

建材行业标准《锂渣粉在混凝土中应用技术 规范》

编制说明

(征求意见稿)

**建筑材料工业技术情报研究所
2026年1月**

《锂渣粉在混凝土中应用技术规范》建材行业标准

编制说明

1 标准编制工作概况

1.1 任务来源

根据《工业和信息化部办公厅关于印发2024年第一批行业标准制修订计划的通知》（工信厅科【2024】18号）要求，由建筑材料工业技术情报研究所负责组织行业标准《锂渣粉在混凝土中应用技术规范》（计划编号2024-0339T-JC）的编制工作。标准归口建材工业综合标准化技术委员会。

1.2 起草单位

标准由建筑材料工业技术情报研究所等单位共同起草，形成《锂渣粉在混凝土中应用技术规范》标准的编制组。本标准主编单位共6家，参编单位共26家。包括高校（4家）、科研院所（8家）、施工单位（2家）和生产企业（18家）等。涵盖了生产、消费、管理、研究、施工等相关领域的专家。

表1.2.1 主要参加单位及其所做工作

序号	主要完成工作	主要完成单位	成员
1	行业状况及产品应用的前期调研	建筑材料工业技术情报研究所、中国科学院过程工程研究所、宜宾市天宜锂业科创有限公司、天齐锂业股份有限公司、湖州昂狮环保有限公司、雅化锂业（雅安）有限公司、安徽先进建筑材料研究院有限公司	马旺坤、张建波、武文粉、岳代文、涂明江、王雪铨、董兴旺、陈鑫
2	国内外技术材料及相关标准的搜集	建筑材料工业技术情报研究所、四川卡森科技有限公司、雅保管理（上海）有限公司、盛新锂能集团股份有限公司、厦门兑泰新材料科技有限公司、河北吉诚新材料有限公司、新余市汇益信新材料有限公司、中建商品混凝土有限公司	郭翠芬、刘登贤、陈思屹、周祎、李文娟、周庭、赵斌、包明
3	确定各项性能要求	全体参编单位	全体参编人员
4	提供验证试验数据	建筑材料工业技术情报研究所、华北理工大学、哈尔滨工业大学、四川省建材工业科学研究院有限公司、四川省建筑	郭翠芬、王彬、贾援、李世博、李学英、王建、赵斌、袁宇鹏、刘洋、

		科学研究院有限公司、中冶建筑研究总院有限公司、眉山市城投建筑材料有限公司、成都宏基建材股份有限公司、四川华西绿舍建材有限公司、成都治兴润达新型建材有限公司、建筑材料工业技术监督研究中心	张林涛、张亮亮、刘林冲、黄加宝、孙远松、刘登贤、唐霖、刘嘉敏、李兴昌
5	资料汇总整理	建筑材料工业技术情报研究所、四川省工业环境监测研究院、江西绿蓝创新建材有限公司、江西省建材科研设计院有限公司、江西赣锋锂业集团股份有限公司、江西九岭锂业股份有限公司、中国矿业大学（北京）、石家庄科技职业学院	郭翠芬、张建、蒲灵、李思锐、叶江惠、王红英、黄高明、鲁亚、朱亮亮、陈凯、刘泽、王思纯、郭翠丽
6	编写及完善编制说明等相关文件	建筑材料工业技术情报研究所、中国科学院过程工程研究所、四川华西绿舍建材有限公司、四川路航建设工程有限责任公司、眉山市城投建筑材料有限公司、中铁上海工程局集团有限公司	马旺坤、郭翠芬、郭群、李会泉、张荣华、张剑宁、蒋华斌、李杨、林福生、韦国栋

1.3 编制背景和意义

目前，全球锂矿资源主要分布在南美洲、澳大利亚和中国等地。其中，澳大利亚是全球最大的锂矿生产国，占据了全球约 50% 的市场份额。而中国则是全球最大的锂矿消费国，占据了全球约 60% 的市场份额。我国锂资源按赋存形态主要分为盐湖卤水型（占比 75%~85%）、硬岩型（约 15%，含锂辉石与锂云母）、黏土型（占比<5%）三大类。

其中从锂矿石中提锂是目前生产锂产品的主要途径。锂渣是锂矿石提锂过程中的主要工业副产品，按照提锂矿石种类不同分为锂辉石渣和锂云母渣两种，国内锂辉石开采较早，锂辉石渣的应用已比较成熟，但随着锂电行业热度的增加，锂云母矿石开采也逐渐成熟起来，其排渣量也日益剧增。据测算，锂辉石提锂每生产 1 t 碳酸锂就会生成近 10 t 的锂渣；锂云母提锂每生产 1 吨碳酸锂，产生 25t 以上的锂渣。据中国有色金属工业协会锂业分会统计，2024 年，我国基础锂盐产量同比增长超 30%，具体数据显示：碳酸锂产能 130 万吨，产量 70.1 万吨；氢氧化锂产能 74 万吨，产量 41.4 万吨；氯化锂产能 3 万吨，产量 2.4 万吨。据此测算，年产生锂渣上千万吨，锂渣的堆积将造成大量的土地浪费与环境污染，如何合理处置利用锂渣是重要的技术难题。

研究表明，锂渣粉作为混凝土掺合料除了微级配填充外，其中含有的活性成

分 SiO_2 和 Al_2O_3 能够与水泥水化产物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生弱火山灰反应，生成具有一定强度的胶凝性物质-水化硅酸钙，细化了混凝土的凝胶孔，在一定程度上可以提高混凝土的强度。同时，颗粒微细的锂渣填充于混凝土的孔隙中，形成致密的网状结构，提高了砂浆的和易性，同时改善了混凝土的微观结构，使混凝土内部结构更加密实，有助于提高混凝土的力学性能和耐久性能。

不同地区、不同提锂企业所产的锂渣，特性存在较大差别，其中锂辉石提锂生产工艺和技术相对稳定，锂渣化学成分和含量基本均一稳定，且活性较高。锂云母提锂工艺较多，技术水平参差不齐，导致锂渣化学成分和含量差异较大，不利因素及活性差异也较大。本规范主要指导锂辉石渣粉在混凝土中的安全应用，暂不包含锂云母渣粉。

标准的制定可以促进锂渣产生企业在提锂源头工艺进行优化，实现对锂渣中不利因素的把控，同时，对锂渣在混凝土中的应用进行分类指导和加以规范，以消除不利因素的影响。锂渣的资源化利用、变废为宝具有十分重要的资源和环境意义，还可以缓解现有建材产品天然资源短缺、生产成本升高的问题，将产生重大的经济、社会和生态效益。

1.4 主要工作过程

1.4.1 成立工作组

建筑材料工业技术情报研究所接到任务后，首先收集相关标准，查询国内外锂渣粉在混凝土中的应用情况。2024年6月和7月在四川宜宾和江西宜春就锂渣种类、产生量、化学成分及综合利用情况进行了座谈会，并进行了企业考察。同时征集参加标准制定的单位，提出了标准制定工作计划。

2024年12月在四川成都召开了第一次工作会议，线上线下共有30家单位50人参加了会议，其中包括中国建筑材料联合会、四川省经济和信息化厅、中国科学院过程工程研究所，以及锂盐企业9家，应用单位9家，科研院所6家，大专院校3家，参会代表线下42人，线上8人。对标准的初稿和主要内容进行了讨论，组成了标准工作组，明确了各成员单位的任务，并制定了详细的工作计划。



图 1.4.1 一次工作会照片

1.4.2 样品征集和验证试验

2025 年 3 月在四川华西绿舍建材有限公司、四川省建材工业科学研究院有限公司、四川省建筑科学研究院有限公司、眉山市城投建筑材料有限公司、成都宏基建材股份有限公司进行调研，并在四川华西绿舍建材有限公司组织召开了验证试验方案的研讨会。

收集到了雅化、雅保、天齐、天宜、盛新锂能、赣锋、河北吉诚和致远 8 家国内锂渣粉样品，并制定了验证试验方案。本次验证试验由建筑材料工业技术情报研究所、华北理工大学、哈尔滨工业大学、四川省建材工业科学研究院有限公司、四川省建筑科学研究院有限公司、中冶建筑研究总院有限公司、眉山市城投建筑材料有限公司、成都宏基建材股份有限公司、四川华西绿舍建材有限公司、成都治兴润达新型建材有限公司和建筑材料工业技术监督研究中心共同进行，首先对锂渣粉化学成分、物相组成进行了分析，测定了浸出毒性，验证了锂渣粉的理化性能指标、锂渣粉影响系数，锂渣混凝土的工作性能、力学性能、耐久性能，以及蒸养制度对锂渣粉混凝土的影响。

验证试验期间，标准起草组与行业技术专家、企业技术专家采取电话沟通及视频会议的方式，对试验进程，试验结果进行了充分的讨论。于 2025 年 8 月在新余市汇益信新型材料有限公司和赣锋锂业集团股份有限公司进行了锂辉石渣粉的利用情况，并在江西交投海通公路养护有限公司就锂辉石渣粉试点工作进行了交流沟通。

1.4.3 标准征求意见稿的确定

2025年12月18日在四川成都召开第二次工作会议，线上线下共有31家单位49人参加了会议，会上对标准讨论稿的主要章节进行了逐条研讨，补充修改了标准稿件。会后，在认真总结各方意见的基础上，主编单位对需要附加的试验数据进行补充，并对标准讨论稿进行修改，形成了征求意见稿，向行业内生产施工企业、科研院所、高等学校等广泛征求意见。



图 1.4.2 二次工作会照片

2 标准编制的原则和主要内容

2.1 标准制定的原则

1、规范性原则

本规范在编制过程中按照建设部的（建标【2008】182号）《工程建设标准编写规定》进行编写，力求提高规范及相关文件资料的编写质量。

2、协调性原则

本规范内容应符合国家和行业现行的方针、政策、法律、法规，另外还应与行业发展技术水平相协调，以促进技术进步、行业技术升级。本规范在与相关标准协调的基础上，充分考虑本规范材料特性和工程应用要求，广泛收集相关单位的应用经验，本着安全、环保、实用、经济的原则，按国家有关规范的编写规定进行编制。

3、科学性和先进性原则

技术要求指标的确定，不仅要考虑科学、先进，还要考虑经济、适用，即标准指标要科学先进，还要经济合理、实施便利，满足使用要求，具有可操作性。

2.2 标准内容与条文说明

2.2.1 总则

提出制定本规范的目的、适用范围以及明确本规范与国家现行有关标准的协调性。

编制本规范的目的是推动锂渣的综合利用，促进提锂行业的可持续发展。本规范从材料、配合比设计、生产施工、质量验收等方面，为锂渣粉在混凝土中的应用提供统一的技术依据和质量要求。在确保建设工程质量时，有统一的技术规范作为依据，并做到技术先进、安全可靠、经济合理。

本规范适用于以锂辉石锂渣为原料生产的锂渣粉作为矿物掺合料在混凝土中的应用，锂辉石锂渣应满足 GB 18599 规定的第 I 类一般工业固废要求。锂冶炼渣主要包含以锂辉石矿石或锂云母矿石为原料提锂产生的浸出渣，锂云母矿石提锂所产生的锂渣，因其物化特性、潜在不利因素及现有研究与应用成熟度等方面均与锂辉石锂渣存在较大差异，暂不纳入本规范适用范围。为确保锂渣粉安全应用，对锂辉石渣提出环保要求。编制组进行了系列试验并吸取了锂渣粉在混凝土中应用的最新研究成果和实际工程经验，参考和借鉴了国内先进的标准规范，广泛征求了设计、施工、建设、管理等部门的意见，旨在为锂渣粉混凝土的配合比设计和施工提供指导性和参考性的技术规定。特殊条件下或有特殊要求的工程应执行专门的规定。

