

# 黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料

Non-sintered and non steaming lightweight aggregate

based on gold tailings

## 编制说明

(征求意见稿)

标准编制组

二零二四年八月

# 目录

一、工作简况 .....	1
1. 任务来源 .....	1
2. 主要工作过程 .....	1
二、标准编制原则和主要内容 .....	2
1. 标准编制原则 .....	2
2. 主要指标来源说明 .....	3
三、主要试验验证情况分析 with 指标确定 .....	8
1. 黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料密度、强度、吸水率、软化系数指标验证 .....	8
2. 黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料有害物质指标验证 .....	9
3. 总结 .....	10
四、标准中如果涉及专利，应有明确的知识产权说明 .....	10
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 .....	10
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 .....	10
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 .....	13
八、重大分歧意见的处理经过和依据 .....	13
九、指标体系性质的建议说明 .....	13
十、贯彻标准的要求和措施建议 .....	13
十一、废止或代替现行相关标准的建议 .....	13
十二、其他应予说明的事项 .....	13

# 一、工作简况

## 1. 任务来源

黄金尾矿免烧免蒸养轻骨料是一种轻质、高强的人造骨料，其制备过程中，免烧结，固废使用比例在 80%以上，利用硫铝铁系低碳胶凝材料及其他固废掺合料作为胶凝材料，大掺量黄金尾矿为基体，制备的轻骨料早期强度高，后期强度稳定增长，施工性能好、吸水率低，作为建筑材料具有显著的高品质、低能耗、低碳排放的特点。

山东大学已多年开展黄金尾矿等硅铝基固废制备免烧免蒸养轻骨料的研究，研究了黄金尾矿等硅铝基固废的前置预处理技术，研发了利用高性能硫铝铁系低碳胶凝材料复配预处理后的硅铝基固废制备免烧免蒸养的轻骨料配方和工艺制备技术，进行了大量的小试、工业化生产，产品已在混凝土制品应用。

黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料具备高强度和低导热系数，可用于制备保温隔热材料、装配式建筑构件、道路交通工程材料、海洋工程材料等，性能优良可调配，生产稳定，应用前景广阔。但目前没有针对该材料相应的产品标准，无法进行大规模生产、销售、推广应用，是新产品推广的重要瓶颈问题，因此迫切需要制定该项标准。山东大学联合黄金尾矿生产企业及部分已在使用黄金尾矿的生产企业联合编制标准，具有很强的可行性、正确性、有效性及可操作性。

基于前期工作基础，山东大学联合山东黄金新源矿业有限公司等相关单位于2024年1月向中国混凝土与水泥制品协会提出了编制《黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料》标准的申请。在充分论证的基础之上，2024年3月10日，根据中国混凝土与水泥制品协会《关于下达2024年中国混凝土与水泥制品协会标准制修订计划（第二批）的通知》（中制协字〔2024〕18号）计划下达文件，《黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料》为协会标准制定项目，计划号：2024-05-cbjh。

本标准由中国混凝土与水泥制品协会负责管理，由山东大学等单位负责起草并组织相关单位共同完成，目前已完成征求意见稿。

## 2. 主要工作过程

结合标准主要章节确定的目录内容，编制组在编制组成立暨第一次工作会议上对完成标准所需工作进行了内部分工，确保每项工作有行业对应的企业参与，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	山东大学	大纲拟定、标准撰写
3	山东黄金新源矿业有限公司	试验/生产验证（主要技术指标验证）
4	湖北昌耀新材料有限公司	试验/生产验证（主要技术指标验证）
5	山东高速新材料有限公司	试验/生产验证（主要技术指标验证）
6	碳理达固废处置（山东）有限公司	试验/生产验证（主要技术指标验证）

7	山东卓联环保科技有限公司	试验/生产验证（主要技术指标验证）
9	济南大学	试验验证（主要技术指标验证）

本标准编制过程如下：中国混凝土与水泥制品协会于2024年5月22日组织召开了标准编制启动会，22名参编骨干参加了启动会。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地介绍。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，调研多家免烧骨料生产企业，实地了解生产企业的生产产品种类、产品性能指标、检验检测方法、频度等，并了解了生产线运行状况和运行指标。并对在山东新泰工业技术研究院研制期、生产期的产品进行取样分析、委托第三方检测。山东大学黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料研发团队对标准中产品的性能指标、矿物组分、制备工艺等，进行了大量的验证试验。编制组同时查阅了相关的国际、国家、行业、地方标准，编制完成本标准的草稿。

