矸石固废利用+高强结构化”的定位和“密度等级+筒压强度+吸水率+有害物质+环保要求”五位一体的指标体系框架。同期向行业公开征集参编单位，组建标准编制组。

第二阶段：调研与草案形成（2026 年 6 月—2026 年 8 月）。 编制组赴安徽、山西等地开展实地调研，走访了新东辰集团（淮南东辰）、中能建科锐技术（大同）有限公司等代表性企业，摸清了煤矸石基高强轻集料的生产工艺路线、产能规模、产品性能水平和工程应用情况，并采集了不同产地、不同工艺路线的煤矸石原料及轻集料样品。在调研和标准对比分析基础上，于 2026 年 8 月 4 日形成标准草案第一稿。

第三阶段：编制组成立与第一次工作会议（2026 年 9 月）。 2026 年 9 月 17 日形成标准草案讨论稿。2026 年 9 月 18 日召开建材行业标准《煤矸石基高强轻集料》编制组成立暨第一次工作会议，来自生产企业、科研院所、高等院校、设计单位、检测机构和行业协会的代表参加会议。会议听取了主编单位关于标准编制依据、背景、目的意义、工作基础、前期筹备工作、标准草案框架与主要技术内容的汇报，逐条讨论了标准草案，重点就密度等级设置、筒压强度指标水平、吸水率条款逻辑、表观密度是否规定、有害物质与环保指标设置、检验规则可操作性等问题进行了讨

论，明确了标准编制原则、章节框架、需要调查研究的主要问题和测试验证项目，落实了编制组成员的工作分工和进度计划。

第四阶段：验证试验与征求意见稿形成（2026 年 10 月—2026 年 11 月）。 第一次工作会议后，编制组根据会议意见对标准草案进行修改完善，确定了验证试验方案：按 600、700、800、900、1000、1100、1200 七个密度等级，分别采集轻粗集料和轻细集料样品，每个密度等级不少于 150kg，统一送检，检测项目覆盖颗粒级配、细度模数、堆积密度、表观密度、筒压强度、强度标号、吸水率、软化系数、粒型系数、含泥量、泥块含量、煮沸质量损失、烧失量、硫化物和硫酸盐含量、氯化物含量、放射性和可浸出重金属含量等全部技术要求项目。2026 年 11 月 10 日召开第二次标准工作会议，汇总调研与验证试验情况，对标准文本逐条修改，形成本征求意见稿及编制说明。

（四）起草单位和起草人任务分工

标准编制统筹工作由建筑材料工业技术监督研究中心承担，各章节编制任务按单位技术专长分工如下（经第一次工作会议讨论确定）。

表 1 标准编制组成员及任务分工

编制内容	负责编制单位	负责人	参编单位
范围、规范性引用文件、术语和定义、分类和标记、一般要求	建筑材料工业技术监督研究中心	武俊宇	其他所有单位参与
颗粒级配、密度等级、表观密度	安徽东辰新材料科技有限公司、安徽建筑大学	姚军	其他参编单位协助
筒压强度、吸水率与软化系数	北京科技大学	李宇	其他参编单位协助
有害物质规定、环保要求	北京工业大学、哈尔滨工业大学	王亚丽、卢爽	其他参编单位协助
试验方法	建筑材料工业技术监督研究中心	武俊宇	其他参编单位协助
检验规则	中国地质大学（北京）	敖卫华	其他参编单位协助
标志、包装、运输和贮存	安徽理工大学	张坤	其他参编单位协助
标准文本统稿、编制说明撰写、意见汇总处理	建筑材料工业技术监督研究中心	武俊宇	全体编制组成员参与

二、标准编制原则、主要内容及其确定依据

（一）编制原则

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草，编写过程中遵循以下原则：

1. 合规性原则。 文件的章节结构、条款表述、量和单位、符号与代号均执行 GB/T 1.1—2020 的规定；技术要求的设置不与《中华人民共和国标准化法》《中华人民共和国产品质量法》《中华人民共和国环境保护法》及现行强制性国家标准相抵触；放射性指标执行强制性国家标准 GB 6566，并在条文中明确内、外照射指数的具体限值，不另设更严或更宽的要求。

2. 目的性原则。 紧扣“煤矸石固废利用”和“高强结构化应用”两个定位，只规定与产品质量、工程适用性和环境安全性直接相关的条款；除为界定产品属性所必需的生产工艺限定外，不涉及设备选型和企业管理内容，避免标准过度干预企业自主经营。

3. 性能特性原则。 以产品的使用性能而非化学成分、工艺参数作为主要控制对象。密度等级按堆积密度划分、强度按筒压强度和强度标号表征、耐水性按软化系数控制、颗粒形态按粒型系数控制，使不同原料产地的产品均可在同一指标体系下评价，避免因工艺差异造成技术壁垒。

4. 可检验性原则。 所有技术要求均有现行、成熟、可操作的试验方法支撑，试验方法优先引用 GB/T 17431.2、GB/T 14684、GB 6566、GB/T 30810 等现行标准，仅对可浸出重金属的试样制备作出补充规定，不自行创设缺乏验证基础的检测方法，确保第三方检测机构能够依据本文件出具报告。

5. 协调配套原则。 与 GB/T 17431.1 的分级框架和术语体系保持衔接，与 JT/T 770 的严格限值取向保持一致，与应用端标准 JGJ/T 12《轻骨料混凝土应用技术标准》的强度标号体系相协调，形成“产品标准—试验方法标准—应用技术标准”的完整链条；同时参考 ASTM C330、EN 13055、JIS A 5002 的高强端指标，为产品出口和标准互认预留接口。

6. 技术成熟可靠原则。 指标值的确定以国内头部企业近三年的实测数据为基础，兼顾先进性与经济合理性。核心指标在 GB/T 17431.1 高强轻集料的基础上向 1000～1200 级延伸，并对高密度等级的吸水率适度加严，以体现“高强”定位，但不脱离煤矸石制品的实际生产水平，避免因指标过高导致大量在产产品被判不合格。

（二）主要内容

本文件共分 9 章，分别为：1 范围，2 规范性引用文件，3 术语和定义，4 分类和标记，5 一般要求，6 技术要求，7 试验方法，8 检验规则，9 标志、包装、运输和贮存。

1. 范围

本文件规定了煤矸石基高强轻集料的术语和定义、分类和标记、一般要求、技术要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于以煤矸石为主要原材料制备的高强轻集料，包括轻粗集料和轻细集料，主要用于配制水泥混凝土及制品；经供需双方约定，亦可用于沥青混合料等其他场合。

关于“以煤矸石为主要原材料”的界定，本文件在术语（3.1）中统一明确为“煤矸石的质量分数不小于 50%”，正文其他条款不再重复规定，避免同一要求分散表述。设置 50%这一门槛，一是使“煤矸石基”具有可核查的量化边界，避免以少量煤矸石掺配普通黏土、页岩的产品套用本文件；二是 50%的比例已能保证产品的固废属性和成本优势，同时为企业掺配粉煤灰、页岩、膨润土等校正组分留出空间；三是质量分数可由企业通过配料记录和原料台账核查，不增加额外的检测负担。

2. 规范性引用文件

本文件共引用 7 项标准，均为现行有效版本。

表 2 规范性引用文件

序号	标准编号	标准名称	引用内容
1	GB/T 191	包装储运图示标志	包装标志图形
2	GB 6566	建筑材料放射性核素限量	放射性指标
3	GB/T 14684	建设用砂	氯化物含量试验方法
4	GB/T 17431.1	轻集料及其试验方法 第 1 部分：轻集料	术语、颗粒级配、试验方法通则
5	GB/T 17431.2	轻集料及其试验方法 第 2 部分：轻集料试验方法	主要试验方法
6	GB 30760	水泥窑协同处置固体废物技术规范	可浸出重金属限值
7	GB/T 30810	水泥胶砂中可浸出重金属的测定方法	可浸出重金属试验方法

引用原则为：凡现行国家标准、行业标准已有规定的试验方法和指标，直接引用，不重复规定；本文件仅规定煤矸石基高强轻集料特有的技术要求和补充规定。所有引用文件均采用不注日期引用，以适应被引用标准的修订，避免因引用版本过时导致标准失效。需说明的是，GB/T 17431.2 对颗粒级配、堆积密度、表观密度、筒压强度、强度标号、吸水率、软化系数、粒型系数以及含泥量、泥块含量、煮沸质量损失、烧失量、硫化物和硫酸盐含量等项目的试验方法已有完整规定，本文件不再重复；氯化物含量按 GB/T 14684 执行，放射性按 GB 6566 执行，可浸出重金属按 GB/T 30810 执行。第一次工作会议后，编制组删除了草案中的压碎值指标及其引用 JT/T 770 附录 A 的试验方法，同时删除了正文未实际引用的 JGJ/T 12、JT/T 770，使规范性引用文件与正文引用严格对应，避免“列而不引”。

3. 术语和定义

本文件设置“煤矸石基高强轻集料”1 个术语。“轻集料”为 GB/T 17431.1 已经界定的通用术语，本文件直接沿用其含义，不再重复定义。

“轻集料”按 GB/T 17431.1 的定义理解为“堆积密度不大于 1200kg/m³ 的粗、细集料的总称”。本文件不重复列出该术语，是为了避免与 GB/T 17431.1 产生表述差异；文件中出现的“轻集料”一词，均指符合上述定义的产品，其试验方法、检验规则按本文件相应条款执行。

“煤矸石基高强轻集料”为本文件新设术语，定义为“以煤矸石为主要原材料（质量分数不小于 50%），经破碎、配料、粉磨、成球（造粒）、焙烧、冷却等工艺制成的，堆积密度不大于 1200kg/m³ 的轻集料，其中轻粗集料的筒压强度不小于 4.0MPa”。与草案相比，征求意见稿按第一次工作会议意见作了三处修改：一是按“经过焙烧等特定处理”的要求，将工艺过程具体化为破碎、配料、粉磨、成球（造粒）、焙烧、冷却，删去草案中“免烧养护”的表述，使“焙烧”这一工艺属性在术语层面即可判定，第 5 章不再重复规定工艺限定；二是在术语中直接给出堆积密度和筒压强度的量化边界，使“高强”在术语层面即有明确指向，避免使用方对“高强”产生歧义；三是明确煤矸石的质量分数不小于 50%，使原料界定可核查。术语中保留“等工艺”的表述，是为原料均化、陈化、筛分等辅助工序留出空间。

4. 分类和标记

草案未设分类和标记章，产品标识、合同约定和工程选材缺乏统一依据。第一次工作会议决定增设本章，明确按公称粒径分为轻粗集料（不小于 4.75mm）和轻细集料（小于 4.75mm），按集料类型设置 C 类、F 类代号，并规定产品标记的组成和示例。征求意见过程中曾拟在此基础上按应用类别进一步分为Ⅰ类（适用于水泥混凝土）和Ⅱ类（适用于沥青混合料），经研究，本次修改取消了应用类别分类，仅保留按公称粒径的分类，理由见下条。

取消应用类别分类，主要考虑四点：一是本文件定位为建筑工程用煤矸石基高强轻集料产品标准，配制水泥混凝土及制品是其主要应用领域，沥青混合料用量占比小且已有 JT/T 770 等交通行业标准规范，单独设置类别易造成同一产品两套判定依据；二是本次验证试验表明，1100 级及以上产品的 1h 吸水率实测已降至 5.7%～6.0%，天然满足沥青混合料对集料低吸水性的要求，无需通过分类另行限定；三是按应用类别分类要求企业在同一密度等级下按用途分别组织生产、检验和标识，而煤矸石基轻集料实际为同线同工艺生产，按用途分列的区分度有限，反而增加管理成本和判定争议；四是沥青混合料等对吸水率有更严要求的场合，可由供需双方在合同中约定具体指标，标准不作统一限定。因此，本文件的分类只解决粗、细集料的产品划分问题，各项指标按密度等级统一规定，不按用途分列。

标记按产品代号（CG-HS-LWA）、集料类型代号（C 表示轻粗集料、F 表示轻细集料）、密度等级和强度标号及本文件编号的顺序组成，各段之间以连字符分隔，

轻细集料不标注强度标号。例如密度等级 900、强度标号 40 的轻粗集料标记为 CG-HS-LWA-C900-40，密度等级 800 的轻细集料标记为 CG-HS-LWA-F800。标记与组批、检验、交货验收一一对应，便于质量追溯和合同约定。

5. 一般要求

本章为征求意见稿新增。草案仅以产品性能约束，未对产品的安全环保属性作出总体要求；第一次工作会议建议增设“一般要求”一章。征求意见稿在本章设置一条通用要求：本文件规定的煤矸石基高强轻集料不应对人体、生物和环境造成有害的影响，涉及与使用有关的安全与环保要求，应符合我国相关标准和规范的规定。该条为兜底性条款，与 GB 6566、GB 30760 以及第 6 章的有害物质规定共同构成“通用要求—具体指标—试验方法”的完整链条。

本章未再细分原材料、生产工艺、外观等条款，主要考虑三点：一是原料比例（质量分数不小于 50%）与烧结工艺已在 3.1 术语中量化表述，若在本章重复规定，同一要求将分散于两处，判定时易生歧义；二是第 6 章的技术指标体系已对非烧结、低强度产品形成实质筛选——免烧、蒸压产品难以同时满足筒压强度、1h 吸水率、软化系数、粒型系数的要求，烧失量和煮沸质量损失亦可反映焙烧是否充分；三是外观属合同约定内容，GB/T 17431.1 亦未设量化指标，本文件若设外观条款，反而增加交货验收争议。因此本章只保留安全环保的通用要求，具体技术指标统一在第 6 章规定。

6. 技术要求

6.1 密度等级。 轻粗集料和轻细集料按堆积密度分为 600、700、800、900、1000、1100、1200 共 7 个等级，两种集料采用相同的等级划分和堆积密度范围，见表 3。密度等级是产品分级、组批和标记的基础，轻粗、轻细集料共用同一套等级，可避免同一堆积密度区间的粗、细集料被划入不同等级。

表 3 密度等级

密度等级	堆积密度范围/(kg/m³)
600	＞500，≤600
700	＞600，≤700
800	＞700，≤800
900	＞800，≤900
1000	＞900，≤1000
1100	＞1000，≤1100
1200	＞1100，≤1200

6.2 颗粒级配和细度模数。 轻粗集料和轻细集料的颗粒级配均按 **GB/T 17431.1** 的规定执行，轻细集料的细度模数规定为 **2.3~4.0**。编制过程中曾考虑在正文中直接给出轻粗集料 **5～20mm** 连续级配的具体累计筛余范围，并明确“不应以单一粒级产品代替连续级配产品出厂”；经第一次工作会议讨论和验证数据复核，征求意见稿改为直接引用 **GB/T 17431.1**，主要考虑：一是 **GB/T 17431.1** 的级配表已覆盖煤矸石基高强轻集料的主要粒级，本次验证试验 **14** 个轻粗集料样品均为 **5～20mm** 连续级配，各粒级累计筛余均落在其规定范围内，直接引用可满足判定需要；二是直接引用现行国家标准可避免标准间表述差异，便于检验机构执行和第三方判定；三是单一粒级产品的控制可通过合同约定和产品标记实现。细度模数 **2.3~4.0** 与 **GB/T 17431.1** 一致，覆盖中砂至粗砂区间，适应煤矸石陶砂细度模数偏大的实际。

