

团 体 标 准

T/JXHTS 000X—2025

用于公路路面基层中的锂渣基结合料

lithium slag based binder for highway pavement base layer

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

江西省公路学会 发 布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 原材料	2
5 技术要求和试验方法	2
6 检验规则	3
7 包装、标志、运输和贮存	4

前　　言

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。

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。

本文件由江西路信建材有限公司提出。

本文件由江西省公路学会归口。

本文件起草单位：江西路信建材有限公司、宜春荣瑞兴新材料有限公司、江西省公路工程检测中心、江西九岭凝聚新材料有限公司、江西省恒通交通工程检测有限公司、南昌工程学院。

本文件主要起草人：丁杰栋、……（共15人）。

本文件实施过程中，请将发现的问题和意见、建议反馈至江西路信建材有限公司（地址：江西省南昌市西湖区站前西路59号公路管理局科技综合大楼7楼；联系电话：13907003297；电子邮箱：1044518537@qq.com），供修订时参考。

引 言

用于公路路面基层中的锂渣基结合料将有助于锂渣资源化利用新技术的推广应用，促进我省锂电产业高质量发展。

本文件的制定本着先进性、科学性、合理性和可操作性的原则，结合相关国家标准、行业标准、地方标准和团体标准，主要针对锂渣来源，锂渣基结合料的来源、原材料、技术要求和试验方法、检验规则、包装、标志、运输和贮存作出了相关规定。

用于公路路面基层中的锂渣基结合料

1 范围

本文件规定了用于公路路面基层中的锂渣基结合料的术语和定义、原材料、技术要求和试验方法、检验规则、包装、标志、运输和贮存等。

本文件适用于新建和改扩建公路路面基层工程。本文件不适用于在地表水、地下水集中水源地和其他生态敏感地区道路建设工程。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 203 用于水泥中的粒化高炉矿渣
- GB/T 1345 水泥细度检验方法筛析法
- GB/T 1346 水泥标准稠度用水量、凝结时间与安定性检验方法
- GB/T 5483 天然石膏
- GB 6566 建筑材料放射性核素限量
- GB/T 9774 水泥包装袋
- GB/T 12573 水泥取样方法
- GB/T 17671 水泥胶砂强度检验方法(ISO法)
- GB/T 18046 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
- GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
- GB/T 21371 用于水泥中的工业副产石膏
- HJ 557 固体废物浸出毒性浸出方法 水平振荡法
- JC/T 313 膨胀水泥膨胀率试验方法
- JT/T 994 公路工程 路面基层稳定用水泥
- NY/T 1121.16 土壤检测 第16部分：土壤水溶性盐总量的测定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

一般工业固体废物 non-hazardous industrial solid waste

企业在工业生产过程中产生且不属于危险废物的工业固体废物。

3.2

锂渣 lithium slag

指以锂云母、锂辉石等为主要原料，生产碳酸锂、氢氧化锂等锂产品过程，在焙烧熟料浸出工序产生的浸出渣。

3.3

锂渣基结合料 Lithium slag based binder

由锂渣、粒化高炉矿渣或粒化高炉矿渣粉等工业废渣及石膏和激发组分组成，在混合料中起黏结作用的结合料。

4 原材料

4.1 锂渣

4.1.1 锂渣应符合 GB 18599 中一般工业固体废物贮存的相关规定。

4.1.2 锂渣进厂时，应提供固体废物属性鉴别报告及出厂质量证明文件。

4.2 矿渣/矿渣粉

4.2.1 粒化高炉矿渣应符合 GB/T 203 的规定。

4.2.2 粒化高炉矿渣粉应符合 GB/T 18046 的规定。

4.3 石膏

4.3.1 石膏可使用天然石膏或工业副产石膏。

4.3.2 天然石膏应符合 GB/T 5483 的规定。

4.3.3 工业副产石膏应符合 GB/T 21371 的规定。

5 技术要求和试验方法

5.1 环保指标

5.1.1 锂渣基结合料水溶性盐含量不应大于 5%，水溶性盐含量测试方法按照 NY/T 1121.16 执行。

5.1.2 锂渣基胶凝材料应按 HJ 557 规定的方法获取浸出液，浸出液污染物浓度限值应符合表 1 的规定，测试方法按照国家有关标准执行。

表 1 锂渣基结合料浸出液污染物浓度限值

项次	项目	限值
1	总镍 (mg/L)	1.0
2	总铜 (mg/L)	0.5
3	总锌 (mg/L)	2.0
4	总镉 (mg/L)	0.1
5	总铅 (mg/L)	1.0
6	总铬 (mg/L)	1.5
7	总锰 (mg/L)	2.0
8	总银 (mg/L)	0.5
9	总铍 (mg/L)	0.005

表1 锂渣基结合料浸出液污染物浓度限值（续）

项次	项目	限值
10	总铊 (mg/L)	0.005
11	总汞 (mg/L)	0.05
12	氟化物 (mg/L)	10
13	硫化物 (mg/L)	1.0
14	总氰化合物 (mg/L)	0.5