2024年5月26日和2024年7月18日，标准编制组两次组织召开专题讨论会讨论了征求意见稿，此后征求了生产企业及研究单位的意见，

## 二、标准编制原则和主要内容

### 1. 标准编制原则

编制组充分参考国内已有企业中应用的成熟可靠技术与产品，并对新产品、新工艺进行专项试验检测、分析与技术验证，确保列入规程的技术与产品具有合理、适用、安全、可靠的特点。以科学、合理、先进、实用为原则，与国家现行标准规范协调统一、内容互补，参考国内相关标准，与现有标准一致的直接引用，重点根据黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料的产品特点，对现有标准暂不覆盖或不具备针对性的内容进行补充，制定本团体标准。

本标准直接引用的规范性文件如下：

GB6566 建筑材料放射性核素限量

GB/T 14684 建筑用砂

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

GBT 17671 水泥胶砂强度检验方法（ISO法）

GB/T 30810 水泥胶砂中可浸出重金属的测定方法

GB 31893 水泥中水溶性铬（VI）的限量及测定方法

T/CCPA 42 硫铝铁系低碳胶凝材料

参考的标准

[1] ASTM-C330 Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete

[2] JGJT 12 轻骨料混凝土应用技术标准

[3] JT -T770 公路工程高强轻骨料

[4] T/CBMF 219-2023/T/CCPA 39-2023 固废制备轻骨料绿色工厂设计规范

## 2. 主要指标来源说明

黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料是新型、高性能的低碳建筑材料，符合国家的双碳战略需要。编制本标准，能规范产品的组成及性能指标，对产品的应用给予质量保证。指导材料的生产控制、产品销售、应用。

黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料具有快速成型、免烧高强、免蒸早强、后期强度持续增进等众多优良的性能。可用于制备管涵、装配式预制板材、楼梯、公路水稳层、路缘石、海岸线防浪石等多种建筑制品，可广泛用于海洋工程、能源、交通、装配式建筑等多领域。

为促进国内黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料应用，从材料的化学及矿物组分、性能指标、检验检测方法、产品出厂控制及包装等多方面，作为标准的组成要素。主编单位在国家及省部级重点研发项目的支持下，经过近十年的理论分析研究、试验室及半工业试验，确立了标准的核心指标，确保科学性、先进性、可重复性。满足市场化推广应用及质量监管的要求。又对固废制免烧免蒸养轻骨料的生产企业湖北昌耀新材料公司、新泰工业技术研究院有限公司等企业进行调研，并对新泰工业技术研究院有限公司在生产期间的原料及产品进行了化学分析、性能测试，均达到了本项目确定的指标。

### 2.1 术语中指标说明

黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料 Non-Sintered and Non Steaming Lightweight Aggregate based on Gold Tailings 代号 GTLA。

以黄金尾矿为主要原料，以硫铝铁系低碳胶凝材料等为胶凝剂，加与不加外加剂，通过造粒机造粒，免烧、免蒸养制成的轻骨料。

利用黄金尾矿基免烧免蒸养制备轻骨料，使用固废比例大于80%，实现固废大比例资源化利用，同时能得到政府的税收优惠。

### 2.2 黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料原料的矿物组成说明

黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料原料主要包括硫铝铁系低碳胶凝材料以及大比例的黄金尾矿。其中硫铝铁系低碳胶凝材料由熟料、石膏组成，主要矿物为Fe-Al溶代硫铝酸钙、无水硫铝酸钙、硅酸二钙、铁相和硫酸钙，黄金尾矿主要矿物以石英、长石、云母为主。所有矿物均可通过XRD检测。Fe-Al溶代硫铝酸钙矿物的XRD峰与硫铝酸钙相近，可通过电镜能谱和电子探针等检测方法辅助确定。

### 2.3 指标及说明

#### 2.3.1 组分与材料

##### (1) 组分

为确保黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料具有良好的性能，强度标号在35以上，本标准规定了黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料的物料组分，如表1所示。黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料由硫铝铁系低碳胶凝材料（以下简称“胶凝材料”）、黄金尾矿+其它固废、外加剂组成。黄金尾矿+其他固废含