在执行本规范的同时，尚应配合使用和遵守现行国家及行业标准、规范。在实际应用中，本规范做出规定的，按本规范执行，未做出规定的，按现行相关标准执行。

2.2.2 术语和符号

1、术语

根据调研及工程实际应用情况，提出了与本规范密切相关的术语 7 条，便于专业使用者易于理解或者在本规范中有不同解释的术语进行了定义。

(1) 锂冶炼渣：该条术语为首次规定。是以其来源与产生过程、主要成分以及基本性质进行了规定，是锂渣粉的前置产物。

(2) 锂渣湿粉、锂渣干粉：两条术语均参考了 YB/T 4230 中“锂渣粉”的

定义进行了规定。锂渣干粉的初始原料与“锂渣湿粉”完全相同，锂渣干粉，相对于锂渣湿粉增加了干燥、粉磨等程序，细度小，活性高、含水量低。

(3) 锂渣粉：包含了锂渣湿粉和锂渣干粉，与 YB/T 4230 中“锂渣粉”的定义不同。

(4) 胶凝材料：是指水泥与矿物掺合料的总称，参考 JGJ/T 318《石灰石粉在混凝土中应用技术规程》中“胶凝材料”定义进行了规定，便于锂渣粉混凝土配合比的设计和计算。

(5) 锂渣粉混凝土：该条术语为首次规定。锂渣粉混凝土是指采用含有一定比例锂渣粉（干基）的胶凝材料配制的混凝土，以区别于仅将其作为微量添加剂或未使用的普通混凝土。一般情况下，锂渣粉占胶凝材料的质量比不应低于 5%，且不宜高于 20%。

(6) 锂渣粉影响系数：该条术语为首次规定。锂渣粉影响系数的含义类似于粉煤灰影响系数、粒化高炉矿渣粉影响系数，可参见《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55。锂渣粉系数是在推算掺加锂渣粉的胶凝材料 28 d 胶砂抗压强度时，用于折减水泥 28d 胶砂抗压强度的一个无量纲系数。

2、符号

符号内容为本规范正文中所使用的符号与涵义，以便于在锂渣粉混凝土配合比设计和计算，以及初凝时间比计算中引用其公式。

2.2.3 原材料

1、锂渣粉

对锂渣湿粉和锂渣干粉的技术要求进行了规定，包含密度、细度、流动度比、强度活性指数、含水量、氯离子含量、三氧化硫含量、初凝时间比、安定性、碱含量和放射性。其中锂渣湿粉和锂渣干粉要求不同的性能指标有细度、强度活性指数和含水量。与 YB/T 4230 相比，没有规定比表面积和需水量比，并增加了初凝时间比和碱含量。技术要求和试验方法见表 2.2.1。

表 2.2.1 锂渣粉的技术要求和试验方法

项目	技术要求		试验方法
	锂渣湿粉	锂渣干粉	
密度 (g/cm ³)	≥ 2.4		现行国家标准《水泥密度测定方法》GB/T 208

细度 (45μm 方孔筛筛余) (%)		≤45	≤25	现行国家标准《水泥细度检验方法筛析法》GB/T 1345, 其中锂渣湿粉按水筛法的规定进行, 锂渣干粉按负压筛析法的规定进行
流动度比 (%)		≥80		现行国家标准《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046
强度活性指数 (%)	7d	≥60	≥70	现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596
	28d	≥90	≥95	
含水量 (%)		≤20	≤2.0	
氯离子含量 (%)		≤0.06		现行国家标准《水泥化学分析方法》GB/T 176
三氧化硫含量 (%)		≤8.0		
初凝时间比 (%)		≤130		附录A
安定性 (水浸法)		合格		现行行业标准《用于水泥和混凝土中的锂渣粉》YB/T 4230
碱含量 (Na ₂ O+0.658K ₂ O) (%)		≤1.5		现行国家标准《水泥化学分析方法》GB/T 176
放射性		符合GB 6566		现行国家标准《建筑材料放射性核素限量》GB 6566

(1) 细度: 锂渣粉是多孔结构, 比表面积的测定并不准确, 因此没有规定锂渣粉的比表面积。锂渣湿粉的细度取值根据III级粉煤灰细度的取值以及验证试验结果给出, 锂渣干粉的细度比II级粉煤灰细度严格一些, 通过验证试验给出。

(2) 流动度比: 本规范没有规定需水量比, 流动度比更直接、快速、综合地评估其对混凝土工作性能的实际影响。流动度比的取值根据调研和验证试验结果给出。

(3) 强度活性指数: 锂渣干粉的强度活性指数是参考 YB/T 4230 给出, 锂渣湿粉的强度活性指数取值是根据调研以及验证试验数据给出。

(4) 含水量: 锂渣干粉的含水量取值是在 YB/T 4230 的基础上放宽了要求, 从“≤1.5”放宽至“≤2.0”, 根据调研以及验证试验数据给出。锂渣湿粉的含水量规定不大于 20%, 这个含水量的锂渣湿粉通常呈潮湿粉体材料, 而非流动态, 便于运输和贮存, 贮存过程中也不宜板结。且含水量控制到 20%以内, 所需的能耗和设备成本相对可控。锂渣湿粉含水量根据调研以及验证试验数据给出。

(5) 初凝时间比: 锂渣粉三氧化硫含量较高, 可能会延缓水泥水化, 因此有必要规定, 初凝时间比的取值根据调研以及验证试验数据给出。

(6) 碱含量: 锂辉石硫酸法焙烧等主流提锂工艺中, 会加入大量石灰、纯碱或硫酸钠等碱性物质进行转型或浸出, 导致副产物锂渣中残留可溶性碱(如

Na_2O 、 K_2O ）。为了预防碱骨料反应，参考现行国家标准《预防混凝土碱骨料反应技术规范》GB/T 50733 中对硅灰碱含量的要求以及验证试验数据，规定锂渣粉碱含量的取值。

2、其他原材料

均符合国家现行标准的要求，没有特殊要求。

2.2.4 混凝土性能

规定了拌合物性能、力学性能和耐久性能，满足一般混凝土的性能。

2.2.5 配合比设计

锂渣粉混凝土配合比设计应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的规定，并应满足设计和施工要求。

1、条款“5.2.2 锂渣粉最大掺量不宜超过胶凝材料总质量的 20%，当超过该掺量时，应经过试验验证后方可使用。”

本条规定锂渣粉最大掺量不宜超过胶凝材料总质量的 20%，此限值是基于当前对锂渣粉的物理化学特性、活性效应及其对混凝土主要性能（工作性、力学性能、长期耐久性）影响的系统性试验研究与大量工程实践经验总结而提出。试验表明，适宜的锂渣粉掺量可以改善混凝土拌合物性能，降低混凝土水化热，减小收缩，对混凝土强度及耐久性影响不大，掺量过大则会对混凝土的强度及抗冻、抗硫酸盐等耐久性能产生较大影响。

2、条款“5.2.5 单位体积锂渣粉混凝土中的三氧化硫的最大含量不应超过胶凝材料总量的 4%。”

锂渣粉的三氧化硫含量比其他矿物掺合料的三氧化硫含量较高，本条规定了锂渣粉混凝土中三氧化硫最大含量的限制，具有特别重要的预防意义，是保障其长期体积稳定性的关键控制性指标。依据现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 进行了规定。

2、锂渣粉影响系数的确定。锂渣干粉和锂渣湿粉的影响系数见表 2.2.2。

表 2.2.2 锂渣粉影响系数 (γ_m)

掺量 (%)	锂渣粉影响系数	
	锂渣湿粉	锂渣干粉
0	1.00	1.00
5	0.90~0.95	0.95~1.00

10	0.85~0.90	0.90~0.95
15	0.80~0.85	0.85~0.90
20	0.75~0.80	0.80~0.85

试验表明，锂渣粉的影响系数值介于矿粉和粉煤灰之间，且锂渣干粉的影响系数取值略大于锂渣湿粉，而矿粉和粉煤灰的影响系数在现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 已给出，进而确定了锂渣干粉和锂渣湿粉的影响系数。

2.2.6 生产与施工

锂渣粉混凝土符合一般混凝土的生产与施工。就特殊条款做以下说明：

1、条款“6.2.6 在原材料计量过程中，锂渣湿粉应使用单独的计量仓，计量仓和计量系统应进行改造，保证锂渣湿粉在使用过程中下料顺利且计量准确。”

锂渣湿粉具有含水率较高、粘附性强、内聚力大、流动性差等特点，若将其与其它干性粉料共用计量仓，或使用为干粉设计的标准计量系统，湿粉会大量粘附在仓壁、锥斗及输送设备表面，造成有效容积减小、排料不畅，且清理困难。不稳定的下料状态会使计量设备无法正常工作，导致配料比例严重失调，从而影响混凝土性能。

2、条款“6.2.7 在原材料计量过程中，根据骨料和锂渣湿粉的含水量变化，调整骨料、锂渣湿粉和水的称量。”

骨料和锂渣湿粉的含水量发生变化，而称量不变，对水胶比和用水量会有影响，从而影响掺加锂渣粉的混凝土的性能。

3、条款“6.6.6 采用锂渣粉混凝土生产预制构件或制品的养护应符合下列规定……”

预制构件生产过程中常采用热养护来加速构件强度增长速度，从而达到快速脱模和吊装的要求。锂渣粉混凝土生产预制构件或制品同样可以采取热养护措施，控制升温和降温速度慢一些，可以减少温度应力对混凝土的不利影响；锂渣粉作为活性掺合料，水化产物中有大量钙矾石，在 80 °C至 90 °C之间发生显著的、导致其胶凝性能丧失的分解，其最高养护温度控制在 65 °C以内较为合理，以期控制芯部温度不超过 80 °C。

2.2.7 质量检验与验收

锂渣粉混凝土符合一般混凝土的质量检验与验收。

2.2.8 附录

规定了初凝时间比的测试方法。试验样品中对比水泥和锂渣粉按质量 7: 3 组成，参考现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GBT 1596 中需水量比试验胶砂配比进行了规定。

2.2.9 引用标准

本规范引用标准如下：

- 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080
- 《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081
- 《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082
- 《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107
- 《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119
- 《混凝土质量控制标准》GB 50164
- 《混凝土工程施工质量验收规范》GB 50204
- 《大体积混凝土施工规范》GB 50496
- 《混凝土工程施工规范》GB 50666
- 《预防混凝土碱骨料反应技术规范》GB/T 50733
- 《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003
- 《混凝土结构通用规范》GB 55008
- 《水泥化学分析方法》GB/T 176
- 《水泥密度测定方法》GB/T 208
- 《水泥细度检验方法筛析法》GB/T 1345
- 《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346
- 《建筑材料放射性核素限量》GB 6566
- 《通用硅酸盐水泥》GB 175
- 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596
- 《混凝土外加剂》GB/T 8076
- 《建筑施工机械与设备 混凝土搅拌机》GB/T 9142

《建筑施工机械与设备 混凝土搅拌站（楼）》 GB/T 10171
《水泥取样方法》 GB/T 12573
《建设用砂》 GB/T 14684
《建设用卵石、碎石》 GB/T 14685
《预拌混凝土》 GB/T 14902
《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》 GB/T 18046
《混凝土搅拌运输车》 GB/T 26408
《砂浆和混凝土用硅灰》 GB/T 27690
《工厂预制混凝土构件质量管理标准》 JG/T 565
《混凝土泵送施工技术规程》 JGJ/T 10
《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》 JGJ 52
《混凝土用水标准》 JGJ 63
《建筑工程冬期施工规程》 JGJ/T 104
《清水混凝土应用技术规程》 JGJ 169
《混凝土耐久性检验评定标准》 JGJ/T 193
《人工砂混凝土应用技术规程》 JGJ/T 241
《高强混凝土应用技术规程》 JGJ/T 281
《混凝土中氯离子含量检测技术规程》 JGJ/T 322
《用于水泥和混凝土中的锂渣粉》 YB/T 4230

