

中国工程建设标准化协会标准

煤气化粗渣混凝土应用技术规程

Technical specification for application of coal
gasification coarse slag concrete

（征求意见稿）

—20XX-XX-XX 发布

—————20XX-XX-XX 实施

中国工程建设标准化协会 发布

中国工程建设标准化协会标准

煤气化粗渣混凝土应用技术规程

Technical specification for application of
coal gasification coarse slag concrete

T/CECS XX—20XX

主编单位：宁夏煤炭基本建设有限公司

建研建硕（北京）科技有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：20xx 年 x 月 x 日

中国计划出版社

XXXX

北京

前 言

《煤气化粗渣混凝土应用技术规程》（以下简称规程）是根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2024年第二批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2024〕28号）的要求进行编制。编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分为8章，主要技术内容包括：总则、术语、基本规定、原材料、煤气化粗渣混凝土性能、混凝土配合比设计、施工、质量检验与验收。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会防水防护与修复专业委员会归口管理，由宁夏煤炭基本建设有限公司负责具体技术内容的解释。本规程在使用中如有修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送解释单位（地址：银川德胜工业园区德胜西路3号，邮政编码：750200），以供修订时参考。

主编单位：宁夏煤炭基本建设有限公司、建研建硕（北京）科技有限公司

参编单位：建研建材有限公司、宁夏润宇泽节能环保有限公司、中国建筑科学研究院有限公司、大唐同舟科技有限公司、鼎旺天成科技（青岛）有限公司。

主要起草人：王占银、王保明、冷发光、王伟、赵鑫、翟超阳、李嘉宇、赵建新、张猛、郑龙、李荷、肖鹿鸣、苗瑞平、宋华杰。

主要审查人：

目 次

1 总则	1
2 术语	2
3 基本规定	3
4 原材料	4
4.1 煤气化粗渣细骨料	4
4.2 煤气化粗渣混合细骨料	5
4.3 其他原材料	6
5 煤气化粗渣混凝土性能	8
5.1 拌合物技术要求	8
5.2 力学性能	8
5.3 长期性能与耐久性能	8
6 混凝土配合比设计	10
6.1 一般规定	10
6.2 确定配制强度及配合比计算	10
6.3 配合比试配、调整与确定	11
7 施工	13
7.1 一般规定	13
7.2 煤气化粗渣混凝土的制备、运输、浇筑和养护	13
8 质量检验与验收	14
8.1 混凝土原材料质量检验	11
8.2 混凝土拌合物性能检验	11
8.3 硬化混凝土性能检验	12
8.4 混凝土工程验收	12
用词说明	14
引用标准名录	17
条文说明	19

Contents

1 General Provisions	1
2 Terms	2
3 Basic Requirements	3
4 Raw Materials	4
4.1 Fine Aggregate of Coal Gasification Furnace Slag	4
4.2 Coal Gasification Furnace Slag Mixed with Fine Aggregate	5
4.3 Other Raw Materials	6
5 Performance Of Coal Gasification Furnace Slag Concrete	8
5.1 Technical Requirements of Mixtures	8
5.2 Mechanical Performance	8
5.3 Long-term Performance and Durability	8
6 Concrete Mix Design	10
6.1 General Requirements	10
6.2 Calculation of Compounding Strength and Mix Proportion	10
6.3 Trial Mix,Adjustment and Determination of Mix Proportion	11
7 Construction	13
7.1 General Requirements	13
7.2 Preparation,Transporting,Casting and Curing of Coal Gasification Furnace Slag Concrete	13
8 Quality Inspection and Acceptance	14
8.1 Quality Inspection of Concrete Raw Materials	14
8.2 Property Inspection of Concrete Mixture	14
8.3 Property Inspection of Hardened Concrete	15
8.4 Acceptance of Concrete Engineering	15
Explanation of Wording	16
List of Quoted Standards	17
Explanation of Provisions	19

1 总则

1.0.1 为规范煤气化粗渣混凝土的应用,充分发挥煤气化粗渣在混凝土中的性能优势,保障混凝土工程质量、安全耐久,实现资源的高效利用和环境友好,特制定本技术规程。

1.0.2 本规程适用于以煤气化粗渣作为细骨料,应用于工业与民用建筑、市政工程、道路桥梁等各类混凝土结构工程中煤气化粗渣混凝土的设计、生产、施工、质量检验与验收。

1.0.3 煤气化粗渣混凝土的应用除应符合本规程规定外,尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 煤气化粗渣混凝土 coal gasification furnace slag concrete