量应不小于80%，其他固废主要为粉煤灰、脱硫石膏等，黄金尾矿占总体比例不小于60%。胶凝材料含量不大于20%，外加剂含量不大于5%，代号GT-LWA。

表1 黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料的代号和组分 /%

名称	代号	组分（质量分数） %		
		黄金尾矿+1其他固废	胶凝材料	外加剂
黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料	GT-LWA	≥80	≤20	≤5

(2) 材料

(a) 硫铝铁系低碳胶凝材料

黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料使用的胶凝材料，应符合T/CCPA 42—2023《硫铝铁系低碳胶凝材料》中 SAF50-60及以上的性能要求，试验表明当胶凝材料符合该性能要求时，可保证胶凝材料在含量低于20%下的黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料强度标号在35以上。硫铝铁系低碳胶凝材料由熟料、石膏以及其他活性混合材和非活性混合材组成，主要矿物为Fe-Al溶代硫铝酸钙、无水硫铝酸钙、硅酸二钙、铁相和无水硫酸钙，氟石膏作为II型硬石膏主要矿物组成为II型无水硫酸钙，建筑石膏为半水石膏主要矿物组成为半水硫酸钙，具体矿物组成见图1。

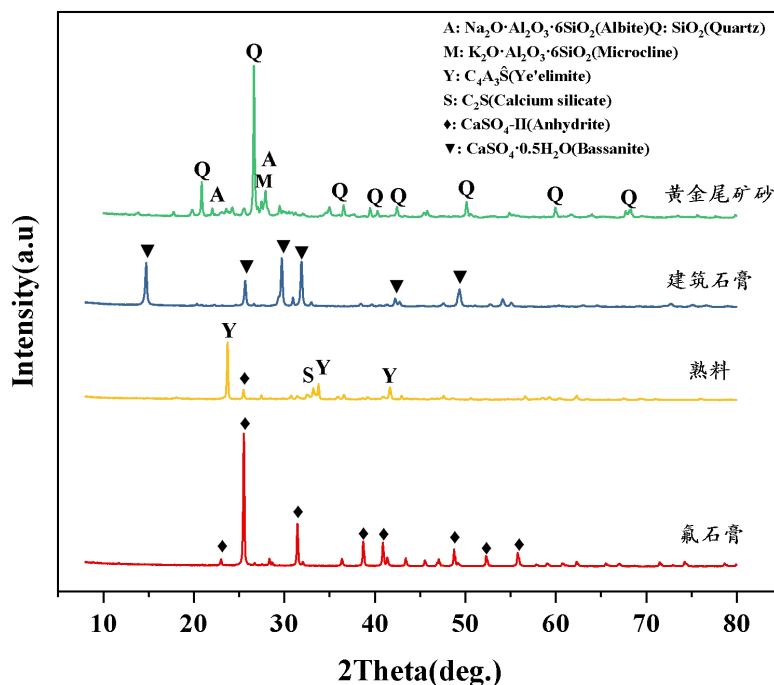


图1 原材料矿物组成

(b) 黄金尾矿

黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料使用的黄金尾矿，其作为轻骨料主体材料，矿物组成以石英、长石、云母、黏土和残余金属矿物为主见图1，化学成分由含有接近90%的SiO<sub>2</sub>和Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，同时含有一定的Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO等组成见表2。不同产地的黄金尾矿应有相似的化学成分及矿物组成，满足细

度为0.08mm筛余小于13%，具有一定的火山灰活性。同时，长石通常在碱源作用下，可以转化为玻璃态前驱体，石英也可部分参与反应。黄金尾矿颗粒具有尺寸小、粒径分布不均匀、表面粗糙且伴有多个棱角的特点。随着黄金尾矿堆存量增多，造成重金属污染，对地表水、地下水产生严重危害，还会占用土地，消耗大量建设和维护成本，且尾矿库是矿山中最大的危险源之一。利用黄金尾矿制备免烧免蒸养轻骨料是实现尾矿高附加值高规模化利用的理想途径，满足无害化、减量化和资源化等处理利用黄金尾矿的原则。

表2 原料化学成分 (wt%)

材料	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	备注
黄金尾矿	2.714	72.1	17	1.994	0.4592	0.8184	4.722	2.588	