3 主要验证试验情况

3.1 样品信息

共收集到8家企业的锂渣粉，且锂渣粉的原料为锂辉石锂渣，锂辉石锂渣满足GB 18599规定的第I类一般工业固废要求。锂渣干粉为锂渣湿粉烘干粉磨后得到的粉体材料。本规范相对YB/T 4230来说，没有规定比表面积和需水量比，而是规定了细度和流动度比，并且增加了初凝时间比和碱含量。YB/T 4230标准牵头单位中冶建筑研究总院有限公司目前已下达修订计划，后续标准修订中，锂渣粉的技术要求也会与本规范保持协调统一。就相关的性能指标也进行了试验，如比表面积、需水量比、pH值等。

表 3.1.1 样品信息及编号

锂渣湿粉	雅化	雅保	天齐	天宜	盛新锂能	赣锋	河北吉诚	致远
编号	WL1	WL2	WL3	WL4	WL5	WL6	WL7	WL8
锂渣干粉	雅化	雅保	天齐	天宜	盛新锂能	赣锋	河北吉诚	致远
编号	DL1	DL2	DL3	DL4	DL5	DL6	DL7	DL8

3.2 锂渣粉理化性能指标验证试验

本规范规定了密度、细度、流动度比、强度活性指数、含水量、氯离子含量、三氧化硫含量、初凝时间比、安定性、碱含量和放射性。其中锂渣湿粉和锂渣干粉要求不同的的性能指标有细度、强度活性指数和含水量。

表 3.2.1 锂渣湿粉理化性能指标验证试验结果

项目	WL1	WL2	WL3	WL4	WL5	WL6	WL7	WL8	指标
密度/(g/cm ³)	2.5	2.5	2.3	2.5	2.5	2.4	2.6	2.4	≥2.4
比表面积/(m ² /kg)	311	242	260	230	240	237	300	351	/
细度(45μm方孔筛筛余)/%	28	39	41	38	40	53	34	25	≤45
需水量比/%	113	107	98	99	110	99	115	92	/

流动度比/%	74	85	108	104	90	84	95	83	≥80
强度活性指数/%	7d	60	61	54	62	65	72	66	68
	28d	90	94	88	91.5	91	94	93	95
含水量/%	38	20	20	15	18	15	16	16	≤20
氯离子含量/%	0.008	0.002	0.006	0.002	0.005	0.002	0.009	0.005	≤0.06
三氧化硫含量/%	7.3	5.2	7.9	6.4	5.2	6.2	5.7	5.6	≤8.0
初凝时间比/%	111	118	104	107	108	112	109	125	≤130
安定性(水浸法)	合格								
碱含量($\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$)/%	0.9	1.0	0.8	0.6	0.7	1.1	1.0	0.9	≤1.5
放射性	合格	符合 GB 6566							

由表 3.2.1 可知, 锂渣湿粉的细度、流动度比、强度活性指数、含水量、初凝时间比以及碱含量基本是可以满足要求, 指标限值设定合理。其他的指标均符合 YB/T 4230 的性能要求。

表 3.2.2 锂渣干粉理化性能指标验证试验结果

锂渣干粉	密度/ g/cm^3	比表面积/ m^2/kg	细度($45\mu\text{m}$ 方孔筛筛余)/%	需水量比/%	流动度比/%	强度活性指数		含水量/%	氯离子含量/%	三氧化硫含量/%	初凝时间比/%	安定性(水浸法)	碱含量/%	放射性	pH 值
						7d	28d								
DL1-I	2.5	460	22	105	84	62	84	0	0.004	7.3	115	合格	0.9	合格	7.85
DL1-II	2.5	554	20	106	86	66	88				113				
DL1-III	2.5	607	19	107	86	71	90				112				
DL2-I	2.5	407	29	104	90	59	95	0	0.002	5.2	116	合格	0.7	合格	7.82
DL2-II	2.5	534	23	103	91	63	96				115				
DL2-III	2.5	670	13	103	92	70	98				110				
DL3-I	2.4	460	22	105	85	88	114	1.2	0.004	7.5	108	合格	0.9	合格	6.13
DL3-II	2.4	560	18	106	87	87	110				105				
DL3-III	2.4	690	12	108	83	94	110				102				
DL4-I	2.5	450	25	103	89	80	92	1.0	0.004	5.7	112	合格		合格	

锂渣干粉	密度/(g/cm ²)	比表面积/(m ² /kg)	细度(45μm方孔筛筛余)/%	需水量比/%	流动度比/%	强度活性指数		含水量/%	氯离子含量/%	三氧化硫含量/%	初凝时间比/%	安定性(水浸法)	碱含量/%	放射性	pH值
						7d	28d								
DL4-II	2.5	530	19	105	89	82	101				108		0.7		7.41
DL4-III	2.5	690	13	107	91	84	106				105				
DL5-I	2.5	460	28	/	92	75	95	1.5	0.005	5.2	109	合格	0.7	合格	/
DL5-II	2.5	570	22		89	80	98	1.3			105				
DL5-III	2.5	670	15		83	82	99	1.0			102				
DL6-I	2.4	410	27	102	95	73	99	1.4	0.003	6.2	116	合格	1.1	合格	/
DL6-II	2.4	506	18	101	92	75	95	1.2			115				
DL6-III	2.4	618	14	105	81	72	102	1.1			110				
DL7-I	2.5	440	25	/	90	75	95	1.6	0.009	5.7	112	合格	1.0	合格	/
DL7-II	2.5	540	17		87	79	98	1.4			108				
DL7-III	2.5	646	13		80	83	101	1.1			106				
DL8-I	2.4	421	23	107	80	61	97	2.3	0.005	5.6	123	合格	0.9	合格	/
DL8-II	2.4	510	13	105	81	75	105	2.0			122				
DL8-III	2.4	608	17	102	78	78	107	1.8			120				
指标	≥2.4	/	≤25	/	≥80	≥70	≥95	≤2.0	≤0.06	≤8.0	≤130	合格	≤1.5	符合 GB 6566	/

注：锂渣干粉I、II和III，是指比表面积不同，比表面积分别为“400m²/kg~500m²/kg、500m²/kg~600m²/kg 和 600m²/kg 以上”

由表 3.2.2 可知，锂渣干粉的细度、流动度比、强度活性指数、含水量、初凝时间比以及碱含量基本是可以满足要求，指标限值设定合理。其他的指标均符合 YB/T 4230 的性能要求。

3.3 锂渣粉影响系数验证试验

本规范规定了锂渣湿粉和锂渣干粉的影响系数，本部分内容主要验证锂渣粉影响系数与粉煤灰和矿粉影响系数的关系，进而确定锂渣粉影响系数。

3.3.1 配合比

锂渣粉影响系数验证试验胶砂配合比见表 3.3.1。

表 3.3.1 配合比

掺和料种类	掺合料掺量	配合比
锂渣湿粉、锂渣干粉、粉煤灰、矿粉	分别为 0、5%、10%、15%、20%、25%、30%	胶凝材料总量（水泥+掺合料）：基准 砂：水为 450:1350:225