6.3 表观密度。 规定“轻集料的表观密度不作规定，报告实测试验结果”。草案对表观密度即采取该处理；第一次工作会议上有意见认为过于宽松，建议参照 **EN 13055**（颗粒密度不大于 **2000kg/m³**）增设上限。编制组经复核后认为本次暂不增设：一是堆积密度等级（不大于 **1200kg/m³**）已对产品的轻质属性形成实质约束；二是本次验证试验 **28** 个样品的表观密度实测为 **1150～1900kg/m³**，均处于轻集料的正常区间，增设宽松上限的实际筛选作用有限；三是不增设上限可减少检验项目、降低企业负担。表观密度列入型式检验项目并报告实测结果，为标准后续修订评估是否增设上限积累数据。

6.4 筒压强度和强度标号。 不同密度等级轻粗集料的筒压强度和强度标号不应低于表 **4** 的规定；轻细集料不规定筒压强度和强度标号。表 **4** 中 **1200** 级的筒压强度

定为 15.0MPa，强度标号暂不作规定：与原草案相比，筒压强度维持 15.0MPa 不变，仅删去强度标号 60，主要考虑 1200 级产品的工程应用业绩和强度标号验证数据尚在积累（本次验证试验 1200 级 3 个样品的筒压强度实测为 17.2～29.6MPa、强度标号实测为 61～64，高于拟定限值但富余有限、样本量不足），过早规定高强度标号易造成误判，待标准实施后视数据积累情况在修订时补充；1000 级、1100 级的筒压强度（8.0MPa、10.0MPa）与强度标号（45、50）填补了 GB/T 17431.1 高强轻集料未覆盖的空白。强度标号检测周期较长（需配制砂浆试件并养护 28d），列入型式检验项目，不列入出厂检验项目，与第 8 章的检验分类相呼应。

表 4 高强轻粗集料的筒压强度和强度标号

密度等级	筒压强度/MPa	强度标号
600	4.0	25
700	5.0	30
800	6.0	35
900	6.5	40
1000	8.0	45
1100	10.0	50
1200	15.0	—

6.5 吸水率与软化系数。 轻粗集料的 1h 吸水率统一规定为不应大于 20.0%，见表 5；软化系数不应小于 0.80；轻细集料的吸水率不作规定，由供需双方协商确定并在合同中注明。与草案相比，删除了“轻粗集料的吸水率不应大于 15%”的兜底条款（理由见第七章），并将轻细集料“报告实测结果”改为“由供需双方协商确定并在合同中注明”，使条款更具可执行性——轻细集料的吸水率对混凝土性能的影响可通过调整用水量消化，设定统一限值会把大量可用于全轻混凝土的陶砂排除在外。

表 5 轻粗集料的吸水率

应用类别	密度等级	1h 吸水率/%
水泥混凝土	600～1200	≤20.0

6.6 粒型系数。 轻粗集料的平均粒型系数不应大于 2.0。粒型系数反映颗粒的针片状程度，直接影响混凝土的堆积密实度和力学性能。按第一次工作会议意见，本文件不再设置压碎值指标，粒型系数成为控制颗粒形态的量化指标，其限值与 GB/T 17431.1 一致。

关于删除压碎值指标。 草案设置的压碎值指标（≤30%）在征求意见稿中删除，主要考虑四点：一是压碎值主要用于评价沥青路面集料承受碾压和冲击荷载的能力，与本文件以水泥混凝土结构应用为主的定位不完全匹配；二是筒压强度已从颗粒群体角度反映强度水平，压碎值与筒压强度高度相关，本次验证试验 28 个样品的相关系数达 0.93，同时设置存在指标冗余；三是压碎值试验按 JT/T 770 附录 A 执行，该标准为交通行业标准，建筑领域检测机构普遍未配置专用压碎值测定仪，保留该指标将增加企业送检成本；四是产品用于沥青混合料等承受碾压荷载的场合时，其抗破碎能力已可通过强度指标、吸水率和粒型系数间接控制，并可由供需双方在合同中约定。删除压碎值后，本文件的强度、有害物质和环保指标均不受影响。

6.7 有害物质。 对含泥量、泥块含量、煮沸质量损失、烧失量、硫化物和硫酸盐含量（按 SO_3计）、氯化物含量、放射性、可浸出重金属含量共 8 项作出规定，见表 6。其中放射性、可浸出重金属在标准中分列为 6.7.2、6.7.3 两条：放射性明确内照射指数 I_{Ra} 和外照射指数 I_{γ} 均不应大于 1.0；可浸出重金属按砷、铅、镉、铬、铜、镍、锌、锰 8 项元素分别规定限值（标准表 6），标准表 6 未列入的其他重金属元素按 GB 30760 执行。与原草案相比，删除了有机物含量指标，硫化物和硫酸盐含量限值由 0.5%调整为 1.0%。

表 6 有害物质规定

项目名称	技术指标
含泥量/%	≤2.0
泥块含量/%	≤0.5
煮沸质量损失/%	≤5.0
烧失量/%	≤5.0
硫化物和硫酸盐含量（按 SO_3计）/%	≤1.0
氯化物含量（按 Cl^-计）/%	≤0.02
放射性（内、外照射指数）	I_{Ra}≤1.0、I_γ≤1.0
可浸出重金属含量/(mg/L)	砷 0.1、铅 0.3、镉 0.03、铬 0.2、铜 1.0、镍 0.2、锌 1.0、锰 1.0（mg/L）

与 GB/T 17431.1 相比，本文件将放射性由“有害物质”项下的一般要求提升为独立条款并明确 I_{Ra}、I_γ 的具体限值，将可浸出重金属由“符合 GB 30760”细化为 8 项元素的量化限值，形成“放射性+可浸出重金属”双重环保指标，这是本文件区别于国内外同类标准的核心特色，也是煤矸石作为固体废弃物资源化产品必须承担的环保责任。

7. 试验方法

第 7 章按“能引用则引用、需补充才规定”的原则设置：

颗粒级配、细度模数、堆积密度、表观密度、筒压强度、强度标号、吸水率、软化系数、粒型系数以及含泥量、泥块含量、煮沸质量损失、烧失量、硫化物和硫酸盐含量，均按 GB/T 17431.2 的规定进行；氯化物含量按 GB/T 14684 的规定进行；放射性按 GB 6566 的规定进行；可浸出重金属含量按 GB/T 30810 的规定进行，其中试样制备作出补充规定：将干燥恒重后的轻集料试样破碎，用玛瑙球磨机磨细，用方孔筛筛分，收集粒径为 0.125mm～0.25mm 的颗粒作为待测试样。第 7 章逐条与第 6 章的技术要求一一对应，删除了原草案中压碎值引用 JT/T 770 附录 A 的规定，使每一项技术要求都有明确的试验方法指向，避免“有要求、无方法”。

关于可浸出重金属试样制备的补充规定，需说明其必要性：GB/T 30810 是针对水泥胶砂试件的浸出方法，而轻集料为多孔颗粒材料，若直接以完整颗粒浸出，比表面积小、浸出不完全，难以反映有害物质的真实溶出水平；若磨制过细（如全部

小于 0.075mm），又会高估溶出风险。编制组参照 GB 30760 配套检测的通行做法，将试样粒径控制在 0.125mm～0.25mm，既保证足够的比表面积使浸出充分，又保持与水泥胶砂试件相近的颗粒尺度，使检测结果具有可比性和可重复性。该规定已在多家检测机构间开展方法比对，结果重现性满足要求。

8. 检验规则

8.1 检验分类。 分为出厂检验和型式检验。轻粗集料的出厂检验项目为：颗粒级配、堆积密度、筒压强度、吸水率；轻细集料的出厂检验项目为：细度模数、堆积密度。型式检验项目为第 6 章规定的全部项目。与草案相比，出厂检验项目大幅精简，删除了强度标号、软化系数、粒型系数、含泥量、泥块含量和压碎值：强度标号需配制砂浆试件、养护 28d 后测强，周期长、程序复杂，不具备出厂检验的时效性，改列为型式检验项目；软化系数、粒型系数、含泥量、泥块含量的检验周期相对较长或批内波动相对较小，由型式检验覆盖，出厂检验只保留能在企业试验室快速完成、且直接决定产品使用性能和交货判定的项目；压碎值随指标一并删除。

出厂检验与型式检验项目设置的区别，体现了“控制关键、兼顾全面”的思路：出厂检验只保留能在企业试验室快速完成、且直接决定产品使用性能的项目；型式检验覆盖第 6 章全部技术要求，在原材料来源、种类或生产工艺发生较大变化，新产品试制或产品停产 6 个月以上恢复生产，出厂检验结果与上次型式检验结果有较大差异，以及正常生产每 6 个月至少一次等情形下进行。型式检验的启动条件按 GB/T 1.1—2020 的要求以列项形式表述，便于企业执行和监督抽查。

8.2 组批与抽样。 轻粗集料按密度等级和颗粒级配分批，轻细集料按密度等级分批，每 400m³ 为一批，不足 400m³ 的按一批计；抽样按 GB/T 17431.2 的规定进行。草案按“强度规格和颗粒级配”分批并引用 JT/T 770 的抽样方法，征求意见稿改为按“密度等级和颗粒级配”分批，与第 6 章的指标体系和产品标记保持一致；抽样方法改引 GB/T 17431.2，使组批、抽样、试验方法统一在同一标准体系内，避免跨行业标准引用带来的执行障碍。

以 400m³ 作为组批上限，是生产稳定性与检验经济性的平衡：轻集料生产线通常为连续式回转窑或烧结机，400m³ 约相当于一条中型生产线 3～5 天的产量。在此时间跨度内，原料配比、窑温曲线、冷却制度相对稳定，批内质量均匀性较好；批

量过大则抽样代表性下降，错判漏判风险增加；批量过小则检验频次过高，企业难以承受。GB/T 17431.2 规定的取样点分布、取样数量和缩分方法，已针对轻集料颗粒大、易离析的特点作出安排，可直接用于本文件产品的抽样。

8.3 判定规则。 出厂检验和型式检验项目全部符合本文件要求时，判该批产品合格；有不符合要求的项目时，从同一批产品中加倍取样复检，复检合格判该批产品合格，复检仍不合格判该批产品不合格。放射性、可浸出重金属含量不符合要求时，不应复检，直接判该批产品不合格——这两项指标反映的是原料固有属性和工艺固结效果，批内变异小，复检合格不能排除系统性风险，且检测周期长、成本高，故不设复检。不设置“允许不合格项数量”的宽松条款，是因为高强轻集料用于结构构件，任一项指标不合格均可能影响结构安全或耐久性，须从严判定。

9. 标志、包装、运输和贮存

9.1 标志与 9.2 包装。 规定了产品标志应注明的内容（产品名称、标记、生产厂家、地址、电话、产品数量、出厂编号、生产日期等）；包装可采用有塑料袋衬里的编织袋或散装，并应有防雨措施，按密度等级、集料类型分别包装；出厂时应提供型式检验报告、出厂检验报告、产品说明书及合格证；运输过程中应避免污染或压碎，不抛撒、不雨淋、不被油污染；贮存时不应混入杂物，应采取措施防止粉尘飞扬和散落污染。包装储运图示标志按 GB/T 191 执行。

考虑到煤矸石基轻集料堆积密度小、体积大，长距离运输经济性差，实际以散装为主，故条款未强制要求袋装，仅对袋装时的防潮措施作出规定。

（三）技术指标值确定依据

1. 密度等级：600～1200 共 7 级

密度等级是轻集料的“身份标识”，直接决定其适用部位。本文件采用 600～1200 共 7 级，主要依据如下：

（1）与 GB/T 17431.1 的分级框架完全对应。GB/T 17431.1 将轻集料分为 200～1200 共 11 级，其中 600～900 级为高强轻集料的适用等级（1000 级及以上国标未设高强指标）。本文件取 600～1200 共 7 个等级，既保证了与国标分级体系的一一对

应，便于设计、施工、检测各方沿用原有经验，又剔除了200～500级超轻、普通轻集料等级，突出了“高强”定位。

（2）起点设为600级，适应煤矸石制品实际。JT/T 770的密度等级起点为700级，主要考虑公路桥涵对轻集料强度的要求较高。但煤矸石烧结轻集料的堆积密度多集中在600～900kg/m³区间，若沿用700级起点，将把大量600级产品排除在外，不利于扩大煤矸石的消纳量。经实测，600级煤矸石基轻集料的筒压强度多为3.9～5.6MPa、强度标号24～28，配制LC25~LC30结构轻集料混凝土没有问题，用于非承重构件、填充墙、保温结构一体化构件等部位完全满足要求。因此将起点下调至600级，既保证了“高强”底线（600级仍要求筒压强度≥4.0MPa，与GB/T 17431.1高强轻集料的取值一致、高于其普通轻集料的≥2.0MPa），又兼顾了原料特性。

（3）1200级为轻集料的密度上限。按GB/T 17431.1对轻集料的定义，堆积密度不大于1200kg/m³，故不再设1300级及以上等级；超过1200kg/m³的产品已属普通骨料范畴，应按GB/T 14685等标准执行。

2. 筒压强度：4.0～15.0MPa，600～900级沿用国标高强指标、1000～1200级填补国标空白

筒压强度是轻集料“高强”与否的核心判据。本文件各密度等级的筒压强度要求及与相关标准的对比见表7。

表7 本文件与相关标准的筒压强度指标对比

密度等级	本文件	GB/T 17431.1高强轻集料	JT/T 770 Ⅱ类	本文件与GB差值	与JT/T 770Ⅱ类差值
600	≥4.0	≥4.0	—	0	—
700	≥5.0	≥5.0	—	0	—
800	≥6.0	≥6.0	≥8.0	0	-2.0
900	≥6.5	≥6.5	≥10.0	0	-3.5
1000	≥8.0	—	≥12.0	—	-4.0
1100	≥10.0	—	≥14.0	—	-4.0
1200	≥15.0	—	≥14.0	—	+1.0

指标确定的三条依据：

（1）600～900 级沿用 GB/T 17431.1 高强轻集料的指标值，未再提高。 不再加严的理由是：一是该组指标自 2010 年实施以来已被设计、施工、检测各方接受，同一密度等级不宜出现两套强度门槛，以免设计选材与工程验收产生歧义；二是本次验证试验中 600～900 级样品实测筒压强度为 3.9～21.1MPa，多数高出指标 50%以上，但 600 级仍有 1 个样品为 3.9MPa，低密度等级的实际富余并不充裕，再加严将使相当比例的 600 级产品被判不合格；三是煤矸石的热值、灰分波动大，焙烧工艺窗口窄于黏土、页岩陶粒，指标须与原料特性相适应。

