

公路工程稻壳硅灰混凝土应用技术指南

(征求意见稿)

主要起草单位：黑龙江省公路建设中心

交通运输部公路科学研究所

联系人：李立辉

联系电话：18910272590

联系邮箱：lilihui0451@163.com

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

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

目 次

目次	I
前 言	II
公路工程稻壳硅灰混凝土应用技术指南	1
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	2
5 原材料及技术要求	2
6 混凝土性能	3
7 配合比设计	4
8 生产与施工	6
9 质量检验与验收	6
附录 A（规范性附录）稻壳硅灰流动度比和活性指数试验方法	9
参考文献	11

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。

本文件由黑龙江省交通运输厅提出并归口。

本文件起草单位：黑龙江省公路建设中心、交通运输部公路科学研究所、黑龙江省龙建路桥第一工程有限公司、黑龙江省公路工程监理咨询有限公司、哈尔滨工业大学。

本文件主要起草人：肖阳、张亮、田波、张平、刘振、任书法、丁盛雨、张宿峰、袁杰、葛勇、任少辉、李鹏飞、周秋红、裴浩志、徐宝栋、陈明亮、赵国强、李立辉、张盼盼、李思李、权磊、何哲、姬建瑞、谢晋德、李达夫。

公路工程稻壳硅灰混凝土应用技术指南

1 范围

本文件规定了公路工程稻壳硅灰混凝土应用技术的术语和定义、基本规定、原材料及技术要求、混凝土性能、配合比设计、生产与施工、质量检验与验收。

本文件适用于公路工程各等级公路中桥涵混凝土，其他工程可参考使用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本规范的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 175 通用硅酸盐水泥
- GB 8076 混凝土外加剂
- GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
- GB/T 1596—2017 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB/T 18046 用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
- GB/T 35164 用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉
- GB/T 18736 高强高性能混凝土用矿物外加剂
- GB 50164 混凝土质量控制标准
- GB/T 50107 混凝土强度检验评定标准
- GB/T 50733 预防混凝土碱集料反应技术规范
- GB/T 10171 混凝土搅拌站（楼）
- GB/T 17671 水泥胶砂强度检验方法（ISO法）
- GB/T 176 水泥化学分析方法
- GB/T 2419 水泥胶砂流动度测定方法
- JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
- JTG E42 公路工程集料试验规程
- JT/T 公路工程水泥混凝土用机制砂
- JTG 3420 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
- JGJ 63 混凝土用水标准
- JGJ 55 普通混凝土配合比设计规程
- JGJ/T 10 混凝土泵送施工技术规范
- JGJ/T 193 混凝土耐久性检验评定标准
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

稻壳硅灰

以稻壳为原料，经一定温度煅烧后，粉磨形成的以无定形二氧化硅为主体的粉体。

3.2

稻壳硅灰混凝土

以稻壳硅灰作为矿物掺合料配制的混凝土。

3.3

稻壳硅灰活性指数

在推算掺加稻壳硅灰的胶凝材料28d胶砂抗压强度时，试验胶砂与对比胶砂在28d龄期的抗压强度之比，为无量纲的数值。

4 基本规定

4.1 拌和混凝土用稻壳硅灰分为两个等级：I级和II级，其标记为RHA（I级）或RHA（II级）。

4.2 稻壳硅灰主要用于C30及以上强度等级混凝土，其最大掺量不宜超过胶凝材料总量的15%。

4.3 稻壳硅灰混凝土的拌合物性能、力学性能和耐久性能等性能指标应满足工程设计和施工要求。

4.4 稻壳硅灰储存时不应受潮、混入杂物，同时防止污染环境。

4.5 稻壳硅灰应检验合格后，方可投入生产使用。

5 原材料及技术要求

5.1 稻壳硅灰

5.1.1 稻壳硅灰的技术要求应符合表1的规定。

表1 稻壳硅灰的技术要求

项目		技术指标	
		I级	II级
细度（45 μ m方孔筛筛余）/%		≤ 15.0	≤ 30.0
SiO ₂ 含量（质量百分数）/%		≥ 90	≥ 80
需水量比/%		≤ 115	
流动度比/%		≥ 90	
烧失量/%		≤ 5	≤ 10
活性指数/%	7d	≥ 105	≥ 100
	28d	≥ 105	