掺用煤气化粗渣作为细骨料配制而成的混凝土。

2.0.2 煤气化粗渣砂浆 coal gasification furnace slag mortar

掺用煤气化粗渣配制而成的砂浆。

2.0.3 煤气化粗渣掺量 coal gasification furnace slag dosage

煤气化粗渣混凝土中煤气化粗渣用量占细骨料总用量的质量百分比。

2.0.4 煤气化粗渣混合细骨料 mixed fine aggregate of coal gasification furnace slag

煤气化粗渣与天然砂或机制砂等混合配制成的细骨料。

2.0.5 混凝土湿表观密度 apparent density of fresh concrete

煤气化粗渣混凝土拌合物经振实后单位体积的质量。

2.0.6 净用水量 net water consumption

煤气化粗渣混凝土拌合物中不包括煤气化粗渣饱和面干吸水量的用水量。

2.0.7 实际胶凝材料用量 actual usage of cementitious materials

煤气化粗渣混凝土中水泥和矿物掺合料用量与煤气化粗渣微粉含量的总和。

2.0.8 净水胶比 water purification adhesive ratio

净用水量与实际胶凝材料用量之比。

3 基本规定

3.0.1 煤气化粗渣宜与机制砂或天然砂混合使用。

3.0.2 煤气化粗渣不应用于配制预应力混凝土。

3.0.3 煤气化粗渣的浸出重金属含量限值应符合现行团体标准《混凝土和砂浆用煤气化粗渣细骨料》T/CECS 10423-2024 的有关规定；煤气化粗渣的放射性核素限量应符合现行国家标准《建筑材料放射性核素限量》GB 6566 的有关规定。

3.0.4 煤气化粗渣混凝土的力学性能和耐久性设计应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的相关规定。

4 原材料

4.1 煤气化粗渣细骨料

4.1.1 用于混凝土的煤气化粗渣细骨料应分为Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类三个等级。煤气化粗渣按细度模数分为粗、中、细三种规格，其细度模数 M_x 分别为：

粗： $M_x=3.7\sim3.1$

中： $M_x=3.0\sim2.3$

细： $M_x=2.2\sim1.6$

4.1.2 用于混凝土的煤气化粗渣细骨料的颗粒级配应符合表4.1.2的规定。

表 4.1.2 煤气化粗渣细骨料颗粒级配

方孔筛筛 孔边长	累计筛余/%		
	Ⅰ级配区	Ⅱ级配区	Ⅲ级配区
9.50 mm	0	0	0
4.75 mm	10~0	10~0	10~0
2.36 mm	35~5	25~0	15~0
1.18 mm	65~35	50~10	25~0
600 μm	85~71	70~41	40~16
300 μm	95~80	92~70	85~55
150 μm	100~85	100~80	100~75
注：混凝土和砂浆用煤气化粗渣的实际颗粒级配与表中所列数字相比，除4.75 mm和150 μm 筛档外，可以略有超出，但是超出总量应小于5%。			

4.1.3 用于混凝土的煤气化粗渣细骨料中泥块含量、云母含量、有机物含量、硫化物及硫酸盐含量、氯化物含量、坚固性、压碎指标应符合表4.1.3的规定。

表4.1.3 煤气化粗渣技术要求及检验方法

项目	技术要求			检验方法
	I类	II类	III类	
泥块含量（按质量计）/%	<0.3			团体标准《混凝土和砂浆用煤气化粗
云母含量（按质量计）/%	<1.0			
有机物含量（比色法）	合格			

硫化物及硫酸盐含量（以SO ₃ 质量计）/%	<0.5	<1.0	<2.0	渣 细 骨 料 》 T/CECS 10423 的有关 规定
氯化物含量（以氯离子质量计）/%	<0.02	<0.06		
坚固性(按质量损失率计)/%	<4	<7		
压碎指标/%	≤20	≤25	≤30	

4.1.4 煤气化粗渣微粉含量、微粉流动度比宜符合以下规定。

- a)当微粉亚甲蓝值 $MB > 6.0$ 时，微粉含量(按质量计)不应超过 3.5%；
- b)当微粉亚甲蓝值 $6.0 \geq MB > 4.0$ ，且微粉流动度比 $F_F < 100\%$ 时，微粉含量(按质量计)不应超过 5.0%；
- c)当微粉亚甲蓝值 $6.0 \geq MB > 4.0$ ，且微粉流动度比 $F_F \geq 100\%$ 时，微粉含量(按质量计)不应超过 7.0%；
- d)当微粉亚甲蓝值 $2.5 < MB \leq 4.0$ ，且微粉流动度比 $F_F \geq 100\%$ 时，微粉含量(按质量计)不应超过 10%；
- e)当微粉亚甲蓝值 $MB \leq 2.5$ ，或微粉流动度比 $F_F \geq 110\%$ 时，根据使用环境和用途，并经试验验证，供需双方协商可适当放宽微粉含量(按质量计)，但不应超过 15%。

