



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心

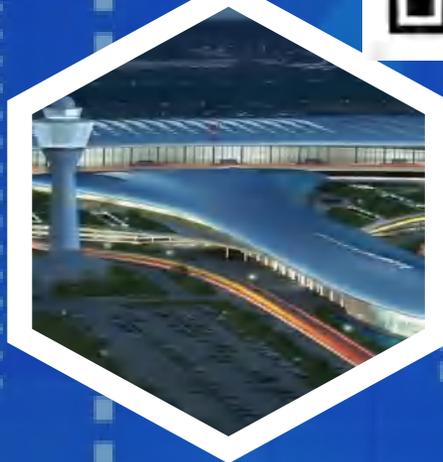


河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室

多固废协同制备固废基胶 凝材料及产业化

汇报人：张广田

18033878679





汇报 提纲



早强，高强型胶材料特点



配料方法与水化机理



固废基胶凝材料原材料质量与控制成套技术



产品质量控制成套技术



固废基胶凝材料后端应用成套体系



钢渣基全固废混凝土



钢铁、煤电、矿山等领域的大宗固废，严重污染环境



中国水泥产量占世界 **53.84%**

印度 7.83%

美国 2.18%

其他国家 41.65%

煤电CO₂排放量占 42%

钢铁15 %

水泥13 %

其他30%

固废基胶凝材料定义



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室

尾矿、钢渣、粉煤灰、矿渣



多固废协同技术

钢渣低能耗、高细度粉磨技术

硅氧四面体激发

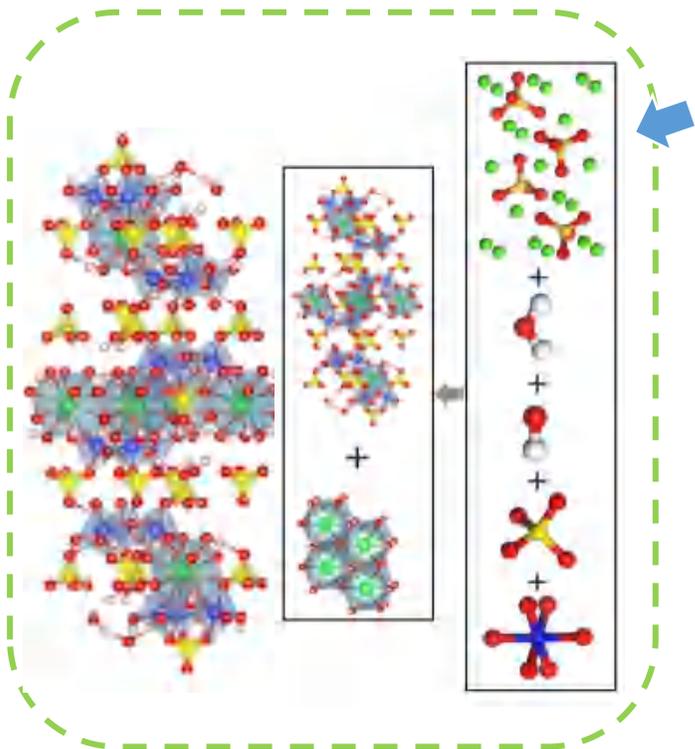


固废基胶凝材料
类多种产品



水硬性胶凝材料，
可以在一定范围内替代水泥使用

氨碱白泥 焚烧飞灰 脱硫灰



□ **碳排放低**：仅为传统水泥的10%；

□ **成本低**：成本可控制在普通硅酸盐水泥的30%~50%；

□ **水泥**：利用两磨一烧工艺制程，所需要原材料，水化动力学

□ **碱激发胶凝材料**：原材料中往往需要强碱类化合物和硅酸钠，实际工程较少。

国家相关政策

时间	发文部门	文件名称	相关内容
2021年	国务院	2030年前碳达峰行动方案	加强 新型胶凝材料、低碳混凝土 等低碳建材产品研发应用
2021年	工信部	“十四五”工业绿色发展规划	推进 全固废免烧胶凝材料、全固废生产绿色混凝土 等技术推广应用
2022年	工信部、发改委、生态环境部	工业领域碳达峰实施方案	加快 全固废胶凝材料、全固废绿色混凝土 等技术研发推广
2022年	工信部、发改委、生态环境部、住建部	建材行业碳达峰实施方案	加快 发展新型低碳胶凝材料 、鼓励固碳矿物材料和全固废免烧新型胶凝材料
2023年	国家发改委	产业结构调整指导目录（2023年本，征求意见稿）	低碳胶凝材料 被新增列入鼓励类项目

低碳技术目录



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室

2021年	工信部《 国家工业资源综合利用先进适用工艺技术目录 》	固废基胶凝材料制备新型低碳绿色建材技术
2021年	河北省 低碳技术推广目录	基于冶金基固废胶凝材料的全固废高性能混凝土制备与应用技术
2025年	生态环保厅等五部委《 国家重点推广的低碳技术目录 》	全固废免烧胶凝材料技术
2024年	河北省工业领域 绿色低碳技术装备目录 (2024版)	低碳固废基胶凝材料制备全固废混凝土
2025年	河北省住建厅 《 河北省推广使用建设工程材料设备产品目录 (2025年版) 》	低碳固废基胶凝材料

低碳技术目录



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心

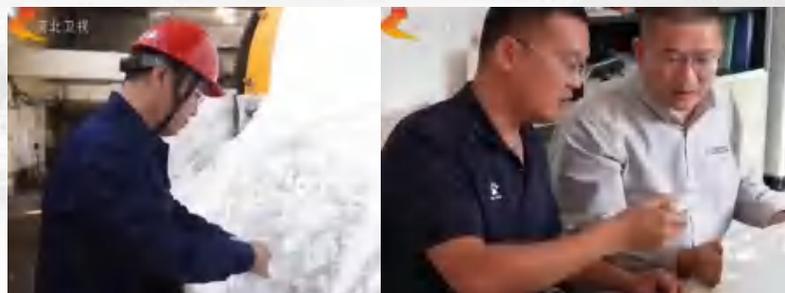


河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室

2021年	工信部《国家工业资源综合利用先进适用工艺技术目录》	固废基胶凝材料制备新型低碳绿色建材技术
2021年	河北省低碳技术推广目录	基于冶金基固废胶凝材料的全国废高性能混凝土制备与应用技术



河北新闻联播报道
河北：打造创新应用场景 加速科技成果转化



中国建材报 我们创造内容价值
工业固废高值化利用待突破
——众议八部门联合印发《关于加快推进工业固废综合利用的实施方案》
钢渣消纳可发挥固废基胶凝材料的潜力
关注资源丰富地区全固废混凝土的可复制性
10亿吨钢渣何去何从？建材业或成消纳主力

钢渣去哪儿了？
——武安新峰公司探索循环经济转型之路

京津冀协同推进工业固废综合利用
产业发展
固废再利用 产业绿意浓

涉县“高碳经济”向低碳发展转型

(1) 高品质掺合料，钢渣水渣复合粉，硅铝聚合土

水泥用量从原来的 90% 下降到 30%，并应用于大量工程

(2) HC-1 低熟料高性能混凝土胶凝材料

水泥熟料最低用量达到10%，**河北省产业化应用**

(3) 全国固废胶凝材料1-2代

可以取代80-100kg水泥

(5) 早强，高强型固废基胶凝材料

直接替代42.5水泥使用



第一部分

胶凝材料特点



固废基胶凝材料特点与碳减排计算



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



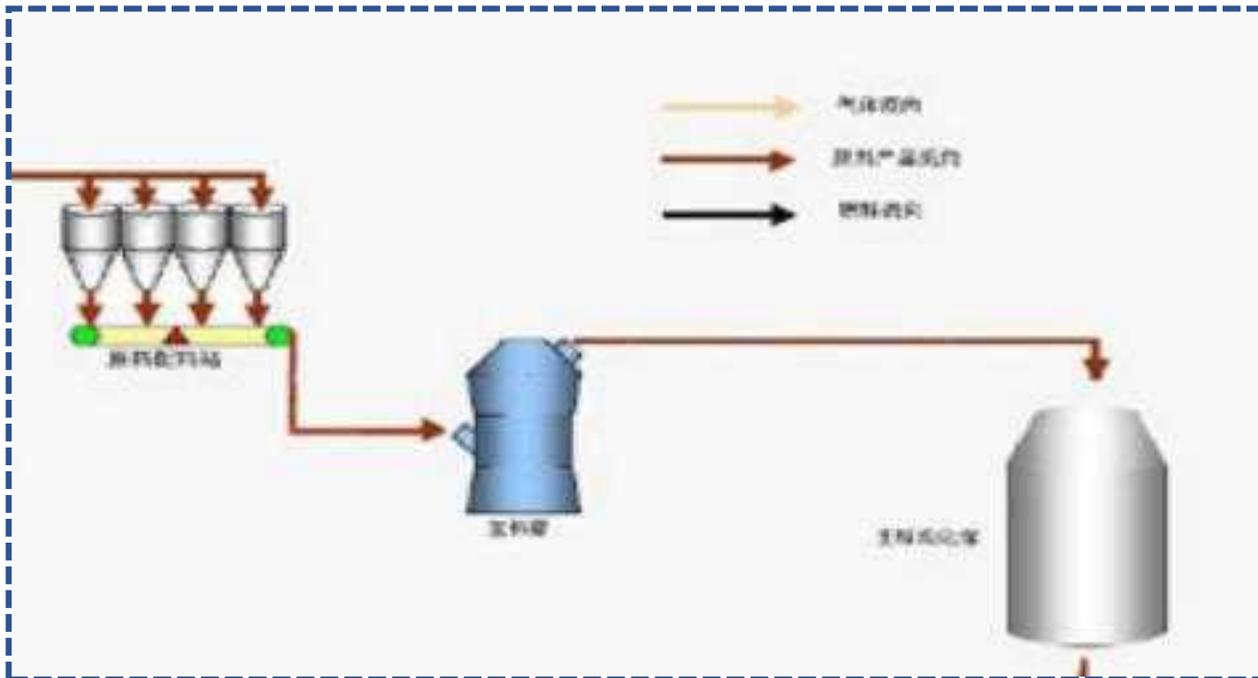
河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室



钢渣、矿渣、脱硫石膏



碱渣、飞灰、脱硫灰



**100%利用
工业固废**



免煅烧



成本

↓ 50-70%



能耗

↓ 80%



碳排放

↓ 90%

早强型固废基胶凝材料强度

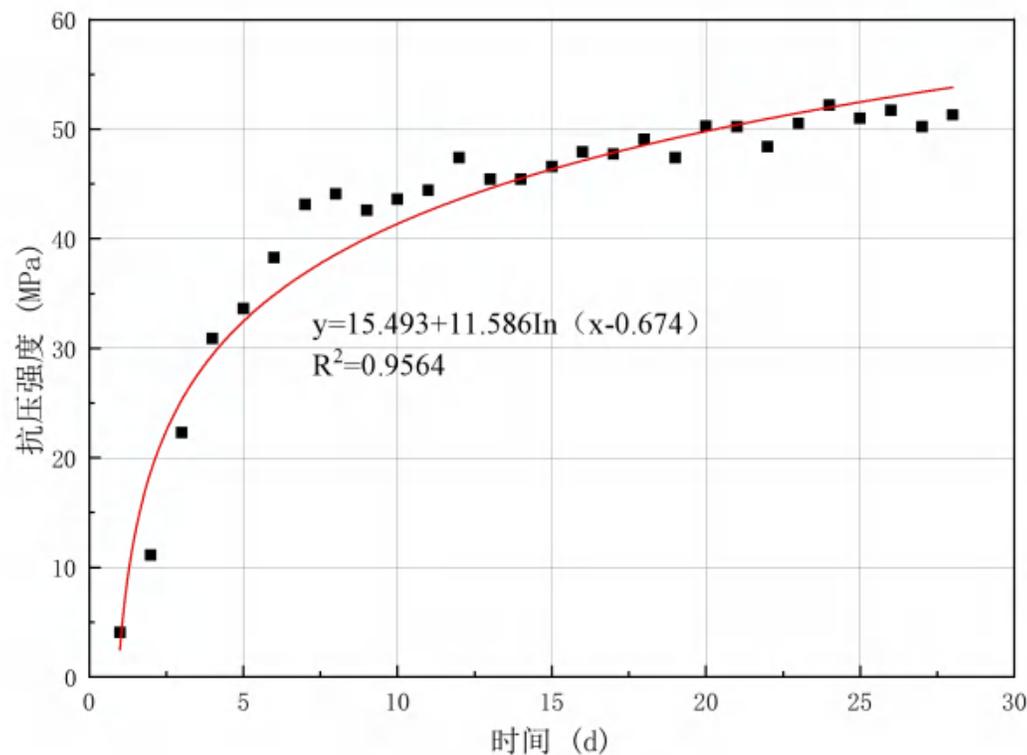
厂家	1d (MPa)		3d (MPa)		7d (MPa)		14d (MPa)		28d	
	抗压	抗折	抗压	抗折	抗压	抗折	抗压	抗折	抗压	抗折
南京	2.3	0.9	25.0	6.0	45.3	8.7	51.2	8.8	54.6	9.5
福建	5.0	1.6	18.7	4.2	48.1	8.4	56.2	9.9	61.6	10.1
石家庄	3.4	1.2	20.8	4.8	38.2	7.2	45.5	8.8	53.4	8.9
廊坊	4.8	1.6	30.7	6.8	39.2	8.4	43.2	9.2	45.4	8.7
P~O	-		17.0	4.0	-		-		42.5	6.5