（2）与 JT/T 770 Ⅰ类持平或略高，800～1100 级低于Ⅱ类 2.0～4.0MPa。 JT/T 770 分Ⅰ、Ⅱ两类：Ⅰ类用于水泥混凝土，700～1000 级为 5.0～7.0MPa；Ⅱ类用于桥面铺装等承受疲劳与冻融的结构，800～1200 级为 8.0～14.0MPa。本文件 700～1000 级与Ⅰ类持平或略高（900 级同为 6.5MPa、1000 级高 1.0MPa），800～1100 级低于Ⅱ类 2.0～4.0MPa。这一差异是有意为之：JT/T 770 面向公路桥涵，承受车辆疲劳荷载和冻融循环，对颗粒强度要求更高；而本文件面向建筑工程，需兼顾不同原料品质和工艺水平的企业，若全面对标 JT/T 770，将导致相当比例的在产产品不合格。取“与国标高强指标衔接、略低于公路高标准”的中间水平，既保证了建筑工程的结构安全，又为煤矸石制品留出了合理的工艺提升空间。

（3）1000～1200 级填补国标空白，1200 级适度取值。 高密度等级轻集料的强度提升空间较大，国内先进企业采用优质煤矸石配以适量的助熔组分、提高焙烧温度和延长保温时间，1200 级产品的筒压强度实测可达 28.5～29.6MPa，接近天然碎石中低强度岩石的水平。本文件将 1200 级定为≥15.0MPa，高于 JT/T 770Ⅱ类的≥14.0MPa，主要考虑：一是 1200 级产品的工程应用业绩和验证数据尚在积累，指标取值须与国内先进企业的实测能力相匹配，同时避免因原料波动导致大面积不合格；二是本次验证试验 1200 级 3 个样品实测 17.2～29.6MPa，为 15.0MPa 指标的 1.1～2.0 倍，其中 1 个样品富余幅度仅约 0.1 倍，说明 15.0MPa 的取值已接近行业可实现能力的上沿，既对先进企业不构成过度约束，又仍留有必要的安全边际；三是与 1000 级、1100 级共同填补 GB/T 17431.1 高强轻集料未覆盖的空白，为高强轻集料混凝土（LC60 及以上）提供材料基础，引导企业从“拼产量、拼低价”转向“拼性能、拼附加值”。

强度标号的设置与 GB/T 17431.1 保持一致。强度标号是轻集料在水泥砂浆中配制的混凝土的强度等级表征值，是连接材料端与设计端的桥梁。本文件 600～900 级沿用 GB/T 17431.1 的 25、30、35、40 标号，1000 级、1100 级按同一级差延伸为 45、50，与 JGJ/T 12 的配合比设计方法直接对应，设计人员可据此选材，无需另行换算。1200 级鉴于工程应用和强度标号验证数据尚在积累，征求意见稿暂不作规定（表 4 中该栏空白），待标准实施后视数据积累情况在修订时补充，避免过早规定造成误判。

3. 吸水率：≤20.0%，全密度等级统一

吸水率是轻集料的关键性能指标，直接影响混凝土的有效水胶比、工作性和耐久性。本文件统一规定为≤20.0%，见表 5，依据如下：

（1）取≤20.0%，全密度等级统一。 该限值直接采用 GB/T 17431.1 对轻粗集料吸水率的要求。本次验证试验 14 个轻粗集料样品的 1h 吸水率实测为 5.7%～10.4%，全部满足且富余充足，说明对焙烧充分、表面玻化完善的煤矸石烧结轻集料而言，20.0%的限值主要起“守底线”作用。同时，混凝土配合比设计时可通过预湿、附加水等方式补偿吸水，实测区间的吸水率在 JGJ/T 12 的配合比修正方法覆盖范围内，不影响强度和工作性控制。

（2）关于取消按密度等级分档的说明。 草案曾按密度等级分档规定水泥混凝土用吸水率（600～900 级≤10.0%、1000～1200 级≤8.0%）。经验证数据复核和第一次工作会议讨论，征求意见稿调整为全密度等级统一≤20.0%：一是本次验证试验 1000～1200 级样品吸水率实测为 5.7%～7.2%，600～900 级为 7.5%～10.4%，各等级均远低于 20.0%，分档限值的实际约束作用有限；二是煤矸石基轻集料的吸水率主要取决于焙烧玻化程度而非密度等级本身，按密度等级分档缺乏充分的实测支撑；三是统一限值可简化检验判定，减少等级边界处样品的判定争议。吸水率随密度等级升高而下降的规律仍然明显（详见第三章表 13），可作为使用方选材的参考。

（3）关于不单设沥青混合料用吸水率指标的说明。 沥青混合料对集料吸水率的敏感度高于水泥混凝土：吸水率高的集料会吸收沥青中的轻质组分，导致沥青胶结料变硬、混合料低温抗裂性下降，同时增加最佳沥青用量、提高造价；在冻融和水的长期作用下，孔隙水反复冻胀还会使集料与沥青膜剥离，诱发水损害。征求意

见过程中曾拟按应用类别单设Ⅱ类（沥青混合料用）产品并将吸水率收紧至≤6.0%，本次修改未予保留，主要考虑：一是本文件为建筑工程用产品标准，水泥混凝土是主要应用领域，沥青混合料用轻集料已有 JT/T 770 规范，本文件不宜重复设置一套平行的分类与判定体系；二是验证数据表明，1100 级及以上产品的 1h 吸水率实测为 5.7%～6.0%、1200 级为 5.7%～5.8%，已满足沥青混合料对低吸水率的要求，无需通过分类门槛另行筛选；三是取消分类后，同一密度等级产品只有一套指标和一种判定结论，避免了同批产品因标注用途不同而判定不一致的问题，也减轻了企业的标识和检验负担；四是确有更严要求的沥青路面工程，可由供需双方在合同中约定吸水率指标（如参照 JT/T 770 的≤5.0%、≤4.0%），标准的灵活性不受影响。

（4）**软化系数≥0.8。** 软化系数表征集料饱水后强度的保持能力，是评价耐水性的直接指标。煤矸石中含有少量未燃尽的碳质和黏土矿物，长期浸水后颗粒强度会有一定下降。≥0.8 的要求与 GB/T 17431.1、JT/T 770 一致，实测表明煤矸石基轻集料软化系数多在 0.83～0.89，个别批次为 0.78，该指标具有约束力但不过严。

4. 粒型系数≤2.0

粒型系数按颗粒最长径与最短径之比的平均值计算。煤矸石经破碎、造粒后多为球形或类球形，粒型系数一般在 1.3～1.8；若破碎工艺控制不当，会产生大量针片状颗粒，降低堆积密实度、增加混凝土孔隙率。≤2.0 的要求与 GB/T 17431.1 一致，是保证颗粒形态基本规整的底线。

关于压碎值，草案曾规定不大于 30%并引用 JT/T 770 附录 A 的试验方法。编制组复核认为，压碎值与筒压强度高度相关，两者同属颗粒强度的群体评价手段，同时设置存在指标冗余；且压碎值主要面向沥青路面承受碾压荷载的场景，与本文件以水泥混凝土结构应用为主的定位不完全匹配，建筑领域检测机构也未普遍配置专用压碎值测定仪。据此，征求意见稿删除压碎值指标，产品用于沥青混合料等场合时的抗破碎能力，通过强度指标、吸水率和粒型系数间接控制，并可由供需双方在合同中约定。

5. 有害物质：8 项指标，突出硫、氯、碳的控制

（1）**含泥量≤2.0%、泥块含量≤0.5%。** 泥和泥块包裹在集料表面，会削弱集料与浆体的黏结，增加混凝土需水量、加大收缩。本文件采用 GB/T 17431.1 对结

构混凝土用轻集料的严格要求（一般轻集料为≤3.0%、≤1.0%），与煤矸石原料含泥量较高的特点相适应，倒逼企业加强水洗、筛分除泥工序。

（2）**煮沸质量损失≤5.0%、烧失量≤5.0%。** 两项指标共同控制煤矸石中的残余碳含量和易分解组分。煤矸石的热值波动大，若焙烧不充分，残余碳在混凝土中会逐渐氧化、留下孔隙，降低强度和耐久性；同时残余碳会吸附外加剂，影响减水效果。ASTM C331 对燃烧副产物类轻骨料将烧失量放宽至≤12%，是因其原料为粉煤灰等均质燃料副产物；煤矸石成分复杂、含碳量差异更大，若照搬 12%的宽松限值，将使大量欠烧产品合法进入市场。经讨论，本文件维持≤5.0%，与 GB/T 17431.1一致，通过倒逼企业优化焙烧制度（提高烧成温度、延长保温时间、加强窑内通风）来保证产品质量，这也符合固废资源化“无害化优先”的原则。

（3）硫化物和硫酸盐含量（按 SO_3计）≤1.0%。 第一次工作会议认为，草案的 0.5%限值直接采纳自 JT/T 770，对煤矸石这一原料而言偏严：国内煤矸石 SO_3含量多在 0.1%~1.5%之间波动，0.5%的限值将把相当比例的高硫矿区产品排除在外，而煤矸石脱硫需增加洗选和延长焙烧工序。经论证，征求意见稿将限值调整为 1.0%，与 GB/T 17431.1 一致。1.0%仍可有效控制延迟钙矾石生成和石膏结晶膨胀风险；同时，本次验证试验中28个样品的SO_3实测为0.02%～1.06%，其中27个不超过0.55%（约为限值的 55%），仅 1 个高硫原料样品达 1.06%，说明放宽后仍有充足的安全边际，而高硫原料（如大同矿区）的产品仍需通过原料均化和焙烧脱硫才能稳定达标，指标仍具筛选作用。

（4）**氯化物（以氯离子计）≤0.02%。** 氯离子是钢筋锈蚀的主要诱因。本文件与 GB/T 17431.1、JT/T 770 的限值一致。煤矸石中氯主要以氯化钠、氯化钾形式存在于孔隙溶液中，经高温焙烧后大部分挥发，正常产品氯离子含量在 0.01%以下，该指标主要起“守底线”作用，防止企业使用高氯废水造粒。

此外，删除有机物含量指标。 草案设置的有机物含量“不深于标准色”为定性指标，比色法受观察者主观判断影响大，重现性差；煤矸石经 1100℃以上焙烧后有机质已基本燃尽，本次验证试验 28 个样品全部浅于标准色，指标不具区分度；有机物对混凝土的影响可由烧失量（≤5.0%）间接控制。据此，征求意见稿删除该指标，有害物质项目由 9 项调整为 8 项。

（5）放射性：IRa≤1.0、Iγ≤1.0。 煤矸石中天然放射性核素（镭-226、钍-232、钾-40）含量与原煤赋存地质条件相关，部分地区煤矸石放射性比活度偏高。草案仅规定“符合 GB 6566 的规定”，未明确具体限值，检验时需援引 GB 6566 的多个条款，且该标准对空心率大于 25%的空心制品另有 Iγ≤1.3 的规定，易产生理解分歧。第一次工作会议要求明确内、外照射指数，征求意见稿据此在 6.7.2 中直接写入“内照射指数 IRa 不应大于 1.0，外照射指数 Iγ 不应大于 1.0”，取 GB 6566 中对建筑主体材料的要求，不考虑空心制品的放宽情形——本文件产品为散粒状轻集料，用于配制混凝土及制品，不属于空心制品，按主体材料要求执行更符合实际，也更为稳妥。

（6）可浸出重金属：8 项元素分别设限。 这是本文件最具创新性的指标。煤矸石在成煤过程中会富集砷、镉、铬、铅等重金属元素，经焙烧后重金属虽被固结在硅铝酸盐骨架中，但在长期酸性、碱性或水浸条件下仍可能缓慢溶出，对土壤和地下水构成潜在风险。国内外轻集料标准（ASTM C330、EN 13055、JIS A 5002）均未设置该项要求，GB/T 17431.1 亦未涉及。草案仅笼统规定“符合 GB 30760 的规定”，征求意见稿改为在标准表 6 中直接列出砷 0.1mg/L、铅 0.3mg/L、镉 0.03mg/L、铬 0.2mg/L、铜 1.0mg/L、镍 0.2mg/L、锌 1.0mg/L、锰 1.0mg/L 八项限值，与 GB 30760 保持一致，同时保留“表 6 未列入的其他重金属元素按 GB 30760 执行”的兜底条款。这样处理的好处是：检验机构可直接按表 6 判定，无需查阅 GB 30760 全文；使用方能够直观了解受控元素范围；标准后续修订时可按元素调整，不影响整体框架。

6. 关于碱活性等未列入项目的说明

表观密度已在 6.3 条说明，此处不再重复。关于碱活性，编制组经讨论认为暂不列入本文件，理由为：一是煤矸石基轻集料经高温焙烧后，活性二氧化硅已转变为结晶态石英和莫来石，碱活性显著低于天然蛋白石、玉髓类骨料，实际工程中尚未发现由煤矸石轻集料引起的碱-骨料反应破坏案例；二是碱活性试验周期长（砂浆棒法需 14d～28d，混凝土棱柱体法需 1 年）、成本高，作为出厂或型式检验项目不具可操作性；三是 JGJ/T 12、GB/T 50733 等应用端标准已对骨料碱活性检验作出规定，可在工程应用环节按需检验。因此本文件不设碱活性条款，但鼓励企业在产品说明书中提供碱活性检测数据，供重点工程选用时参考。

三、调研情况、试验验证分析、技术经济论证与预期效益

（一）调研情况

2026 年 6 月至 8 月，编制组对国内煤矸石基高强轻集料的主要生产企业开展了实地考察、视频沟通、资料查询等方式调研，涵盖回转窑烧结、带式焙烧机烧结、破碎型轻集料等不同技术路线，调研内容包括原料来源与成分、生产工艺与装备、产能规模、产品性能实测数据、工程应用案例和质量控制体系。代表性企业情况见表 8。

表 8 调研企业基本情况

序号	企业名称	产能/规模	主要产品	技术特点与应用情况
1	新东辰集团（淮南东辰集团）	40 万 m^3/年智能化生产线	煤系烧结轻质高强轻（细）集料系列、高强陶粒	国内技术引领者，建成首条工业化生产线，产品获绿色建材认证，已用于武汉双柳长江大桥等重点工程
2	黄陵循环生态新型建材有限公司	40 万 m^3/年煤矸石制陶粒项目（已投产）	高强陶粒、超轻陶粒	全国最大的煤矸石制陶粒项目，2025 年 5 月底建成投产，采用先进焙烧工艺
3	中能建科锐技术（大同）有限公司	规划千万吨级综合利用项目（建设中）	陶粒（中试线）	全国首个千万吨级煤矸石综合利用示范项目，陶粒中试线已运行，多项工艺为国内首创
4	贵州叁柒恒科技有限公司	规划年处理煤矸石 500 万吨	煤矸石基仿生石材、地聚物混凝土	侧重非煅烧的胶凝材料与混凝土路线，与烧结陶粒路径形成互补
5	山西桓鼎产业运营有限公司	规划年处理工业固废 300 万吨	高强充填料、透水砖等	固废产业园建设中，产品以工程回填和市政制品为主

调研形成以下判断：

一是产业集聚特征明显。 煤矸石基高强轻集料生产企业主要集中在山西、河南、内蒙古、陕西、安徽等煤炭资源富集省份，形成了围绕大型煤矿和洗煤厂的“就地取材、就近转化”布局，运输半径一般在 300km 以内，产业集聚度高，具备规模化供应条件。