表 1 (续)

SO ₃ 含量 (质量百分数) /%	≤3.0
氯离子含量 /%	≤0.1
含水率 (质量百分数) /%	≤1.0
碱含量 /%	≤3
注 1: 当稻壳硅灰用于活性集料混凝土或有其他性能要求时, 可限制稻壳硅灰的碱含量, 碱含量限制值可由买卖双方根据实际情况协商确定。稻壳硅灰的碱含量应按 Na ₂ O+0.658K ₂ O 计算值表示。	
注 2: 稻壳硅灰用于清水混凝土或对混凝土颜色有特殊要求时, 烧失量不宜大于 3%。	
注 3: 流动度比和活性指数应按照本文件附录 A 规定的方法进行试验。	

5.2 其他原材料

5.2.1 水泥应符合 GB 175 的规定。

5.2.2 粉煤灰应符合 GB/T 1596—2017 中 F 类粉煤灰的规定, 粒化高炉矿渣粉应符合 GB/T 18046 的规定, 石灰石粉应符合 GB/T 35164 的规定; 用于高强高性能混凝土的矿物掺合料还应符合 GB/T 18736 的规定。

5.2.3 粗、细集料应符合 JTG/T E42 的规定, 机制砂还应符合 JT/T 819 的规定。

5.2.4 外加剂宜选用聚羧酸高性能减水剂, 其质量应符合 GB 8076 和 GB 50119 的规定, 且外加剂与稻壳硅灰、水泥和其他矿物掺合料之间相容性应按照 GB 50119 的规定进行试验。

5.2.5 混凝土拌合用水应符合 JGJ 63 的规定。

6 混凝土性能

6.1 拌合物性能

6.1.1 稻壳硅灰混凝土拌合物应具有良好的黏聚性、保水性和流动性, 不得离析、泌水。坍落度和扩展度等级划分及其允许偏差应符合 GB 50164 的规定。

6.1.2 稻壳硅灰混凝土拌合物的坍落度经时损失不应影响混凝土的正常施工。泵送施工时, 坍落度经时损失不宜大于 30 mm/h。

6.1.3 稻壳硅灰混凝土拌合物的凝结时间应满足施工技术要求。

6.1.4 稻壳硅灰混凝土的含气量应满足设计要求, 当无明确要求时, 不同环境下混凝土的含气量最低限值应满足表 2 要求。

表2 混凝土拌合物入模时含气量

混凝土结构所处地区环境	入模时含气量
严重受冻地区	6.0%
受冻地区	5.0%

6.1.5 稻壳硅灰混凝土拌合物中水溶性氯离子最大含量实测值应符合 GB 50164 的规定。

6.1.6 稻壳硅灰混凝土拌合物性能试验方法应符合 JTG 3420 的规定。

6.2 力学性能

6.2.1 稻壳硅灰混凝土的强度等级应按 28d 立方体（150mm×150mm×150mm）抗压强度标准值划分为：C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60。

6.2.2 稻壳硅灰混凝土的强度应满足设计要求，力学性能试验方法应符合 JTG 3420 的规定，强度检验评定应符合 GB/T 50107 的规定。

6.3 耐久性能

6.3.1 稻壳硅灰混凝土抗渗性、电通量和抗冻性应满足表 3 的规定。

表3 稻壳硅灰混凝土的耐久性指标

混凝土强度等级	抗渗性（56d）	电通量（56d），C	抗冻等级
C30~C45	≥P12	≤1500	≥F200
≥50	≥P12	≤1200	≥F300

6.3.2 当有预防碱集料反应要求时，稻壳硅灰混凝土应符合 GB/T 50733 的规定。

6.3.3 稻壳硅灰混凝土长期性能与耐久性能试验方法应符合 JTG 3420 的规定，耐久性能等级划分和检验评定应符合 GB 50164 和 JGJ/T 193 的规定。