石家庄样品来自：**河北德隆水泥**，

固废基胶凝材料强度增长规律-优选好的胶凝材料，成功的根本

**以28d强度作为参考，固废基胶凝材料
3d强度为28d强度25%~35%，7d强度为
28d强度的65%~75%，14d强度达到28d
强度80%~90%。**

可单独用于配制C10-C100强度等级混凝土；亦可与水泥任意比例配合使用，节省传统混凝土中50%以上的水泥用量，最大程度降低混凝土成本。



固废基胶凝材料抗压强度增长规律

早强型固废基胶凝材料强度

厂家	初凝时间	终凝时间	标准稠度
南京	240min	310min	28.6%
福建	230min	305min	29%
石家庄	195min	281min	29%
廊坊	215min	285min	28%
P~O	> 45min	390min	-

固废基胶凝材料的细度

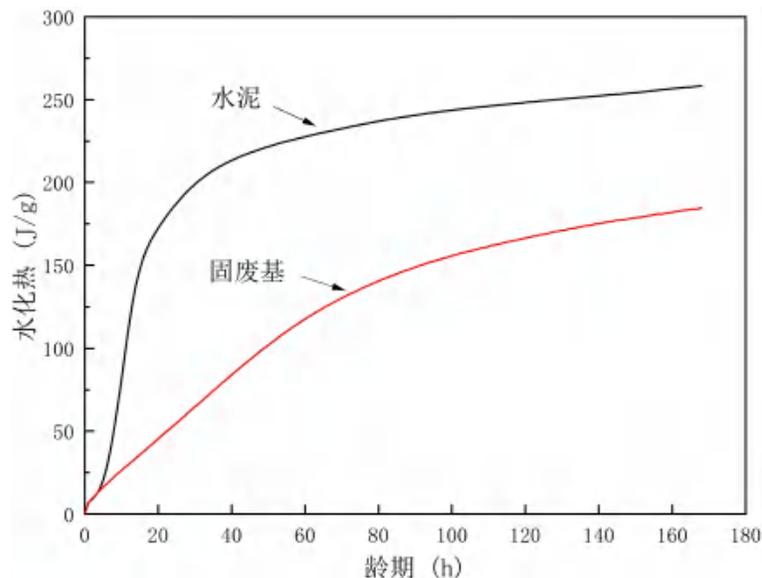
厂家	D10	D50	D90	比表面积 m^2/kg
邯郸 ₁	3.307	8.751	19.092	607
邯郸 ₂	3.798	10.899	22.626	609
石家庄	4.515	12.757	27.17	583

固废基胶凝材料比表面积在 $500m^2/kg$ 以上，与水泥、矿粉、粉煤灰可以构成最紧密堆积，在一定程度上增加混凝土的密实度，降低混凝土的单方用水量。

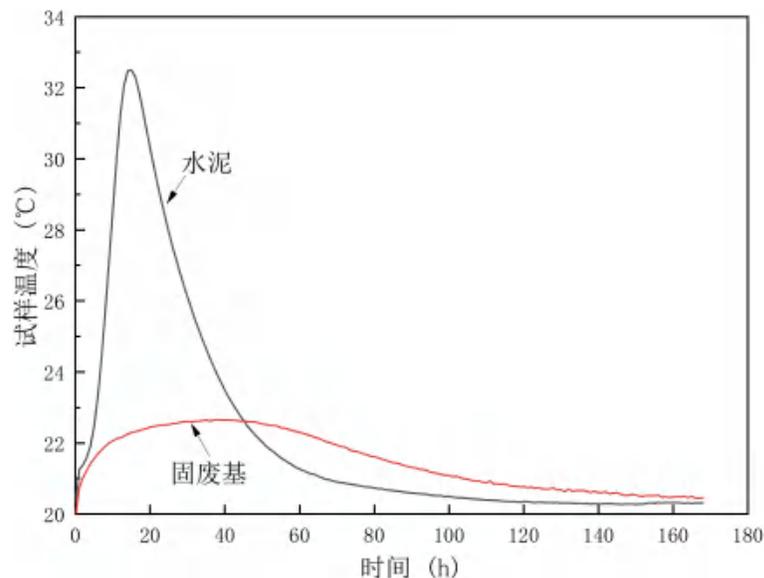
固废基胶凝材料水化热

水泥和固废基水化热检测结果 (J/g)

样品	1d	3d	7d
水泥	184.84	233.48	258.35
固废基	53.06	132.67	184.60



水化热对比



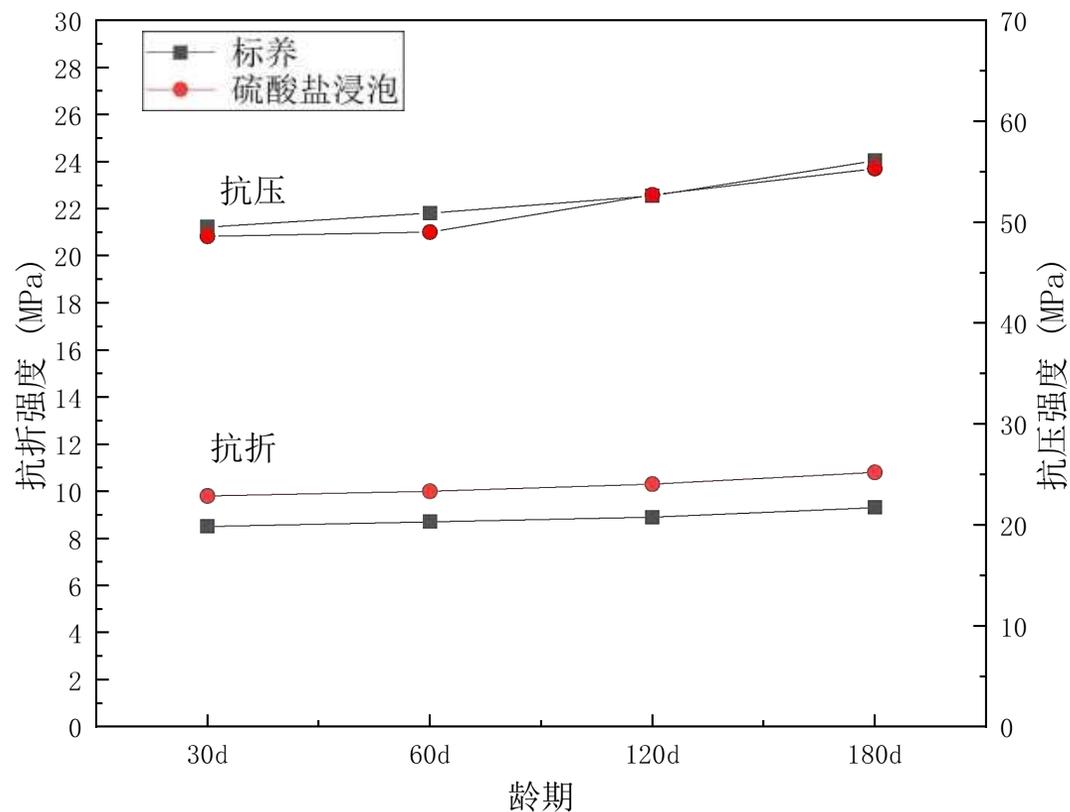
样品温度对比

固废基胶凝材料水化放热量远低于水泥，1d、3d、7d水化热仅为传统水泥的28.7%、56.8%和71.4%，整体温升较低，更适用于大体积混凝土。仅为传统水泥50%，特别适用于大体积混凝土

固废基胶凝材料抗硫酸盐能力

固废基胶凝材料抗硫酸盐侵蚀能力较强，抗压强度与标养试块抗压强度基本持平，抗折强度高于标养试块。

耐化学侵蚀能力强，特别适用于海洋工程应用及多元耦合复杂服役环境。



固废基胶凝材料抗折、抗压强度

- **价格优势**，出厂价格为：传统PO42.5水泥的30%-50%。
- **利润率高**：一吨固废基胶凝材料利润 > 30元。（固废消纳补贴，原材料优势）



- 一个年产20万混凝土拌和站
- 一方混凝土平均可以节省成本**大于10元**
- 一年多产生**至少200万元**
- **潜在的低碳优势，相关政策优势**
- **掌握时间越短，增加较大利润越大**

固废基胶凝材料特点

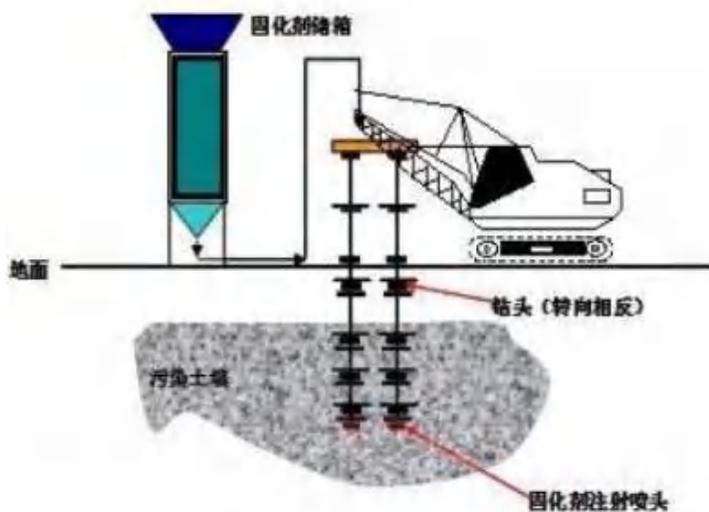


河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心

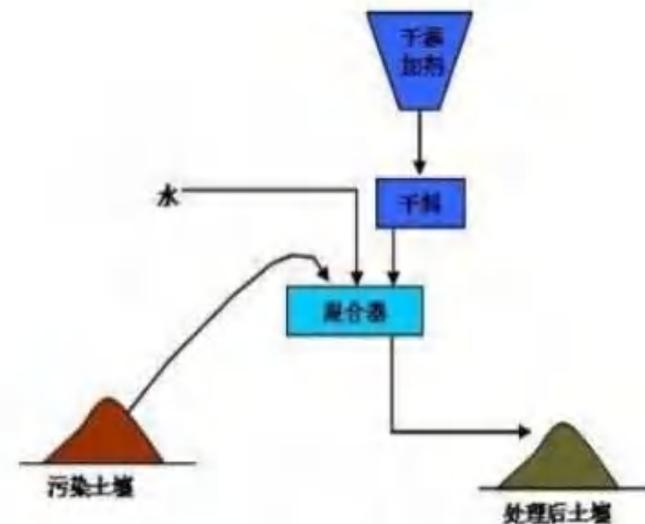


河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室

- **更高韧性**，传统水泥折压比为0.17-0.22，低碳胶凝材料折压比为0.20-0.31。
- **重金属固化能力强**，**重金属固化能力比传统水泥高2个数量级**，适用于有色金属矿山生态修复、重金属污染治理、垃圾焚烧飞灰处置等领域。



原位固化稳定化



异位固化稳定化



第二部分

配方设计及原材控制



关键技术一：确定合适的原材料



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室

1. 细粒级尾矿、尾矿石粉料



大掺量石粉固废基胶凝材料

2. 化工氨碱白泥料



氨碱白泥固废基胶凝材料

3. 煤电固废产区料



大掺量粉煤灰/全煤电固废基胶凝材料

4. 无钢渣地区料



高早强型型固废基胶凝材料

关键技术一：确定合适的原材料



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室

钢渣-矿渣基固废基胶凝材料

等级	组分			
	粒化高炉矿渣	钢渣	工业副产石膏	其他工业固废
GC 42.5	≥ 30 且 ≤ 60	≥ 20 且 ≤ 50	≤ 25	≤ 20
GC 32.5				
GC 22.5	≤ 30	≥ 30 且 ≤ 60	≤ 30	≤ 30

注：固废基胶凝材料中可掺入不超过20%的硅酸盐水泥熟料。

关键技术一：确定合适的原材料

大掺量铁尾矿全固废胶凝材料

利用磨细尾矿填充效应、微集料效应，协同多种固废制备大掺量尾矿全固废胶凝材料，尾矿掺量可达30%~50%，所制备的胶凝材料强度能够达到32.5-42.5水泥指标要求。



大掺量铁尾矿胶凝材料胶砂强度 (MPa)

尾矿掺量%	3d抗压强度 /MPa	28d抗压强度 /MPa
30	18.9	42.3
40	16.4	40.8
50	15.6	38.7

氨碱白泥基全固废胶凝材料

氨碱白泥中含有较多的硫酸盐、氯盐、碳酸盐等物质，硫酸盐和氯盐可以激发矿粉、粉煤灰，碳酸盐可以起到晶核作用，促进水化产物生成，强度提高。

氨碱白泥基胶凝材料胶砂强度 (MPa)

氨碱白泥掺量%	3d抗压强度 /MPa	28d抗压强度 /MPa
30	18.9	46.4
40	16.4	39.7
50	15.7	39.1
60	15.0	35.6

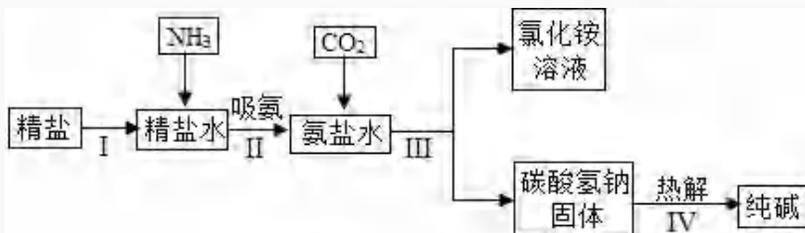


图1



无钢渣全固废胶凝材料

充分利用多固废协同技术，开发无钢渣，低矿渣全固废胶凝材料。降低了固废基胶凝材料对钢铁的依赖。

试验结果

编号	1d 抗折	1d 抗压	3d 抗折	3d 抗压	7d 抗折	7d 抗压
32.5 级-A	4.3	14.1	7.4	24.3	7.0	31.8
32.5 级-B	2.6	13.1	6.8	25.8	6.5	33.1
42.5 级-A	4.8	21.6	6.8	33.0	7.4	37.6
42.5 级-B	4.3	21.4	6.1	35.6	7.2	38.7
42.5 级-C	4.3	22.3	5.4	35.2	6.9	38.9