5.1.3 锂渣基结合料的放射性应符合 GB 6566 的规定。

5.2 理化性能指标和试验方法

锂渣基结合料的理化性能指标和试验方法应符合表 2 的规定。

表2 锂渣基结合料的理化性能指标和试验方法

序号	项目	技术指标	试验方法
1	细度 (80μm筛余) (%)≤	10	GB/T 1345
2	抗折强度 (MPa)	7d≥	GB/T 17671
		28d≥	
	抗压强度 (MPa)	7d≥	
		28d≥	
3	凝结时间 (h)	初凝>	GB/T 1346
		终凝	
4	安定性	沸煮法	GB/T 1346
		浸水法	JT/T 994
5	线膨胀率/%	7d≥	JC/T 313
		28d≤	

6 检验规则

6.1 编号

锂渣基结合料出厂时（或出厂前）按同品种编号和取样。袋装和散装应分别进行编号。不超过400t为一编号，每一编号为一取样单位。

6.2 取样方法

取样方法按GB/T 12573进行，取样应有代表性，可连续取，亦可从20个以上不同部位取等量样品，总量不少于12kg。

6.3 检验项目

6.3.1 出厂检验

锂渣基结合料出厂检验项目应当包含细度 (80 μm筛余)、凝结时间、7d 强度、7d 线膨胀率和安定性。

6.3.2 型式检验

型式检验项目应当包括第 5 章规定的全部项目。有下列情况之一者，应进行型式检验：

- a) 新产品投产和老产品转产时；
- b) 正常生产时，每半年进行一次检验；
- c) 当原材料或生产工艺变化时；
- d) 产品连续停产 6 个月以上（含 6 个月），恢复生产时；
- e) 出厂检验结果与上次型式检验结果有较大差异时；
- f) 供需双方在合同中约定增加型式检验的项目、频率时；
- g) 国家质量监督机构提出进行型式检验的要求时。

6.4 判定

6.4.1 检验(含复验)后，各项性能指标符合本标准的相应规定时，该批产品可判为合格。

6.4.2 若有一项性能指标不符合本标准要求时，则应从同一批中加倍取样，对不符合标准要求的项目进行复验。复验后，仍然不符合本标准要求时，则该批产品判为不合格。

7 包装、标志、运输和贮存

7.1 包装

锂渣基结合料包装形式可以采用散装或袋装。

袋装每袋净含量应不少于标志质量的 99%，随机抽取 20 袋的总质量（含包装袋）应不少于标志质量的 100%。包装袋应符合 GB/T 9774 的规定。

7.2 标志

产品出厂时，供需双方在厂内验收产品，生产厂应提供产品质量合格证书，其内容包括：

- a) 分类、类别、公称粒级和生产厂家信息；
- b) 批量编号及供货数量；
- c) 出厂检验结果、日期及本文件编号；
- d) 合格证编号及发放日期；
- e) 检验部门及检验人员签章。

7.3 运输与贮存

锂渣基结合料在运输与贮存时不应混入杂物和受潮。

不同品种的锂渣基结合料应分别运输和贮存。

江西省公路学会团体标准

《用于公路路面水泥混凝土中的锂渣基结合料》编制说明

一、标准制定背景、目的、意义和适用范围

(一) 背景

锂渣是含锂矿石（锂辉石、锂云母、透锂长石等）生产碳酸锂等锂盐过程中产生的工业硅铝质废渣。提锂的常规工艺有传统的石灰石焙烧法和应用广泛的硫酸法、硫酸盐法和氯化焙烧法，以及压煮法、碱溶法和复合盐焙烧等新技术。锂矿石通过配料，高温焙烧，浸出，将锂提取到溶液中，而未进入溶液相的固体则为锂渣。因不同矿石种类、品位和提取工艺，每生产1吨碳酸锂会产生10~40t不等的锂渣，随着我国新能源产业的快速发展，锂渣的产量在逐年增加。

随着以锂电池为代表的新型储能产业强势崛起，锂资源已成为全球各国关注的战略性资源。江西省是锂矿大省，拥有世界上最大的锂云母矿，约占全国锂储量的30%以上，居世界第一。然而，碳酸锂提炼工艺所产生的锂渣数量极大，根据宜春市“锂电+建陶（材）”产业融合发展规划（2025~2030年），碳酸锂产能预计2025年达50万吨，2030年突破70万吨，但伴随而来的锂冶炼剩余物年产量将达到2100万吨。

(二) 目的

规范管理：统一锂渣的处理和利用标准确保其安全、环保和高效使用。

资源利用：提升锂渣的回收和再利用效率，促进循环经济发展，减少资源浪费。

行业指导：为锂渣处理提供技术和管理依据，推动行业技术进步和规范化发展。

政策支持：为政府制定相关政策提供依据，推动锂渣处理行业的可持续发展。

总之，锂渣团体标准的编制旨在通过标准化管理，推动锂渣处理行业的规范、高效和可持续发展。

(三) 意义

2024年4月，省长叶建春在宜春调研时，指出“锂尾矿元素品种多、应用领域广、蕴含价值高，发展锂尾矿综合利用循环经济空间广阔。要改变对‘锂渣’的旧有认识，探索利用更多新技术、新工艺提取和回收有价值元素，在‘吃干榨尽’中实现锂尾矿的高效利用。”