7 配合比设计

7.1 一般规定

7.1.1 配制 C50 及以上强度等级混凝土时，宜采用 I 级稻壳硅灰。

7.1.2 稻壳硅灰不宜单掺使用，宜复掺粉煤灰、粒化高炉矿渣粉，复掺比例应按照 JGJ 55 的规定进行试验确定。

7.1.3 稻壳硅灰混凝土的配合比试配应采用工程实际使用的原材料，进行混凝土拌合物性能、力学性能和耐久性能试验。

7.1.4 稻壳硅灰混凝土的设计配合比应在生产和施工前通过试配调整，通过试生产，确定施工配合比。

7.1.5 稻壳硅灰混凝土生产过程中，应及时测定粗细集料的含水率，并应根据其变化情况及时调整施工配合比。

7.1.6 当稻壳硅灰的质量或其他原材料的品种与质量有变化时，应重新进行混凝土配合比设计。

7.2 配合比计算和试配

7.2.1 稻壳硅灰在混凝土中的掺量应根据工程所处的环境条件和结构特点通过试验确定。

7.2.2 配合比计算时，稻壳硅灰与其他活性掺合料的掺量应计入胶凝材料用量。

7.2.3 配合比计算时，胶凝材料 28d 胶砂抗压强度宜根据试验确定。当胶凝材料 28d 胶砂抗压强度无实测值，且稻壳硅灰掺量不超过 15% 时，胶凝材料 28d 胶砂抗压强度值可按式（1）计算：

$$f_b = \gamma_r \gamma_f \gamma_s f_{ce} \dots \dots \dots (1)$$

式中：

f_b ——胶凝材料28d胶砂抗压强度 (MPa)；
 γ_r ——稻壳硅灰影响系数，按照表4取值；
 γ_f ——粉煤灰影响系数，按照JGJ 55的有关规定取值；
 γ_s ——粒化高炉矿渣粉影响系数，按照JGJ 55的有关规定取值；
 f_{ce} ——水泥28d胶砂抗压强度 (MPa)。

表4 稻壳硅灰影响系数

掺量 (%)	稻壳硅灰影响系数 γ_r
0	1.00
5	1.05
10	1.10
15	1.05

注1：当掺量在本表所列数值之间的，可采用线性插值估算；当掺量超过本表所列数值时，按实测值计算。

7.3 配合比验证

7.3.1 在试验室试拌混凝土并测试混凝土的拌和物性能。若测试值不满足设计要求，可适当调整混凝土的砂率 and 外加剂用量，重新搅拌、测试混凝土的拌合物性能，直至满足要求。试拌时，每盘混凝土的最小搅拌量应在 20L 以上，且不少于搅拌机容量的 1/3。

7.3.2 经试配确定配合比后，应测试其表观密度与设计值的误差，当测得的表观密度与计算值或假定值之差的绝对值小于等于 2% 时，上述配合比即为混凝土的设计配合比。当测得的表观密度与计算值或假定值之差的绝对值大于 2% 时，应按式 (2) 计算校正系数，并将混凝土的各种原材料用量乘以校正系数，即得混凝土的设计配合比。

$$\delta = \frac{\rho_{ct}}{\rho_{cc}} \quad (2)$$

式：

δ ——校正系数；

ρ_{ct} ——混凝土拌合物的表观密度实测值，单位为千克每立方米 (kg/m^3)；

ρ_{cc} ——混凝土拌合物的表观密度计算值或假定值，单位为千克每立方米 (kg/m^3)。

7.3.3 根据本单位常用的材料，可设计出常用的混凝土配合比备用；在使用过程中，应根据原材料情况及混凝土质量检验的结果予以调整，但遇有下列情况之一时，应重新进行配合比设计。

- 1) 对混凝土性能指标有特殊要求时；
- 2) 水泥外加剂或矿物掺合料品种质量有显著变化时；
- 3) 该配合比的混凝土生产间断 6 个月以上时。

8 生产与施工

8.1 一般规定

- 8.1.1 稻壳硅灰混凝土应采用拌和站集中搅拌。
- 8.1.2 稻壳硅灰应按产地和批次单独贮存，并应防止受潮和被泥尘等其他杂质污染。
- 8.1.3 稻壳硅灰混凝土结构施工前宜通过混凝土的试浇筑，对混凝土的配合比、施工工艺、施工机具的适应性进行检验，发现问题及时调整。
- 8.1.4 运输与施工过程中应符合专项方案的规定。