关键技术一：确定合适的原材料



炉渣-激发剂-粉煤灰-脱硫石膏组合

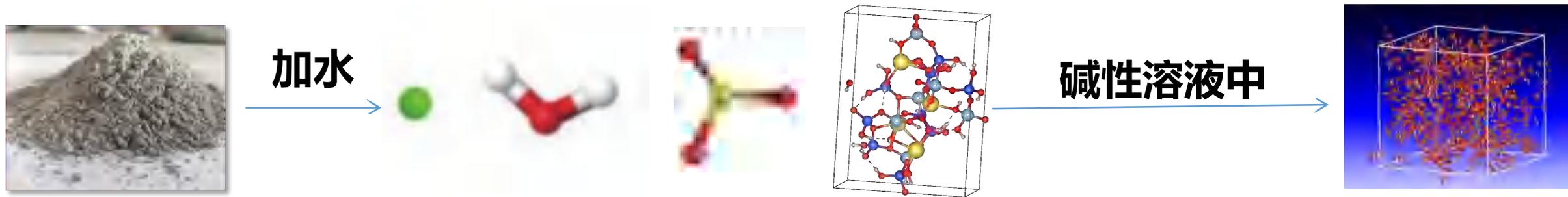
激发剂-粉煤灰-脱硫石膏组合

炉渣-粉煤灰-脱硫石膏组合

样品	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃
A	0.27	2.71	21.40	33.40	0.20	11.6	0	1.00	24.20	0.98	3.83
B	0.46	1.70	21.90	46.90	891*	8.64	0	1.76	13.50	0.90	3.88

编号	炉渣/%	抗折强度 (MPa)			抗压强度 (MPa)		
		3d	7d	28d	3d	7d	28d
JZ	—	1.4	4.3	7.7	5.4	30.9	53.6
T41	7.5	3.8	6.3	7.8	16.7	41.7	55.7
T42	15.0	4.0	6.8	7.4	17.8	36.3	54.2

关键技术二：配料的原理

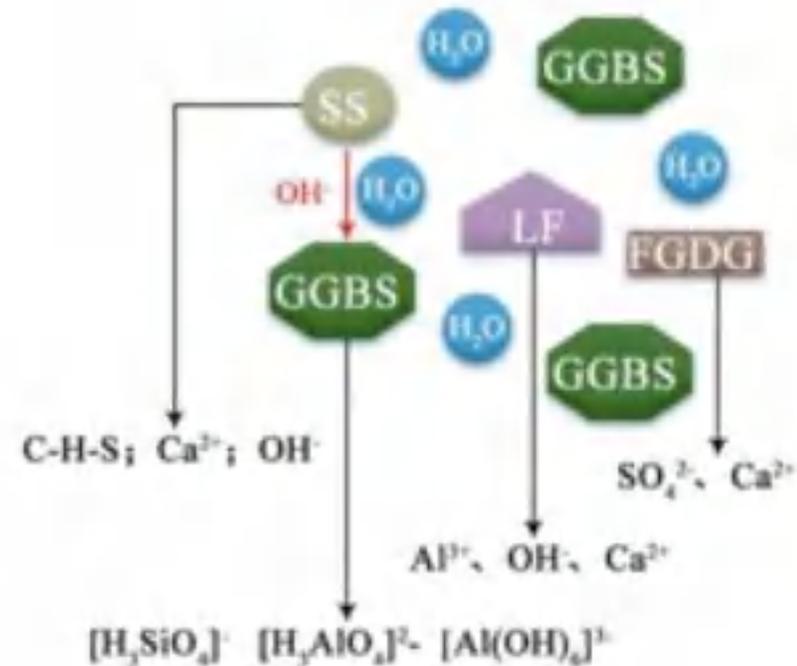
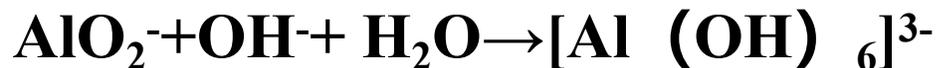


钢渣水化： $C_2S/C_3S + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + C-S-H$ 凝胶



石膏溶解： $CaSO_4 \cdot 2H_2O \rightarrow Ca^{2+} + SO_4^{2-}$

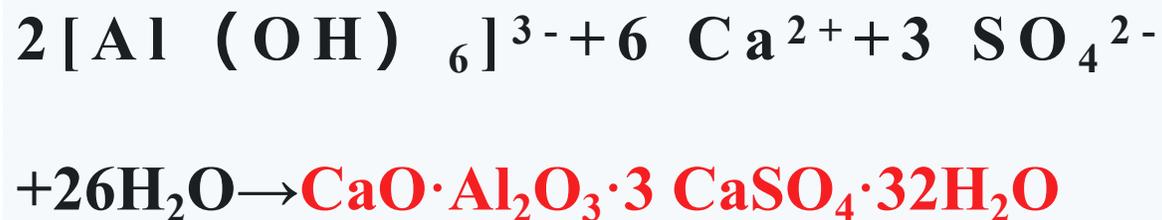
矿渣溶解： $SiO_2 + OH^- + H_2O \rightarrow [H_3SiO_4]^-$



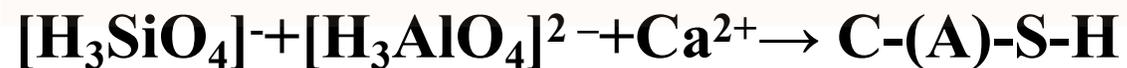
关键技术二：配料的原理

(1) 钙矾石的生成:

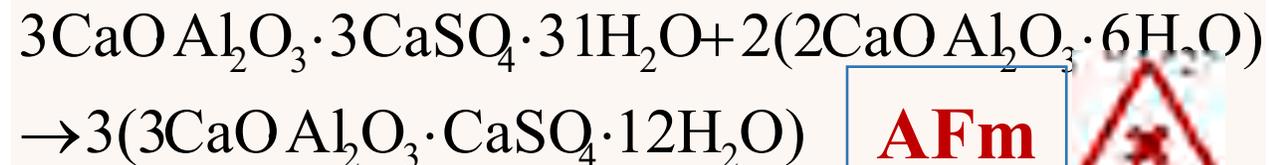
Af_t



(2) C-(A)-S-H凝胶生成:



水化C-S-H来自两种途径

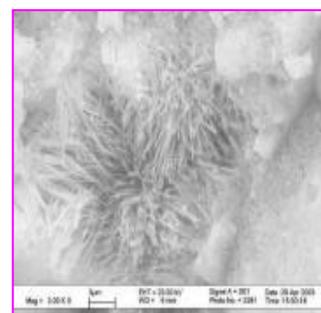
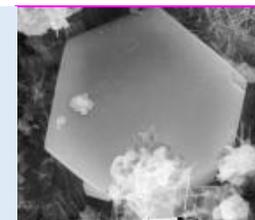


Af_m



钙矾石的生成，对固废基**早期强度**起着决定性作用，水化开始就出现，**3-7天**达到最大值。

无晶体的氢氧化钙生成，后期养护，混凝土碳化至关重要



C-S-H凝胶基本为I型，低碱型，C/S=0.8-1.5，类似托贝莫来石形态；**C:S:H=5:5:6**，影响后期强度

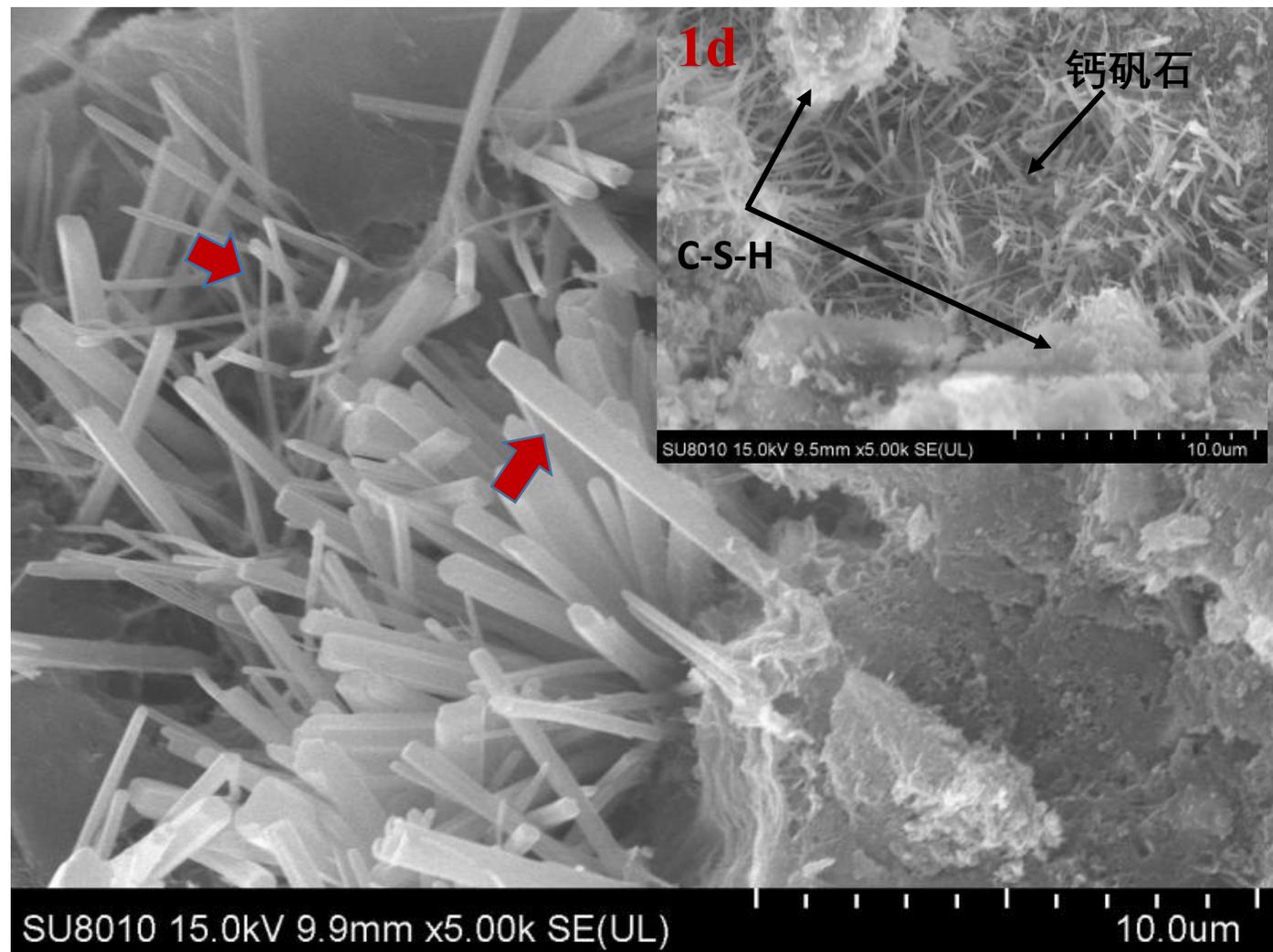
关键技术二：配料的原理



1. 钙矾石相的生成，决定固废基胶凝材料**早期**强度，在3-7天时候生成量达到顶峰；

2. C-S-H相的生成，决定固废基胶凝材料**3d**以后强度，与矿渣质量有很大关系；

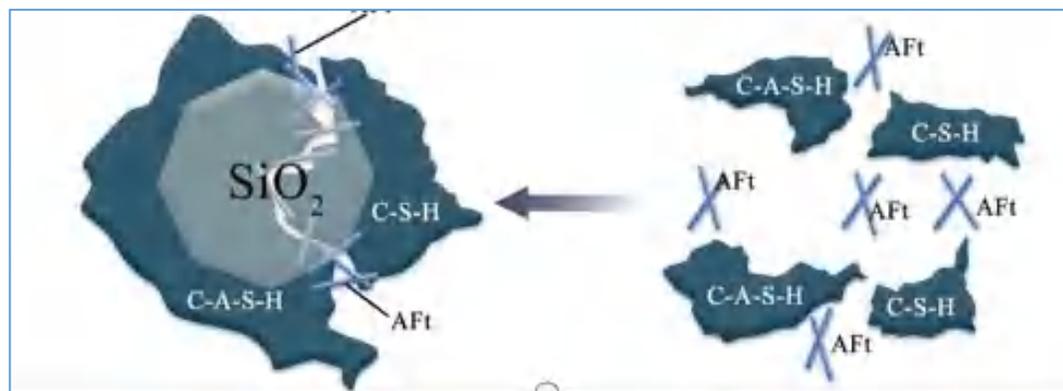
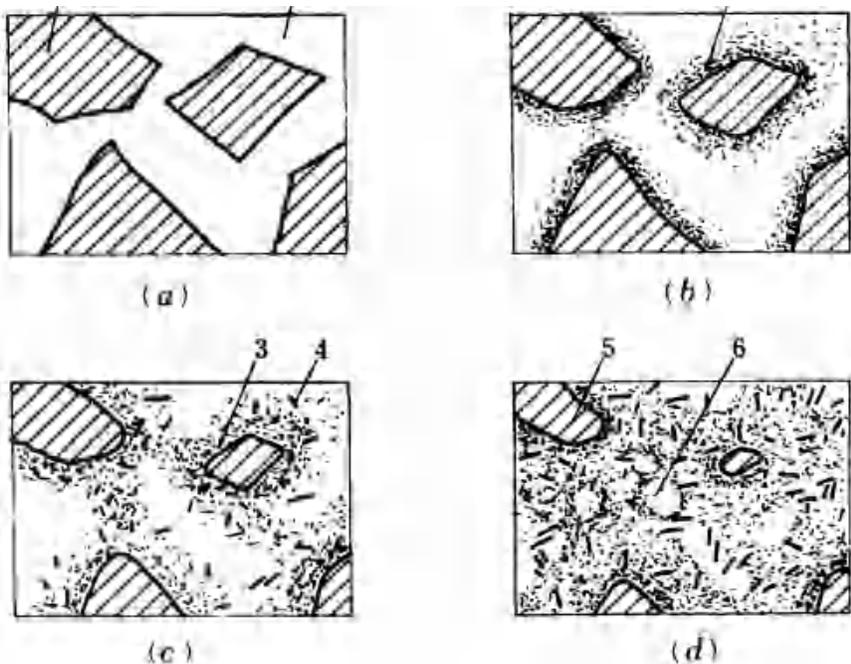
3. 水化过程的溶液pH=10.8-12.5，最适宜为11.8；