2024年7月，江西省科技厅联合其它10部门成立江西省推进“特色锂矿石无害化资源化利用技术”专项工作专班。

其中省交通运输厅的主要职责有：指导项目开展锂渣材料化应用有关研究，协调、指导锂渣资源化综合利用在交通运输工程领域试点、推广等工作。

省国资委的主要职责有：协调江西省交通投资集团有限责任公司、江西省公路投资有限公司、江西省水利投资集团有限公司、江西省建材集团有限公司等国有企业参与锂渣资源化综合利用等工作。

(四) 适用范围

本标准规定了用于公路路面基层中的锂渣基结合料的术语和定义、材料、技术要求和试验方法、检验规则、包装、标志、运输和贮存。本标准适用于江西地区各等级新建、改扩建公路路面水泥混凝土工程。

二、工作概况

(一) 任务来源

根据江西省公路学会《关于开展 2025 年度团体标准立项申报工作的通知》(赣公学字〔2025〕11 号)。

(二) 任务分工

单位名称	单位类型	工作分工
江西路信建材有限公司	建设单位	全面主持标准编制组工作、制定标准工作计划、方案、标准编制
宜春荣瑞兴新材料有限公司	企业	提供标准编制过程中所需原材料、中试设备
江西省公路工程检测中心	检测单位	负责标准编制过程中必要的试验
江西九岭凝聚新材料有限公司	企业	提供标准编制过程中所需原材料、中试设备
江西省恒通交通工程检测有限公司	检测单位	负责标准编制过程中必要的试验
南昌工程学院	科研院校	技术和性能指标的前沿性论证

(三) 主要工作过程及工作内容

1、2024 年 11 月 16 日，成立了锂渣基结合料团体标准工作委员会和标准编制组，明确了相关单位和负责同志的职责和任务分工。

2、2024 年 11 月~2025 年 1 月，编制组对国内外关于锂渣基结合料及相关类似的固废标准进行了广泛的收集，主要包括：

GB/T 1596—2017 用于水泥和混凝土中的粉煤灰

GB / T 18046—2017 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉

JTG/T 2321—2021 公路工程利用建筑垃圾技术规范

JTG 3432—2024 公路工程集料试验规程

YB/T 4230—2010 用于水泥和混凝土中的锂渣粉

DB36/T 1968—2024 公路路基工程利用锂渣技术规范（试行）

DB42/T 1991—2023 公路磷石膏复合稳定基层材料应用技术规程

DB42/T 2307—2024 城镇道路过硫磷石膏结合料稳定基层技术规程（试行）

T/CECS G: D45—02—2022 道路过硫磷石膏结合料稳定基层技术规程

T/CHTS 10087—2023 公路铁尾矿渣路基设计与施工技术指南

在对上述资料进行研究的基础上，编制组提出了标准内容框架，并召开了专项研讨会，就标准术语和定义、材料、技术要求和试验方法、检验规则、包装、标志、运输和贮存等深入研讨，形成了第一版讨论稿。

3、2025年1月~3月，基于讨论稿，编制组通过研讨会、试验数据验证及结合中科院C类先导项目等多种方式，对标准主要内容进行了讨论，形成了草稿。

4、2025年3月~6月，基于标准立项专家提出的意见，编制组进一步通过研讨会、试验数据验证及调研分析等多种方式，于6月底形成了第二稿。

三、编制原则和依据

(一) 编制原则

1、认真贯彻国家有关法律法规和方针政策。标准中的所有规定，均不得与现行法律和法规相违背。聚焦锂渣基结合料在公路路面基层的应用技术，结合锂渣基结合料在江西地区的原材料特点，在兼顾各环节、全过程的同时，重点关注对公路工程质量产生显著影响的关键环节、关键指标和关键要求。

2、本标准涉及公路路面基层锂渣基结合料的术语和定义、材料、技术要求和试验方法、检验规则、包装、标志、运输和贮存等技术内容，力求锂渣基结合料用于公路路面基层技术内容上的相对完整，并遵循兼顾协调发展原则，实现经济效益、社会效益和环境效益的统一。

3、合理利用江西地区资源，推广和应用先进技术成果，在符合使用要求的情况下，突出江西地区特色和产品的适用性与技术性原则，做到技术上先进、经济上合理、操作上可行。

(二) 依据

本标准根据 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规则和有关规定进行编制，并按照《江西省公路学会团体标准管理办法》相关要求进行标准的编制工作。

四、主要技术内容(如技术指标、参数、公式、性能要求、试验方式、检验规则等的说明)

(一) 标准有关条文

1、术语和定义

(1) 一般工业固体废物

该定义依据生态环境部和国家市场监督管理总局发布的 GB 18599—2020《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》。

(2) 锂渣

本标准所涉及的锂渣是指将锂云母或锂辉石等含锂矿石，经采选冶工艺产生的符合环保要求的一般固废，不属于危险废物。

(3) 锂渣基结合料

本标准规定的锂渣基结合料是将属于第Ⅰ类一般工业固体废物的净化锂渣与活性组分和激发组分配制而成的无机结合料。

2、原材料

(1) 锂渣

本标准所涉及的锂渣应属于国家标准 GB 18599—2020《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》规定的Ⅰ类一般工业固体废物，且用于结合料生产的锂渣必须具有固体废物属性鉴别报告及出厂质量证明文件。