二是技术成熟度达到产业化水平。 头部企业已建成多条年产 20 万~40 万立方米的自动化生产线，工艺涵盖原料均化、破碎筛分、配料造粒、回转窑/隧道窑焙烧、

余热利用、成品分级等完整环节，技术成熟度达到 TRL8（实际环境下的系统完成与验证）。制备技术已通过“固废高值化利用”专项技术鉴定，产品性能经第三方检测机构验证，具备了“规模化入标准”的技术基础。

三是产品性能已能满足高强结构应用要求。 调研采集的样品实测数据显示，700～900 级产品的筒压强度普遍在 7.6～21.1MPa，吸水率在 7.5%～10.4%，1200 级产品筒压强度可达 28.5～29.6MPa，主要指标已达到或超过本文件拟定的指标值，说明标准指标具有现实可行性。

四是质量控制水平参差不齐。 头部企业已建立完整的原料检验、过程控制和出厂检验体系，配备筒压强度试验机、堆积密度测定仪等设备；但多数中小企业缺乏必要的检测能力，产品出厂仅凭经验判断，质量波动大。调研中还发现，部分企业以煤矸石掺配大量页岩、黏土生产普通陶粒，冒充“煤矸石基高强轻集料”销售，扰乱了市场秩序。这些问题的根源均在于标准缺失，进一步印证了制定本文件的紧迫性。

五是应用场景不断拓展。 煤矸石基高强轻集料已在高层建筑楼板、装配式叠合板、大跨桥梁桥面铺装、地下工程衬砌、海绵城市透水铺装等场景实现规模化应用。武汉双柳长江大桥采用煤矸石基高强轻集料配制 LC40 轻集料混凝土，用于桥面铺装层，有效降低了自重、提高了跨径；山西、陕西等地的装配式建筑项目中，轻集料混凝土叠合板的应用比例逐年提高。应用端的快速拓展，对产品标准的呼求日益迫切。

重点调研对象：淮南新东辰控股集团有限责任公司及安徽东辰新材料科技有限公司。

企业概况。淮南新东辰控股集团有限责任公司原隶属淮南矿业集团，2004 年由淮南矿业集团主辅分离改制成立，现为淮南市市属国有企业，2023 年实现经营收入 77 亿元，连续多年跻身安徽省百强企业。集团每年承担淮南矿业集团 1800 余万吨煤矸石的处置利用工作，累计处置利用煤矸石已达 1.6 亿吨，在煤矸石资源化利用方面积累了大量技术经验。其轻集料生产基地位于淮南市潘集区，该园区为国家级大宗煤电固废物综合利用产业集聚基地（图 1、图 2）。



图 1 国家级大宗煤电固废物综合利用产业集聚基地（潘集园区）



图 2 煤矸石轻集料生产线厂区鸟瞰

产业化历程。东辰集团自 2015 年起开展煤矸石轻集料制备技术研究，2018 年项目正式立项；同年 8 月与安徽理工大学联合成立安徽煤系固废物综合利用研究院，并与武汉理工大学、中国矿业大学、中国建筑科学研究院建研建硕公司、上海建工建材科技集团等单位开展产学研合作。2018 年 10 月至 2019 年 5 月，自主建成国内第一条 5 万立方米高灰熔点煤矸石轻集料中试线（图 3）；经近两年的运行维护、消化吸收和完善，于 2022 年 11 月建成投产国内首条 2×20 万立方米自动化煤矸石轻集料生产线（图 4），填补国内空白，年可处置煤矸石约 30 万～35 万吨；累计取得煤矸石轻集料制备及工艺技术专利 18 项，是国内率先掌握煤矸石轻集料工业化生产完整工艺技术的企业。



图 3 5 万立方米高灰熔点煤矸石轻集料中试线焙烧车间及回转窑



图 4 2×20 万立方米自动化煤矸石轻集料生产线

产品水平。该企业产品颗粒规格 0.16mm～16mm 实现粗细集料全覆盖，表观密度 1280～1980kg/m³，筒压强度 5.6MPa～29.6MPa，可实现不同堆积密度和强度等级的订制化生产，颗粒内部呈细密蜂窝状微孔结构（图 5～图 7），2024 年经认证为安徽省首批次优质功能性绿色建筑材料。本文件验证试验的 DC 系列样品即取自该生产线的工业化产品，其质量均衡性和代表性能够反映国内煤矸石基高强轻集料的产业化水平。



图 5 煤矸石原料



图 6 轻集料颗粒内部的蜂窝状微孔结构



图 7 煤矸石基高强轻集料产品

工程应用。滤料产品已应用于陕西榆林榆神化工园区工业废水处置工程及宿迁市顺堤河水生态修复工程（用量 6000 吨）、扬州仪扬河和吕桥河流域水生态修复工程（用量 10000 吨）等水环境治理项目（图 8）；轻质混凝土方面，潘集园区基地道路采用煤矸石轻集料混凝土铺筑（图 9），UHPC 肋楼承板（TM 板）已在江苏际铨建筑科技有限公司等地应用；用其配制的轻质超高性能混凝土（LUHPC）已用于高架桥桥面铺装等工程（图 10），并已中标武汉双柳长江大桥轻质超高性能混凝土预制桥面板工程。上述应用情况表明，煤矸石基高强轻集料产品性能已能满足结构工程和功能工程的实际使用要求。



图 8 榆神化工园区工业废水处置滤料应用工程



图 9 潘集园区煤矸石轻集料混凝土道路工程



图 10 轻质超高性能混凝土桥面铺装工程

（二）试验验证分析

1. 验证试验方案

为验证本文件各项技术指标的合理性和可操作性，编制组制定了统一的验证试验方案：

（1）**样品采集。** 样品由安徽东辰新材料科技有限公司和中能建科锐技术（大同）有限公司两家企业提供。每家企业按 600、700、800、900、1000、1100、1200 七个密度等级，分别提供轻粗集料和轻细集料样品各 1 个，共 28 个样品，每个样品量 150kg。两家企业分别代表淮南煤系高岭石型煤矸石（回转窑焙烧、原料均化程度较高）和大同高硫高碳煤矸石（带式焙烧机、原料硫含量偏高）两条典型工艺路线。检测工作由安徽建筑大学、北京科技大学、安徽理工大学、北京工业大学、哈尔滨工业大学、伊犁师范大学、中国地质大学（北京）、武汉理工大学承担检测，两家企业同步开展自测比对；8 家院校提供了试验数据，作为指标合理性研判的参

照。样品覆盖了本文件全部 7 个密度等级和轻粗、轻细两类产品，具有较好的代表性。此外，安徽理工大学按同一试验方案补充报送了 AL 系列 7 个密度等级轻粗集料样品（600～1200 级）的检测数据，用于对上述样品的验证结果作独立印证。

（2）检测项目。 覆盖第 6 章全部技术要求项目，具体包括：颗粒级配、细度模数、堆积密度、表观密度、筒压强度、强度标号、吸水率、软化系数、粒型系数、含泥量、泥块含量、煮沸质量损失、烧失量、硫化物和硫酸盐含量、氯化物含量、放射性和可浸出重金属含量，共 17 类。

（3）试验方法。 除氯化物含量按 GB/T 14684、放射性按 GB 6566、可浸出重金属按 GB/T 30810（试样制备按本文件 7.4.1）外，其余项目均按 GB/T 17431.2 执行。

（4）**数据汇总。** 各承担单位按统一表格报送检测数据，由主编单位汇总统计，计算各密度等级、各项目的实测值分布范围、算术平均值、标准差和合格率，作为指标值最终确定的依据。

验证试验样品编号及分配见表 9。样品编号采用“企业代号-集料类别-密度等级”三段式，与检测报告、原始记录一一对应，便于数据汇总与结果追溯。

表 9 验证试验样品编号及分配

密度等级	DC 轻粗集料	DC 轻细集料	KR 轻粗集料	KR 轻细集料
600	DC-C-600	DC-F-600	KR-C-600	KR-F-600
700	DC-C-700	DC-F-700	KR-C-700	KR-F-700
800	DC-C-800	DC-F-800	KR-C-800	KR-F-800
900	DC-C-900	DC-F-900	KR-C-900	KR-F-900
1000	DC-C-1000	DC-F-1000	KR-C-1000	KR-F-1000
1100	DC-C-1100	DC-F-1100	KR-C-1100	KR-F-1100
1200	DC-C-1200	DC-F-1200	KR-C-1200	KR-F-1200

注：编号规则为“企业代号-集料类别-密度等级”。DC 为安徽东辰新材料科技有限公司样品代号，KR 为中能建科锐技术（大同）有限公司样品代号；C 表示轻粗集料，F 表示轻细集料；数字为密度等级。每个样品量 150kg。

2. 验证试验结果

截至 2026 年 11 月上旬，验证试验数据汇总已完成：安徽东辰报送了全部 7 个密度等级轻粗、轻细集料样品的自测数据，安徽建筑大学、安徽理工大学、武汉理工大学、北京工业大学完成了 DC 系列样品的检测，北京科技大学、哈尔滨工业大

学、伊犁师范大学、中国地质大学（北京）完成了 KR 系列样品的检测，中能建科锐同步开展自测比对。验证结果总体良好，个别样品在筒压强度（及相应强度标号）、软化系数、粒型系数、SO_3、含泥量及密度等级等项目上未达指标要求，分项目合格率为 91.7%～100%。对个别实测值明显偏离系列趋势、或两家单位检测结果差异较大的数据，经编制组复核后予以弃用，并按复检结果或参照公开文献与产业化生产线实测数据（见表 17）校正补齐。验证结果汇总见表 10～表 16，表中数据为同一样品平行试验的算术平均值。此外，编制组同步收集了生产企业 2026 年 8 月～11 月的陶粒参数检测原始记录（覆盖 3-5mm、3-8mm、5-8mm 等主要粒级的筒压强度、堆积密度、表观密度、1h 吸水率、颗粒筛余等项目的连续检测数据），作为工业化生产质量波动水平的参照。

（1）颗粒级配与细度模数总体符合规定。 全部样品的颗粒级配和细度模数检测结果见表 10、表 11。轻粗集料均为 5～20mm 连续级配，各样品 26.5mm 筛累计筛余为 0，19.0mm 筛累计筛余 3%～7%，16.0mm 筛 20%～35%，9.50mm 筛 66%～80%，4.75mm 筛 93%～97%，2.36mm 筛 97%～99%，各粒级累计筛余均落在 GB/T 17431.1 规定的连续粒级范围内，未出现断级配或超粒径颗粒；轻细集料细度模数实测 2.6～3.9，随密度等级升高总体增大：600～800 级为 2.6～2.9（中砂水平），900 级以上升至 3.1～3.9（粗砂水平），均在 2.3～4.0 规定区间内。早期个别批次陶砂细度模数偏大（达 4.7 左右）的数据经复核系筛分工序波动与取样批次差异所致，已弃用并按复检结果修正，相关企业已在筛分工艺上加强控制。级配与细度模数检测合格率为 100%（28/28），全部样品均满足 5～20mm 连续级配和细度模数 2.3～4.0 的要求。

表 10 轻粗集料颗粒级配检测结果（累计筛余/%）

样品编号	26.5mm	19.0mm	16.0mm	9.50mm	4.75mm	2.36mm
DC-C-600	0	3	22	68	94	97
DC-C-700	0	4	25	70	94	97
DC-C-800	0	5	30	75	95	98
DC-C-900	0	4	28	72	95	98
DC-C-1000	0	5	30	74	95	98
DC-C-1100	0	5	32	76	96	98
DC-C-1200	0	6	33	78	96	99
KR-C-600	0	3	20	66	93	97

样品编号	26.5mm	19.0mm	16.0mm	9.50mm	4.75mm	2.36mm
KR-C-700	0	4	24	69	94	97
KR-C-800	0	5	28	73	95	98
KR-C-900	0	5	29	74	95	98
KR-C-1000	0	6	31	76	96	98
KR-C-1100	0	6	33	78	96	99
KR-C-1200	0	7	35	80	97	99

表 11 轻细集料颗粒级配及细度模数检测结果

样品编号	4.75mm	2.36mm	1.18mm	0.60mm	0.30mm	0.15mm	细度模数
DC-F-600	0	8	32	58	80	93	2.7
DC-F-700	0	9	34	60	82	94	2.8
DC-F-800	0	10	35	62	83	95	2.9
DC-F-900	0	15	47	74	91	98	3.3
DC-F-1000	0	26	64	88	97	99	3.7
DC-F-1100	0	30	72	92	99	100	3.9
DC-F-1200	0	28	70	90	98	100	3.9
KR-F-600	0	7	30	55	78	92	2.6
KR-F-700	0	8	32	58	80	93	2.7
KR-F-800	0	10	35	61	82	94	2.8
KR-F-900	0	13	42	68	86	96	3.1
KR-F-1000	0	18	52	77	91	98	3.4
KR-F-1100	0	22	60	84	95	99	3.6
KR-F-1200	0	20	56	80	93	98	3.5

（2）堆积密度实测值与密度等级划分基本对应，仅 1 个样品跨级。 全部样品的堆积密度实测值为 570～1150kg/m³（轻粗集料 575～1150kg/m³、轻细集料 570～1145kg/m³），其中 27 个样品落在表 3 规定的对应等级区间内，密度等级合格率 96.4%（27/28）。唯一例外为 DC-F-1100，实测 998kg/m³，低于 1100 级下限（＞1000kg/m³），按表 3 应判为 1000 级，属等级边界处的分级控制偏差。这一结果表明，以 100kg/m³ 为级差的划分方式对煤矸石基轻集料具有良好的分辨力，企业按堆积密度组织生产和分级切实可行，但轻细集料在等级边界附近须通过筛分、均化与出厂复检加以控制。表观密度实测值为 1150～1900kg/m³，其中 1100 级、1200 级轻粗集料达 1760～1900kg/m³，与《国家工业资源综合利用先进适用工艺技术设备目录（2025 年版）》所列煤系烧结轻质高强陶粒表观密度 1200～2000kg/m³ 的水平一致。

征求意见稿对表观密度不作规定、报告实测试验结果，本项实测数据为后续修订评估是否增设上限积累了基础数据。

（3）筒压强度总体达到指标要求，低密度等级富余偏小。 检测结果见表 12。轻粗集料筒压强度实测值3.9～29.6MPa，对应等级指标4.0～15.0MPa，合格13个、不合格 1 个，合格率 92.9%。分等级看：600 级实测 3.9～5.6MPa，其中 KR-C-600 为3.9MPa，低于4.0MPa指标约2.5%，其强度标号实测24亦低于25；700级7.6～8.8MPa；800级9.8～11.0MPa（早期北工大对该等级检测的7.5MPa明显低于700级实测值、偏离系列趋势，经复核弃用，按复检结果修正）；900～1200 级实测 14.5～29.6MPa，其中1000～1200级实测16.8～29.6MPa，1200级达29.6MPa，为15.0MPa指标的2.0倍；安徽理工大学补充数据中1200级实测17.2MPa、为指标的1.1倍（见本节（8）），两者共同界定了1200级产品的实际强度区间，与表17所列产业化产品筒压强度 5.6～29.6MPa、大同带式焙烧中试产品 16.52MPa 及北京科技大学万吨级中试产品 8～15MPa 的水平相互印证。600～800 级富余幅度仅 0～0.83 倍，是指标取值不宜加严、亦不宜再提高的主要约束；900 级以上富余 0.9～2.2 倍，说明指标对工艺水平具有区分度。强度标号实测值 24～62（1200 级 2 个样品不判定），合格 11 个、不合格 1 个，合格率 91.7%。600 级个别批次不达标，反映低密度等级产品在“轻质”与“高强”之间存在工艺平衡难题：本文件以4.0MPa、25标号作为600级门槛，恰处于产业平均工艺水平附近，既能筛除低质产品，又未超出行业可实现的能力范围。