关键技术二：配料的原理

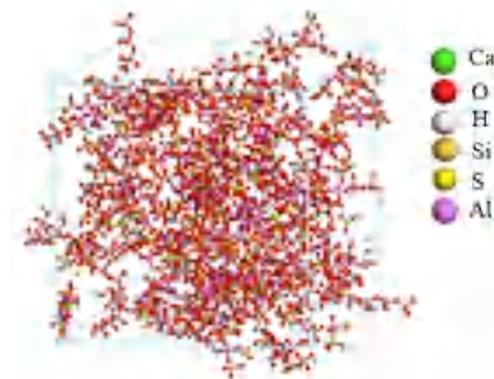


单具体与多聚体缩合反应



晶体相：AFt
无氢氧化钙晶体相产生

胶体相：C-S-H, C-S-A-H



晶体相：胶体相=1.10-1.15
有些情况情况大体相等。

01

以SO₃、CaO和Al₂O₃计，分别检测钢渣、矿渣和脱硫石膏中S、Ca和Al的质量含量，分别标记为c₁、c₂和c₃

02

$$\frac{0.079 (b_2c_3 - b_3c_2) + 0.362 (a_3c_2 - a_2c_3) + 0.178 (a_1b_3 - a_3b_2)}{a_1 (b_2c_3 - b_3c_2) + b_1 (a_3c_2 - a_2c_3) + c_1 (a_1b_3 - a_3b_2)} \geq 0 \quad (1) ;$$

$$\frac{0.079 (b_3c_1 - b_1c_3) + 0.362 (a_1c_3 - a_3c_1) + 0.178 (a_3b_1 - a_1b_3)}{a_2 (b_3c_1 - b_1c_3) + b_2 (a_1c_3 - a_3c_1) + c_1 (a_3b_1 - a_1b_3)} \geq 0 \quad (3) ;$$

$$\frac{0.079 (b_1c_2 - b_2c_1) + 0.362 (a_2c_1 - a_1c_2) + 0.178 (a_1b_2 - a_2b_1)}{a_3 (b_1c_2 - b_2c_1) + b_3 (a_2c_1 - a_1c_2) + c_3 (a_1b_2 - a_2b_1)} \geq 0 \quad (2) ;$$

03

$$\begin{bmatrix} 0.079 \\ 0.362 \\ 0.178 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & c_1 \\ b_1 & b_2 & c_2 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

04

计算出掺量数值：x表示所述钢渣的预掺量；y表示所述矿渣的预掺量；z表示所述脱硫石膏的预掺量

应首先测试原材料物料中的含水率

计算一吨干物料的原材料质量

假定钢渣用量为： x_2 ，含水量为： e_1

干钢渣用量为： $x_2 - a_2 e_1$

一吨干物料的干钢渣用量为：

$$\text{干钢渣} = \frac{x_3}{x_3 + y_3 + z_3} \times 100\%$$

关键技术二：配料的原理



- 1.钢渣需要提供足够的f-CaO,提供用于激发矿粉的碱性物质,另外精确控制溶液的pH值。并提供一定的活性物质;
- 2.钢渣,矿渣需要提供足够的硅铝相物质,使得水化产物可以生成足够的钙矾石相,水化凝胶项。
- 3.需要足够的SO₃,生成钙矾石。
- 4.利用Ca₆Al₂S₃O₁₈·32H₂O, Ca₄Al₆Si₁₀O₃₂·15H₂O, C:S:H=5:5:6与原材料中元素含量,建立函数关系。
- 5.满足:二氧化硅+三氧化二铝+三氧化硫近似等于氧化钙,氧化钙略多

关键技术三：原材料质量控制-钢渣

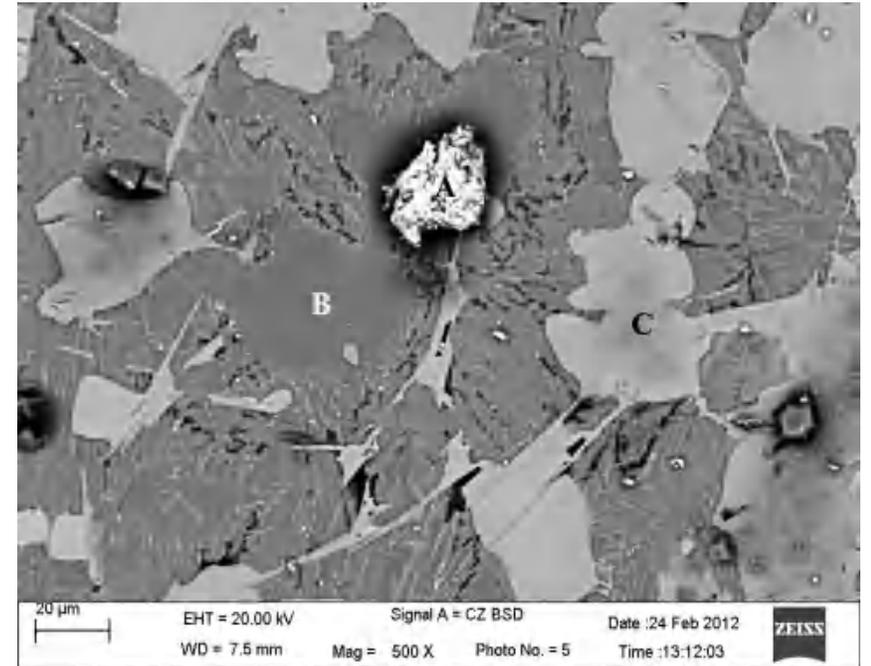


河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



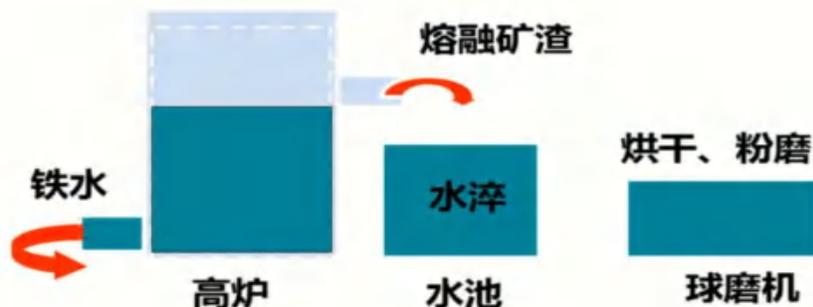
河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室

- ① **矿物组成**：钢渣中的主要矿物相包括橄榄石、钼铁矿、 C_3S 、 $\beta-C_2S$ 、 $\gamma-C_2S$ 、 C_4AF 、 C_2F 、“RO”相(CaO-FeO-MnO-MgO固溶体)、 $f-CaO$ 和 $f-MgO$ 。40%-碱度-发育良好
- ② **磷元素影响**：与 C_2S 形成固溶体， $P/S > 0.1$ （固溶体型）， $P/S < 0.1$ （氟磷灰石型）
- ③ **碱性物质来源**： $f-CaO$ ， $f-CaO+FeO \cdot x\%$ (0~10%)，一价，二价金属氧化物
- ④ **碱度系数**：碱度=氧化钙/（二氧化硅+五氧化二磷），与钢渣的活性密切相关，**碱度系数 > 1.8**；
- ⑤ **钢渣质地坚硬难破碎**，化学成分波动大、富镁铁等特点限制了钢渣应用。掺量不宜过高，增加台时，减少其凝结时间；



钢渣中的主要显微物相与微观结构
A—金属铁微粒，B—硅酸盐相，
C—RO相

关键技术三： 原材料质量控制-矿渣



铸造生铁渣、炼钢生铁渣、特种生铁渣。**急冷渣**。快冷渣主要由玻璃体组成,其含量与矿渣熔体的化学成分和冷却速度有关系,一般酸性矿渣的玻璃体含量高于碱性渣,冷却速度快玻璃体含量就高。我国排放的快冷渣其玻璃体含量80%左右。

碱性高炉渣	酸性高炉渣	高铝渣	钒钛高炉渣
主要矿物为钙铝黄长石和钙镁黄长石,其次为硅酸二钙、假硅灰石、钙长石、钙镁橄榄石、镁蔷薇石及镁方柱石等。	中的矿物成分主要为黄长石、假硅灰石、辉石和斜长石等	酸一钙、三铝酸五钙和二铝酸一钙	钙钛石、安诺石、钦辉石、巴依石和尖晶石

矿渣结构：

第一层次：玻璃比，玻璃比越大，强度越高；玻璃相越高，越好，晶体相中：

$C_2S > C_2AS$ （黄长石） $> C_3S_2$ （二硅酸三钙） $> CS$ （硅灰石）；

第二层次：玻璃相中的结构参数，平均离子键强度越大，活性越高；

SiO_2 越多，活性越小， CaO 越多，活性越多

第三层次：玻璃相中的（网络形成物），越多，活性越低； $Y=2Z-2R$

玻璃相中，平均桥氧数越少，活性越大，其中 $[AlO_4]^{5-}$ 越多，活性

越高

可以促进矿渣快速水化，形成水化产物，形成稳定网络物质

关键技术三：原材料质量控制-矿渣



$$a) M_o = \frac{CaO\% + MgO\%}{Al_2O_3\% + SiO_2}$$

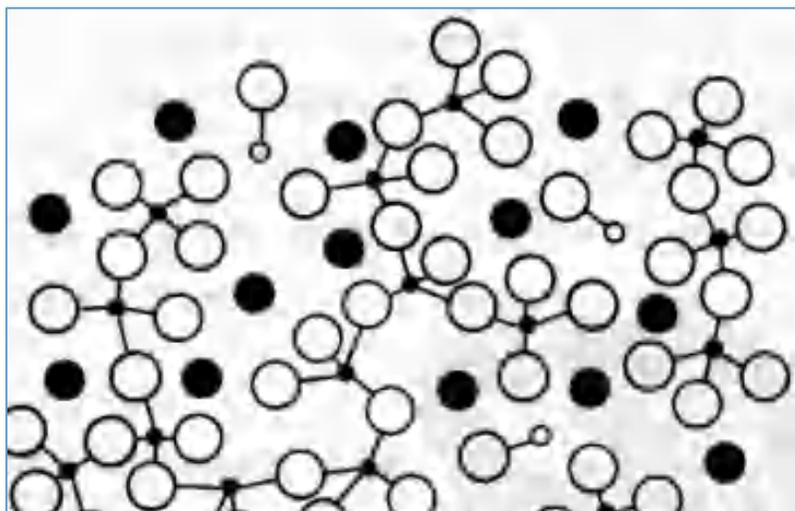
$$b) K = \frac{CaO\% + MgO\% + Al_2O_3\%}{SiO_2\% + MnO\% + TiO_2\%}$$

$$c) A = \frac{Al_2O_3\%}{SiO_2\%}$$

种类	碱性系数	活性系数	MnO%	强度
碱	大于1.0	≤3.0	≤1.0	好
碱	大于1.0	3.0-4.0	≤1.5	差
酸	0.90-1.0	≤2.0	≤1.0	极好
酸	0.75-0.90	≤2.0	≤3.0	一般
酸	0.70-0.75	≤2.0	3.0	极差



CaO/SiO₂比值在**0.50 ~ 2.0**之间和Al₂O₃/SiO₂比在**0.1 ~ 0.6**之间的玻璃相矿渣



关键技术三：原材料质量控制-矿渣



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室

序号	氧化钙	三氧化二铝	二氧化硅	玻璃体成份	备注
1	41-51	14-35	20-35	C2AS-C2S	具有较高的早期强度与28天强度 1早期强度低于2早期强度
2	51-58	13-28	20-35	C2AS-C2S	
3	33-40	19-35	25-40	C2AS-CS	强度次之 1早期强度高于2早期强度
4	40-48	19-35	25-40	C2AS-CAS2	
5	28-39	15-29	42-51	CAS2-CS	强度最差 1早期强度高于2早期强度
6	29-39	20-34	35-42	C2AS-C2AS	