(2) 矿渣/矿渣粉

矿渣或矿渣粉质量要求依据现有国家标准。

(3) 石膏

石膏质量要求依据现有国家标准。

3、技术要求和试验方法

(1) 环保指标

锂渣基结合料水溶性盐含量限值参照 DB36/T 1968—2024；浸出液污染物浓度指标参照 DB36/T 1968—2024，严于 GB 5085.3—2007 要求。放射性应符合 GB 6566 的要求。

(2) 理化性能指标

锂渣基结合料的物理化学性能指标参照 JT/T 994—2015《公路工程 路面基层稳定用水泥》的有关规定。

4、检验规则

本部分内容规定了锂渣基结合料的编号、取样方法、检验项目和判定，主要参照 GB 175—2023《通用硅酸盐水泥》、JT/T 994—2015《公路工程 路面基层稳定用水泥》等标准的有关规定。

5、包装、标志、运输和贮存

本部分内容规定了锂渣基结合料的包装、标志、运输和贮存，主要参照 GB 175—2023《通用硅酸盐水泥》、JT/T 994—2015《公路工程 路面基层稳定用水泥》等标准的有关规定。

(二) 标准有关说明

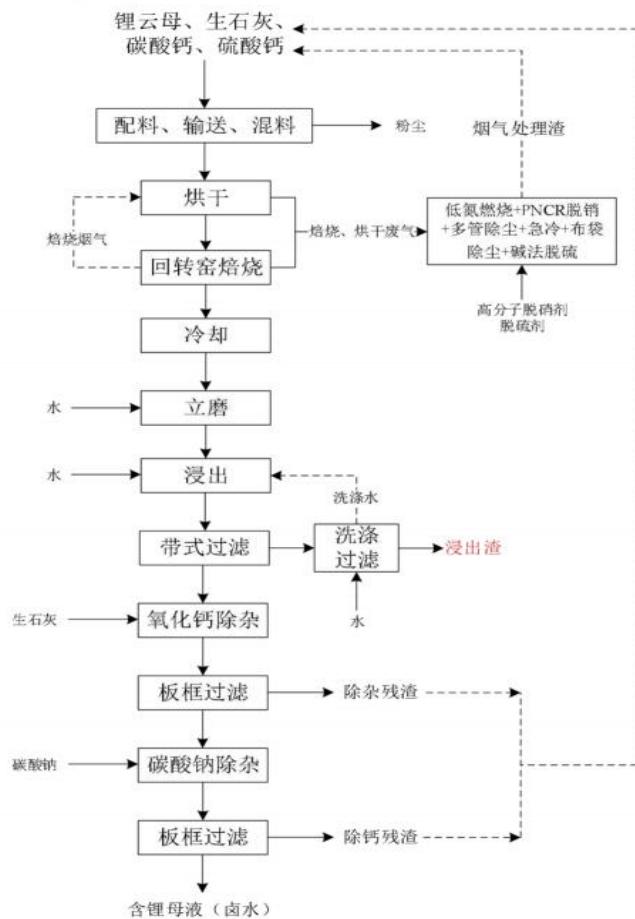
1、锂渣的属性鉴别

本标准所涉及的锂渣主要是宜丰九岭锂业有限公司、奉新时代新能源材料有限公司、江西飞宇新能源科技有限公司等合法合规企业生产的一般固体废物，均出具了一般工业固体废物鉴定报告。

以九岭锂业为例，根据《江西省生态环境厅关于印发《固体废物环境管理指南 锂盐生产（试行）的通知》（赣环固体字【2023】372号）文件精神，为落实浸出渣等固体废物管理属性认定的相关要求，宜丰九岭锂业有限公司委托江西德正环境技术有限公司对其生产线上浸出后经带式过滤机固液分离产生的浸出渣进行危险性鉴别，确定其管理属性，本鉴别结论将今后该厂浸出渣等固废等属性的依据。

（1）鉴别对象

本次鉴别的对象为宜丰九岭锂业有限公司原料焙烧浸出后经带式过滤机固液分离产生的浸出渣。



（2）鉴别过程

江西德正环境技术有限公司收集了项目相关资料，开展了现场调查，并按照《危险废物鉴别技术规范》(HJ298-2019)于2023年11月16日，对宜丰九岭锂业有限公司原料焙烧浸出后经带式过滤机固液分离产生的浸出渣进行了采样及样品的初筛预实验分析。

在此基础上，按照危险废物鉴别相关规定，编制完成了《宜丰九岭锂业有限公司浸出渣危险特性鉴别方案(评审稿)》，并于2023年12月30日通过宜丰九岭锂业有限公司组织召开

的鉴别方案技术论证会，形成了专家组意见。会后，根据专家组意见，对鉴别方案进行了修改完善，形成了《宜丰九岭锂业有限公司浸出渣危险特性鉴别方案(修改稿)》，以指导本次鉴别工作的开展及报告编制。