### (c) 外加剂

在黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料中，根据轻骨料下游的不同利用途径可通过添加一定量的外加剂调节轻骨料的性能，来满足实际生产需要。如根据实际需求生产较为轻质，密度等级在1000以下时，可添加一定量的发泡剂。发泡剂是在轻骨料成型过程中加入的使轻骨料发泡的物质，常用发泡剂为H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>，Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>等化学物质。以H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>为例，H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>在任意温度下都可分解为水和氧气，从而在骨料硬化成型过程中内部产生孔隙，达到降低密度等级的目的。另一类外加剂为缓凝剂，是在轻骨料成型过程中，为了保证发泡时间，而减慢胶凝材料凝结速度的化学药剂，该类药剂通常采用硼酸，硼酸主要通过阻碍胶凝材料溶解来延缓凝结，但对水化产物钙矾石（AFt）的生成影响不大甚至对强度产生积极作用。

### 2.3.2 黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料颗粒级配

黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料颗粒级配指标参考GB/T 17431.1-2010《轻集料及其试验方法 第1部分：轻集料》的要求及ASTM-C330 Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete，用于结构的轻骨料粒度要求，以及JT -T770《公路工程高强轻骨料》用于公路的轻骨料的粒度要求，以前编制单位用轻骨料制水稳层的颗粒级配的要求，确定本标准的颗粒级配，内容一致见表3。同时颗粒级配测试方法参考GB/T 17431.2-2010《轻集料及其试验方法 第2部分：轻集料试验方法》。黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料属于人造骨料，各种轻粗骨料和轻细骨料的颗粒级配应符合表3的要求，轻细骨料的细度模数宜在2.3~4.0范围内，满足混凝土等下游产品的需要。

各种粗细混合轻骨料，以满足下列要求：

- a) 2.36mm筛上累计筛余为(60±2)%；
- b) 筛除2.36mm以下颗粒后，2.36mm筛上的颗粒级配满足表3中公称粒级5mm~10mm的颗粒级配的要求。

表3 颗粒级配

种类	级配类别	公称粒级	各号筛累计筛余 (按质量百分比计)														
			方孔筛尺寸 (mm)														
			31.5	26.5	19.0	16.0~	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15				

细骨料		0-5	—	—	—	—		0~10	0~35	20~60	30~80	65~90	75~100
粗骨料	连续粒级	5-31.5	0~15	—	—	40~75	-	90~100	95~100	—	—	—	—
		5-25	0~5	0-10	—	30~70	-	90~100	95~100	—	—	—	—
		5-20	0~5	—	0~10	—	40~80	90~100	95~100	—	—	—	—
		5-16	—	0	0~5	0~10	20~60	85~100	95~100	—	—	—	—
		5-10	—	—	—	0	0~15	80~100	95~100	—	—	—	—
	单粒级	10-16	—	—	0	0~15	85~100	90~100	—	—	—	—	—

### 2.3.3 黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料密度等级

黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料由胶凝材料、黄金尾矿、其他固废以及外加剂组成，因黄金尾矿密度较高，由其制备的轻骨料密度等级难以达到800以下，参考GB/T 17431.1-2010《轻集料及其试验方法第1部分：轻集料》的密度等级要求在此基础上进行了修改，删除了密度等级200-700的部分对黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料密度等级进行规定，符合实际情况，具体见表4。堆积密度测试方法与GB/T 17431.2-2010《轻集料及其试验方法 第2部分：轻集料试验方法》一致。

表4 密度等级

密度等级		堆积密度X (kg/m <sup>3</sup> )
黄金尾矿基免烧免蒸养轻粗骨料	黄金尾矿基免烧免蒸养轻细骨料	
800	800	700<X≤800
900	900	800<X≤900
1000	1000	900<X≤1000
1100	1100	1000<X≤1100
1200	1200	1100<X≤1200

### 2.3.4 黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料筒压强度与强度标号

黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料的主要优势体现在其成型硬化快，早期强度高，且后期具有较高的强度增进率。试验研究表明，黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料的筒压强度明显高于GB/T 17431.1-2010《轻集料及其试验方法 第1部分：轻集料》中的人造轻集料。本标准以大量的试验结果为依据，并参考轻骨料的产品标准，将黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料按照5个密度等级，对筒压强度进行了等级划分，如表5所示。其中对不同密度等级下的高强黄金尾矿基免烧免蒸养轻粗骨料的筒压强度及强度标号进行了规定，以满足各企业对高强黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料的定义和需要，如表6所示。轻骨料筒压强度的测试方法与GB/T 17431.2-2010《轻集料及其试验方法 第2部分：轻集料试验方法》一致。