关键技术三：原材料质量控制-矿渣性质比较



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室

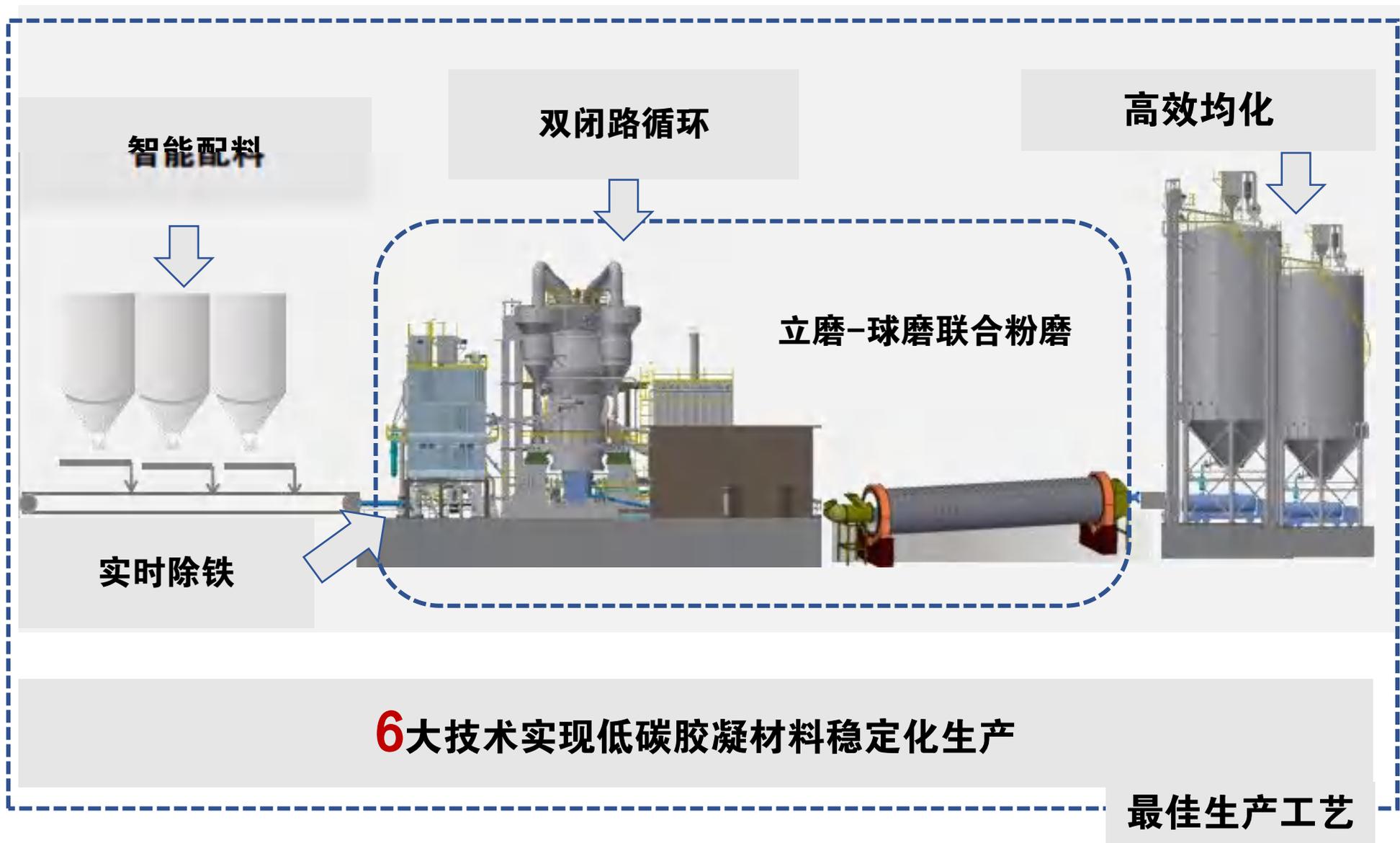
产地	各成分含量 (%)											质量系数	
	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	MnO	Ti ₂ O	SO ₃	V ₂ O ₅	Cl		Na ₂ O
建龙	20.6	0.39	18.8	6.19	—	9.52	0.46	7.53	1.95	0.12	—	0.85	1.36
承钢	33.81	9.91	26.28	7.51	0.02	11.90	0.41	7.10	1.47	—	0.40	0.97	1.58
攀枝花	5.1	10.1	15.3	9.7	—	10.4	0.75	38.2	—	0.92	—	—	0.46
邯钢	14.2	0.16	12.2	2.62	—	5.34	0.16	0.28	1.23	—	—	0.23	1.75
天铁	19.6	6.39	12.1	2.26	0.39	6.01	1.07	0.41	1.12	0.12	—	0.24	2.05

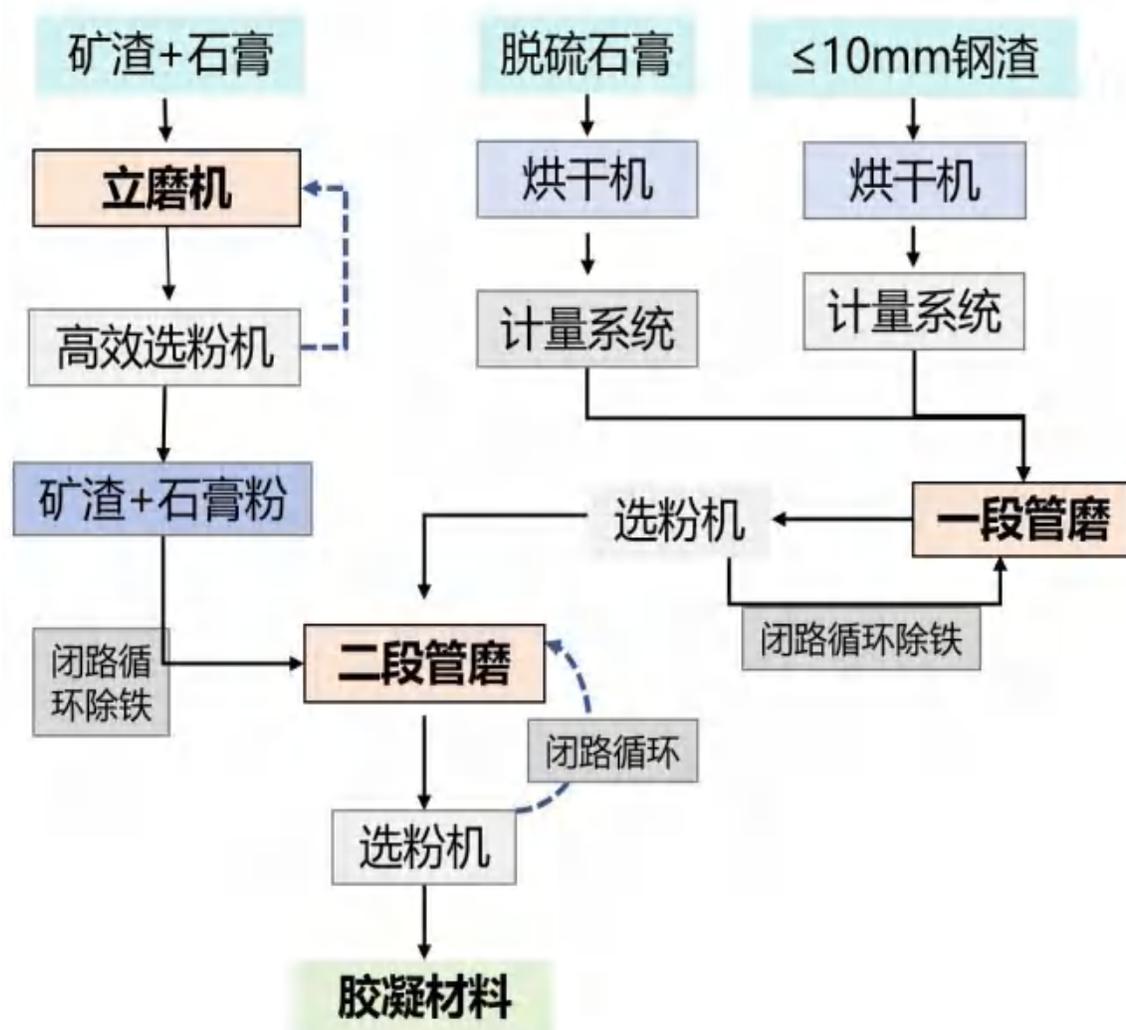


第三部分

生产及质量控制技术

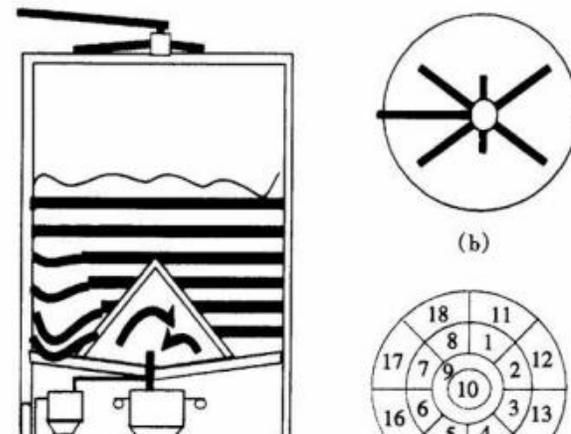
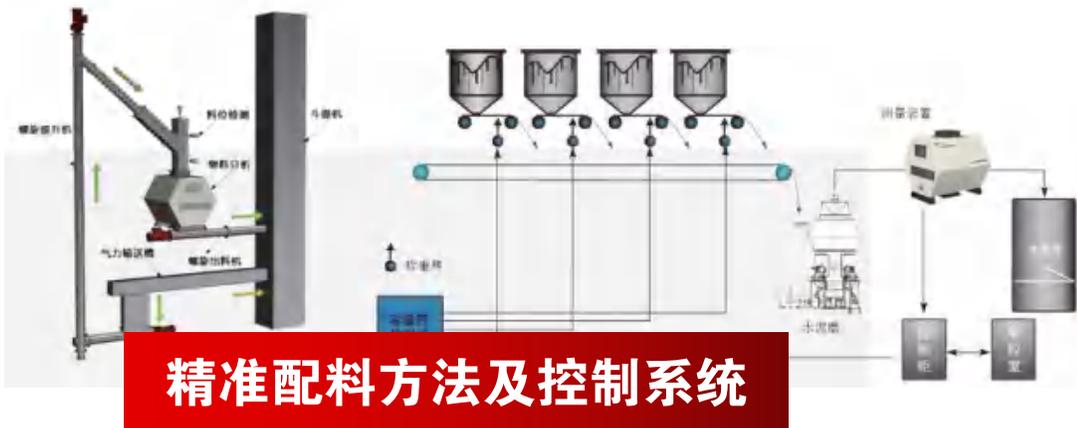
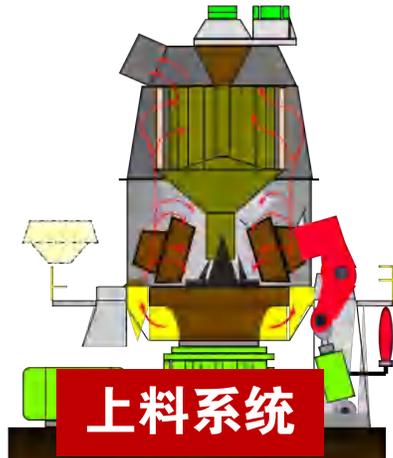






流程特点:

- 1、立磨与管磨生产工艺协同配合优化，实现原材料级配可控，产品稳定性好
- 2、多道除铁，实现钢渣、矿渣低能耗、低成本粉磨，生产效率高
- 3、投资成本高，占地面积大

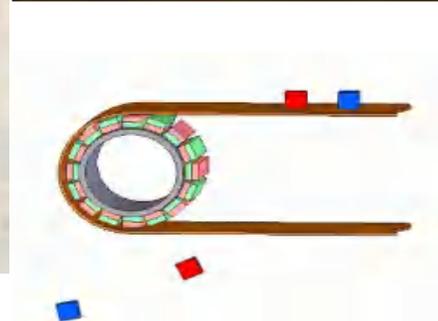
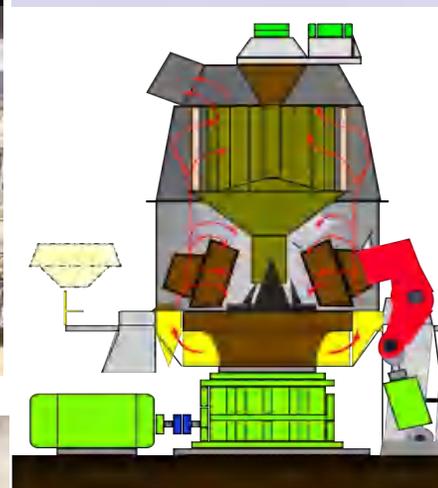
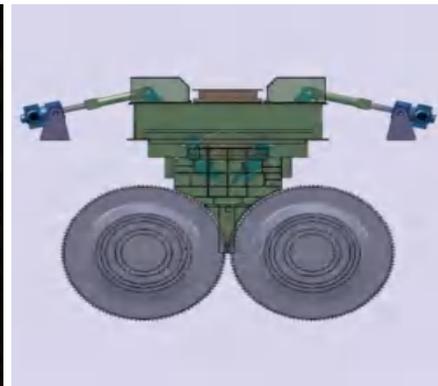
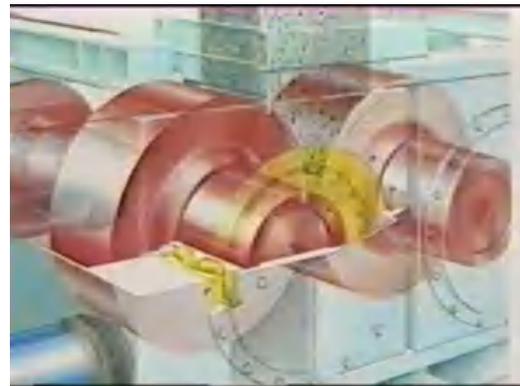