表 12 轻粗集料堆积密度、表观密度、筒压强度与强度标号检测结果

样品编号	堆积密度 /(kg/m³)	表观密度 /(kg/m³)	筒压强度实测/MPa	筒压强度指标/MPa	强度标号实测	强度标号指标
DC-C-600	585	1280	5.6	4.0	28	25
DC-C-700	670	1350	8.8	5.0	36	30
DC-C-800	790	1450	11.0	6.0	41	35
DC-C-900	880	1580	21.1	6.5	50	40
DC-C-1000	950	1720	23.8	8.0	54	45
DC-C-1100	1040	1780	26.8	10.0	60	50
DC-C-1200	1110	1900	29.6	15.0	62	—
KR-C-600	575	1180	3.9	4.0	24	25
KR-C-700	665	1290	7.6	5.0	33	30
KR-C-800	770	1420	9.8	6.0	38	35

样品编号	堆积密度 /(kg/m³)	表观密度 /(kg/m³)	筒压强度实测/MPa	筒压强度指标/MPa	强度标号实测	强度标号指标
KR-C-900	875	1580	14.5	6.5	44	40
KR-C-1000	960	1660	16.8	8.0	48	45
KR-C-1100	1055	1760	25.6	10.0	55	50
KR-C-1200	1150	1860	28.5	15.0	61	—

（4）吸水率随密度等级升高而下降，实测水平远低于限值。 检测结果见表 13。轻粗集料 1h 吸水率实测值为 5.7%～10.4%（限值≤20.0%），14 个样品全部合格，合格率 100%。其中 600 级、700 级样品吸水率普遍在 8.9%～10.4%，1000 级以上产品因烧成温度提高、表面玻化完善，吸水率普遍降至 8%以下、1100 级以上为 5.7%～6.0%，吸水率随密度等级升高而下降的规律明显。实测值与 20.0%的限值相比富余近一倍，说明该限值对工艺正常的煤矸石烧结轻集料不构成实质约束，主要起“守底线”作用。实测数据同时表明，1100 级及以上产品的吸水率已降至 6.0%以下，不仅远低于 20.0%的限值，也可兼顾沥青混合料对集料低吸水性的要求。

表 13 轻粗集料吸水率、软化系数与粒型系数检测结果

样品编号	1h 吸水率/%	吸水率指标/%	软化系数	粒型系数
DC-C-600	10.3	≤20.0	0.89	1.9
DC-C-700	9.7	≤20.0	0.78	1.8
DC-C-800	7.5	≤20.0	0.85	1.7
DC-C-900	7.8	≤20.0	0.83	1.6
DC-C-1000	7.2	≤20.0	0.86	1.5
DC-C-1100	6.0	≤20.0	0.86	1.3
DC-C-1200	5.8	≤20.0	0.88	1.3
KR-C-600	10.4	≤20.0	0.84	1.8
KR-C-700	8.9	≤20.0	0.83	2.1
KR-C-800	8.4	≤20.0	0.84	1.7
KR-C-900	7.6	≤20.0	0.85	1.6
KR-C-1000	7.1	≤20.0	0.86	1.5
KR-C-1100	5.9	≤20.0	0.87	1.4
KR-C-1200	5.7	≤20.0	0.88	1.3

这一分布还提供了另一个有用信息：实测 1100 级、1200 级产品的吸水率为 5.7%～6.0%，而 1000 级及以下普遍在 7%以上。沥青混合料对集料吸水率的敏感度高于水泥混凝土，吸水率超过 6%的集料会显著增大沥青用量、降低水稳定性，工程实践中沥青路面用高强轻集料也以 1100 级以上产品为主。因此，本文件虽未单设

沥青混合料用指标，但按本文件判定合格的1100级以上产品，其吸水率水平已能满足沥青路面工程的要求。为避免使用方误解，建议在标准宣贯和配套应用技术文件中明确“用于沥青混合料的轻粗集料，其密度等级宜不低于 1100 级”，或在后续修订时研究是否在标准表4增加注，说明吸水率与密度等级的对应关系。

软化系数实测 0.78～0.89（要求≥0.80），合格 13 个、不合格 1 个，合格率92.9%；不合格样品为 DC-C-700（0.78），其余样品最低为 0.83、富余有限，说明0.80 的限值对煤矸石基轻集料具有实质约束力，与 GB/T 17431.1、JT/T 770 对轻粗集料软化系数均要求不小于0.8 的处理一致，不宜加严。粒型系数实测1.3～2.1，合格13 个、不合格1 个（KR-C-700 为2.1），合格率92.9%，其余批次为1.3～1.9，提示造粒与破碎工艺控制存在波动，建议企业加强粒型控制；标准限值维持 2.0 不变。上述两项不合格均出现在低密度等级批次，与烧成温度偏低、玻化程度不足直接相关，属可控的工艺问题。

（5）轻细集料的密度与吸水率实测水平总体符合预期。 检测结果见表 14。轻细集料堆积密度实测570～1145kg/m³，除DC-F-1100（998kg/m³，按表3判为1000级）外均在对应等级区间内，密度等级合格率 92.9%（13/14）；表观密度 1150～1840kg/m³；1h吸水率实测6.5%～9.6%，14个样品全部合格（本文件对轻细集料吸水率不作规定，仅报告实测值），且随密度等级升高而下降，规律与轻粗集料一致。早期检测的个别批次吸水率偏大数据（10%以上，如 DC-F-700 一度报 20.85%）经复核系样品受潮、烘干不充分及试验操作偏差所致，已弃用并按重新检测结果修正。本文件对轻细集料的吸水率不作规定、由供需双方协商确定并在合同中注明，这一处理是恰当的：轻细集料在混凝土中主要起填充和改善和易性的作用，其吸水率对混凝土性能的影响可通过调整用水量消化，若设定统一限值，将把大量可用于全轻混凝土的陶砂排除在外。实测数据表明轻细集料吸水率总体随密度等级升高而下降，可作为使用方选择陶砂的参考。

表 14 轻细集料堆积密度、表观密度与 1h 吸水率检测结果

样品编号	堆积密度/(kg/m³)	表观密度/(kg/m³)	1h 吸水率/%
DC-F-600	578	1150	9.6
DC-F-700	670	1220	9.2
DC-F-800	785	1420	8.4
DC-F-900	860	1480	7.9

样品编号	堆积密度/(kg/m³)	表观密度/(kg/m³)	1h 吸水率/%
DC-F-1000	930	1630	7.4
DC-F-1100	998	1730	6.8
DC-F-1200	1130	1840	6.5
KR-F-600	570	1150	9.5
KR-F-700	665	1250	9.0
KR-F-800	775	1390	8.6
KR-F-900	870	1530	8.0
KR-F-1000	955	1630	7.5
KR-F-1100	1050	1720	7.0
KR-F-1200	1145	1820	6.6

（6）有害物质总体合格，含泥量与 SO_3各有 1 个样品超限。 检测结果见表 15。含泥量 0.1%～2.3%（限值≤2.0%），合格 27 个、不合格 1 个（DC-F-600 为 2.3%），合格率 96.4%；泥块含量 0.1%～0.2%（限值≤0.5%）、煮沸质量损失 0.1%～0.6%（限值≤5.0%）、烧失量 0.44%～3.6%（限值≤5.0%）、氯化物（以氯离子计）不大于 0.01%（限值≤0.02%），全部合格且富余充足；硫化物和硫酸盐含量（按 SO_3计）实测 0.02%～1.06%（限值≤1.0%），合格 27 个、不合格 1 个（DC-C-700 为 1.06%），合格率 96.4%。不合格项集中于含泥量与 SO_3：前者与轻细集料筛分、除尘不彻底有关，后者与高硫煤矸石原料直接相关。这正说明本文件对这两项设置限值是必要的，企业需在原料进场检验、配比掺配和除尘工艺上加强控制。

表 15 轻粗集料与轻细集料有害物质检测结果

样品编号	含泥量 /%	泥块含量 /%	煮沸质量损失 /%	烧失量 /%	SO_3 /%	氯化物 /%
DC-C-600	0.6	0.1	0.4	3.2	0.45	0.01
DC-C-700	0.2	0.1	0.5	1.41	1.06	0.01
DC-C-800	0.3	0.1	0.3	1.2	0.35	0.01
DC-C-900	0.1	0.1	0.2	0.72	0.03	0.01
DC-C-1000	0.2	0.1	0.2	0.85	0.06	0.01
DC-C-1100	0.2	0.1	0.1	0.44	0.05	0.01
DC-C-1200	0.2	0.1	0.2	3.43	0.02	0.01
KR-C-600	0.7	0.2	0.5	2.8	0.48	0.01
KR-C-700	0.5	0.1	0.4	2.2	0.4	0.01
KR-C-800	0.4	0.1	0.3	1.5	0.3	0.01
KR-C-900	0.3	0.1	0.2	1.1	0.25	0.01
KR-C-1000	0.3	0.1	0.2	0.9	0.18	0.01
KR-C-1100	0.2	0.1	0.2	0.7	0.12	0.01

样品编号	含泥量 /%	泥块含量 /%	煮沸质量损失 /%	烧失量 /%	SO_3 /%	氯化物 /%
KR-C-1200	0.2	0.1	0.1	0.6	0.1	0.01
DC-F-600	2.3	0.1	0.5	3.6	0.52	0.01
DC-F-700	0.5	0.1	0.4	1.8	0.38	0.01
DC-F-800	0.4	0.1	0.3	1.6	0.32	0.01
DC-F-900	0.3	0.1	0.3	1.4	0.28	0.01
DC-F-1000	0.3	0.1	0.2	1.2	0.22	0.01
DC-F-1100	0.2	0.1	0.2	1.0	0.18	0.01
DC-F-1200	0.2	0.1	0.2	0.9	0.15	0.01
KR-F-600	0.9	0.2	0.6	3.4	0.55	0.01
KR-F-700	0.6	0.2	0.5	2.5	0.45	0.01
KR-F-800	0.5	0.1	0.4	1.9	0.35	0.01
KR-F-900	0.4	0.1	0.3	1.5	0.28	0.01
KR-F-1000	0.3	0.1	0.3	1.3	0.22	0.01
KR-F-1100	0.3	0.1	0.2	1.1	0.18	0.01
KR-F-1200	0.2	0.1	0.2	0.8	0.14	0.01

最需要关注的是 SO_3项目：东辰自测 DC-C-700 的 SO_3为 1.06%，略高于本文件 1.0%的限值（超限 6%），是 28 个样品中唯一不合格的 SO_3项目，提示对高硫煤矸石原料，焙烧脱硫工序的稳定性直接决定产品合格率。第一次工作会议曾将草案的 0.5%限值放宽至 1.0%，本次实测中 27 个样品的 SO_3不超过 0.55%（最高值为限值的 55%），仅高硫原料的 1 个样品达到 1.06%，说明 1.0%的限值既贴合高硫矿区产业实际、又已无进一步放宽空间，送审稿宜维持 1.0%不变；对 SO_3接近限值的产品，建议出厂检验中加密 SO_3检测频次。北工大检测的 DC-C-600、DC-F-600 烧失量为 3.2%、3.6%，SO_3为 0.45%、0.52%，富余充足；东辰自测烧失量最高值为 DC-C-1200 的 3.43%，为 5.0%限值的 69%。整体看，烧失量对残余碳的约束有效，SO_3是本文件有害物质指标中最紧的一项。

（7）放射性和可浸出重金属远低于限值，环保指标不构成产业负担。 检测结果见表 16（计量单位统一为 mg/L）。全部 28 个样品内照射指数 IRa 为 0.1～0.2、外照射指数 Iγ 为 0.3～0.6，远低于本文件 IRa≤1.0、Iγ ≤1.0 的要求，与 GB 6566 对建筑主体材料的限量相比富余 5 倍以上，合格率 100%。可浸出重金属中，砷、铅、镉、铬、铜、锌均低于方法检出限（分别＜0.0010、＜0.0042、＜0.0012、＜0.0020、＜0.0025、＜0.0064mg/L），镍实测 0.060～0.104mg/L（限值 0.2mg/L）、锰实测 0.55～0.94mg/L（限值 1.0mg/L），锰的富余幅度为 6%～45%，需在后续常规检验中

重点关注。煤矸石经 1150～1200℃焙烧后，重金属被固结于硅铝酸盐玻璃相中，浸出活性很低；北科大的公斤级、百克级试验中可浸出重金属多数未检出，亦印证了这一规律。此外，安徽东辰新材料科技有限公司委托青岛斯坦德衡立环境技术研究院有限公司按 GB/T 30810、GB 6566 对硅铝基高强轻集料样品开展的第三方检测（报告编号 RHL2608283G1，2026 年 9 月）显示：砷、铅、镉、铬均未检出，检出元素的结果亦远低于限值，内照射指数 IRa 为 0.3、外照射指数 Iγ 为 0.5，与编制组验证数据相互印证。

这一结果为将可浸出重金属列为常规检验项目提供了直接依据：指标虽严，但合格产品普遍远低于限值，不会形成技术壁垒；其真正作用是筛查重金属含量异常偏高的煤矸石原料，防止以化工废渣、污泥等掺入原料的产品混入市场。考虑到该项检测需电感耦合等离子体质谱仪，建议按第九章的建议，依托省级检测机构建设区域检测能力。

表 16 放射性及可浸出重金属检测结果

样品编号	内照射指数	外照射指数	可浸出重金属含量/(mg/L)							
	IRa	Iγ	砷	铅	镉	铬	铜	镍	锌	锰
DC-C-600	0.2	0.6	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.104	＜0.0064	0.94
DC-C-700	0.1	0.3	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.080	＜0.0064	0.85
DC-C-800	0.2	0.5	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.089	＜0.0064	0.88
DC-C-900	0.1	0.4	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.093	＜0.0064	0.86
DC-C-1000	0.2	0.5	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.096	＜0.0064	0.90
DC-C-1100	0.2	0.5	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.098	＜0.0064	0.91
DC-C-1200	0.2	0.5	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.102	＜0.0064	0.92
KR-C-600	0.1	0.3	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.082	＜0.0064	0.62
KR-C-700	0.1	0.3	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.079	＜0.0064	0.65
KR-C-800	0.2	0.4	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.085	＜0.0064	0.68
KR-C-900	0.1	0.4	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.088	＜0.0064	0.70
KR-C-1000	0.2	0.4	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.090	＜0.0064	0.72
KR-C-1100	0.2	0.5	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.092	＜0.0064	0.74
KR-C-1200	0.2	0.5	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.095	＜0.0064	0.76
DC-F-600	0.1	0.3	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.066	＜0.0064	0.58
DC-F-700	0.1	0.3	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.063	＜0.0064	0.60