- a) 不同密度等级的黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料粗骨料筒压强度不低于表5 的规定。



表5 黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料粗骨料筒压强度

密度等级	筒压强度/MPa
800	≥6.0
900	≥6.5
1000	≥7.0
1100	≥8.0
1200	≥10.0

b) 不同密度等级的高强黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料粗骨料筒压强度和强度标号不低于表6的规定

表6 黄金尾矿基免烧免蒸养轻粗骨料筒压强度与强度标号

密度等级	筒压强度/MPa	强度标号
800	6.0	35
900	6.5	40
1000	7.0	45
1100	8.0	50
1200	10.0	55

### 2.3.5 黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料吸水率与软化系数

如上所述黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料属于密度等级在800-1200的人造轻骨料，参考GB/T 17431.1-2010《轻集料及其试验方法 第1部分：轻集料》中轻骨料吸水率的基础上对黄金尾矿基免烧免蒸养轻粗骨料吸水率的规定见表7，且人造轻骨料的软化系数不应小于0.8，该规定适用于建筑用混凝土与水泥制品，如在公路及其他领域可由供需双方商定。吸水率及软化系数测试方法与GB/T 17431.2-2010《轻集料及其试验方法 第2部分：轻集料试验方法》保持一致。

a) 不同密度等级的黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料粗骨料的吸水率不大于表7的规定

表7 黄金尾矿基免烧免蒸养轻粗骨料的吸水率

密度等级	1h吸水率/%
800-1000	≤15
1100-1200	≤10

b) 软化系数应不小于0.8。

c) 黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料细骨料的吸水率和软化系数不作规定，报告实测试验结果。

### 2.3.6 黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料有害物质规定

黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料的一大特点就是制备原料大比例采用工业固体废弃物，除了含有Ca、Si、Al、Fe和S等主要元素外，往往还有大量杂质元素，其使用的胶凝材料由钢渣等多种固废生产，还含有重金属。虽然这些杂质含量较低，但属于有害物质对人类健康和环境危害较大，

因此需要特别限定，使其含量控制在合理范围内。具体指标参考GB/T 17431.1-2010《轻集料及其试验方法 第1部分：轻集料》与GB 6566-2010《建筑材料放射性核素限量》标准中的氯化物及放射性要求，同时规定可浸出重金属含量与T/CCPA 39-2023/T/CBMF 219-2023《固废制备轻骨料绿色工厂设计规范》保持一致，能够保障黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料在实际工程应用的质量安全及环境安全性。具体见表8。其中氯化物含量测试方法按GB/T14684—2022《建设用砂》规定要求，放射性按GB 6566-2010《建筑材料放射性核素限量》规定测试，浸出重金属含量按GB/T 30810-2014《水泥胶砂中可浸出重金属的测定方法》进行测试。

表 8 有害物质规定项目名称		技术指标
氯化物（以氯离子含量计）含量/%		$\leq 0.02$ <sup>(1)</sup> $> 0.02 \leq 0.1$ <sup>(2)</sup>
放射性		$IRa \leq 1.0, I_r \leq 1.0$
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	$< 1.0$

由于一些地区金矿位于沿海区域，黄金尾矿氯离子含量较高，为了提高黄金尾矿的利用量，把轻骨料的氯离子含量设置为两个等级。分别为 $\leq 0.02\%$ ， $\leq 0.1\%$ ，其中氯离子不大于 $0.02\%$ ，可以用于带钢筋的轻骨料混凝土；氯离子大于 $0.02\%$ 而小于 $0.1\%$ ，可以用于不带钢筋的轻骨料混凝土。

### 2.3.7 试验方法

“6.1 一般规定”试验用的轻集料试样，均应在恒温温度为 $50^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$ 的条件下干燥至恒量。当试样干燥至恒量时，相邻两次称量的时间间隔不得小于2 h。当相邻两次称量值之差不大于该项试验要求的精度时，则称为恒量值。