(3) 固体废物属性判定

《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2020 修订)中对固体废物的定义为：“是指在生产、生活和其他活动中产生的丧失原有利用价值或者虽未丧失利用价值但被抛弃或者放弃的固态、半固态和置于容器中的气态的物品、物质以及法律、行政法规规定纳入固体废物管理的物品、物质。经无害化加工处理，并且符合强制性国家产品质量标准，不会危害公众健康和生态安全，或者根据固体废物鉴别标准和鉴别程序认定为不属于固体废物的除外。”

被鉴别对象浸出渣属于《固体废物鉴别标准通则》(GB 34330—2017)中 4.2 生产过程中产生的副产物第 b 类“在物质提取、提纯、电解、电积、净化、改性、表面处理以及其他处理过程中产生的残余物质”；可以判定浸出渣属于固体废物。

根据“危险特性的识别与筛选”，结合鉴别方案专家论证会意见及修改情况，后续检测项目如下：

浸出渣浸出毒性:总锌、总铬、六价铬、总钡、总砷、总硒、无机氟化物、总铍、总铅、总镍、总汞、烷基汞、总镉、总银、铊。

毒性物质含量:铊、钒、锰、钛、铍、锑、铅、镍、钡、钴、铬、锡。

(4) 样品采集

企业生产线连续生产，固废连续过滤，连续产生。采样时间和频次按照 HJ 298—2019 中 4.4.1 所规定的连续产生：样品应分次在一个月(或一个生产时段)内等时间间隔采集；每次采样在设备稳定运行的 8 小时(或一个生产班次)内完成。每采集一次，作为 1 个份样。按照《危险废物鉴别技术规范》(HJ298—2019)和《工业固体废物采样制样技术规范》(HJ/T20—1998)进行采集、运输。

(5) 结论

**宜丰九岭锂业有限公司浸出渣
危险特性鉴别报告**

委托单位：宜丰九岭锂业有限公司
 编制单位：江西德正环境技术有限公司
 2024年8月



**宜丰九岭锂业有限公司浸出渣
危险特性鉴别报告摘要表**

委托单位	宜丰九岭锂业有限公司	检测报告编号	RHL2404166G1
地址	江西省宜春市宜丰县工业园凯扬路		
被鉴别对象	浸出渣		
被鉴别对象描述	原料焙烧浸出后经带式过滤机固液分离产生的浸出渣		
采样方式	青岛斯坦德衡立环境技术研究院有限公司按照《危险废物鉴别技术规范》(HJ298-2019)要求进行现场采样		
鉴别结论	<p>1、根据浸出渣的产生工段、初筛结果及理论分析，可排除该固体废物的易燃性、反应性、腐蚀性和急性毒性危险特性。</p> <p>2、100份浸出渣样品中的相关指标检测浓度均小于《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》(GB5085.3-2007)规定的限值。</p> <p>3、100份浸出渣样品所测毒性物质含量、同类物质累加、毒性物质累积毒性均小于《危险废物鉴别标准 毒性物质含量》(GB5085.6-2007)中所规定的标准限值。</p> <p>综上所述，宜丰九岭锂业有限公司产生的浸出渣不具有GB5085.1~GB5085.6中任何一项危险特性，不属于危险废物，为一般工业固体废物。</p>		
	编制人：周潇松	审核人：曾常华	
	时间：2024年7月28日		

结论：综上所述，宜丰九岭锂业有限公司产生的浸出渣不具有 GB5083.1~GB5085.6 中任何一项危险特性，不属于危险废物，为一般工业固体废物。

2、锂渣制备无机结合料的经济社会效益

本标准所述锂渣基结合料是国内外先进的低碳低钙结合料技术，其生产过程简单、无煅烧、碳排放和能耗相比于波特兰水泥下降超过 80%，具有显著的低碳排放和低能耗优势。

锂渣基结合料在大宗消纳工业固废的同时，利用固废原料中特定组分之间的协同反应形成可与波特兰水泥（强度指标不低于 P.O 32.5）相比拟的无机结合料，其一次自然资源消耗为零，具有显著的经济效益和环境优势；锂渣基结合料具有低水化热、低收缩和高耐化学侵蚀的本征性能优势。

(三) 主要技术指标、参数、试验论证的论述

1、锂渣物理化学性质

锂渣外观呈黄色或褐色或黑色，烘干后大多呈粉末状，比表面积较大，呈现多孔结构。锂渣是锂矿石经高温焙烧后形成的化学性质稳定的硅铝质活性渣，其化学成分主要是 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 等。表 1 为国内典型锂渣的化学组成，因锂矿原料和提锂工艺的不同，锂渣在密度、粒径和化学组成上略有差异。

锂渣成分与硅酸盐水泥的原料组分相似，故可应用于建材领域，这是锂渣目前最主要的消纳途径。锂渣的钙/(硅+铝)比值为 0.002~0.368，远低于水泥的 2.022~2.994。当该比值小于 1 时，材料具有潜在的火山灰反应性，比值大于 1 时，材料具有水化反应性。

锂渣虽具有火山灰活性，但其活性较低，易引起水泥混凝土的力学性能和耐久性降低，因此要推进锂渣应用于水泥基材料必须增强锂渣的水化活性。主要方法分为物理激发和化学激发。物理激发是通过机械作用增加内部缺陷，增大锂渣比表面积和表面能。化学激发是在锂渣中掺入酸、碱、盐等激发锂渣的活性，破坏锂渣中的四面体网络结构以增强其水化硬化能力。