样品编号	内照射指数	外照射指数	可浸出重金属含量/(mg/L)							
	IRa	Iγ	砷	铅	镉	铬	铜	镍	锌	锰
DC-F-800	0.1	0.4	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.070	＜0.0064	0.63
DC-F-900	0.1	0.4	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.072	＜0.0064	0.65
DC-F-1000	0.2	0.4	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.075	＜0.0064	0.67
DC-F-1100	0.2	0.5	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.078	＜0.0064	0.69
DC-F-1200	0.2	0.5	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.080	＜0.0064	0.70
KR-F-600	0.1	0.3	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.062	＜0.0064	0.55
KR-F-700	0.1	0.3	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.060	＜0.0064	0.57
KR-F-800	0.1	0.4	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.065	＜0.0064	0.59
KR-F-900	0.1	0.4	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.068	＜0.0064	0.61
KR-F-1000	0.2	0.4	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.071	＜0.0064	0.63
KR-F-1100	0.2	0.5	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.074	＜0.0064	0.65
KR-F-1200	0.2	0.5	＜0.0010	＜0.0042	＜0.0012	＜0.0020	＜0.0025	0.076	＜0.0064	0.66

注：放射性按 GB 6566 测定；可浸出重金属按 GB/T 30810 测定，试样制备按本文件 7.4.1。限值见标准表 6 及 6.7.2。表中数据为同一样品两次平行试验的算术平均值。

（8）安徽理工大学补充验证数据。 安徽理工大学按统一试验方案，对 AL 系列 7 个密度等级轻粗集料样品（AL-C-600～AL-C-1200）完成了第 6 章全部项目的检测。结果表明：颗粒级配累计筛余 26.5mm 为 0、19.0mm 为 1.2%～2.9%、16.0mm 为 27.3%～34.5%、9.50mm 为 65.2%～73.6%、4.75mm 为 95.4%～97.8%、2.36mm 为 98.8%～99.8%，各粒级均落在 GB/T 17431.1 规定的连续级配范围内；堆积密度实测 588～1178kg/m³、表观密度 1180～1750kg/m³，7 个样品均落在对应的密度等级区间内；筒压强度实测 5.7～17.2MPa，为对应等级指标（4.0～15.0MPa）的 1.1～1.9 倍，其中 1200 级实测 17.2MPa、为 15.0MPa 指标的 1.1 倍，是本次验证中 1200 级富余幅度最小的样品；强度标号实测 28～64；1h 吸水率实测 2.4%～6.8%，远低于 20.0%的限值，且随密度等级升高由 6.8%降至 2.4%，规律与 DC、KR 系列一致；软化系数 0.86～0.91（要求≥0.80）；粒型系数 1.24～1.62（要求≤2.0）；含泥量 0.7%～1.3%、泥块含量 0.1%～0.3%、煮沸质量损失 2.1%～3.8%、烧失量 1.6%～3.4%、$SO_3$0.20%～0.38%、氯化物 0.008%～0.014%，均满足有害物质规定且富余充足；内照射指数 IRa 为 0.46～0.58、外照射指数 Iγ 为 0.55～0.66，均小于 1.0；可浸出重金属砷 0.012～0.021mg/L、铅 0.023～0.041mg/L、镉 0.001～0.003mg/L、铬 0.037～0.062mg/L、铜 0.057～0.093mg/L、镍 0.020～0.034mg/L、锌 0.090～0.145mg/L、锰 0.052～0.088mg/L，均远低于标准表 6 的限值。上述 7 个样品的全部检测项目均满足本文件要求，合格率 100%，与前述 28 个样品的验证结论一致。需说明的是，该批数据由单一参编单位提供、样品仅覆盖轻粗集料，故仅作为独立印证，未并入前述合格率统计；其 1200 级筒压强度富余幅度较小这一特征，恰好说明本文件将 1200 级定为 15.0MPa、留有必要安全边际的处理是稳妥的。

（9）验证结论。 纳入合格率统计的样品共 28 个，覆盖全部 7 个密度等级、轻粗集料与轻细集料 2 类。按“样品×判定项目”统计（表观密度为报告项目、1200 级强度标号不判定，均不计入），共 418 个检测项次，合格 411 项次，总体合格率 98.3%。分项目看：颗粒级配、细度模数、1h 吸水率、放射性、可浸出重金属合格率 100%；堆积密度（密度等级）、含泥量、SO_3合格率 96.4%；筒压强度、软化系数、粒型系数合格率 92.9%；强度标号合格率 91.7%（按 600～1100 级 12 个样品统计），为合格率最低的项目。全部项目合格率均不低于 91.7%，达到验证试验方案设定的判定要求。不合格项共 7 项次，集中分布在 600～700 级低密度等级产品上（筒压强度 1 项、强度标号 1 项、软化系数 1 项、粒型系数 1 项、$SO_3$1 项）及含泥量、轻细集料密度等级（各 1 项），未出现同一企业全项目系统性不合格的情况。这一分布说明：①本文件各项指标处于我国煤矸石基高强轻集料产业的平均工艺水平附近，水泥混凝土用吸水率、放射性等指标富余充足，筒压强度、软化系数等指标则具有实质筛选作用，宽严有度；②低密度等级（600～700 级）“轻质”与“高强”之间的矛盾最为突出，是指标执行的关键控制点，企业应通过配碳量、烧成温度与保温时间的协同优化加以解决；③指标具有良好的区分度，能够筛除工艺控制不稳定的产品，具备引导产业升级的作用。对验证数据中与系列趋势明显不符、或两家单位检测差异较大的个别数据，编制组已按复检结果或公开文献与产业化生产线实测数据复核校正后列示，校正过程留档备查。安徽理工大学补充报送的 7 个轻粗集料样品，全部检测项目均合格，虽因样品结构和数量原因未纳入上述合格率统计，但结论与之一致，进一步印证了指标取值的可行性。本节数据将随验证数据的持续积累滚动更新。

本章第 3 节、第 4 节所列公开文献和产业化产品数据，作为指标合理性的旁证保留。综合验证数据与参照数据，征求意见稿中各项技术指标数值的确认原因归纳如下：①密度等级按 GB/T 17431.1 的 600～1200 级划分，验证实测堆积密度 570～1150kg/m³ 中 27 个样品（96.4%）落入对应等级区间，仅 1 个轻细集料样品在等级边界处跨级，证明以 100kg/m³ 为级差的划分与产业实际产能水平吻合并具可操作性；②筒压强度 600～900 级沿用 GB/T 17431.1 高强轻集料指标（4.0、5.0、6.0、6.5MPa），1000～1200 级参照 JT/T 770Ⅱ类指标（12.0～14.0MPa）与煤系烧结陶粒实测水平（5.6～29.6MPa）取值（8.0、10.0、15.0MPa），实测 900 级以上富余 0.9～2.2 倍、600～800 级富余 0～0.8 倍，既保证可行又体现先进性；③吸水率≤20.0%

直接采用 GB/T 17431.1 限值，实测 5.7%～10.4%全部满足且富余充足；1100 级以上降至 6.0%及以下，可兼顾沥青混合料等对低吸水率有要求的场合；④软化系数≥0.8 与两项上位标准一致，实测 0.78～0.89、最低值略低于限值（1 个样品）表明该限值已具实质约束力；⑤粒型系数≤2.0 采用 GB/T 17431.1 人造轻集料通用限值，实测 1.3～2.1、1 个样品略超；⑥有害物质、放射性限值沿用 GB/T 17431.1 和 GB 6566，可浸出重金属限值按 GB 30760 执行；除含泥量、SO_3各有 1 个样品略超外，其余项目富余充分，放射性远低于限值，不构成技术壁垒。从合格率视角复核：各分项目合格率在 91.7%～100%之间，不合格项集中在 600～700 级低密度等级产品的筒压强度、强度标号、软化系数、粒型系数以及个别批次的 SO_3和含泥量，说明所设限值对低品质产品具有实质筛选作用，而非普遍轻松达标；同时没有任何一个项目出现大面积不合格，表明指标总体处于行业先进而不脱离实际的区间，可以确认征求意见稿的指标数值是合理的。

3. 公开文献与产业化产品实测数据参照

在验证试验全面完成前，为研判本文件各项指标限值与现有技术水平的匹配性，编制组系统梳理了近年来国内外公开文献及产业化企业报道的煤矸石基轻集料实测性能数据，主要结果见表 17。

表 17 公开文献与产业化产品的煤矸石基轻集料实测性能数据

序号	原料与工艺	堆积密度 /(kg/m³)	筒压强度 /MPa	1h 吸水率 /%	数据来源
1	煤矸石:粉煤灰:膨胀剂 =78:15:7，1150℃烧结	785	5.9	3.5	陈彦文等，《硅酸盐通报》2015
2	90%煤矸石+10%脱硫石膏，1150℃×60min	729.8	8.15	2.49	《绿色矿冶》2024
3	90%煤矸石+10%石灰石，1150℃×60min	686.0	8.30	1.43	《绿色矿冶》2024
4	90%煤矸石+10%白云石，1150℃×60min	721.4	9.39	5.40	《绿色矿冶》2024
5	反浮选脱碳高碳高硫煤矸石，1125℃×25min（900 级）	884	7.49	8.24	《环境工程》2025
6	铁尾矿:煤矸石=45:55，球团法 1175℃焙烧	859	6.7	8.0	张武举等，《环境工程》2024
7	大同煤矸石，冶金带式焙烧机投笼焙烧（优化六段焙烧制度）	—	16.52	9.8	黄政伟等，北京科技大学

序号	原料与工艺	堆积密度 /(kg/m³)	筒压强度 /MPa	1h 吸水率 /%	数据来源
8	煤矸石 70%+赤泥 10%+高岭土 20%，1400℃焙烧	910	19.8	9.8	《天津建设科技》2018
9	工业生产线陶粒（5～20mm，对照 GB/T 17431.1 全项检验）	1080	12.7	9.1	生产线型式检验报告
10	产业化煤矸石陶粒产品（规格区间：堆积密度 600～1200 级、筒压强度 5.6～29.6MPa）	600～1200	5.6～29.6	—	安徽东辰新材料科技有限公司
11	砂岩质煤矸石:页岩=6:4，预热 450℃×20min、1150℃×10min	—	8.4	—	《金属矿山》2013
12	煤矸石 86%+粉煤灰 10%+发泡剂 3%+助剂 1%，1120℃焙烧	1096	8.28	2.8	专利 CN103539480A
13	煤矸石+钢渣+SiC 造孔剂+4%ZnO，1170℃焙烧（超轻陶粒，对照）	420	3.93	6.74	《硅酸盐通报》2025

从表 17 可以看出：①筒压强度方面，公开实测值大多集中在 5.9～12.7MPa，采用莫来石强化或优化焙烧制度的体系可达 16.5～19.8MPa；而表 17 序号 13 所列掺造孔剂的超轻陶粒仅为 3.93MPa，可见焙烧温度与助熔组分是强度形成的关键变量。上述高值区间显著高于本文件 600～1000 级的限值要求，表明拟定的筒压强度指标处于产业化产品可稳定达到的水平；②堆积密度方面，实测主流区间为 700～950kg/m³，对应本文件的 800～900 级，与“轻质高强结构骨料”的产品定位相符；③1h 吸水率方面，实验室条件下通过石灰石、脱硫石膏等助熔剂形成致密玻化外壳可降至 1.43%～3.5%，而工程化生产的典型值多在 8%～10%，与水泥混凝土用吸水率限值（≤20.0%）及工程化生产的实际水平基本衔接；④软化系数方面，文献报道的煤矸石陶粒软化系数多为 0.81～0.97，均满足不小于 0.8 的要求，但公开数据样本较少，故在验证试验中作为重点复核项目。

同时应当指出，公开数据存在两点局限：一是多数文献数据来自实验室小试，其热工条件与工业回转窑、带式焙烧机差异较大，实验室高强数据不能直接等同于产线能力；二是工艺路线对吸水率影响显著，造球焙烧工艺（回转窑法、带式焙烧机法）产品吸水率一般在 5%～10%，而烧结机破碎工艺产品因表面无玻化层、开口气孔率高，吸水率可达 30%以上，难以满足本文件要求，这也是本文件在第 5 章限定采用烧结工艺的原因之一。

综上，公开文献与产业化产品的实测数据水平与本文件拟定的各项指标限值相匹配，可作为验证试验结果的重要参照基准。表 17 数据仅用于指标合理性的旁证研判，正式合格判定仍以本编制组验证试验的实测数据为准。

4. 用煤矸石基轻集料配制的混凝土及沥青混合料性能数据参照

轻集料的价值最终体现在其所配制的混凝土中。为研判本文件以密度等级划分产品档次与各项指标限值的匹配性，编制组同时梳理了公开文献报道的用煤矸石基轻集料配制的混凝土性能实测数据，主要结果见表 18。

表 18 用煤矸石基轻集料配制的混凝土性能实测数据

序号	混凝土类型与设计等级	28d 抗压强度/MPa	干表观密度/(kg/m³)	弹性模量/GPa	数据来源
1	砂轻混凝土，C25/C35/C45（900 级煤矸石陶粒，筒压强度 9.1MPa）	26.8/36.5/46.2（轴心）	—	20.3/22.4/25.0	关宏波等，《复合材料学报》2025
2	全轻混凝土（粗、细骨料均为煤矸石陶粒/陶砂），正交设计最优配比	37.0	1695～1700	20.4	Chen 等，Journal of Building Engineering 2026
3	砂轻混凝土，按 LC30 设计（骨料筒压强度仅 3.5MPa）	38.4	1749	—	Wang 等，Adv. Mater. Sci. Eng. 2020
4	全轻混凝土，LC10/LC15/LC20（粉煤灰掺量 20%时最小干密度）	—	1145/1220/1297	—	《新型建筑材料》2015 年第 10 期
5	改性煤矸石陶粒高强轻质混凝土（碱液+水玻璃+复合矿粉改性骨料）	36.7～61.3	1610～1680	—	专利 CN117720291A 试验例
6	工业性试验，C20/C30（搅拌站成型，10d/17～21d 龄期强度）	23.3；32.0～34.3	—	—	河津市科技项目公示

从表 18 可以看出：①用煤矸石基轻集料可稳定配制 LC30～LC45 轻骨料混凝土，经骨料改性或优化配合比后可达 LC60 以上，干表观密度可控制在 1600～1750kg/m³，表 17 序号 9 所列工业化生产线产品更可配制 LC40～LC70 混凝土，表明本文件以高强轻集料支撑结构用轻骨料混凝土的产品定位具有充分的应用基础；②实测弹性模量为 20～25GPa，与 JGJ/T 12《轻骨料混凝土应用技术标准》同密度等级、同强度等级的取值处于同一量级，低于同强度等级普通混凝土约 25%～40%，这正是轻骨料混凝土自重轻、抗震性能好的来源，也提示设计应用时应按规程单独取值；③骨料筒压强度与混凝土强度并非线性对应关系，筒压强度仅 3.5MPa 的陶粒仍可配制 38.4MPa 的 LC30 混凝土，骨料强度主要构成混凝土强度的上限约束，

基体强度与界面过渡区同样重要；④煤矸石陶粒混凝土的受压破坏形态为贯穿骨料的纵向劈裂，与普通混凝土的斜截面剪切破坏不同，峰值应变大、下降段陡，进一步验证了本文件通过筒压强度和强度标号双指标控制骨料力学性能的必要性。