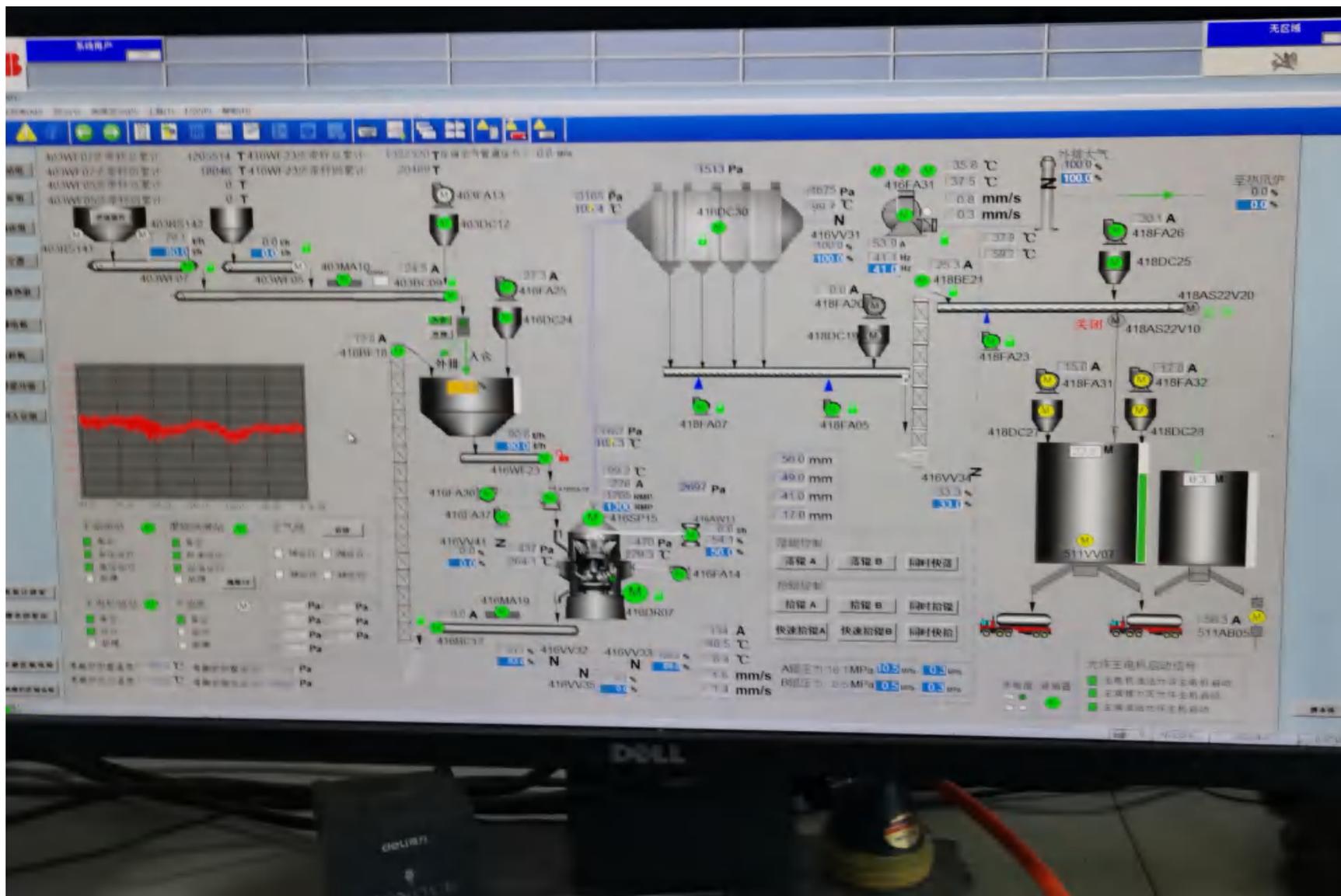
生产及质量控制技术-钢渣利用的难点

在钢渣粉磨过程中进行实时循环除铁，
可实现与高炉水淬矿渣粉磨电耗相近。

设备配套：

1. 辊压机串联立磨
2. 辊压机串联管磨
3. 除铁技术改造：磁滑轮改成带式除铁器

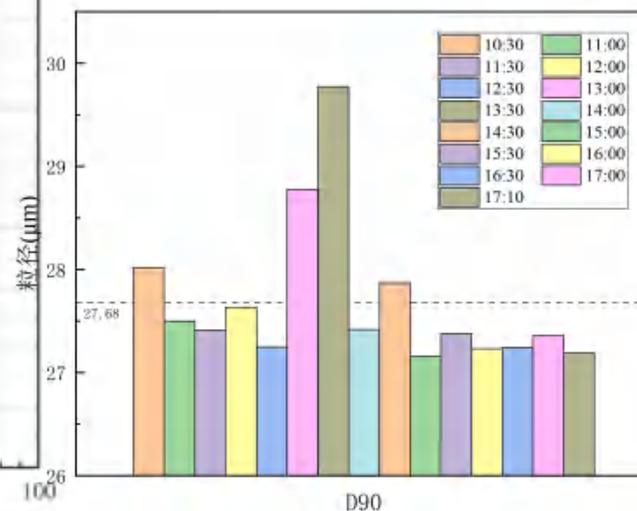
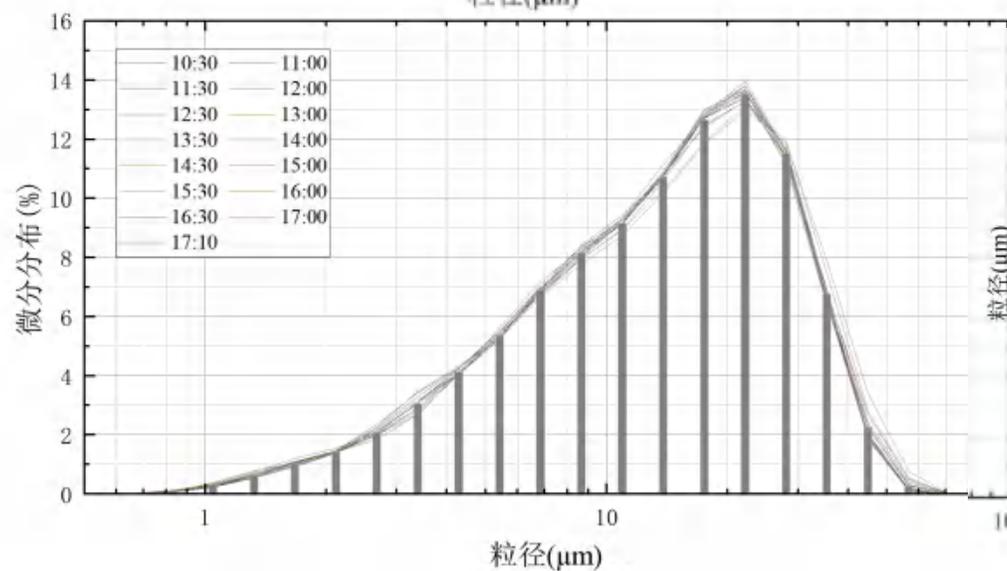
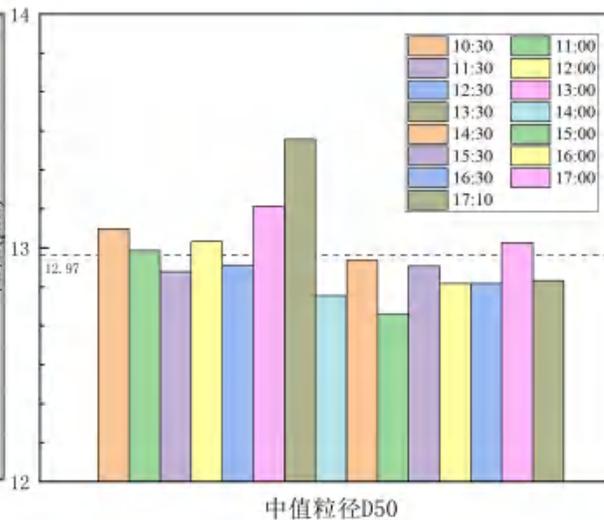
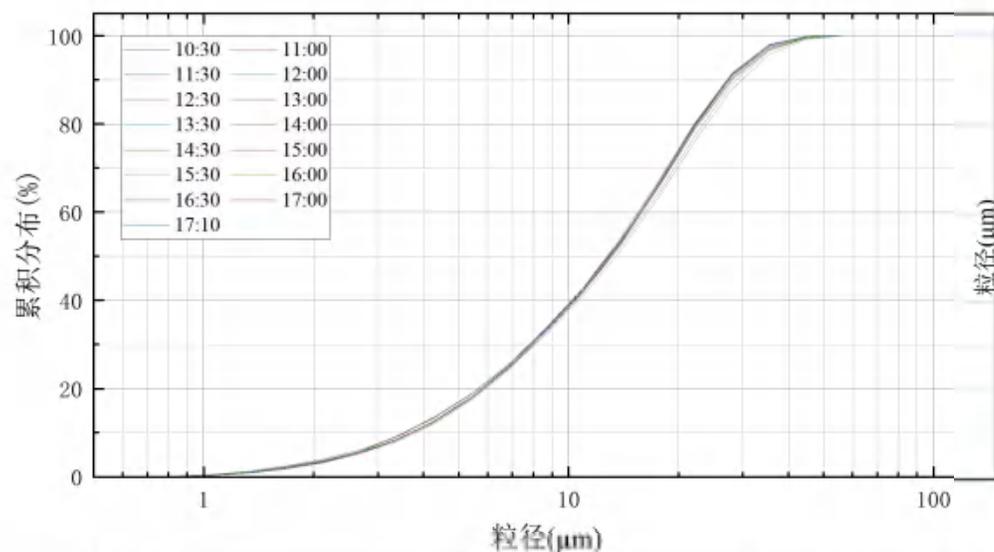




- 1.台时控制
- 2.磨内压差控制
- 3.选粉机转速
- 4.辊压力
- 5.料层厚度
- 6.磨内喷水量
- 7.出磨温度
- 8.材料的均化

物料名称	取样地点	检验项目	控制指标	合格率	控制项目	控制指标		检测次数	
					安定性	合格率 (%)			
出磨产品	自动取样机	细度	$\leq K \%$	90%	凝结时间	初凝 (min)		每日一次 综合样	
		比表面积	$\geq K \text{ m}^2/\text{kg}$	85%		终凝 (min)			
		SO ₃	$K \pm 0.30\%$	85%	细度	筛余量 (%)			
		助磨剂	$K \pm 2.0\%$	85%		比表面积 (m ² /kg)			
		物理性能	/	/	强度	3天强度 (MPa)	抗压		
		化学成分	符合国家标准	/			28天强度 (MPa)		抗压
							抗折		
					抗折				
					分析调整				

低碳固废基胶凝材实际生产关键技术参数控制



•出厂产品

合格率100%

•富余强度

合格率100%

•28d抗压强度

目标值 \geq (国标规定值+富余强度+3S)

•均匀性试验

28d抗压强度变异系数目标值不大于3.0%

低碳固废基胶凝材实际生产出厂质量控制

物料名称	取样地点	检验项目	控制指标	合格率
出厂产品	库底、卸料器、栈台	细度	$\leq K\%$	90%
		比表面积	$\geq K\text{m}^2/\text{kg}$	85%
		SO ₃	$K \pm 0.30\%$	85%
		助磨剂	$K \pm 2.0\%$	85%
		物理性能	1d,3d强度	/
		化学成分	符合标准	/

低碳固废基胶凝材实际生产出厂质量控制



1.外界因素影响

2.材料本身影响

半水石膏含量

胶凝材料凝固传质

过程

温度过高，湿气未及

时散出

控制含水率

及时使用，减少储存

时间

生产及质量控制技术-安定性问题



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室



生产及质量控制技术-安定性问题



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室





技术产业化与保障工作



主要课题情况



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



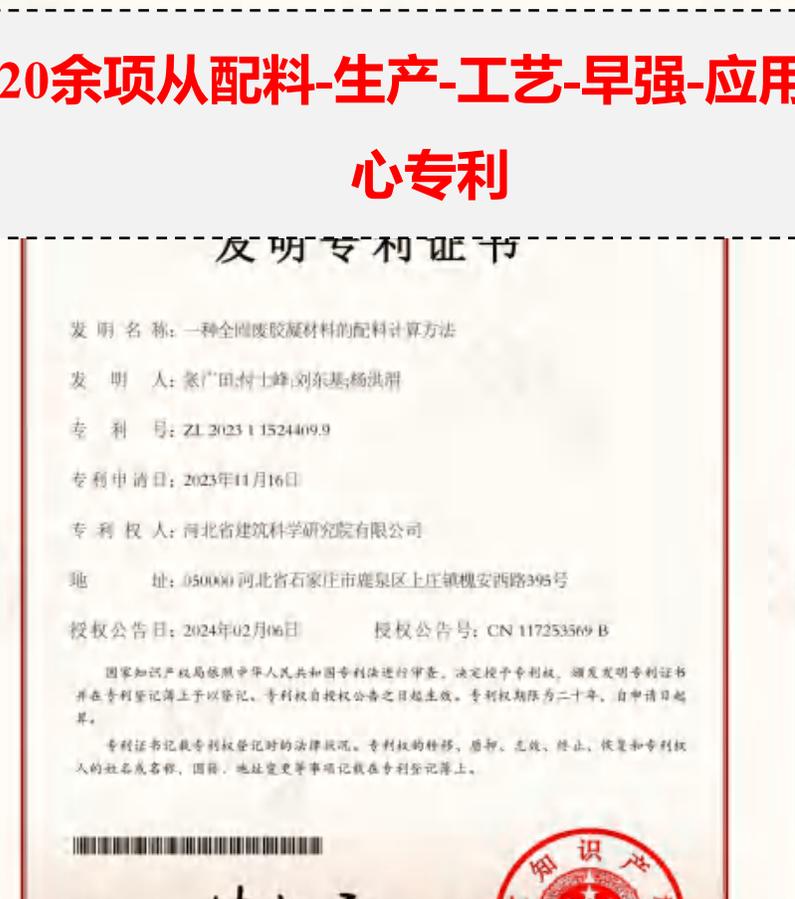
河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室

1	河北省科技重大成果转化项目	超低碳排放冶金固废基胶凝材料应用研究及产业化
2	住建部重大科技攻关项目	冶金基全固废胶凝材料关键技术与产业化
3	河北省重点研发计划	大掺量冶炼渣制备全固废胶凝材料关键技术与工程示范
4	河北省创新能力提升计划	固体废弃物资源化再利用科普视频创作
5	河北省建设科技计划	低熟料胶凝材料绿色高性能混凝土关键技术与应用
6	河北省建设科技计划	多源固废精细化控制生产固废基胶凝材料
7	中央引导地方科技发展资金	铁尾矿-冶金渣制备低碳胶凝材料关键技术与应用研究
8	重大科技成果转化专项	基于氨碱白泥处理场景的绿色低碳建材研发与应用