表 1 国内典型锂渣的化学组成 (%)

锂渣产地	锂矿原料	工艺	SiO_2	Al_2O_3	CaO	SO_3	K_2O	Na_2O	MgO	Fe_2O_3
江西	锂云母	硫酸盐焙烧法	46.84	13.01	10.62	12.59	6.37	3.26	0.69	2.39
江西	锂云母	氯盐压煮法	47.62	21.56	2.02	0.03	3.05	10.68	0.12	0.48
江西	锂云母	硫酸盐焙烧法	78.60	8.70	—	2.50	3.80	0.90	0.003	0.43
四川	锂辉石	硫酸焙烧法	62.00	20.51	3.63	4.48	0.52	0.50	0.51	1.01
新疆	锂辉石	硫酸焙烧法	47.72	23.10	14.02	12.14	0.33	0.14	0.54	1.24
江苏	锂辉石	碳酸钙焙烧法	62.40	22.10	4.53	6.73	0.52	0.89	0.49	1.06

依据 GB/T 176—2017，通过取样测试了 10 批次锂渣基结合料的化学组分，试验结果见表 2 所示。

表 2 锂渣基结合料主要化学组成 (%)

样品名称	SiO_2	Al_2O_3	CaO	SO_3	K_2O	Na_2O	MgO	Fe_2O_3	烧失量
结合料1	24.33	16.32	43.91	6.52	1.55	0.31	3.91	2.03	2.70
结合料2	25.30	15.77	43.40	6.50	1.05	0.33	5.69	1.54	2.55
结合料3	25.73	15.81	42.66	6.67	1.22	0.33	4.76	1.74	2.00
结合料4	24.7	15.00	43.58	5.66	1.63	0.42	4.56	1.94	2.48
结合料5	23.71	16.89	41.77	5.84	1.12	0.33	4.55	2.02	2.95
结合料6	25.24	14.16	42.15	7.00	1.42	0.42	5.13	1.88	2.52
结合料7	23.45	15.91	41.83	7.23	1.86	0.43	5.23	2.38	2.78
结合料8	24.64	14.91	41.41	7.64	1.49	0.33	5.11	2.22	2.75
结合料9	24.22	15.61	43.64	6.30	1.77	0.33	5.13	1.33	2.49
结合料10	25.37	15.79	41.98	6.86	1.72	0.32	4.51	1.87	2.56

2、环保指标

(1) 水溶性盐

依据 NY/T 1121.16，通过取样测试了 10 批次锂渣基结合料的水溶性盐，试验结果见表 3 所示。

表 3 锂渣基结合料水溶性盐含量(%)

样品名称	水溶性盐含量
结合料1	3.0
结合料2	3.8
结合料3	3.9
结合料4	2.7
结合料5	2.9
结合料6	3.4
结合料7	4.7
结合料8	3.4
结合料9	3.5
结合料10	4.4

(2) 浸出液污染物浓度限值

依据 HJ 557、GB 5085.3 规定的方法，通过取样测试了 10 批次锂渣基结合料的浸出液污染物浓度限值，试验结果见表 4 所示。

表 4 锂渣基结合料浸出液污染物浓度限值(mg/L)

项目	结合料 1	结合料 2	结合料 3	结合料 4	结合料 5	结合料6	结合料 7	结合料 8	结合料 9	结合料 10
总镍	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
总铜	0.0008	0.0016	0.0012	0.0018	0.0010	0.0013	0.0007	0.0023	0.0018	0.0002
总锌	0.0185	0.0335	0.0036	0.0191	0.0145	0.0009	0.0338	0.0330	0.0386	0.0048
总镉	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
总铅	0.0030	0.0006	0.0021	0.0010	0.0018	0.0023	0.0006	0.0035	0.0031	0.0028
总铬	0.00042	0.00009	0.00027	0.00036	0.00002	0.00036	0.00021	0.00046	0.00021	0.00043
总锰	0.021	0.036	0.018	0.018	0.035	0.035	0.038	0.000	0.011	0.036
总银	0.0026	0.0461	0.0361	0.0238	0.0510	0.0401	0.0078	0.0111	0.0165	0.0564
总铍	0.00027 5	0.00030 6	0.00019 8	0.00022 7	0.00025 2	0.00023 3	0.00023 6	0.00018 6	0.00019 2	0.00025 7
总铊	0.00113	0.00127	0.00083 3	0.00091 3	0.00094 6	0.00082 3	0.00090 6	0.00065 3	0.00060 3	0.00092 7
总汞	0.006	0.002	0.020	0.025	0.012	0.010	0.008	0.010	0.004	0.014
氟化物	2.12	4.27	0.97	6.20	2.16	4.68	2.58	5.86	2.19	0.35
硫化物	0.57	0.21	0.26	0.34	0.25	0.11	0.07	0.08	0.12	0.34
总氯化合物	0.11	0.16	0.21	0.17	0.19	0.01	0.14	0.20	0.24	0.04