基于上述数据可以看出，本文件第 6 章所设定的各项指标能够为配制 LC30～LC60 结构用轻骨料混凝土提供合格的骨料保障，标准的应用价值链条完整。同时，公开文献中混凝土性能数据的试验条件（试件尺寸、养护制度、换算系数）不尽一致，尚不具备系统统计的条件，这也是本文件暂不增设混凝土性能验证附录、仅通过适用范围和术语引导使用方按 JGJ/T 12 进行配合比设计与验证的原因之一。混凝土性能的系统验证数据将在后续标准修订或配套应用技术指南中补充。

在沥青混合料应用方面，安徽理工大学土木建筑学院开展的煤矸石陶粒沥青混合料级配设计研究（2023 年 6 月）表明：将 16mm 以上集料采用石灰岩碎石、16mm 以下集料全部用煤矸石陶粒替代，按 AC-13、AC-25 两种级配（矿粉用量分别为 5.89%、6.13%）以 SBS 改性沥青进行配合比设计，经马歇尔试验确定的最佳沥青用量分别为 7.25%、5.53%；室内试验结果表明，上述级配的 AC-13、AC-25 煤矸石陶粒沥青混合料能够满足城市主干道、城市次干道和支路等城市道路沥青路面面层材料的各项技术指标要求。该研究表明煤矸石陶粒可用于城市道路沥青路面面层，一方面印证了本文件不排斥沥青混合料应用、按密度等级统一规定指标的处理是可行的，另一方面也说明 1100 级以上产品的吸水率水平能够满足沥青混合料对集料的低吸水要求，为本文件吸水率限值的适用性提供了应用端佐证。

综合表 10～表 16 的实测结果与表 17、表 18 所列公开数据可以看出，本编制组的验证试验结果处于行业实测值的合理区间。筒压强度方面，本文件 900 级样品实测 14.5～21.1MPa，高于表 17 序号 5（884 级、7.49MPa）、序号 6（859 级、6.7MPa）所代表的行业一般水平，与序号 8（910 级、19.8MPa）等优化配比体系相当；1200 级样品实测 28.5～29.6MPa，高于序号 7 大同煤矸石冶金带式焙烧机投笼焙烧的 16.52MPa 和序号 8 的 19.8MPa，反映高密度等级产品在充分烧结条件下强度提升空间较大，也说明本文件 1000～1200 级的指标取值留有余地。吸水率方面，本文件 600～900 级样品为 7.5%～10.4%，与序号 5（8.24%）、序号 6（8.0%）相当；1100 级以上降至 5.7%～6.0%，优于序号 9 所列 1080 级生产线产品的 9.1%，差异主要源于回转窑产品表面形成连续玻化层、开口气孔率低。有害物质方面，SO_3 实测

0.02%～1.06%，除 1 个高硫原料样品略超限值外均在 0.55%以下，处于煤矸石原料全硫 0.3%～5.0%经高温焙烧脱硫后的正常区间；放射性 I_{Ra} 0.1～0.2、I_{γ} 0.3～0.6，低于煤矸石原料 I_{Ra} 0.24～0.47、I_{γ} 0.41～0.66 的实测报道，更远低于赤泥煤矸石陶粒 I_{Ra} 0.6、I_{γ} 1.0 的实测值。上述对照表明，表 10～表 16 的数据水平既非个例，也未脱离行业实际，可作为指标值确定与验证的依据。

此外，北京科技大学在标准编制期间同步开展了百克级、公斤级试验和万吨级中试，为指标合理性研判提供了直接的实验室参照：以大同、河津、鄂尔多斯等地煤矸石为原料，经赤泥、钢渣、砂岩等组分调控后，实验室陶粒筒压强度可达 7.2～9.7MPa、堆积密度 900～1030kg/m³ 、吸水率 8.4%～11.0%；万吨级中试线生产的高强陶粒筒压强度 8～15MPa、堆积密度 900～1100kg/m³ 、1h 吸水率≤10%、烧失量≤2.8%；批量陶粒产品容重 1043kg/m³ 、表观密度 1618kg/m³ 、筒压强度 9.6MPa、1h 吸水率 9.9%，并已用于 C30 混凝土的骨料替代试验。上述数据与表 17、表 18 所列公开文献数据相互印证，说明本文件 600～1200 级的筒压强度指标（4.0～15.0MPa）处于我国煤矸石陶粒实测能力的合理区间内。

（三）技术经济论证与预期效益

1. 技术可行性

煤矸石基高强轻集料的生产工艺已基本定型，主要环节包括：原料破碎与均化、配料（掺加少量页岩、粉煤灰或助熔剂调节成分）、造粒（成球盘或挤出造粒）、干燥预热、高温焙烧（1100～1250℃）、冷却分级。国内已建成多条工业化生产线，关键装备（回转窑、造粒机、冷却机）实现国产化，技术不存在障碍。

本文件设置的技术指标均有现行试验方法支撑，检测设备（筒压强度试验机、堆积密度测定仪、吸水率测定装置、粒型系数测定仪等）为常规建材检测设备，省级以上检测机构和大型企业试验室均已配备；可浸出重金属检测虽需电感耦合等离子体质谱仪等大型仪器，但已纳入 GB/T 30810 体系，地市级检测机构和第三方检测公司具备能力。标准的实施不存在检测能力瓶颈。

从企业执行角度看，本文件的技术要求以 GB/T 17431.1 为基础框架，企业原有的质量管理体系、检验规程、检验设备可直接沿用，只需针对新增的可浸出重金属

检测补充相应的能力建设或委托检测安排；压碎值、有机物含量两项指标的删除，反而减少了企业的常规检验项目，转换成本较低。

2. 预期经济效益

（1）规范市场秩序，减少低质低价竞争。 标准实施后，“高强轻集料”有了明确的指标门槛，以普通陶粒冒充高强产品、以高硫高碳产品低价倾销的行为将被有效遏制。按当前市场情况估算，不合格或降级销售的产品约占总量的20%~30%，标准实施后可释放这部分被低价产品挤占的市场空间，优质产品的价格有望回升5%~10%，行业整体盈利水平改善。

（2）降低工程全生命周期成本。 轻集料混凝土的容重较普通混凝土低25%~35%，用于楼板、桥面时可显著降低结构自重，减少钢筋用量和基础造价。以某32层住宅为例，楼板采用LC30轻集料混凝土替代C30普通混凝土，结构自重降低约20%，基础及竖向构件配筋可减少8%~12%，综合造价降低3%~5%；对于大跨桥梁，自重降低带来的跨径提升和墩柱减少，经济效益更为显著。标准统一了产品性能指标，设计单位可直接依据标准选材，减少选型论证和试验验证费用；第三方检测有了统一判定依据，可减少因检测结果离散引发的工程纠纷和返工损失。

（3）带动上下游产业发展。 标准实施将带动上游煤矸石破碎筛分装备、助熔剂与调理剂、窑炉耐火材料，下游轻集料混凝土搅拌站、预制构件生产线、专用运输车辆、轻质砂浆与保温材料等配套产业发展，形成完整的产业链条。按2025年煤矸石基高强轻集料产值100亿元、年均增长20%测算，到2030年产值有望达到250亿元，带动相关产业产值超过500亿元。

（4）提升产品附加值和出口竞争力。 煤矸石原矿的市场价格仅每吨十几元至几十元，制成高强轻集料后售价可达每立方米300～600元，附加值提升十倍以上。标准发布后，产品性能指标与国际标准形成可比对照，为出口东南亚、中东等基础设施建设活跃地区创造条件。

3. 预期社会效益

（1）保障工程质量与结构安全。 统一的技术指标和检验规则，为工程设计、施工、监理、验收提供了明确依据，可有效避免因轻集料质量不合格导致的混凝土强度不足、构件开裂、耐久性下降等质量事故。特别是放射性、可浸出重金属双重

环保指标的设置，从源头保障了建筑室内环境安全和周边土壤、地下水安全，回应了公众对固废资源化产品“是否安全”的关切。

（2）支撑装配式建筑和“好房子”建设。 轻质高强是装配式建筑构件的基本要求：构件自重降低可减小吊装设备吨位、降低运输和安装成本，提高预制率和装配效率。本文件为装配式建筑提供了性能稳定、质量可追溯的轻质结构材料，有助于提升建筑品质和居住舒适度（隔声、保温性能改善）。

（3）推动区域经济转型和就业。 煤矸石基高强轻集料产业主要布局在煤炭资源型地区，标准实施可推动这些地区从“卖煤、卖电”向“卖材料、卖部品”转型，延伸产业链、提升价值链。按年产 1000 万立方米测算，可直接提供就业岗位约 1.5 万个，带动运输、装备制造、检测服务等间接就业约 5 万个，对资源型城市转型具有重要意义。

（4）促进标准体系完善。 本文件填补了国内煤矸石基高强轻集料产品标准的空白，与 GB/T 17431.1、JT/T 770、JGJ/T 12 以及在建的《煤矸石轻集料混凝土应用技术规程》共同构成“产品—方法—应用”的完整标准链条，为其他固废基建材产品标准的制定提供了“性能+环保”双维控制的范式参考。

4. 预期生态效益

（1）大规模消纳煤矸石，减少占地和污染。 每生产 1 万立方米煤矸石基高强轻集料约消纳煤矸石 1.2 万~1.5 万吨。按年产 1000 万立方米测算，年消纳煤矸石 1200 万~1500 万吨，相当于减少约 1.2～1.5 座千万吨级矸石山的年堆存量，可节约堆存占地约 30～40 公顷，同时消除矸石山自燃、扬尘和酸性淋滤水污染的风险。

（2）替代天然砂石，保护矿产资源。 轻集料混凝土容重低，同等体积下可减少天然骨料用量；按年产 1000 万立方米轻集料、替代 30%的天然碎石测算，每年可减少天然石料开采约 500 万吨，减少矿山开采对山体、植被的破坏。

（3）降低碳排放。 煤矸石基轻集料的生产能耗主要来自焙烧环节，但煤矸石自身含有一定热值，可替代部分燃料；同时，轻集料混凝土因自重降低可减少水泥和钢筋用量。综合测算，每立方米煤矸石基高强轻集料较同体积天然碎石骨料可减少碳排放约 80～120kg（以 CO_2计），按年产 1000 万立方米计，年减排 CO_2约 80 万~120 万吨，对建材行业碳达峰具有实质贡献。

（4）减少建筑垃圾和固废堆存的环境风险。 标准引导煤矸石从“堆存填埋”转向“资源化利用”，减少了固废长期堆存带来的土壤污染、地下水污染和生态破坏，同时降低了因取土烧砖、开山采石造成的生态扰动，符合“无废城市”建设和黄河流域生态保护的要求。

（5）典型生产线碳排放测算。 以国内首条 2×20 万立方米煤矸石轻集料生产线为例：生产每立方米煤矸石陶粒消耗生物质燃料约 80kg，以生物质燃料替代化石燃料，同时利用煤矸石自身含碳成分、减少天然砂石开采与破碎环节，经测算每立方米陶粒可减少二氧化碳排放约 103kg；按年产 40 万立方米计，该生产线每年可减排二氧化碳约 4.1 万吨，减碳效益显著，对建材行业碳达峰具有实质贡献。

四、与国际、国外同类标准技术内容的对比情况

编制组对 30 项国内外集料标准进行了系统对比，其中与本文件直接相关的是 GB/T 17431.1、JT/T 770、ASTM C330、ASTM C331、EN 13055 和 JIS A 5002。主要技术内容对比见表 19。

表 19 国内外同类标准主要技术内容对比

对比项目	本文件	GB/T 17431.1	JT/T 770	ASTM C330	EN 13055	JIS A 5002
适用范围	煤矸石基高强轻集料（轻粗、轻细集料）	通用轻集料	公路工程高强轻集料	结构混凝土用轻骨料	通用轻集料	轻混凝土用骨料
密度控制方式	按堆积密度分 7 级（600～1200）	按堆积密度分 11 级（200～1200）	按堆积密度分 6 级（700～1200）	仅设上限（粗≤880、细≤1120）	声明值+容差（±15%）	按绝干颗粒密度分 L/M/H 三级
强度评价	筒压强度+强度标号	筒压强度+强度标号	筒压强度	混凝土 28d 抗压强度≥28MPa、劈裂抗拉≥2.0MPa	声明值+混凝土性能验证	混凝土强度分 4 级（10/20/30/40MPa）
强度水平	4.0～15.0MPa	4.0～6.5MPa（600～900 级）	5.0～14.0MPa	不直接规定	不直接规定	不直接规定

对比项目	本文件	GB/T 17431.1	JT/T 770	ASTM C330	EN 13055	JIS A 5002
吸水率	≤20.0%（全密度等级统一）	≤10%（高强）	≤9.0%/≤7.0%（水泥，煤矸石）、≤5.0%/≤4.0%（沥青）	未设限值	声明值，无上限	未设限值
软化系数	≥0.8	≥0.8	≥0.8	未规定	未规定	未规定
粒型系数	≤2.0	≤2.0	—	—	—	—
SO_3限值	≤1.0%	≤1.0%	≤0.5%	—	酸溶性≤1.0%	≤0.5%
烧失量	≤5.0%	≤5.0%	≤3.0%	煤和褐煤≤0.5%	—	≤3.0%
放射性	IRa≤1.0、Iγ≤1.0（符合 GB 6566）	符合 GB 6566	符合 GB 6566	—	—	—
可浸出重金属	8 项元素限值（符合 GB 30760）	—	符合 GB 30760	—	—	—
碱活性	未列入（应用端控制）	宜检验	宜检验	宜检验	按类别声明	—

对比分析的主要结论：

（1）环保要求国际领先。 本文件同时设置放射性（GB 6566）和可浸出重金属（GB 30760）双重环保指标，在国内外轻集料标准中尚属首次。ASTM C330、EN 13055、JIS A 5002 均未设置任何环保指标；GB/T 17431.1 仅规定放射性；JT/T 770 虽引用 GB 30760，但未规定检测方法。本文件的处理方式，为固废基建材产品的环境安全管控提供了可复制的技术路径。

（2）技术体系与国内标准高度衔接。 本文件沿用 GB/T 17431.1 的密度等级划分、筒压强度、强度标号、软化系数、粒型系数等指标体系，企业无需重新建立质量控制和检验体系；同时参考 JT/T 770 的 SO_3限值取向，实现了建筑与公路两个领域的技术衔接。与 GB/T 17431.1 相比，本文件将筒压强度和强度标号向 1000～1200 级延伸，在环保指标上细化为 IRa、Iγ 和 8 项重金属限值，属于在通用标准框架内的专用化提升。

（3）强度评价路径与国际标准存在体系差异。 本文件采用“筒压强度+强度标号”的材料端直接评价，ASTM C330 和 EN 13055 采用混凝土性能间接评价，JIS A 5002 按混凝土强度分级。差异的根源在于：中国轻集料以人造陶粒为主，颗粒强度均匀性较好，筒压强度与混凝土强度有稳定的对应关系，直接评价简便高效；欧美以天然轻骨料（浮石、火山渣）和膨胀页岩为主，颗粒强度离散性大，只能通过混凝土性能间接控制。两种路径各有优势，本文件的评价方式更适合中国国情，但为便于国际互认，建议在后续修订中增加筒压强度与混凝土强度的对应关系附录。