3.3.2 锂渣湿粉影响系数验证试验

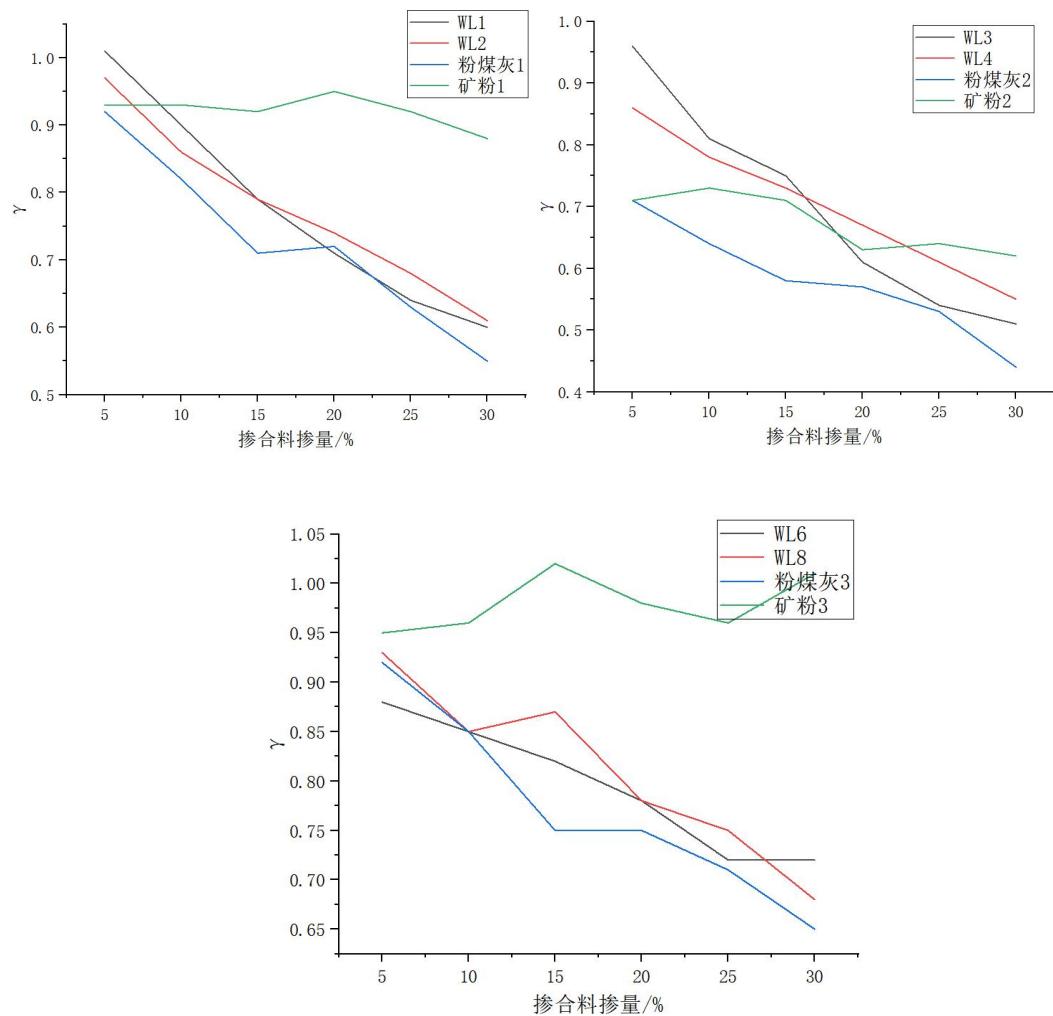


图 3.3.1 7d 抗压强度影响系数

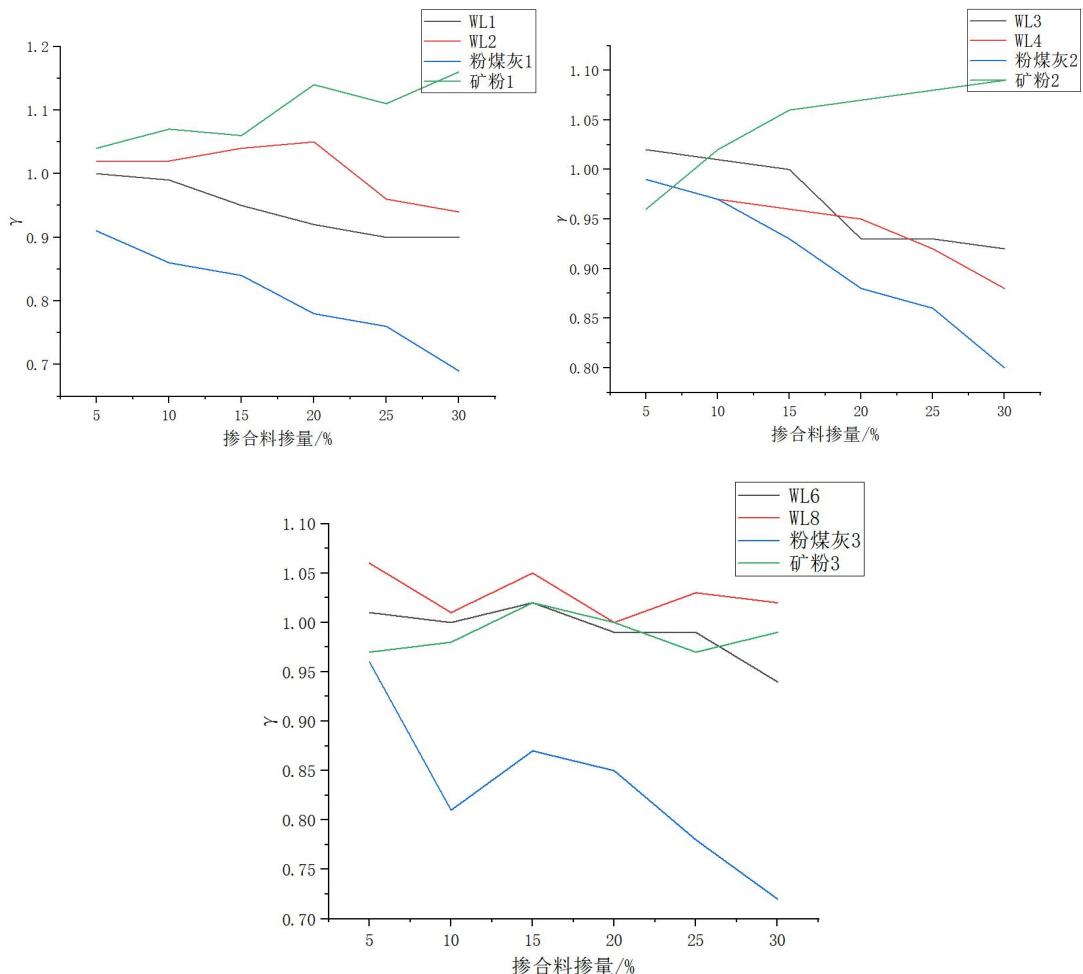
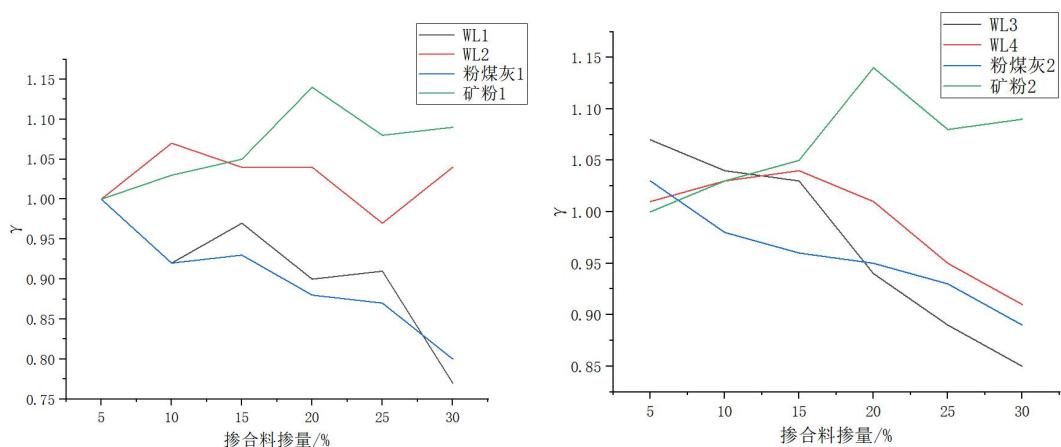