(3) 放射性

依据 GB 6566 的方法，通过取样测试了 10 批次锂渣基结合料的放射性，试验结果见表 5 所示。

表 5 锂渣基结合料放射性 (%)

项目	结合料 1	结合料 2	结合料 3	结合料 4	结合料 5	结合料 6	结合料 7	结合料 8	结合料 9	结合料 10
内照射	0.5	0.5	0.4	0.6	0.3	0.3	0.7	0.6	0.5	0.6
外照射	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.6	0.5	0.5	0.4

3、锂渣基结合料理化性能指标

(1) 强度

依据 GB/T 17671 的方法，通过取样测试了 10 批次锂渣基结合料的强度性能指标，试验结果见表 6 所示。

表 6 锂渣基结合料强度性能 (MPa)

样品名称	抗折强度		抗压强度	
	7	28	7	28
结合料 1	3.7	7.1	17.4	34.0
结合料 2	4.5	7.5	19.1	33.9
结合料 3	3.7	7.5	16.4	34.2
结合料 4	3.9	7.9	16.8	34.8
结合料 5	4.2	7.7	17.5	33.4
结合料 6	4.2	7.4	17.0	34.9
结合料 7	4.0	8.1	18.3	35.2
结合料 8	3.7	7.8	18.0	34.5
结合料 9	4.4	8.2	19.1	34.9
结合料 10	3.8	7.3	15.6	34.7

(2) 细度、安定性、凝结时间、线膨胀率

依据 GB/T 1345、GB/T 1346、JT/T 994、JC/T 313 的方法，通过取样测试了 10 批次锂渣基结合料的安定性、凝结时间、线膨胀率，试验结果见表 7 所示。

表 7 锂渣基结合料安定性、凝结时间、线膨胀率

项目	结合料 1	结合料 2	结合料 3	结合料 4	结合料 5	结合料 6	结合料 7	结合料 8	结合料 9	结合料 10
细度/%	8.4	8.3	7.5	7.3	8.2	8.1	7.4	7.5	8.5	7.6
沸煮法	合格									
浸水法	合格									
初凝时间(h)	4.07	3.70	3.78	3.98	3.97	3.97	3.67	3.87	3.98	3.72

终凝时间(h)	7.12	7.28	7.25	6.83	8.23	7.25	8.17	7.03	7.23	6.67
7d 线膨胀率/%	0.165	0.121	0.152	0.149	0.131	0.155	0.162	0.117	0.145	0.118
28d 线膨胀率/%	0.365	0.411	0.352	0.349	0.331	0.355	0.362	0.417	0.345	0.418

4、锂渣基结合料制备的无机结合料稳定材料试验验证

将锂渣基结合料与砂、石、水等材料，用于配制无机结合料稳定材料，并与普通硅酸盐水泥传统结合料配制的无机结合料稳定材料进行对比，配合比设计及试验结果如表 8 所示。

表 8 锂渣基结合料稳定材料配合比及试验结果

编号	结合料	0~5mm 砂	5~10mm 碎石	10~20mm 碎石	20~31.5 mm 碎石	最大干密度/ (g/cm ³)	最佳含水 率/%	7d 无侧限抗 压强度/MPa
P.032.5	3%	40%	15%	20%	25%	2.254	4.7	3.6
P.032.5	4%	40%	15%	20%	25%	2.298	5.0	3.9
P.032.5	5%	40%	15%	20%	25%	2.327	5.3	4.4
P.032.5	6%	40%	15%	20%	25%	2.365	5.7	4.7
锂渣基结合料	3%	40%	15%	20%	25%	2.235	5.1	3.5
锂渣基结合料	4%	40%	15%	20%	25%	2.274	5.5	3.9
锂渣基结合料	5%	40%	15%	20%	25%	2.302	5.8	4.2
锂渣基结合料	6%	40%	15%	20%	25%	2.346	6.2	4.6

5、锂渣基结合料极端环境条件下的浸出毒性

(1) 低酸浸泡（模拟低酸环境条件）

样品制备：参照 GB/T 17671—2021《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》将锂渣基结合料全部替代水泥制备成型 1 组胶砂试件，1 天后脱模，高温蒸养 48h 后冷却至室温，再破碎、过筛备用。

样品处理方法：参照 HJ/T 299—2007《固体废物-浸出毒性浸出方法-硫酸硝酸法》，按 10:1 (L/kg) 的液固比，将锂渣基结合料试件颗粒在 pH 值 3.2 的浸提剂中处理 18h。

铍、铊等浸出毒性分析：参照 HJ 557—2010《固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法》，对低酸环境处理后的锂渣基结合料试件颗粒进行浸出毒性测试。

(2) 强酸浸泡（模拟长期加速酸雨环境条件）

样品制备：参照 GB/T 17671—2021《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》将锂渣基结合料全部替代水泥制备成型 1 组胶砂试件，1 天后脱模，高温蒸养 48h 后冷却至室温，再破碎、过筛备用。

样品处理方法：参照 HJ/T 299—2007《固体废物-浸出毒性浸出方法-硫酸硝酸法》，按 10:1 (L/kg) 的液固比，将锂渣基结合料试件颗粒在 pH 值 2.2 的浸提剂中处理 18h。