8.2 原材料贮存与计量

- 8.2.1 其他原材料的贮存应符合 GB 50164 的有关规定。
- 8.2.2 各种原材料贮存处应有显著标识，标识应注明材料品名、产地、厂家、等级、规格等信息。
- 8.2.3 原材料计量应采用电子计量设备，其精度应满足 GB/T 10171 的要求，使用前应确认其工作正常。每一工作班开始前，应对计量设备进行零点校准。每盘混凝土的原材料计量允许偏差应符合表 5 的规定，并应每班检查 1 次。在原材料计量过程中，应根据粗、细集料的含水率变化及时调整水和粗、细集料的称量。

表5 混凝土原材料计量允许偏差

原材料品种	水泥	集料	水	外加剂	掺合料
每盘计量允许偏差（按质量计）/%	±2	±3	±1	±1	±2
累计计量允许偏差（按质量计）/%	±1	±2	±1	±1	±1

8.3 混凝土的制备、运输、浇筑和养护

- 8.3.1 粉料输送及称量应在密封状态下进行，并应有收尘装置。
- 8.3.2 稻壳硅灰宜与其他胶凝材料一起投料，稻壳硅灰混凝土拌合物应搅拌均匀。
- 8.3.3 稻壳硅灰混凝土的初凝时间和终凝时间应满足设计要求，当无明确要求时，稻壳硅灰混凝土的初凝时间不宜早于 4h，终凝时间不宜迟于 8h。
- 8.3.4 采用泵送施工的稻壳硅灰混凝土，运输应能保证混凝土的连续泵送，并应符合 JGJ/T 10 的有关规定。
- 8.3.5 在运输过程中，应保证混凝土不离析、不分层，并应控制混凝土拌合物性能满足施工要求。
- 8.3.6 施工过程严禁人工加水。
- 8.3.7 稻壳硅灰混凝土拌和后超过 3h，仍未浇筑实体应进行降级或报废处理。
- 8.3.8 稻壳硅灰混凝土浇筑后宜采用保湿养护，夏季养护时间不宜少于 7d，冬季养护时间不宜少于 14d。

9 质量检验与验收

9.1 混凝土原材料质量检验

9.1.1 混凝土原材料进场时，应按规定批次检查检验报告或合格证等质量证明文件，外加剂产品尚应有使用说明书。

9.1.2 稻壳硅灰的检验项目应符合表 6 的规定。

表6 稻壳硅灰过程检验的要求

检验项目	进场检验		批次检验	
	项目	频率	项目	频率
细度	√	(1) 同厂家、同出厂编号、同出厂日期的产品 50 吨/批次，不足上述数量的也按照一批计； (2) 出厂日期达 3 个月； (3) 停工复工达 1 个月。	√	(1) 使用同一厂家、同一品种、同一规格的产品达 3 个月； (2) 新换厂家、品种、规格的产品； (3) 使用同一厂家、同一品种、同一规格的产品，停工复工达 3 个月。
SiO ₂ 含量			√	
需水量比	√		√	
流动度比	√		√	
烧失量	√		√	
活性指数	√		√	
SO ₃ 含量			√	
氯离子含量			√	
含水率	√		√	
碱含量*			√	

注*：当使用碱活性集料的混凝土，稻壳硅灰进场检验项目尚应包括碱含量。

9.1.3 混凝土其他原材料进场时应对材料的外观、规格、等级、生产日期等进行检查，并按检验批随机抽取样品进行检验，检验项目应符合相关产品标准的要求。每个检验批检验不得少于 1 次。

9.2 混凝土工作性能检验

9.2.1 在生产和施工过程中，应对稻壳硅灰混凝土拌合物工作性进行抽样检验；稻壳硅灰混凝土拌合物工作性能应在搅拌地点和浇筑地点分别取样检验。

9.2.2 混凝土拌合物的检验频率应符合下列规定：

- 混凝土坍落度检验取样频率应按 GB/T 50107 中规定的强度检验频率执行；
- 同一工程、同一配合比、采用同一批稻壳硅灰、水泥和外加剂的混凝土凝结时间应至少检验 1 次；
- 同一工程、同一配合比混凝土的水溶性氯离子含量应至少检验 1 次。