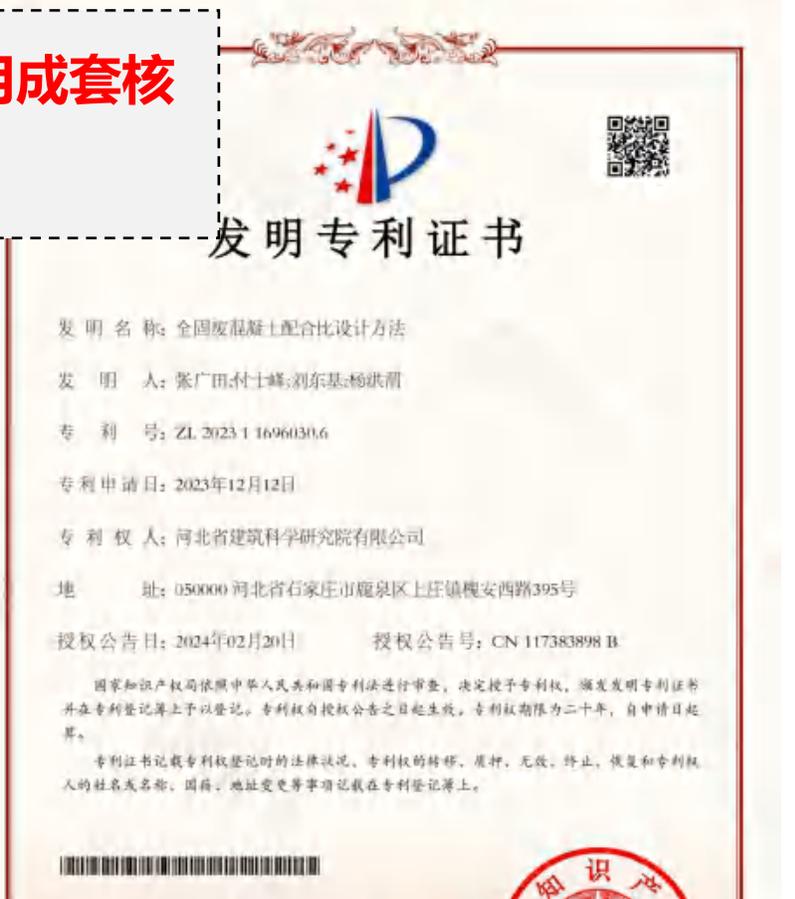
形成20余项从配料-生产-工艺-早强-应用成套核 心专利



固废基胶凝材料超早强添加剂
早期强度普遍可以提高5-10MPa。



全固废胶凝材料配比计算方法
方便快捷, 完成配料精确计算。



全固废混凝土配合比设计方法
方便快捷, 完成配料精确计算。

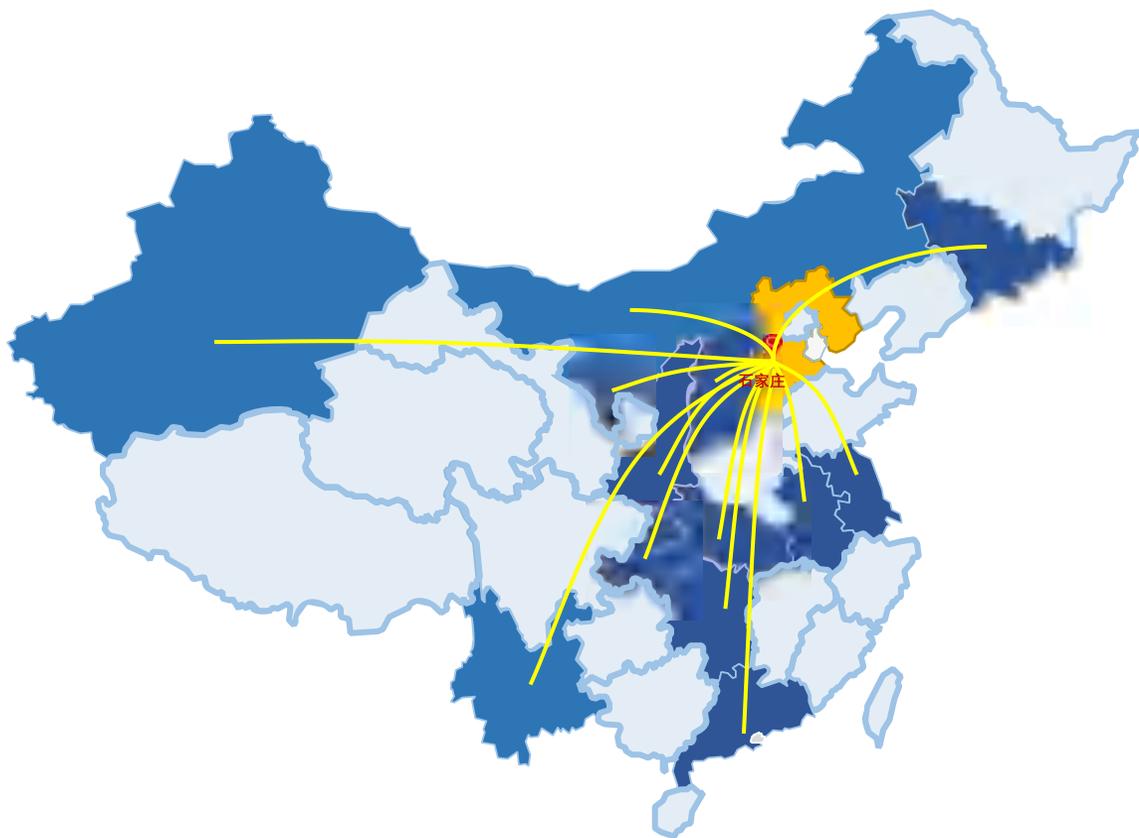
应用推广情况-生产线



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室



全国生产线 **28条**

河北省生产线 **17条**

产能超过**1200万吨**

项目覆盖 **12省**

河北、山西、内蒙古、广东、湖北、湖南、安徽、湖南、重庆、新疆等

项目技术已应用于国家多个重点工程，**为雄安新区建设提供了优质低碳胶凝材料保障。**

应用推广情况-应用工程



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室



雄安新区容西片区G单元安置房及配套项目



雄安新区容西输变电工程



奥体新城



金融中心



太行山高速



新元高速



天庄高速



国道234



黄贵高速

河北省固废基胶凝材料发展概况



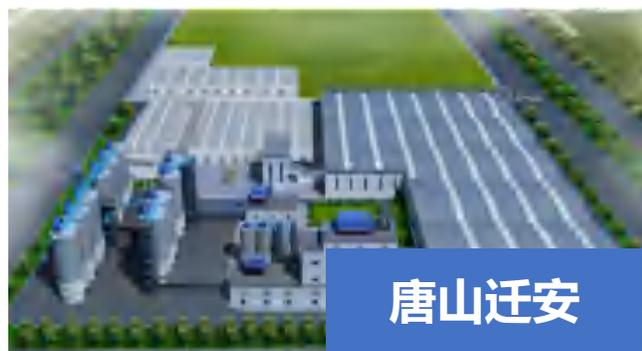
河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室



- 生产厂家已经建立、正在建设17条
- 已建生产线产能 ≥ 1000 万吨/年;
- 始于2018-2019年



安徽淮南



采用立磨，管磨联合粉磨：制备GC52.5级

大掺量粉煤灰基
高强型固废基胶凝材料



其他省份生产线与产业化情况



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室

广东韶关



管磨粉磨
制备GC52.5级

早强，高强型固废基胶
凝材料

福建

立磨、管磨
制备GC52.5级

早强，高强型固废基胶
凝材料



钢渣基全固废混凝土
衡水，邢台，承德

适用于路面，垫层，基础施工，混凝土一方
可以节省20元左右，比传统混凝土

奖励情况 获得省部级奖励10余项



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室

编号：2025-003

证明

经河北省科学技术奖励评审委员会总评审，由河北省建筑科学研究院有限公司，北京科技大学，北科蕴宏环保科技（北京）有限公司，北华航天工业学院完成的“多固废协同制备低碳胶凝材料关键技术与产业化”项目被推荐为2024年度河北省科学技术进步奖壹等奖建议授奖项目，张广田同志为该项目第壹完成人。现尚在履行后续审定及报批手续。

2024年河北省科技进步一等奖



2019年河北省科技进步一等奖

低熟料胶凝材料绿色高性能混凝土成套技术与应用



2021年河北省科技进步一等奖

低碳机制骨料新工业体系关键技术与产业化应用

客观评价

客观评价与工程应用

证书编号	CMA2024-13
发证日期	2024.5.24

冶金工业 科学技术成果评价证书

中国金属学会评字[2024年]第 13 号

成果名称：多固废协同制备低碳胶凝材料关键技术与产业化

参评单位：
河北省建筑科学研究院有限公司
北京科技大学
北科嘉宏环保科技(北京)有限公司
山西鑫宏环境科技发展有限责任公司

评价形式：
组织评价单位：
评价日期：
评价批准日期：
中国金属学会
二〇二四年制

专家评价

姓名	岳清瑞	工作单位	
职务		手机号	13901037295
通讯地址	北京市海淀区学院路30号	邮政编码	
邮箱	yueqr@vip.163.com	院士	是
专业特长	工业与民用建筑诊治及碳纤维土木工程应用		
科学技术工作	高性能结构材料与应用		

建筑科学研究院有限公司、北京科技大学等单位合作完成的“多固废胶凝材料关键技术与产业化”，该成果不仅具有重要理论和实际应用，还展现了显著的环保和经济效益。该成果提出的“复硅”、“硅的四配位同构化效应理论”以及“低钙硅比水化硅酸酯材料的水化机理和长期性能具有重要意义。该成果在多固废协同制备低碳胶凝材料方面实现了重要突破，“以被动水化动力学”理论为基础，通过“复硅技术”的多因素协同，解决了困扰钢渣资源化利用几十年的难题，为加快推进钢渣高附加值大宗利用奠定了重要基础。该成果在实际应用中，实现了低碳胶凝材料规模化生产，产能超过1000万吨，低碳胶凝材料在节能减排和成本控制方面具有巨大潜力，吨降低约80%，碳排放降低90%，成本降低50%~70%。该成果在专利和标准制定、技术创新和规范制定、资源利用和技术产品创新发展等方面具有重要影响力。

专家签字：
年 月 日



何宏平 院士



金涌 院士



岳清瑞 院士



侯增谦 院士



彭苏萍 院士



吴爱祥 院士

A

《HC-I高性能混凝土胶凝材料
应用技术规程》DB13(J)/T
234-2017 **低熟料**

B

《硅铝聚合土应用技术标准》
DB13(J)/T 305-2019 **充填**

C

《低碳胶凝材料高性能混凝土
结构工程施工质量验收规程》
DB13(J)/T 307-2019 **施工质
量验收**

D

《全固废高性能混凝土应用技
术标准》DB13(J)/T 8385-
2019 **全固废体系**

E

《固废基胶凝材料应用技术规
程》T /CECS 689-2020 **全
固废胶凝材料**

F

《全固废海工高性能混凝土应
用技术规范》T /CECS 1254-
2023 **海工混凝土**

建材行标

《道路用固废基胶凝材料》

T/CECS 10303-2023

**《固废基纤维混凝土盾构
管片》**

ICS 91.100.99
CCS Q10/29

中国工程建设标准化协会团体标准

T/CECS 10400—2024

固废基胶凝材料

Solid waste based cementitious materials

《固废基胶凝材料》

CECS10040-2024,

7月22日发布, 12月1日实

施

2024-07-22 发布

2024-12-01 实施

中国工程建设标准化协会 发布

ICS 77.140.99
CCS H 34

GB

中华人民共和国国家标准

GB/T 28294—2024

代替 GB/T 28294—2012

钢铁渣复合料

Iron and steel slag composite materials

《钢铁渣复合料》

GB/T28294-2024,

6月29日发布, 1月1日实施

2024-06-29 发布

2025-01-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

中国工程建设标准化协会

公告

第 2069 号

关于发布《固废基胶凝材料》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2023年第二批协会标准制订、修订计划〉的通知》(建标协字〔2023〕50号)的要求,由河北省建筑科学研究院有限公司、首钢京唐钢铁联合有限责任公司等单位编制的《固废基胶凝材料》,经协会建筑与市政工程专业应用分会组织审查,现批准发布,编号为 T/CECS 10400-2024,自 2024 年 12 月 1 日起施行。



《固废基胶凝材料混凝土应用技术标准》 应用技术标准, CECS,即将发布

《固废基胶凝材料预拌砂浆》 CECS, 2021年立项, 即将完成

《固废基胶凝材料工厂设计标准》, CECS, 2023年立项

《固废基胶凝材料应用技术标准》, 应用技术标准, 河北省标准, 2023年立项

《固废基胶凝材料生产技术标准》, 生产指导标准, 河北省标准, 2023年立项



第五部分

后端应用成套技术



使用方法一：低碳（全固废）混凝土

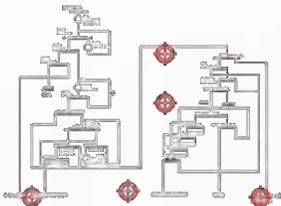
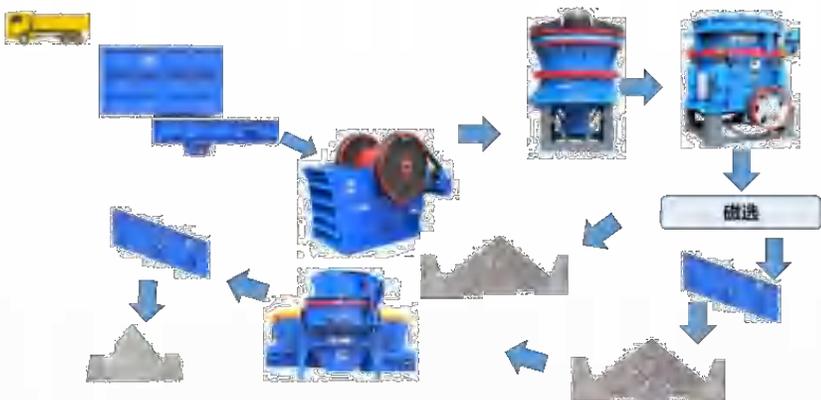