铍、铊等浸出毒性分析：参照 HJ 557—2010《固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法》，对强酸环境处理后的锂渣基结合料试件颗粒进行浸出毒性测试。

(3) 高温环境（模拟长期高温环境条件）

样品制备：参照 GB/T 17671—2021《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》将锂渣基结合料全部替代水泥制备成型 1 组胶砂试件，1 天后脱模，高温蒸养 48h 后冷却至室温。然后在 80℃ 高温烘烤 18h，再冷却、破碎、过筛备用。

铍、铊等浸出毒性分析：参照 HJ 557—2010《固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法》，对高温环境处理后的锂渣基结合料试件颗粒进行浸出毒性测试。

(4) 干湿循环环境（模拟长期干湿交替环境条件）

样品制备：参照 GB/T 17671—2021《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》将锂渣基结合料全部替代水泥制备成型 1 组胶砂试件，1 天后脱模，高温蒸养 48h 后冷却至室温。然后参照 GB/T 11969—2020《蒸压加气混凝土性能试验方法》经 15 次干湿循环后的试件，继续在 (60±5)℃ 下烘至恒质，取出并密封冷却至室温。再破碎、过筛备用。

铍、铊等浸出毒性分析：参照 HJ 557—2010《固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法》，对于湿循环环境处理后的锂渣基结合料试件颗粒进行浸出毒性测试。

(5) 冻融循环环境（模拟长期冻融环境条件）

样品制备：参照 GB/T 17671—2021《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》将锂渣基结合料全部替代水泥制备成型 1 组胶砂试件，1 天后脱模，高温蒸养 48h 后冷却至室温。然后参照 GB/T 50082—2024《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》经 50 次冻融循环后的试件，取出至室温。再破碎、过筛备用。

铍、铊等浸出毒性分析：参照 HJ 557—2010《固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法》，对冻融循环环境处理后的锂渣基结合料试件颗粒进行浸出毒性测试。

(6) 碳化环境（模拟长期碳化环境条件）

样品制备：参照 GB/T 17671—2021《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》将锂渣基结合料全部替代水泥制备成型 1 组胶砂试件，1 天后脱模，高温蒸养 48h 后冷却至室温。然后参照 GB/T 50082—2024《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》经 14 天碳化后的试件，取出破碎、过筛备用。

铍、铊等浸出毒性分析：参照 HJ 557—2010《固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法》，对碳化环境处理后的锂渣基结合料试件颗粒进行浸出毒性测试。

(7) 硫酸盐侵蚀环境（模拟长期硫酸盐侵蚀环境条件）

样品制备：参照 GB/T 17671—2021《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》将锂渣基结合料全部替代水泥制备成型 1 组胶砂试件，1 天后脱模，高温蒸养 48h 后冷却至室温。然后参照 GB/T 50082—2024《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》经 5 次硫酸盐干湿循环后的试件，取出破碎、过筛备用。

铍、铊等浸出毒性分析：参照 HJ 557—2010《固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法》，对硫酸盐侵蚀环境处理后的锂渣基结合料试件颗粒进行浸出毒性测试。

试验结果如下表 9 所示：

表 9 锂渣基结合料极端环境条件下的浸出毒性

样品名称	极端环境条件	Be 浸出毒性 ($\mu\text{g}/\text{L}$)	Tl 浸出毒性 ($\mu\text{g}/\text{L}$)
锂渣基结合料试件	低酸, pH=3.2	0.145	0.321
锂渣基结合料试件	强酸, pH=2.2	未检出	0.068
锂渣基结合料试件	高温, 80℃	未检出	0.468
锂渣基结合料试件	干湿循环, 15 次	未检出	0.522
锂渣基结合料试件	冻融循环, 50 次	0.006	0.729
锂渣基结合料试件	碳化, 14 天	未检出	0.486
锂渣基结合料试件	硫酸盐干湿循环, 5 次	0.004	0.743

五、国家标准、行业标准、地方标准同类标准技术内容的对比情况

目前国外无锂渣基结合料标准。

六、与现行相关法律、法规、国家标准、行业标准、地方标准的关系

本标准符合现行相关法律法规，也符合江西省公路学会团体标准范围。目前国家、行业或地方均未出现锂渣基结合料应用于公路路面基层的相关标准，江西省公路学会在全国率先制定该项技术标准，可填补行业空白，引领江西锂渣固废利用的技术发展。

七、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

无。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

在标准的编制过程中，广泛征求了行业相关单位和业内专家的意见和建议，主要针对标准中各项技术指标的要求范围做了深入研讨，各单位和行业专家结合自身的工程经验提出了技术依据，最终对标准内容达成一致。本标准在编制制定过程中，没有产生重大分歧意见。

九、涉及专利情况说明

经检索，本标准所列技术内容不涉及专利和相关知识产权。

十、本标准宣贯和推广应用的实施计划与措施

标准颁布实施后，相关部门应做好标准宣贯培训工作，制定相应的实施方法，使本规程得以认真执行，在规范锂渣安全高效利用、推广锂渣基结合料用于公路路面基层相关技术和推动锂渣基系列产品技术研发及产业化应用方面起到重要的指导作用。

十一、其他应予说明的事项

无。