9.2.3 稻壳硅灰混凝土拌合物性能应符合本规范第 6.1 条的规定。

9.3 力学性能与耐久性能检验

9.3.1 稻壳硅灰混凝土强度检验评定应符合 GB/T 50107 的规定，其他力学性能应符合设计要求和有关标准的规定。

9.3.2 稻壳硅灰混凝土耐久性能检验评定应符合 JGJ/T 193 的规定。

9.3.3 稻壳硅灰混凝土的力学性能和耐久性能应分别符合本规范第 6.2 节和第 6.3 节的规定。

9.4 混凝土工程验收

9.4.1 稻壳硅灰混凝土工程施工质量验收应符合 JTG F80/1 的规定外，还应满足工程所处条件下的耐久性的要求。

9.4.2 稻壳硅灰混凝土工程验收时，应符合本规范对混凝土力学性能和耐久性能的规定。

附录 A

(规范性附录)

稻壳硅灰流动度比和活性指数试验方法

A.1 本方法适用于稻壳硅灰流动度比和活性指数的测试。

A.2 主要仪器设备及材料应符合下列规定：

1 试验仪器应满足 GB/T 17671 和 GB/T 2419 的规定。

2 试验用水泥应采用基准水泥或符合 GB 175 规定的硅酸盐水泥。当有争议或仲裁检验时，应采用基准水泥。

3 试验用砂应符合 GB/T 17671 规定的标准砂。

4 试验用水应采用自来水或蒸馏水。

5 试验用稻壳硅灰应为受检的稻壳硅灰。

A.3 试验条件及方法应符合下列规定：

1 试验室条件应符合 GB/T 17671 的规定。试验用各种材料和用具应预先放在试验室内，使其达到试验室相同温度。

2 确定流动度比和活性指数胶砂配合比应符合表 A.3-1 的规定。

表 A.3-1 胶砂配合比

材料	水泥/g	稻壳硅灰/g	标准砂/g	水/g
基准胶砂	450	-	1350	225
受检胶砂	405	45	1350	225

3 应按 GB/T 17671 的规定进行胶砂的搅拌。

4 稻壳硅灰的流动度比试验应按表 A.3-1 的胶砂配合比和 GB/T 2419 规定的方法进行试验，分别测定对比胶砂和试验胶砂的流动度。流动度比应按式 (A.3-1) 计算：

$$F = \frac{L}{L_0} \quad (\text{A.3-1})$$

式中：

F ——稻壳硅灰的流动度比 (%)，保留至整数；

L ——受检胶砂的流动度 (mm)；

L_0 ——对比胶砂的流动度 (mm)。

5 稻壳硅灰的活性指数试验应按 GB/T 17671 的规定分别测试对比胶砂和试验胶砂的 7d 和 28d 抗压强度。相应龄期的活性指数应按式 (A.3-2) 计算：

$$A = \frac{R_t}{R_0} \quad (\text{A.3-2})$$

式中：

A ——稻壳硅灰的活性指数（%），保留至整数；

R_t ——受检胶砂相应龄期的抗压强度（MPa）；

R_0 ——对比胶砂相应龄期的抗压强度（MPa）。

参考文献

- [1] 余其俊, 赵三银, 冯庆革, 等.高活性稻壳灰的制备及其对水泥性能的影响[J].武汉理工大学学报, 2003, 25(1).
- [3] 欧阳东, 陈楷.稻壳灰显微结构及纳米 SiO_2 的电镜观察[J].电子显微学报, 2003,22(5):390-394.
- [3] 余其俊, 赵三银, 冯庆革, 等. 活性稻壳灰对混凝土强度和耐久性能的影响[J].武汉理工大学学报, 2003(02):15-19.
- [4] 冯庆革,杨绿峰,陈正,余其俊,赵三银,杉田修一.高活性稻壳灰混凝土的强度特性和孔结构研究[J].武汉理工大学学报,2005(02):17-20.
- [5] 任青霞.稻壳资源的综合利用研究[D].吉林大学博士论文.2009.
- [6] 陈应泉, 王贤华, 钱柯贞, 等. 热解和灼烧温度对稻壳灰特性的影响[J]. 华中理工大学学报(自然科学版), 2011,39(05):123-127.
- [7] 万惠文,刘离,陈伟.利用稻壳灰配制自密实混凝土性能的研究[J].武汉理工大学学报,2011,33(07):32-34+46.