图 3.3.2 28d 抗压强度影响系数



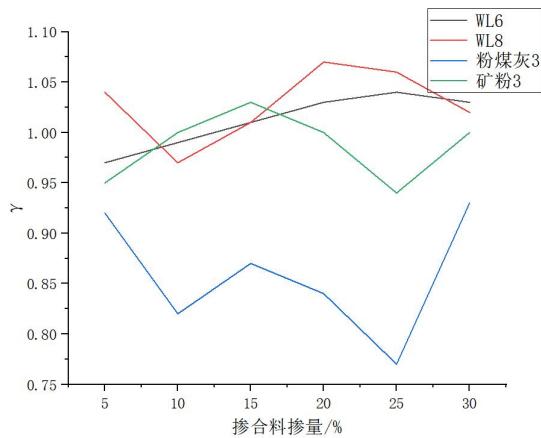


图 3.3.3 56d 抗压强度影响系数

由图 3.3.1、图 3.3.2 和图 3.3.3 可知，锂渣湿粉影响系数基本介于粉煤灰和矿粉之间，锂渣湿粉影响系数接近于粉煤灰。

3.3.4 锂渣干粉影响系数验证试验

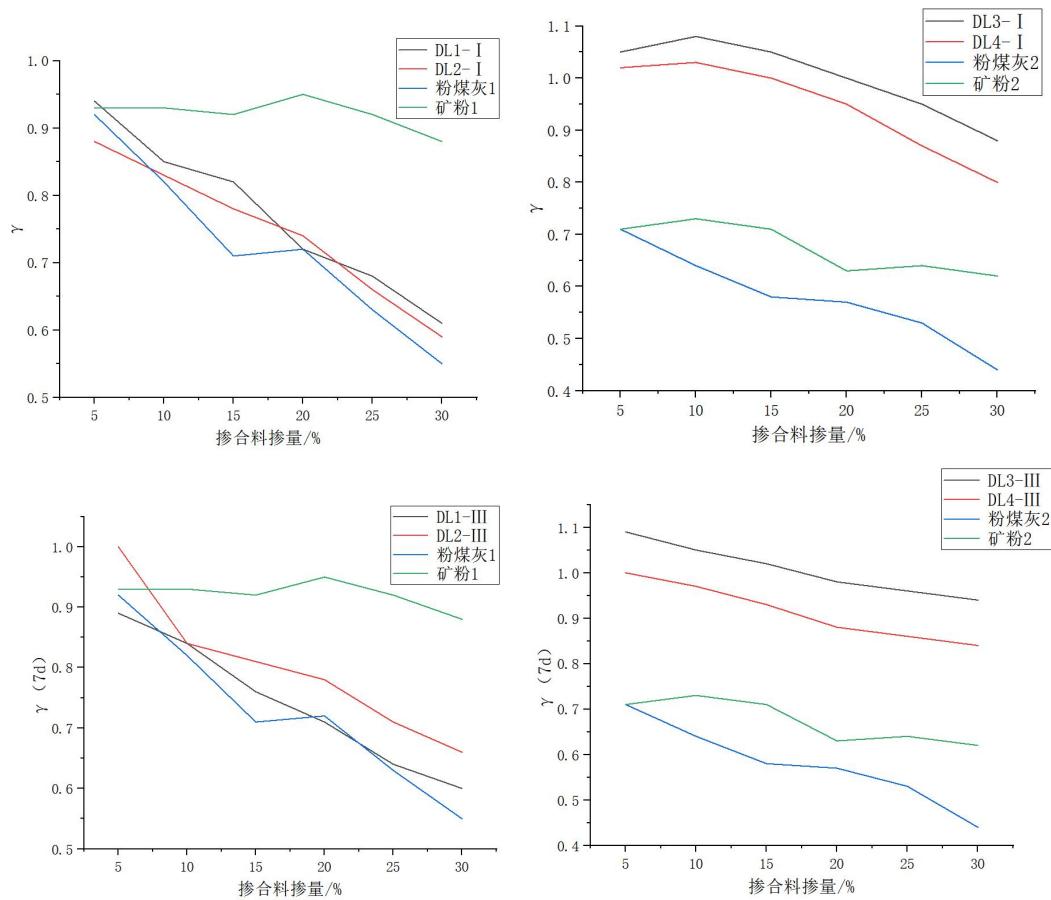


图 3.3.4 7d 抗压强度影响系数

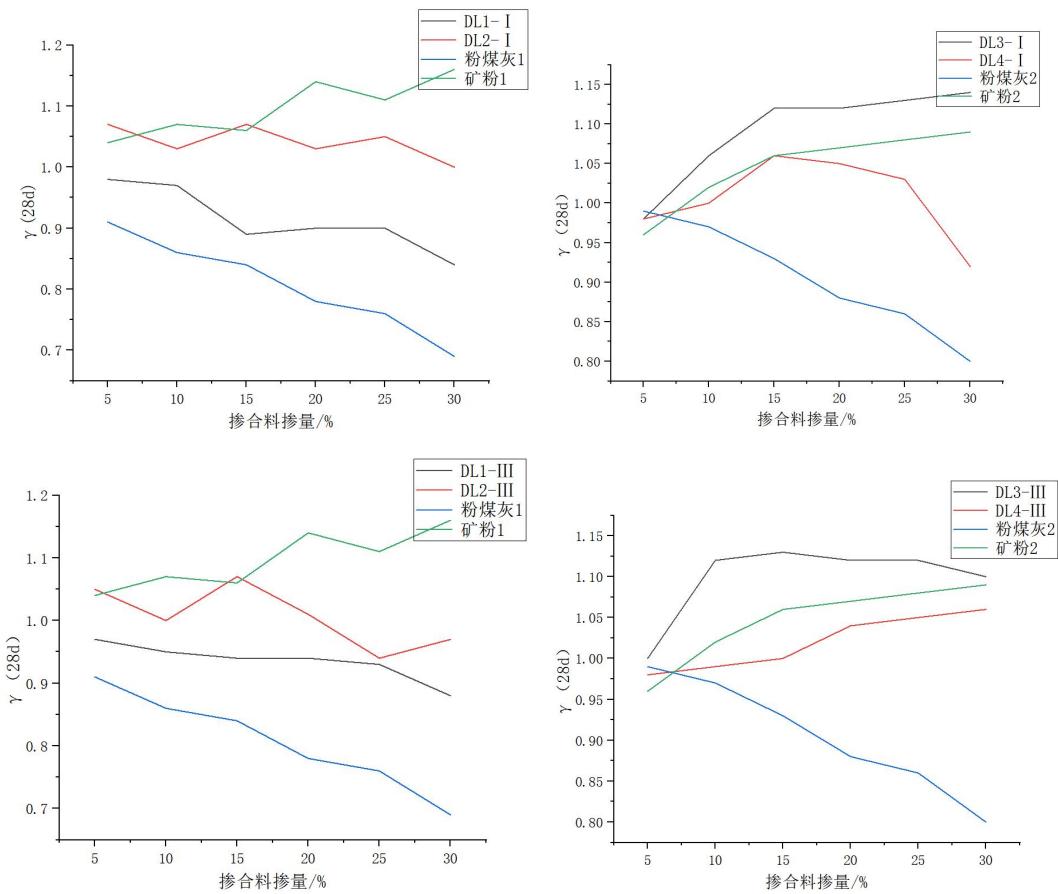


图 3.3.5 28d 抗压强度影响系数

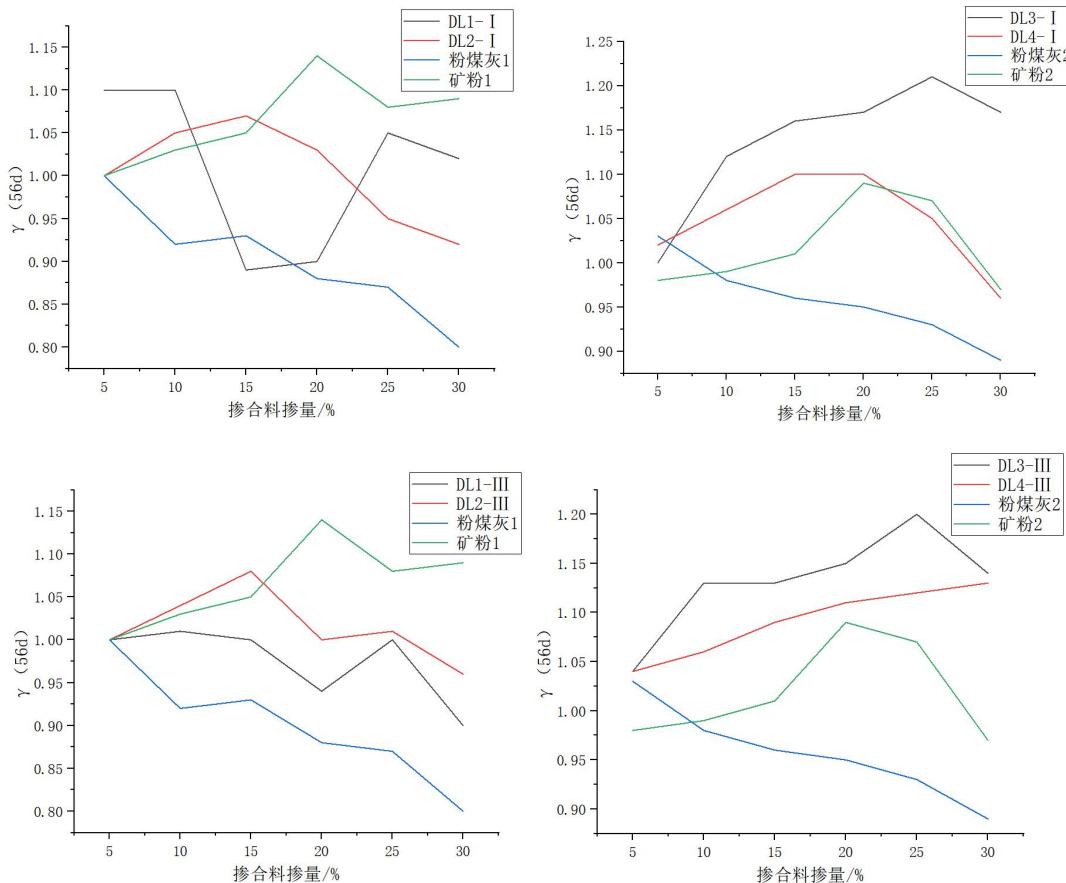


图 3.3.6 56d 抗压强度影响系数

由图 3.3.4、图 3.3.5 和图 3.3.6 可知，锂渣干粉影响系数基本介于粉煤灰和矿粉之间，且接近矿粉的影响系数，但也存在锂渣干粉的影响系数大于矿粉，如 DL3，经过适当的烘干和粉磨处理后，活性提高，有利于强度的增长。

3.3.5 锂渣湿粉和锂渣干粉影响系数对比

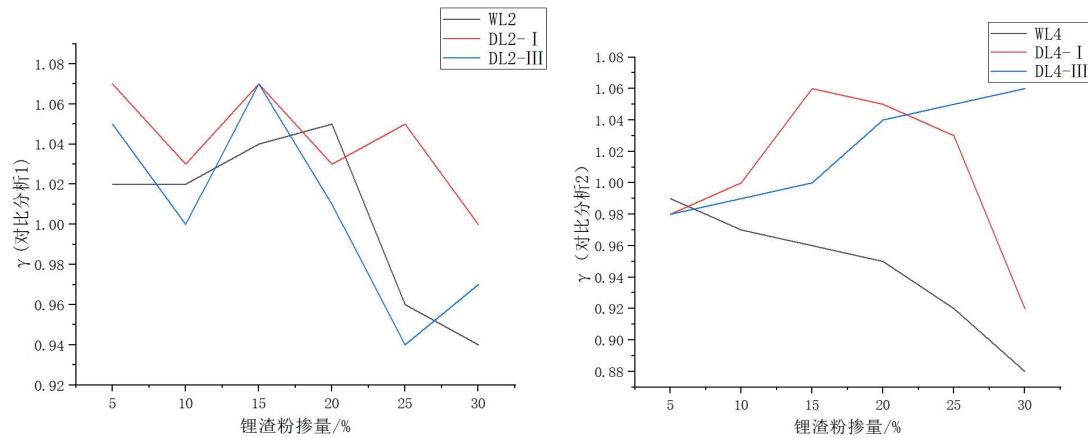


图 3.3.7 锂渣湿粉和锂渣干粉影响系数对比

由图 3.3.7 可知，锂渣干粉影响系数基本大于锂渣湿粉的影响系数，因此规范中规定影响系数取值的时候，锂渣干粉的影响系数要大于锂渣湿粉的影响系数。

3.4 锂渣粉混凝土验证试验

3.4.1 锂渣粉混凝土配合比

锂渣粉混凝土验证试验配合比见表 3.4.1。

表 3.4.1 锂渣粉混凝土配合比

锂渣粉	强度等级	锂渣粉掺量
WL2、WL3、WL6、WL7、DL2、 DL3、DL6、DL7	C30、C50	分别为 10%、15%、20%、25%

注 1：混凝土配合比应包含锂渣粉单掺，锂渣粉、粉煤灰双掺（二者掺量占胶凝材料的 40%），锂渣粉、矿粉双掺（二者掺量占胶凝材料的 50%）

3.4.1 锂渣湿粉

表 3.4.2 C30 混凝土拌合物性能验证试验数据

强度等级	锂渣粉样品	锂渣粉	粉煤灰	矿粉	坍落度 /mm	1h 坍落度/mm	扩展度 /mm	1h 扩展度/mm	凝结时间/min
C30	WL2	0	0	0	190	215	510	520	无异样
		10%	0%	0%	200	200	525	530	
		15%	0%	0%	200	220	500	560	
		20%	0%	0%	210	215	540	565	
		25%	0%	0%	200	230	530	565	

		10%	30%	0%	215	230	590	565	
		15%	25%	0%	210	225	535	565	
		20%	20%	0%	210	220	595	550	
		25%	15%	0%	210	230	585	550	
		10%	0%	40%	220	220	595	580	
		15%	0%	35%	210	230	565	595	
		20%	0%	30%	210	220	580	545	
		25%	0%	25%	220	220	575	590	
	WL3	0	0	0	初始状态良好, 2h 损失小				
		20%	0%	0%	初始状态合适, 2h 损失小				
		20%	20%	0%	初始状态正常, 2h 无损失				
		20%	0%	30%	初始状态偏大, 1h 泌浆, 2h 轻微离析				
	WL6	0	0	0	230	215	630	530	8h30min
		10%	0%	0%	225	210	590	490	9h
		15%	0%	0%	215	205	610	560	/
		20%	0%	0%	225	205	600	530	/
		25%	0%	0%	210	220	550	550	10h
		10%	30%	0%	220	210	600	520	/
		15%	25%	0%	225	215	570	500	/
		20%	20%	0%	215	215	630	600	/
		25%	15%	0%	220	200	590	550	11h
		10%	0%	40%	235	195	580	540	/
		15%	0%	35%	230	200	590	530	/
		20%	0%	30%	230	205	600	500	11h
		25%	0%	25%	230	200	600	510	12h
	WL7	0	0	0	195	185	555	475	无异样
		10%	0%	0%	205	185	560	405	
		15%	0%	0%	200	185	545	395	
		20%	0%	0%	210	185	575	425	
		25%	0%	0%	215	200	590	445	
		10%	30%	0%	210	195	560	450	
		15%	25%	0%	200	180	570	440	
		20%	20%	0%	195	180	565	405	
		25%	15%	0%	200	185	580	415	
		10%	0%	40%	190	180	600	495	
		15%	0%	35%	195	165	570	370	
		20%	0%	30%	190	200	570	350	
		25%	0%	25%	195	135	560	310	

表 3.4.2 C50 混凝土拌合物性能验证试验数据

强度等级	锂渣粉样品	锂渣粉	粉煤灰	矿粉	坍落度/mm	1h 坍落度/mm	扩展度/mm	1h 扩展度/mm	凝结时间
C50	WL2	0	0	0	200	210	550	575	无异样
		10%	0%	0%	220	210	545	600	
		15%	0%	0%	220	200	555	515	
		20%	0%	0%	220	220	545	575	
		25%	0%	0%	220	230	520	560	
		0	25%	0	230	230	610	660	
		10%	30%	0%	220	210	535	495	
		15%	25%	0%	220	200	545	415	
		20%	20%	0%	220	210	555	575	
		25%	15%	0%	230	210	600	450	
		10%	0%	40%	220	240	575	595	
		15%	0%	35%	225	240	625	560	
		20%	0%	30%	230	240	590	610	
		25%	0%	25%	220	240	620	480	
	WL3	0	0	0	220	/	580	初始轻微抓底，1h损失大，无流动性	无异样
		10%	0%	0%	210	/	550	1h 损失大	
		15%	0%	0%	230	/	600	1h 损失大	
		20%	0%	0%	220	/	590	初始轻微抓底，1h 损失大	
		25%	0%	0%	220	/	570	初始轻微抓底，1h 损失大	
		10%	30%	0%	240	/	600	初始状态略大，抓底，轻微离析，1h收回，状态合适	
		15%	25%	0%	230	/	590	初始轻微抓底，1h 损失大	
		20%	20%	0%	220	/	540	1h 损失大	
		25%	15%	0%	230	/	570	重，1h 损失大	
		10%	0%	40%	220	/	550	重，1h 损	

							失大	
		15%	0%	35%	220	/	510	合适, 1h 损失小
		20%	0%	30%	230	/	570	合适, 1h 损失小
		25%	0%	25%	210	/	560	合适, 1h 损失小
WL6	0	0	0	220	205	590	490	/
	10%	0%	0%	235	200	630	560	/
	15%	0%	0%	225	200	610	540	/
	20%	0%	0%	235	200	630	540	8h
	25%	0%	0%	225	210	590	550	/
	10%	30%	0%	225	215	600	530	/
	15%	25%	0%	225	210	600	520	/
	20%	20%	0%	235	195	630	510	9h
	25%	15%	0%	230	200	600	490	/
	10%	0%	40%	220	215	610	540	/
	15%	0%	35%	220	210	590	530	/
	20%	0%	30%	220	215	590	550	9h
	25%	0%	25%	225	210	570	510	/
WL7	0	0	0	210	/	605	/	无异样
	10%	0%	0%	220	/	580	/	
	15%	0%	0%	230	/	570	/	
	20%	0%	0%	225	/	610	/	
	25%	0%	0%	230	/	610	/	
	10%	30%	0%	230	/	580	/	
	15%	25%	0%	225	/	605	/	
	20%	20%	0%	230	/	620	/	
	25%	15%	0%	230	/	615	/	
	10%	0%	40%	230	/	595	/	
	15%	0%	35%	220	/	605	/	
	20%	0%	30%	230	/	600	/	
	25%	0%	25%	230	/	600	/	

由表 3.4.1 和表 3.4.2 可知, 不论是锂渣湿粉单掺还是与粉煤灰或矿粉双掺, 都可以得到拌合物性能良好的锂渣粉混凝土, 锂渣湿粉对混凝土的工作性能和凝结时间没有不利的影响。

3.4.2 锂渣干粉

表 3.4.3 C30 混凝土拌合物性能验证试验数据

强度等级	锂渣粉样品	锂渣粉	粉煤灰	矿粉	坍落度/mm	1h 坍落度/mm	扩展度/mm	1h 扩展度/mm	凝结时间
C30	DL2	0	0	0	200	200	445	415	无异样