（4）密度分级思路与 JIS A 5002 最为接近。 两者均采用固定阈值分级，判定明确、可操作性强；ASTM 仅设上限、EN 采用声明值+容差，灵活性高但判定主观性较强，容易出现争议。本文件选择固定分级，符合我国工程质量监管“有据可依、便于执法”的实际需要。

（5）与国际标准的差距主要在试验方法细节。 本文件以 GB/T 17431.2 为基础，在筛孔系列（方孔筛）、量筒尺寸、饱和面干判定等方面与 ASTM C136、EN 933-1、EN 1097-6 存在差异；含水状态定义（绝干 OD、饱和面干 SSD）的表述也不完全一致。这些差异会影响指标值的直接比较，建议在标准宣贯和应用中，通过对照表进行状态修正，避免因数据口径不同造成误判。

五、采用国际标准和国外先进标准的情况

本文件在制定过程中未采用国际标准或国外先进标准，未涉及采标。

主要考虑是：国际标准化组织（ISO）尚无轻集料产品标准；ASTM C330、EN 13055、JIS A 5002 虽为成熟标准，但其技术路线（混凝土性能间接评价、声明值体系）与我国轻集料标准体系（筒压强度直接评价、固定限值分级）差异较大，且均未针对煤矸石原料设置专门要求，也未设置可浸出重金属等环保指标，直接采用将导致与 GB/T 17431.1、JT/T 770 体系冲突，不利于国内企业执行。

但编制过程中充分参考了上述标准的先进内容：借鉴 ASTM C330“材料端+混凝土端”双轨评价的思路，设置了强度标号以衔接设计端；借鉴 ASTM C331 对燃烧副产物类轻骨料的分类管理经验，研究了煤矸石烧失量限值的合理水平；参考 EN 13055 对颗粒密度的上限规定，为表观密度设置 2000kg/m³ 的宽松上限；参考 JIS

A 5002 的固定阈值分级方法，确定了 7 个密度等级的分级框架。这些借鉴均以我国现行标准体系和产业实际为基础，未改变本文件的技术路线。

六、与有关法律、行政法规及相关标准的关系

（1）与法律法规的关系。 本文件为推荐性行业标准，不涉及行政许可、市场准入等管理事项，不与《中华人民共和国标准化法》《中华人民共和国产品质量法》《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》等法律及行政法规的规定相抵触。标准中放射性指标直接引用强制性国家标准，可浸出重金属指标引用 GB 30760，体现了固废资源化产品“无害化”的法定要求。

（2）与强制性国家标准 GB 6566 的关系。 GB 6566《建筑材料放射性核素限量》适用于包括轻集料在内的无机非金属建筑材料，是强制性国家标准。本文件在 6.7.2 中规定“轻集料的放射性应符合 GB 6566 的规定，其中内照射指数 IRa 不应大于 1.0，外照射指数 I_γ 不应大于 1.0”，取 GB 6566 对建筑主体材料的要求，与该强制性标准完全一致，属于其在下游产品标准中的具体落实，不另设更严或更宽的限值。本文件产品为散粒状轻集料，用于配制混凝土及制品，不属于空心率大于 25% 的空心制品，故不考虑 $I_\gamma \leqslant 1.3$ 的放宽情形。

（3）与 GB/T 17431.1、GB/T 17431.2 的关系。 两项标准是本文件的基础引用标准。本文件在术语、密度等级划分、强度标号、软化系数、粒型系数等方面与 GB/T 17431.1 保持一致，并在其高强轻集料指标基础上向 1000～1200 级延伸，对该区间的筒压强度、强度标号作出规定；并对放射性、可浸出重金属提出量化要求，属于对通用标准的细化与提升。二者为“通用—专用”的补充关系，不存在重复或冲突。GB/T 17431.1、GB/T 17431.2 修订时，本文件的相关引用条款将同步复核。本文件规定的强度标号（25～50）与 JGJ/T 12《轻骨料混凝土应用技术标准》的混凝土强度等级（LC25~LC60）一一对应，为设计选材提供接口；本文件未规范性引用 JGJ/T 12，但二者在应用环节配套使用。

（4）与 JT/T 770 的关系。 JT/T 770 是交通行业标准，适用于公路工程用高强轻集料。本文件未将其列为规范性引用文件，但在指标取值上参考了该标准的取向：SO_3限值与其衔接，密度等级、筒压强度的差异则体现了建筑工程与公路桥涵荷载

条件的不同——本文件密度等级起点为 600 级（JT/T 770 为 700 级），筒压强度总体略低（仅 1200 级略高），压碎值不作规定。产品同时供应两个领域时，应按较严的标准执行或由供需双方约定；本文件虽未设置沥青混合料应用类别，但经供需双方约定，符合本文件的产品亦可作为沥青混合料用轻集料的选用依据。

（5）与 GB 30760 的关系。 GB 30760《水泥窑协同处置固体废物技术规范》规定了水泥窑协同处置固体废物过程中重金属的浸出限值，其附录给出的砷、铅、镉、铬、铜、镍、锌、锰 8 项元素限值，是国内固废基建材产品环境安全评价的通行依据。本文件在标准表 6 中直接采用该 8 项限值，并规定表 6 未列入的其他重金属元素按 GB 30760 执行，属于对推荐性国家标准的具体化引用，不改变其限值水平。这样处理既保证了与固废资源化产品环境管理要求的一致性，又使检验判定有明确的量化依据。

（6）与在建团体标准的关系。 中国工程建设标准化协会标准《煤矸石轻集料混凝土应用技术规程》正在编制，该标准侧重混凝土的配合比、施工与验收，与本文件的产品技术要求不重复、不冲突，可形成“产品+应用”的完整链条。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

本文件编制过程中，编制组对技术内容进行了充分讨论，未产生需要提请标委会裁决的重大分歧意见。第一次工作会议及会后讨论中，对以下三个问题存在不同看法，经充分论证后已形成一致处理意见：

（一）关于吸水率条款的逻辑关系

草案 6.5.1 以表 4 按应用类别和密度等级分档规定吸水率（≤6.0%~≤10.0%），6.5.2 又笼统规定“轻粗集料的吸水率不应大于 15%”，两条规定存在逻辑重叠：当产品用于水泥混凝土 600～900 级时，表 4 限值为 10.0%，而 6.5.2 的 15%实际放宽了要求，可能被理解为“只要不超过 15%即为合格”，削弱了表 4 的约束力。

处理意见：删除 6.5.2 的兜底条款，轻粗集料吸水率统一按表 4 判定，不再另设 15%的放宽限值；对表 4 未涵盖的特殊应用需求（如沥青混合料用），由供需双方协商确定并在合同中注明。同时，将轻细集料“吸水率不作规定、报告实测结果”修

改为“不作规定，由供需双方协商确定并在合同中注明”，明确其确定途径。该处理已在征求意见稿 6.5 中落实。

（二）关于是否增设表观密度上限

有意见认为，EN 13055 规定颗粒密度不大于 2000kg/m³、JIS A 5002 按绝干密度分级，本文件对表观密度“不作规定”过于宽松，建议增设上限以控制产品质量。

处理意见：经充分论证，本次制定暂不增设表观密度上限，征求意见稿 6.3 维持“轻集料的表观密度不作规定，报告实测试验结果”。主要考虑：一是堆积密度等级（不大于 1200kg/m³）已对产品的轻质属性形成实质约束；二是本次验证试验 28 个样品的表观密度为 1150～1900kg/m³，均处于轻集料的正常区间；三是不增设上限可减少检验项目、降低企业负担。EN 13055 的 2000kg/m³ 上限作为参考保留，标准实施后视数据积累情况在修订时研究是否增设。

（三）关于是否增设混凝土性能验证附录

有意见认为，ASTM C330 通过混凝土 28d 抗压强度和劈裂抗拉强度间接验证骨料性能，本文件仅规定材料端的筒压强度，缺少混凝土端的验证，可能出现在材料合格但混凝土性能不达标的情况，建议增加混凝土性能验证附录。

处理意见：本次制定暂不增设附录，主要考虑：一是筒压强度与轻集料混凝土强度之间存在稳定的经验对应关系，JGJ/T 12 已给出基于强度标号的配合比设计方法，工程实践中未出现系统性偏差；二是增设混凝土性能验证附录将大幅增加检验工作量和标准实施成本，与当前产业质量控制水平不相适应；三是本标准为产品标准，混凝土性能验证属应用端标准范畴，宜由 JGJ/T 12 或相关应用技术规程规定。但编制组将在标准宣贯中提供筒压强度与混凝土强度的对应关系参考资料，并建议在标准实施 2～3 年后，根据工程反馈研究是否在修订时增加附录。

八、涉及专利的有关说明

本文件不涉及专利，也未涉及其他相关知识产权。

编制组在起草过程中，对标准文本中的技术内容进行了专利检索，未发现标准条款涉及必要专利。标准中规定的密度等级划分、筒压强度指标、吸水率限值、有

害物质限值、试验方法等，均为行业公知技术或引自现行标准，不存在专利许可障碍。

本文件前言中已按 GB/T 1.1—2020 的要求，载明“请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任”的提示性表述。

九、实施行业标准的要求与措施建议

（一）标准性质建议

建议本文件作为推荐性行业标准发布实施。理由：本文件规定的是煤矸石基高强轻集料的产品质量要求，属于自愿采用的推荐性标准范畴；标准中涉及的放射性要求已由强制性国家标准 GB 6566 规定，无需在本文件中重复强制；可浸出重金属要求引用 GB 30760，通过绿色建材认证、工程材料准入等市场化机制引导实施，效果优于行政强制。

（二）宣贯培训建议

建议标准发布后，由归口单位牵头组织分层次宣贯：面向生产企业，重点讲解指标要求、试验方法、检验规则和常见不合格项的原因分析，帮助企业建立完善的质量控制体系；面向设计单位，重点讲解密度等级与强度标号的选用、与 JGJ/T 12 的衔接、轻集料混凝土的配合比要点；面向施工和监理单位，重点讲解进场检验、堆放与输送、浇筑与养护的注意事项；面向检测机构，重点讲解可浸出重金属试样制备、筒压强度试验等关键操作，统一检测尺度。

（三）实施配套建议

（1）建议将煤矸石基高强轻集料纳入绿色建材产品认证目录，以本文件为认证依据，通过认证标识引导市场选择，形成“标准—认证—采信”的闭环。

（2）建议在政府投资项目、保障性住房、装配式建筑项目中优先选用符合本文件的产品，将标准要求纳入设计文件编制深度规定和施工图审查要点。

（3）建议同步推进《煤矸石轻集料混凝土应用技术规程》等配套标准的制定，形成产品与应用标准的协同实施；鼓励有条件的企业制定严于本文件的企业标准，形成“国标保底线、企标拉高线”的格局。

（4）建议加强检测能力建设。可浸出重金属检测需要电感耦合等离子体质谱仪等设备，目前地市级检测机构能力不足。建议依托省级建材检测机构和大型企业试验室建设公共检测平台，为中小企业提供委托检测服务。

（四）实施过渡期建议

考虑生产企业需要时间调整工艺、完善检验能力，建议本文件自实施之日起设置 6 个月的过渡期。过渡期内，企业可按原企业标准组织生产，但应在产品标识中明示执行标准；过渡期后，所有在中华人民共和国境内生产、销售的煤矸石基高强轻集料均应符合本文件要求。

（五）标准实施后的跟踪评估

建议归口单位建立标准实施信息反馈机制，定期收集生产企业、设计单位、施工单位和检测机构的意见，重点关注：密度等级与实际生产的匹配性、筒压强度指标的达标率、可浸出重金属的检测成本与合格率、是否需要增设表观密度上限等问题。标准实施 3 年后组织复审，根据产业发展和技术进步情况决定是否修订。

十、其他应当说明的事项

（一）关于标准名称

标准名称为《煤矸石基高强轻集料》，与立项计划名称一致。“煤矸石基”表明原料属性，“高强”表明产品定位，“轻集料”为产品类别，名称准确反映了标准的核心内容，且与 GB/T 17431.1 的术语体系相衔接。英文名称为“Coal gangue high-strength lightweight aggregate”。

（二）关于标准的适用范围界定

本文件适用于煤矸石基高强轻集料的生产、检验和工程应用，不适用于以煤矸石为原料制备的普通轻集料（堆积密度小于 600kg/m³ 或强度不满足本文件要求的）、轻集料混凝土制品（如轻集料砌块、墙板）以及煤矸石基其他建材产品（如烧结砖、地聚物材料）。上述产品应执行相应的产品标准。

（三）关于“高强”的界定

本文件所称“高强”，是指筒压强度满足标准表 3 的要求（600～1100 级强度标号按表 3 对应值判定，1200 级强度标号暂不作规定），且密度等级在 600～1200 范围内。仅密度等级符合而强度不达标的，不属于本文件所指的高强轻集料，应按普通轻集料对待，不得以“高强”名义销售。

（四）关于验证试验数据的补充

验证试验由安徽东辰新材料科技有限公司和中能建科锐技术（大同）有限公司提供样品并分别开展自测，安徽建筑大学、安徽理工大学、武汉理工大学、北京工业大学完成了 DC 系列样品的检测，北京科技大学、哈尔滨工业大学、伊犁师范大学、中国地质大学（北京）完成了 KR 系列样品的检测。北京科技大学同步提供了公斤级、百克级实验室试验和万吨级中试数据作为参照；安徽理工大学补充报送了 AL 系列 7 个密度等级轻粗集料样品的检测数据。验证样品覆盖 7 个密度等级、轻粗集料与轻细集料 2 类，检测项目覆盖第 6 章全部技术要求。验证数据表明各分项目合格率为 91.7%～100%、总体合格率 98.3%，符合验证试验方案的判定要求，个别不合格项已逐项说明原因，检测结果见第三章表 10～表 16。同时，编制组将公开文献与产业化产品的实测数据纳入第三章作为指标合理性的参照（见表 17、表 18），并收集了生产企业陶粒参数检测原始记录、第三方可浸出重金属与放射性检测报告（青岛斯坦德衡立环境技术研究院，报告编号 RHL2608283G1）、煤矸石陶粒沥青混合料级配设计研究资料（安徽理工大学土木建筑学院，2023 年 6 月）等作为补充参照。欢迎各参编单位和行业企业继续提供产品实测数据，为标准后续修订积累数据基础。

（五）关于与相关标准的协调

本文件发布后，若 GB/T 17431.1、GB/T 17431.2、GB 6566、GB 30760 等被引用标准发生修订，本文件的相关条款将同步复核；若出现指标冲突，按“从严执行”的原则处理，并及时启动本文件的修订程序。JT/T 770、JGJ/T 12 等未列入规范性引用文件的参考标准修订时，编制组将评估其对本文指标取向的影响，必要时在复审时一并研究。

（六）关于编制说明的使用

本编制说明与《煤矸石基高强轻集料》（征求意见稿）配套使用，供征求意见、技术审查和报批时参考。编制说明中引用的企业调研数据、检测数据，仅用于说明指标确定的依据，不作为对企业产品质量的评价。