河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室

工业固废协同制备整体胶凝材料



矿山废石制备石子，选矿同时制砂，
细颗粒物综合利用/建筑垃圾



专用外加剂制备

利用上述产品制备高性能混凝土（全固废混凝土）

固废基胶凝材料混凝土状态



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室



使用实例：雄安地区主体应用



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室



全固废



替代水泥加矿粉

中国十七冶集团有限公司 结构实体图



表面状态良好

中国建筑第二工程局 结构实体图



表面状态良好





- 节省传统混凝土中50%以上的水泥用量，可以100%取代胶凝材料使用。
 - 因各搅拌站原材料存在差异，需完成配比试验后方能使用



使用场景1：充填工程



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室

胶砂比	料浆浓度	固废基胶凝材料			P.O42.5水泥		
		抗压强度/MPa			抗压强度/MPa		
		3d	7d	28d	3d	7d	28d
1:3	73	1.71	5.23	8.73	1.97	3.39	6.62
	70	1.60	4.45	7.57	1.43	2.54	4.96
	67	1.37	3.69	6.38	1.27	2.21	4.63
1:4	73	0.76	2.81	5.57	1.08	1.88	3.84
	70	0.69	2.09	4.43	0.92	1.55	2.93
	67	0.39	1.51	3.23	0.90	1.40	2.69
1:5	73	0.30	1.11	2.95	0.89	1.44	2.42
	70	0.29	0.91	1.98	0.72	1.20	2.25
	67	0.23	0.89	1.87	0.71	1.05	1.95
1:6	73	0.21	0.54	1.56	0.63	1.01	1.77
	70	0.15	0.42	1.22	0.55	0.87	1.61
	67	0.11	0.26	1.09	0.43	0.65	1.31



采场垒坝



上向充填采矿法采场



采场充填作业后



结顶充填

邢台某矿井充填

固废基胶凝材料试块抗压强度大幅优于水泥充填试块，抗压强度1.1~8.73MPa。可以满足于井下接顶、基础与普通部位的充填，且成本远远低于水泥。

应用场景2：道路工程-土体固化



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室



布格



上土



摊铺土



布料



检测撒布量



拌和



碾压



压实度检测



弯沉检测

土体固化工程：采用5%固废基胶凝材料

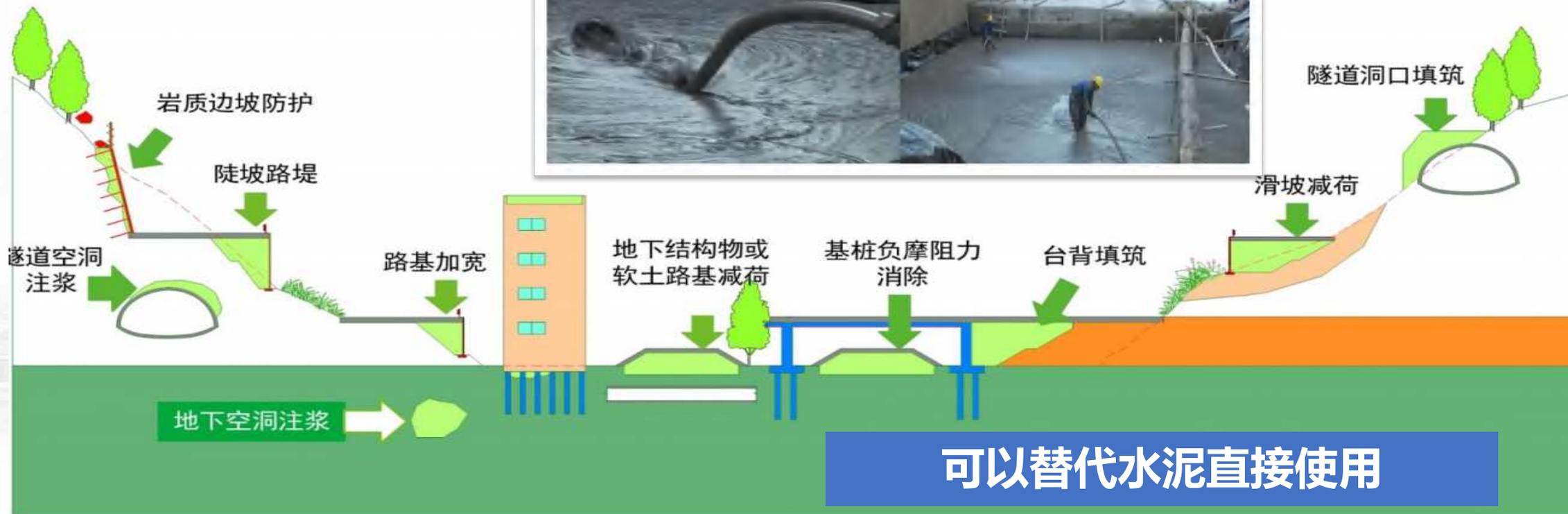
应用场景2：道路工程-流态土与泡沫土



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室



使用场景2：道路工程-稳定碎石层



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室

固废基胶凝材料稳定钢渣-碎石基层配比设计

编号	固废基胶凝材料	0-5 钢渣	1-3碎石	增强剂
R01	5%	70%	25%	0.5%



12.94

13.73

9.32

8.34

使用场景2：道路工程-路面应用



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室



京唐路面施工



邯郸某钢厂内部道路



河北某企业原料大场场地硬化

使用场景2：道路工程-面层、非结构预制构件



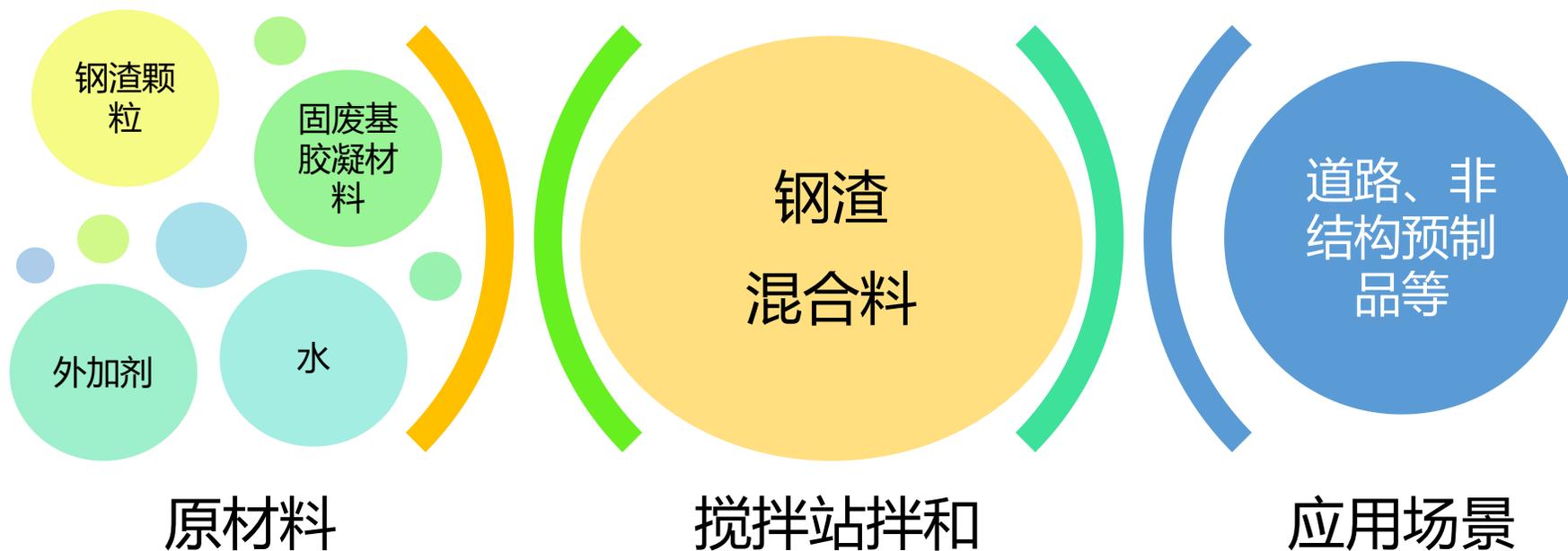
河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室

全固废钢渣混合料的配合比：C15-C40，容重2500-2800 kg/m³

固废基胶凝材料	级配钢渣	水
220-430	1600-2200	140-180



应用场景3： 预制构件与砖



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室

◆ 用于制品制造 (C5-C60)



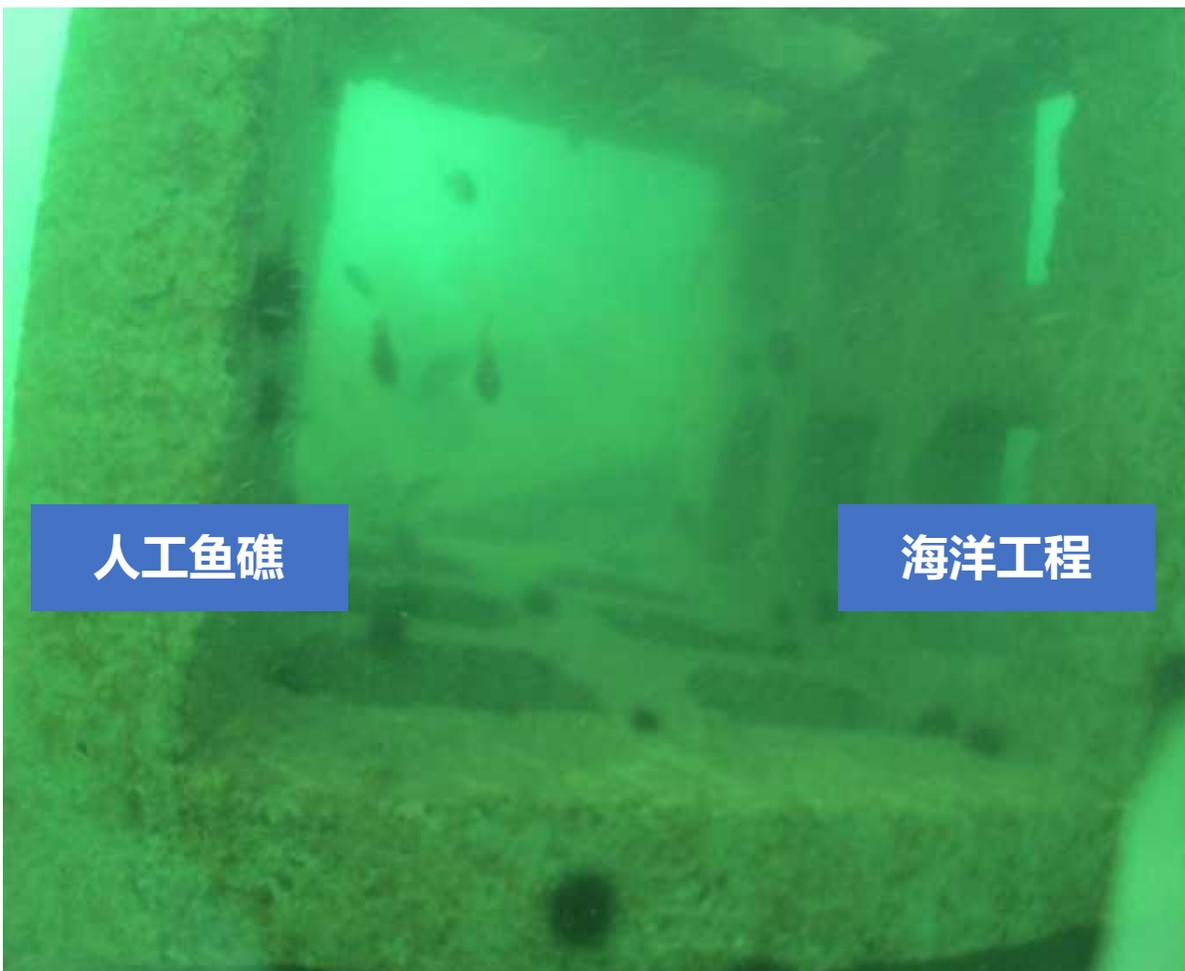
应用场景4-人工鱼礁



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室



人工鱼礁

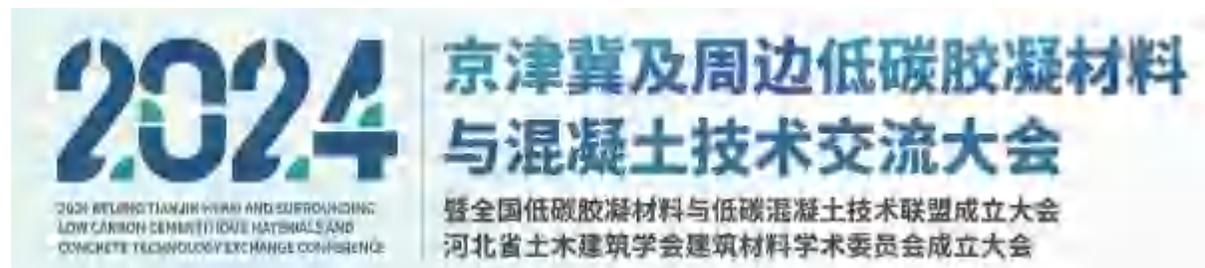
海洋工程



氯离子扩散系数 $<0.4 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$, 28 d抗海水侵蚀系数, $K_{28} > 1.0$ 抗氯离子和抗海水侵蚀能力强, 更适用于海洋工程。



全国低碳胶凝材料与混凝土
技术联盟



2025京津冀及周边低碳胶凝材料与
混凝土技术交流会

2025年全国低碳胶凝材料混凝土
配合比设计大赛

2025年全国低碳胶凝材料生产与应
用技术培训



河北省建筑科学研究院有限公司
国家装配式建筑质量监督检验中心



河北省固废建材化利用
科学与技术重点实验室

谢谢大家