		10%	0%	0%	210	210	440	445	
		15%	0%	0%	200	210	485	455	
		20%	0%	0%	210	210	525	505	
		25%	0%	0%	230	230	565	555	
		10%	30%	0%	230	220	580	535	
		15%	25%	0%	230	230	580	570	
		20%	20%	0%	230	220	550	540	
		25%	15%	0%	220	230	560	515	
		10%	0%	40%	240	240	590	575	
		15%	0%	35%	230	230	560	520	
		20%	0%	30%	220	220	535	525	
		25%	0%	25%	220	220	540	455	
	DL3	0	0	0	200	200	480	510	无异样
		10%	0%	0%	210	200	490	520	
		15%	0%	0%	210	200	480	520	
		20%	0%	0%	220	190	470	510	
		25%	0%	0%	210	190	530	540	
		10%	30%	0%	210	210	520	590	
		15%	25%	0%	200	220	520	590	
		20%	20%	0%	210	220	510	560	
		25%	15%	0%	210	210	530	580	
		10%	0%	40%	210	190	570	550	
		15%	0%	35%	220	190	520	550	
		20%	0%	30%	210	200	540	510	
		25%	0%	25%	210	190	550	570	
	DL6	0	0	0	230	200	610	430	8h
		10%	0%	0%	235	215	590	500	/
		15%	0%	0%	225	200	590	480	/
		20%	0%	0%	240	220	570	530	9h30min
		25%	0%	0%	220	190	590	470	/
		10%	30%	0%	230	210	610	530	/
		15%	25%	0%	220	210	620	520	/
		20%	20%	0%	230	215	610	530	11h20min
		25%	15%	0%	225	205	590	500	/
		10%	0%	40%	240	210	600	550	/
		15%	0%	35%	230	205	630	530	/
		20%	0%	30%	235	200	600	520	10h40min
		25%	0%	25%	230	210	580	510	/
	DL7	0	0	0	195	185	555	475	无异样
		10%	0%	0%	200	200	565	505	
		15%	0%	0%	210	200	565	535	
		20%	0%	0%	215	200	555	555	
		25%	0%	0%	210	220	575	575	

		10%	30%	0%	215	205	575	535	
		15%	25%	0%	215	205	560	515	
		20%	20%	0%	210	195	560	510	
		25%	15%	0%	205	200	570	520	
		10%	0%	40%	205	200	575	495	
		15%	0%	35%	210	200	570	495	
		20%	0%	30%	205	210	560	515	
		25%	0%	25%	210	210	570	490	

表 3.4.4 C50 混凝土拌合物性能验证试验数据

强度等级	锂渣粉样品	锂渣粉	粉煤灰	矿粉	坍落度/mm	1h 坍落度/mm	扩展度/mm	1h 扩展度/mm	凝结时间
C50	DL2	0	0	0	220	230	595	550	无异样
		10%	0%	0%	215	200	550	425	
		15%	0%	0%	220	125	495	285	
		20%	0%	0%	215	190	550	365	
		25%	0%	0%	240	180	595	365	
		0	25%	0%	240	220	610	480	
		10%	30%	0%	240	220	590	510	
		15%	25%	0%	240	190	615	420	
		20%	20%	0%	225	160	505	335	
		25%	15%	0%	230	100	575	230	
		10%	0%	40%	225	230	590	520	
		15%	0%	35%	235	225	580	470	
		20%	0%	30%	220	220	565	530	
		25%	0%	25%	240	220	620	470	
	DL3	0	0	0	200	200	520	510	无异样
		10%	0%	0%	210	200	480	510	
		15%	0%	0%	210	210	610	590	
		20%	0%	0%	210	190	530	510	
		25%	0%	0%	210	190	490	500	
		10%	30%	0%	220	210	560	580	
		15%	25%	0%	210	220	560	570	
		20%	20%	0%	230	220	590	570	
		25%	15%	0%	200	210	500	510	
		10%	0%	40%	210	190	550	550	
		15%	0%	35%	230	210	600	580	
		20%	0%	30%	220	200	560	530	
		25%	0%	25%	210	190	540	550	
	DL6	0	0	0	220	210	590	540	
		10%	0%	0%	235	215	630	560	

		15%	0%	0%	230	215	580	510	8h30min
		20%	0%	0%	230	205	580	530	/
		25%	0%	0%	230	215	600	520	/
		10%	30%	0%	230	205	600	540	/
		15%	25%	0%	230	220	600	520	9h30min
		20%	20%	0%	225	220	610	560	/
		25%	15%	0%	220	205	620	500	/
		10%	0%	40%	225	215	620	560	
		15%	0%	35%	220	205	600	530	11h
		20%	0%	30%	235	205	630	500	/
		25%	0%	25%	230	210	590	520	/
DL7	0	0	0	210	/	605	/		
	10%	0%	0%	235	/	580	/		
	15%	0%	0%	220	/	595	/		
	20%	0%	0%	225	/	595	/		
	25%	0%	0%	225	/	585	/		
	10%	30%	0%	235	/	625	/		
	15%	25%	0%	230	/	595	/		
	20%	20%	0%	225	/	575	/		
	25%	15%	0%	225	/	605	/		
	10%	0%	40%	225	/	620	/		
	15%	0%	35%	230	/	635	/		
	20%	0%	30%	225	/	615	/		
	25%	0%	25%	230	/	615	/		

无异样

由表 3.4.3 和表 3.4.4 可知，不论是锂渣干粉单掺还是与粉煤灰或矿粉双掺，都可以得到拌合物性能良好的锂渣粉混凝土，锂渣干粉对混凝土的工作性能和凝结时间没有不利的影响。

3.5 锂渣粉单掺混凝土力学性能验证试验

1、锂渣湿粉 C30 混凝土

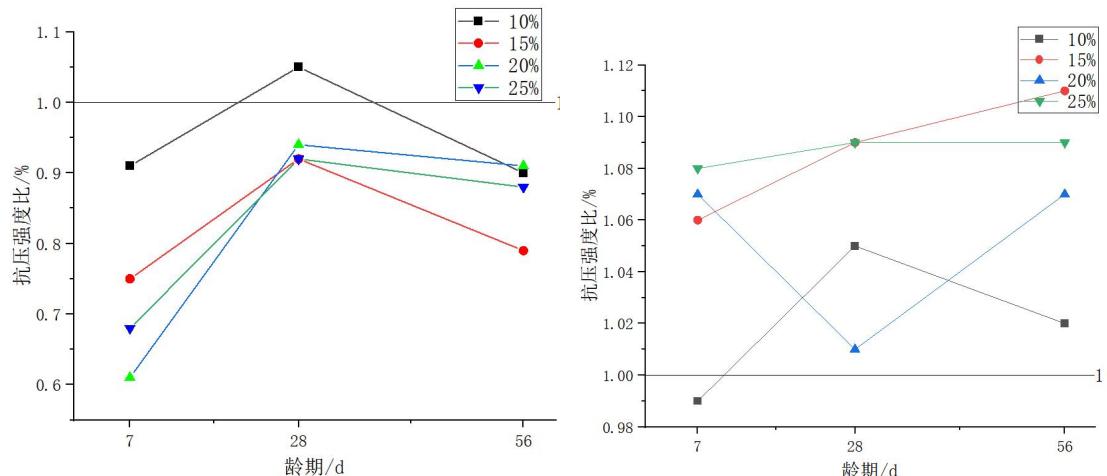


图 3.5.1 WL2

图 3.5.2 WL7

2、锂渣湿粉 C50 混凝土

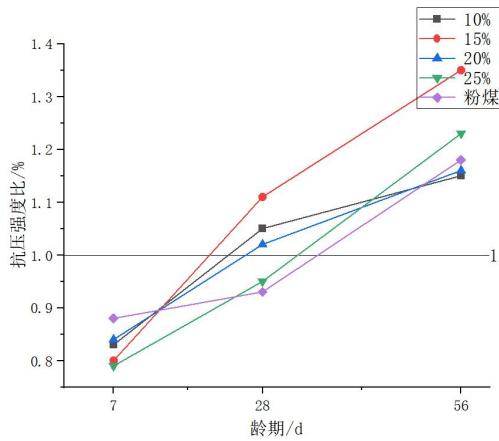


图 3.5.3 WL2

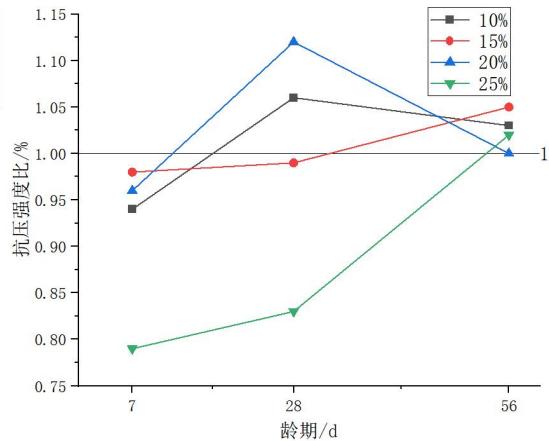


图 3.5.4 WL3

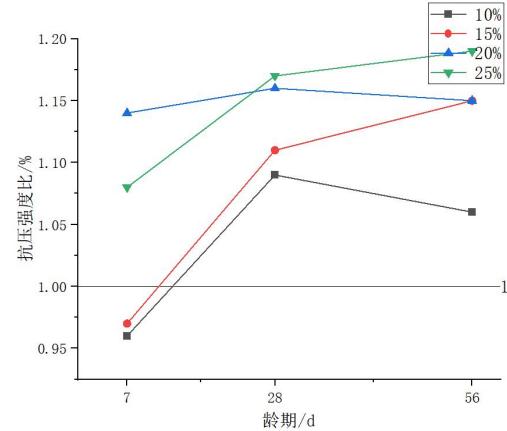


图 3.5.5 WL7

由图 3.5.1~图 3.5.5 可知，掺锂渣粉的混凝土 7d 强度较基准混凝土略低，但后期强度逐渐提高，且超过基准混凝土抗压强度（见图 3.5.2 和 3.5.5）。掺加 25% 锂渣湿粉的混凝土强度出现最低值的频率较高，说明掺量为 25% 时，可能会对强度产生不利的影响，因此规定锂渣粉最大掺量不宜超过胶凝材料总质量的 20%。但不排除 WL7 在掺量 25% 时，抗压强度比反而增高，这种情况也可适当增加锂渣湿粉的掺量。