由于黄金尾矿免烧免蒸养制备轻骨料主要采用硫铝铁系低碳胶凝材料做作胶凝剂，硫铝铁系低碳胶凝材料的水化矿物主要是钙矾石，其在 $60^{\circ}\text{C}$ 会产生分解，进而影响被检测轻骨料性能失真。因此本标准把恒温温度为 $50^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$ 。

## 三、主要试验验证情况分析 with 指标确定

### 1. 黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料密度、强度、吸水率、软化系数指标验证

选用了不同配比制备的黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料，通过大量试验及生产产品性能测试的基础上获取数据，并委托山东省建筑工程质量检验检测中心对轻骨料的强度进行了对比验证。具体结果如表9所示，验证试验结果表明：黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料的28d强度达到6-13.9MPa。不同配比的黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料的强度检测指标，均能分别满足不同等级产品要求。本标准确立的密度、强度指标，完全可以达到。本标准考虑到黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料作为轻

质高强骨料具有普遍推广和使用价值，强度指标高于国标GB-17431.1 中人造轻骨料的强度指标。

表9 黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料密度、强度性能试验结果

材料编号	堆积密度	28天筒压强度	吸水率	软化系数
	kg/m <sup>3</sup>	MPa	%	
1#	982	6.57		
2#	1010	8.61	9.5	0.84
3#	1030	8.89		
4#	1077	11.7		
5#	1150	12.02	8.9	0.86
6#	1185	12.5	9.1	0.82
7#	1198	13.88		
8#	1200	13.9		

## 2. 黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料有害物质指标验证

选取了多组具有代表性的黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料，并委托山东省建筑工程质量检验检测中心对骨料进行了放射性验证。其中，有害物质验证结果如表10所示。由表可见，黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料各类重金属浸出含量均未超标，对环境的潜在风险低。除此之外，黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料中氯离子含量及放射性均控制在标准范围内。该指标与现有人造轻骨料相同，与现有轻骨料要求相一致，可以在保证环境风险可控的前提下推动对黄金尾矿等固废的处置与利用，并实现黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料的推广应用。

表10 有害物质测定结果

项目名称		测定结果
氯化物（以氯离子含量计）含量/%		≤0.02
放射性		IRa=0.1≤1.0, Ir=0.3≤1.0
可浸出重金属含量/（mg/l）	镉	-0.002 (<0.03)
	锰	-0.002 (<1.0)
	铅	-0.025 (<0.3)
	铬	0.147 (<0.2)
	砷	0.005 (<0.1)
	镍	-0.001 (<0.2)
	锌	-2.322 (<1.0)
	铜	-0.003(<1.0)

### 3. 总结

从主编单位和参编单位试验室研究产品的性能数据及工厂实际生产产品的性能数据分析，本标准制定的指标均能实现。

## 四、标准中如果涉及专利，应有明确的知识产权说明

本标准不涉及专利。

## 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

本标准是主、参编单位和编制组成员在多年的研究及大量工业生产线生产验证的基础上制定的。从对山东新泰工业研究院有限公司生产的产品进行的第三方检测表明，性能指标均优于本标准中产品，且生产的产品用于制备混凝土路缘石、水稳层、保温结构一体化外墙板及免蒸养预制管等生产，下游产品均实现销售，并取得了良好的经济效益。

黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料具有快速成型、免蒸早强、免烧高强、后期强度持续增进等众多优良的性能，所制得的混凝土抗硫、抗氯性能好，导热系数低、保温性能好。可用于制备管涵、装配式预制板材、楼梯、公路水稳层、路缘石、海岸线防浪石等多种建筑制品，可广泛用于海洋工程、能源、交通、装配式建筑等多领域。

黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料是新型、高性能的低碳建筑材料，生产免煅烧，养护免蒸养，系统能耗低，过程碳排放显著降低。黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料的制造，大量使用固体废弃物，符合国家的双碳战略的需要。且生产成本比传统人造轻质骨料生产成本大幅度降低。新配方、高性能、低成本的黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料水泥用量低，且以硫铝铁系低碳胶凝材料替代普通硅酸盐水泥使用，进一步降低成本及碳排放量，达到绿色低碳的目的。因此，黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料的市场空间广阔，经济效益、环保效益、社会效益显著。