3、锂渣干粉 C30 混凝土

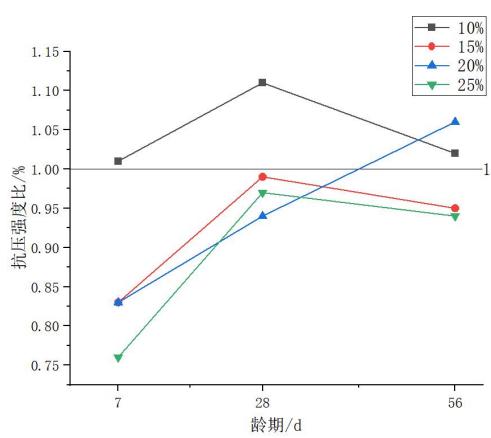


图 3.5.6 DL2

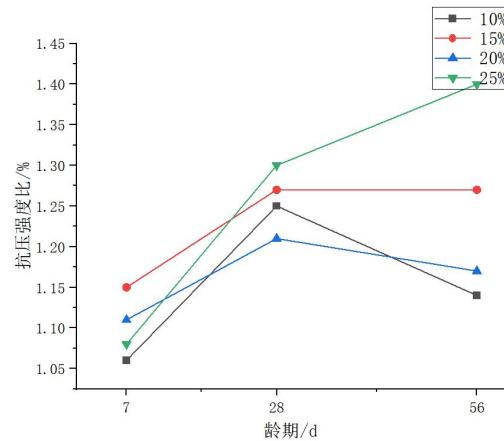


图 3.5.7 DL3

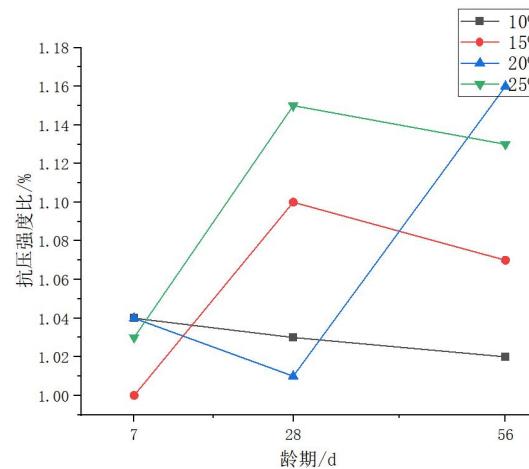


图 3.5.8 DL7

4、锂渣干粉 C50 混凝土

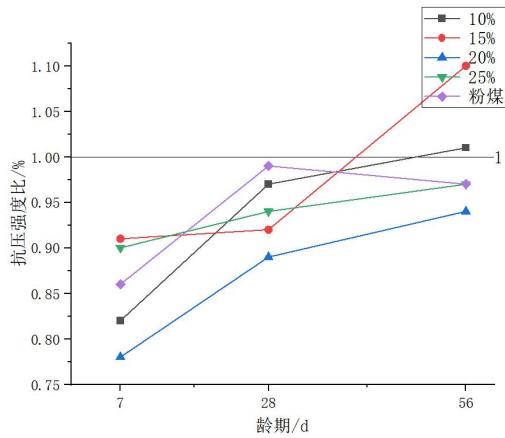


图 3.5.9 DL2

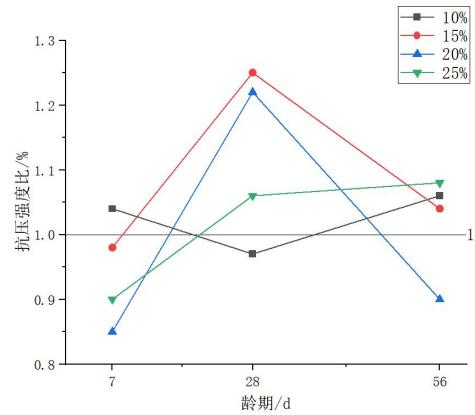


图 3.5.10 DL3

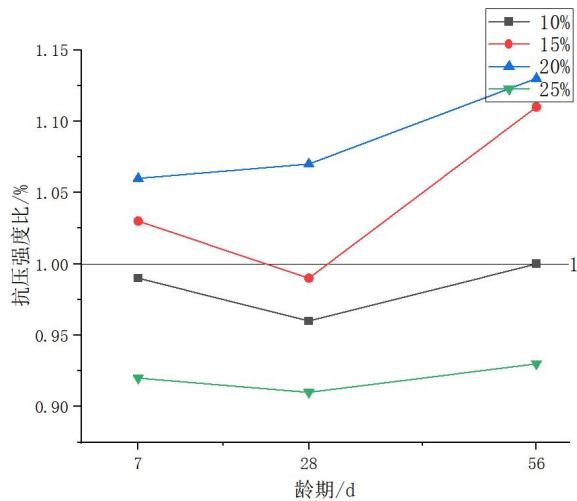


图 3.5.11 DL7

由图 3.5.8 和图 3.5.8 可知, 摆锂渣干粉的混凝土较基准混凝土抗压强度有一定的提高; 由图 3.5.6 可知, 锂渣干粉掺量为 10% 时, 锂渣粉混凝土力学性能最好; 由图 3.5.9 和图 3.5.10 可知, 锂渣干粉掺量为 15% 时, 表现出了良好的力学性能; 由图 3.5.11 可知, 锂渣干粉掺量为 20% 时, 锂渣粉混凝土力学性能最好, 锂渣干粉掺量为 25% 时, 锂渣粉混凝土力学性能最差。为保证混凝土力学性能的可靠性和安全性, 规定锂渣粉最大掺量不宜超过胶凝材料总质量的 20%。

“锂渣粉掺量不宜高于 20%”的规定, 是基于常规工艺下, 为保证混凝土综合性能的可靠性和安全性而提出的。在具体应用时, 必须通过系统的配合比设计和性能试验(包括工作性、强度发展、耐久性指标等)来确定最佳掺量。若要使用高掺量($>20\%$), 需进行试验验证。

3.5 锂渣粉和粉煤灰或矿粉双掺混凝土力学性能验证试验

表 3.6.1 锂渣湿粉 C30

强度等级	锂渣粉样品	锂渣粉	粉煤灰	矿粉	抗压强度比		
					7d	28d	56d
C30	WL2	0	0	0			
		10%	30%	0%	0.80	1.16	1.05
		15%	25%	0%	0.79	1.12	1.04
		20%	20%	0%	0.68	1.11	0.99
		25%	15%	0%	0.69	0.98	0.95
		10%	0%	40%	0.92	1.21	1.09
		15%	0%	35%	0.83	1.12	1.05
		20%	0%	30%	0.74	1.09	0.98
		25%	0%	25%	0.73	0.99	0.90

	WL3	20%	0%	0%	0.94	1.18	/
		20%	20%	0%	0.78	1.05	
		20%	0%	30%	0.83	1.13	
	WL7	10%	30%	0%	0.98	1.05	1.14
		15%	25%	0%	0.85	0.98	1.07
		20%	20%	0%	0.91	1.05	1.10
		25%	15%	0%	0.96	1.07	1.10
		10%	0%	40%	0.96	0.98	1.04
		15%	0%	35%	0.94	0.97	1.00
		20%	0%	30%	0.98	1.04	1.05
		25%	0%	25%	0.96	0.93	1.04

表 3.6.2 锂渣湿粉 C50

强度等级	锂渣粉样品	锂渣粉	粉煤灰	矿粉	抗压强度比		
					7d	28d	56d
C50	WL2	25%	0%	0%	0.79	0.95	1.23
		0	25%	0	0.88	0.93	1.18
		10%	30%	0%	0.85	1.05	1.23
		15%	25%	0%	0.78	0.96	1.25
		20%	20%	0%	0.77	1.03	1.23
		25%	15%	0%	0.72	1.05	1.20
		10%	0%	40%	0.72	0.75	1.25
		15%	0%	35%	0.68	1.00	1.17
		20%	0%	30%	0.73	1.05	1.26
		25%	0%	25%	0.68	0.92	1.11
	WL3	10%	30%	0%	0.69	0.88	0.96
		15%	25%	0%	0.81	1.06	0.96
		20%	20%	0%	0.72	1.00	1.05
		25%	15%	0%	0.74	0.93	0.99
		10%	0%	40%	0.74	0.92	0.94
		15%	0%	35%	0.79	0.91	0.90
		20%	0%	30%	0.68	1.01	0.99
		25%	0%	25%	0.76	1.00	0.94
		10%	30%	0%	1.06	1.10	1.15
		15%	25%	0%	1.04	1.03	1.06
	WL7	20%	20%	0%	1.03	1.19	1.13
		25%	15%	0%	0.96	1.07	1.23
		10%	0%	40%	0.88	0.89	1.02
		15%	0%	35%	1.03	0.86	0.94
		20%	0%	30%	0.86	1.00	1.05
		25%	0%	25%	1.05	1.01	1.10

表 3.6.3 锂渣干粉 C30

强度等级	锂渣粉样品	锂渣粉	粉煤灰	矿粉	抗压强度比/%		
					7d	28d	56d
C30	DL2	10%	30%	0%	0.88	1.22	1.14
		15%	25%	0%	0.75	1.13	1.06
		20%	20%	0%	0.71	1.09	1.30
		25%	15%	0%	0.75	1.16	1.07
		10%	0%	40%	0.69	0.99	1.04
		15%	0%	35%	0.67	1.07	1.07
		20%	0%	30%	0.72	1.07	1.24
		25%	0%	25%	0.69	1.10	1.12
	DL3	10%	30%	0%	1.10	1.25	1.40
		15%	25%	0%	0.86	1.17	1.27
		20%	20%	0%	1.19	1.49	1.58
		25%	15%	0%	1.10	1.38	1.57
		10%	0%	40%	1.31	1.39	1.39
		15%	0%	35%	1.28	1.59	1.43
		20%	0%	30%	1.31	1.49	1.43
		25%	0%	25%	1.14	1.35	1.48
	DL7	10%	30%	0%	0.95	1.02	1.08
		15%	25%	0%	0.96	1.02	0.93
		20%	20%	0%	0.94	1.07	1.08
		25%	15%	0%	0.86	0.99	1.03
		10%	0%	40%	0.99	0.96	1.06
		15%	0%	35%	1.03	1.03	1.03
		20%	0%	30%	0.98	1.00	1.05
		25%	0%	25%	1.00	1.11	1.02

表 3.6.4 锂渣干粉 C50

强度等级	锂渣粉样品	锂渣粉	粉煤灰	矿粉	抗压强度比		
					7d	28d	56d
C50	DL2	0	25%	0%	0.86	0.99	0.97
		10%	30%	0%	0.83	1.00	0.97
		15%	25%	0%	0.76	0.86	1.35
		20%	20%	0%	0.73	0.87	1.19
		25%	15%	0%	0.69	0.87	1.20
		10%	0%	40%	0.70	0.95	1.10
		15%	0%	35%	0.66	0.81	1.13
		20%	0%	30%	0.58	0.86	1.25
		25%	0%	25%	0.75	0.90	1.30

	DL3	10%	30%	0%	0.91	1.08	1.14
		15%	25%	0%	0.93	1.22	1.18
		20%	20%	0%	0.98	1.14	1.04
		25%	15%	0%	0.87	1.01	1.17
		10%	0%	40%	0.94	1.13	1.12
		15%	0%	35%	1.07	1.21	1.07
		20%	0%	30%	0.96	1.14	1.04
		25%	0%	25%	0.95	1.17	1.06
	DL6	10%	30%	0%	0.72	0.96	/
		15%	25%	0%	0.74	0.97	
		20%	20%	0%	0.69	1.01	
		25%	15%	0%	0.72	1.00	
		10%	0%	40%	0.91	1.08	
		15%	0%	35%	0.89	1.04	
		20%	0%	30%	0.86	1.01	
		25%	0%	25%	0.89	1.05	
	DL7	10%	30%	0%	0.89	0.99	0.92
		15%	25%	0%	0.82	1.00	1.03
		20%	20%	0%	0.98	0.92	0.98
		25%	15%	0%	1.04	0.96	0.97
		10%	0%	40%	0.93	0.86	0.95
		15%	0%	35%	0.91	0.96	0.96
		20%	0%	30%	0.96	0.93	0.99
		25%	0%	25%	1.02	0.94	0.98

由表 3.6.1～表 3.6.4 可知，不论锂渣湿粉和锂渣干粉与粉煤灰或矿粉双掺，均可得到力学性能良好的混凝土。

3.6 锂渣粉混凝土耐久性试验

表 3.6.1 耐久性试验数据

强度等级	锂渣粉样品	锂渣粉	粉煤灰	矿粉	100 次冻融循环相对动弹模量/%	100 次冻融循环质量损失率/%	抗氯离子渗透性能(电通量法)/C	抗硫酸盐侵蚀性能(KS90)/%
C50	WL2	15%	25%		98.5	0.12	411	96
		25%	15%		99.1	0.02	397	90
		15%		35%	98.9	-0.09	530	93
		25%		25%	98.1	-0.03	395	92
	DL2	15%	25%		98.6	0.18	513	94
		25%	15%		98.1	0.20	398	90
		15%		35%	99.7	-0.07	504	88
		25%		25%	99.3	-0.09	338	91

C30	WL3	15%	25%		97.5	0.21	527	90
		25%	15%		98.1	0.15	367	89
		15%		35%	99.2	-0.05	654	87
		25%		25%	97.6	-0.02	419	92
	DL3	15%	25%		85.9	0.19	378	95
		25%	15%		98.5	0.14	409	93
		15%		35%	98.6	-0.08	423	92
		25%		25%	98.7	-0.05	375	96
	WL6	15%	25%		97.2	0.10	740	90
		25%	15%		98.1	0.05	673	88
		15%		35%	97.5	0.01	348	87
		25%		25%	97.1	0.03	417	90
	DL6	15%	25%		98.9	0.20	339	95
		25%	15%		97.1	0.25	265	91
		15%		35%	98.7	0.06	272	90
		25%		25%	98.3	0.08	166	94
	WL7	15%	25%		96.9	0.19	413	103
		25%	15%		97.1	0.20	294	88
		15%		35%	96.5	0.05	332	83
		25%		25%	96.1	0.04	338	82
	DL7	15%	25%		97.9	0.09	465	98
		25%	15%		98.1	0.05	333	90
		15%		35%	97.0	0.06	385	91
		25%		25%	96.8	0.03	304	95

由表 3.6.1 可知，掺锂渣粉的混凝土的 100 次冻融循环相对动弹模量基本在 90%以上，100 次冻融循环质量损失率均在 1%以下，具有良好的抗冻性；掺锂渣粉的混凝土的电通量基本小于 500C，达到 Q-V 等级，具有良好的抗氯离子渗透性；抗硫酸盐侵蚀试验中，经过 90 次干湿循环，抗压强度系数均大于 80%，具有良好的抗硫酸盐侵蚀性能。可以得出，掺锂渣粉的混凝土具有良好的耐久性能，锂渣粉的掺入对混凝土耐久性能没有不利的影响。

3.7 蒸养制度对锂渣混凝土的影响

表 3.7.1 蒸养制度对锂渣粉混凝土的影响 (C50)

强度等级	锂渣粉	粉煤灰	恒温温度	恒温时间	抗压强度/MPa			
					拆模强度	28d (蒸+标)	28d 标养	
C50	WL2	15 %	/	60°C	6h	30.8	62.4	70.5
				60°C	48h	51.4	56.6	70.5
				80°C	6h	24.4	52.8	70.5

				80°C	48h	41.1	53.6	70.5
25 %	/	25%	/	60°C	6h	27	61	60.2
				60°C	48h	45.3	50	60.2
				80°C	6h	21.3	53.8	60.2
				80°C	48h	44.5	48.3	60.2
				60°C	6h	23.9	62.2	59.5
DL2	15 %	/	/	60°C	48h	46	56.8	59.5
				80°C	6h	19.5	54	59.5
				80°C	48h	48.1	53.2	59.5
				60°C	6h	31.2	69.0	66.3
	25 %	/	/	60°C	48h	50.5	60.3	66.3
				80°C	6h	30.5	58.6	66.3
				80°C	48h	43.7	51.6	66.3
				60°C	6h	26.5	66.0	67.6
C30	/	25%	/	60°C	48h	55.6	61.1	67.6
				80°C	6h	25.1	54.9	67.6
				80°C	48h	46.7	47.9	67.6
				60°C	6h	25.0	61.0	71.2
	WL7	/	/	60°C	48h	52.9	62.1	71.2
				80°C	6h	26.2	58.4	71.2
				80°C	48h	45.2	52.4	71.2

表 3.7.2 蒸养制度对锂渣粉混凝土的影响 (C30)

强度等级	锂渣粉	粉煤灰	恒温温度	恒温时间	抗压强度/MPa			
					拆模强度	28d (蒸+标)	28d 标养	
C30	WL7	15%	/	60°C	6h	/	42.5	55.2
				60°C	48h	/	36.8	
				80°C	6h	/	35.4	
				80°C	48h	/	35.1	
	/	25%	/	60°C	6h	/	46.5	55.4
				60°C	48h	/	36.2	
				80°C	6h	/	35.1	
				80°C	48h	/	27.7	
		25%	/	60°C	6h	/	40.8	50.8
				60°C	48h	/	32.3	
				80°C	6h	/	32.4	

				80°C	48h	/	26.2			
DL7	15%	/	60°C	6h	/	44.2	55.9			
			60°C	48h	/	35.9				
			80°C	6h	/	42.8				
			80°C	48h	/	29.2				
	25%		60°C	6h	/	47.2	58.6			
			60°C	48h	/	36.4				
			80°C	6h	/	42.3				
			80°C	48h	/	28.6				

由表 3.7.1 和表 3.7.2 可知, 标养的锂渣粉混凝土抗压强度大于(蒸养+标养), 与普通混凝土一致; 恒温时间 48h 的锂渣粉混凝土拆模强度大于 6h, 但 28d (蒸养+标养) 的锂渣粉混凝土抗压强度优势减弱; 80°C 的锂渣粉混凝土拆模强度和 28d (蒸养+标养) 抗压强度小于 60°C 的强度, 因此蒸养时, 恒温温度不宜超过 60°C, 避免因高温导致钙矾石分解。

4 标准中涉及专利、知识产权情况说明

经检索, 本标准所列技术内容没有涉及专利和知识产权的情况。

5 产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效果等情况

(1) 锂渣粉混凝土产业化现状

“无废城市”建设、大宗固体废弃物综合利用、碳达峰碳中和等国家战略, 为锂渣的资源化利用提供了强大的政策背书和市场需求。锂电产业集中的地区(如江西宜春、四川宜宾、四川遂宁、青海等地), 锂渣堆存造成的环境压力与土地占用问题日益严峻, 处理需求迫切。水泥和掺合料价格上涨, 促使商混企业积极寻找低成本、性能可靠的替代材料。

(2) 推广应用论证

随着全球锂电产能爆发, 锂渣年产量已达千万吨级, 传统堆存方式不可持续, 资源化利用是唯一出路。将锂渣“变废为宝”, 契合循环经济战略, 减少天然砂石和水泥的消耗, 保护生态环境。打通“锂电-建材”产业链, 实现新能源产业

与绿色建筑产业的协同发展，提升整体产业的绿色竞争力。大量研究与实践表明，适量（≤20%）掺加的锂渣粉具有明显的火山灰效应和微集料填充效应，能改善混凝土微观结构，提升后期强度和耐久性（抗渗、抗硫酸盐侵蚀）。

符合国家相关政策：

《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》明确要求防止工业固废对环境的污染，并推动固废资源化利用。锂冶炼渣作为工业固废，需建立专门的污染防治技术标准以确保合规处置。

《“十四五”工业绿色发展规划》提出，工业领域需提升资源综合利用水平，降低污染物排放量，推动清洁生产。锂冶炼渣利用技术规范符合该规划的重点方向。

《2024—2025 年节能降碳行动方案》指出要开展有色金属行业节能降碳行动，标准制定对利用处置过程控制具有重要意义。

《中共中央国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》明确提出推动大宗工业固体废物在提取有价组分、生产建材、筑路、生态修复、土壤治理等领域的规模化利用，利用处置标准制定能够为锂冶炼渣资源化利用提供技术指导。

（3）预期达到的经济效果

对混凝土生产企业可降低原材料成本，锂渣粉的采购价格通常低于水泥和优质粉煤灰。以单方混凝土掺加 20%胶材用量的锂渣粉计算，可降低胶凝材料成本约 10-20 元/立方米。对于年产百万方的搅拌站，年节约成本可达千万元级别。在一些地区，能够获得废弃物处置收益，形成“负成本”原料。此外，可以减少水泥用量，直接减少石灰石开采、煤炭消耗和 CO₂ 排放（生产 1 吨水泥约排放 0.8 吨 CO₂），环境效益可部分转化为碳交易收益。

锂渣粉混凝土的产业化推广，是环保压力、政策导向和技术进步共同作用下的必然趋势。当前已在局部区域形成有效模式，具备全面推广的技术基础。其经济效益不仅体现在直接的物料成本节约上，更体现在整个产业链的降本增效、环境成本内部化以及长远的社会资源节约上。未来发展的关键在于克服性能波动性、完善标准体系、加强市场教育，从而将其从区域性“利废产品”升级为全国公认的“绿色建材”，实现经济效益与环境效益的双赢。

6 采用国际标准，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

无。

7 与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

综合调研国内外情况，未发现专门针对锂渣粉在混凝土中应用制定的标准，属于行业空白。本标准中所涉及到的试验方法与现行相关法律、法规、规章及相关标准保持一致，没有冲突的地方，具有很好的协调性。与 YB/T 4230-2010《用于水泥和混凝土中的锂渣粉》对比分析见表 7.1。

表 7.1 对比分析

项目	YB/T 4230-2010	本规范	备注
标准类别	产品标准	工程建设标准	
锂渣粉技术要求	只针对锂渣干粉；包含密度、比表面积、含水量、三氧化硫含量、需水量比、活性指数、水浸安定性、氯离子含量和放射性	针对锂渣湿粉和锂渣干粉；包含密度、细度、流动度比、强度活性指数、含水量、氯离子含量、三氧化硫含量、初凝时间比、安定性、碱含量和放射性	锂渣湿粉和锂渣干粉技术要求不同的性能指标包含细度、活性指数和含水量；本规范没有规定比表面积和需水量比，而是规定了细度和流动度比，并且增加了初凝时间比和碱含量；产品标准牵头单位目前已下达修订计划，后续标准修订中，锂渣粉的技术要求也会与本规范保持协调统一
混凝土性能、配合比设计、生产与施工	无规定	有规定，重点内容	本标准为工程建设标准

对比分析总结如下：

- 1、本规范为工程建设标准，YB/T 4230-2010 为产品标准，标准涉及的内容不同；
- 2、本规范在规定锂渣粉技术要求时，在产品标准的技术要求上进行了完善

和更改，更符合目前锂渣粉的发展现状。

8 重大意见分歧的处理依据和结果

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，主要针对标准规定中各项技术指标的要求做了深入研讨，各单位和行业专家结合自身的工作经验和实验验证提出了作为数据支撑的有力依据，最终对标准要求达成一致。编制过程中对标准的主要内容并未产生重大意见分歧。

9 标准性质的建议说明

建议本规范为推荐性，发布后立即实施。

10 贯彻标准的措施建议

建议在本标准正式发布后，针对锂渣粉、锂渣粉混凝土生产企业、设计单位、施工企业、检测单位等进行宣贯。具体实施措施建议补如下：

(1) 加大标准宣传力度，提高认知度，建立信息公共平台，将有参考价值的案例、好的做法和经验等在行业内部公开发布，引起有关部门领导和相关企业单位的重视，使相关单位能够积极主动的购买标准和资料、参加培训、结合本单位实际情况学习研究标准并准备贯彻实施标准。

(2) 标准归口单位进行贯标指导，组织标准宣贯培训班，由标准制定人员主讲。设立专门的答疑或咨询部门或网站，为贯标企业排忧解难，组织有关人员积极参加行业协会组织的各项活动，培训班等。及时了解标准制、修订信息。

(3) 鼓励行业相关企业或项目部成立标准贯彻实施小组，组员由技术负责人、质量负责人、标准化技术人员、设计人员、质检人员、施工技术人员等技术相关工作人员组成，进行明确的分工合作，适时组织标准宣贯会，使有关人员拥有标准、了解标准、熟悉标准，执行标准。

(4) 标准化技术人员全面负责贯标实施工作，跟踪服务对贯标中出现的技术问题进行协调处理作好贯标记录，并进行长期监督检查工作。

11 废止现行有关标准的建议

无。

12 其他应说明的事项

无。