本标准能规范产品的组成及性能指标，对产品的应用给予质量保证。指导材料的生产控制、产品销售、应用。

## 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的文献及标准，尚未关于黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料标准，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。

标准编制组调研了轻骨料生产企业，收集了相关生产厂家的产品性能数据。了解轻骨料生产原料、产品及出厂包装等运行数据，但目前尚未有黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料的生产企业。在多家企业进行黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料的试生产，并进行指标验证性测试。对黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料的多个样品进行有害物质的验证试验。

标准编制组全面系统深入分析研究标准的所有要素，提供了标准中所有指标的验证所有。内容完整，依据充分、可靠。

黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料大比例使用固废，且强度指标、密度指标、有害物质指标等施工性能指标均是国际先进指标。

本标准对黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料生产企业的产品质量提升及产品推广应用，具有重要支持作用，促进行业技术进步。

表 11 本标准与国内外相关标准性能指标对比

指标名称		本标准		GB/T 17431.1-2010《轻集料及其试验方法 第1部分：轻集料》		JT/T 770-2023《公路工程 高强轻集料》	
						(注：烧结陶粒)	
密度等级		筒压强度 (MPa)	堆积密度范围/ (kg/m <sup>3</sup> )	筒压强度 (MPa)	堆积密度范围/ (kg/m <sup>3</sup> )	筒压强度 (MPa)	堆积密度范围 / (kg/m <sup>3</sup> )
	200	—	—	0.2	>100, ≤ 200	—	—
	300	—	—	0.5	>200, ≤ 300	—	—
	400	—	—	1.0	>300, ≤ 400	—	—
	500	—	—	1.5	>400, ≤ 500	—	—
	600	—	—	2.0	>500, ≤ 600	—	—
	700	—	—	3.0	>600, ≤ 700	—	>600, ≤ 700
	800	≥6.0	>700, ≤ 800	4.0	>700, ≤ 800	≥8.0(I型), ≥ 5.0(II型)	>700, ≤ 800
	900	≥6.5	>800, ≤ 900	5.0	>800, ≤ 900	≥9.0(I型), ≥ 6.0(II型)	>800, ≤ 900
	1000	≥7.0	>900, ≤ 1000	—	>900, ≤ 1000	≥	>900, ≤ 1000

						12.0(I型), $\geq$ 6.5(II型)	
	1100	$\geq 8.0$	$>1000, \leq 1100$	—	$>1000, \leq 1100$	$\geq$ 14.0(I型), $\geq$ 7.0(II型)	$>1000, \leq 1100$
	1200	$\geq 10.00$	$>1100, \leq 1200$	—	$>1100, \leq 1200$	$\geq$ 14.0(I型)	$>1100, \leq 1200$
强度标号		35/40/45/50/55		25/30/35/40		30/35/40/50	
吸水率%		$\leq 10.0$		200, $\leq 30.0$ ; 300, $\leq 25.0$ ; 400, $\leq 20.0$ ; 500, $\leq 15.0$ ; 600~1200, $\leq 10.0$ ;		700~900, $\leq 8.0$ ; 1000~1200, $\leq 6.0$ ;	
软化系数		$\geq 0.8$		$\geq 0.8$		$\geq 0.8$	
氯化物(以氯离子含量计)含量/%		$\leq 0.02$		$\leq 0.02$		$\leq 0.02$	
放射性		$I_{Ra} \leq 1.0, I_r \leq 1.0$		符合GB 6566的规定		符合 GB 6566 的规定	
可浸出重金属含量/(mg/l)		镉	$< 0.03$	未作规定		符合 GB 30760的规定	
		锰	$< 1.0$				
		铅	$< 0.3$				
		铬	$< 0.2$				
		砷	$< 0.1$				
		镍	$< 0.2$				
		锌	$< 1.0$				
		铜	$< 1.0$				

## 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。

本标准强调了黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料各项性能，且矿物组成与烧结陶粒有所差别，其具有优良的强度、施工性能。标准的框架体系及包含内容与烧结陶粒标准基本一致。因此与现有标准既有一致性，又有创新性、先进性。

## 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《黄金尾矿基免烧免蒸养轻骨料》发布后作为推荐性节能与综合利用协会标准发布实施。

## 十、贯彻标准的要求和措施建议

建议本标准批准发布后尽快实施并组织宣贯。

## 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。