4.1.5 碱活性检验。

煤气化粗渣细骨料应进行碱活性检验，检验方法应符合现行国家标准《建筑用砂》GB/T 14684 的规定。当采用有潜在碱活性和碱活性的煤气化粗渣细骨料时，应采取有效的预防碱-骨料反应的技术措施。

4.2 煤气化粗渣混合细骨料

4.2.1 用于混凝土的煤气化粗渣混合细骨料的颗粒级配应符合表 4.2.1 的规定。

表 4.2.1 煤气化粗渣混合细骨料颗粒级配

筛孔的公称直径	煤气化粗渣混合细骨料
方孔筛	累计筛余/%
4.75 mm	10~0
2.36 mm	25~0
1.18 mm	50~10

600 μm	70~41
300 μm	92~70
150 μm	100~80

注: 1 煤气化粗渣混合细骨料的实际颗粒级配除 4.75 mm 和 600 μm 档外,各级累计筛余超出值总和不应大于 5%;

2 当煤气化粗渣混合细骨料的颗粒级配不符合本条规定时,宜采取相应的技术措施经试验证明质量合格后方可使用。

4.2.2 碱活性检验。

煤气化粗渣混合细骨料应采用快速砂浆棒法进行碱活性检验,检验方法应符合现行国家标准《建筑用砂》GB/T 14684 的规定。当采用有潜在碱活性的煤气化粗渣混合细骨料时,应采取有效的预防碱-骨料反应的技术措施。

4.3 其他原材料

4.3.1 煤气化粗渣混凝土宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB175 的规定,且氯离子含量不得大于 0.025%。

4.3.2 除煤气化粗渣外的细集料应符合现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 或现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的有关规定。

4.3.3 粗集料应符合现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 的有关规定。

4.3.4 煤气化粗渣混凝土应采用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰等矿物掺合料,且矿物掺合料应符合下列规定:

1 粉煤灰应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 的有关规定,且不应低于II级;磨细粉煤灰应符合现行国家标准《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003 的有关规定。

2 粒化高炉矿渣粉应符合现行国家标准《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 的有关规定,且不应低于 S95 级。

3 硅灰应符合现行国家标准《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690 的有关规定。

4 石灰石粉应符合国家现行标准《石灰石粉混凝土》GB/T 30190 和《石灰石粉在混凝土中应用技术规程》JGJ/T 318 的有关规定。

5 钢渣粉应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》GB/T 20491 的规定。

6 钢铁渣粉应符合现行国家标准《钢铁渣粉》GB/T 28293 的规定。

7 磷渣粉应符合现行行业标准《混凝土用粒化电炉磷渣粉》JG/T 317 的规定。

8 磨细火山灰或火山渣应符合现行行业标准《水泥砂浆和混凝土用天然火山灰质材料》JG/T 315 的规定。

9 复合掺合料应符合现行行业标准《混凝土用复合掺合料》JG/T 486 的有关规定。

4.3.5 煤气化粗渣混凝土用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的有关规定。

4.3.6 外加剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 和《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的规定；混凝土膨胀剂应符合现行国家标准《混凝土膨胀剂》GB/T 23439 的规定；防冻剂应符合现行行业标准《混凝土防冻剂》JC 475 的规定，外加剂应选用无碱外加剂，不应选用含有氯盐的外加剂和硫酸盐类外加剂。

5 煤气化粗渣混凝土性能

5.1 拌合物技术要求

5.1.1 煤气化粗渣混凝土拌合物应具有良好的粘聚性、保水性和流动性，不得离析或泌水。

5.1.2 煤气化粗渣混凝土坍落度应满足工程设计和施工要求;泵送煤气化粗渣混凝土坍落度经时损失不宜大于 30mm/h。煤气化粗渣混凝土坍落度的试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的规定。

5.1.3 煤气化粗渣混凝土拌合物的水溶性氯离子最大含量应符合表 5.1.3 的要求。煤气化粗渣混凝土拌合物的水溶性氯离子含量宜按照现行行业标准《混凝土中氯离子含量检测技术规程》GJ/T 322 中的有关规定进行测试。

表 5.1.3 煤气化粗渣混凝土拌合物中水溶性离子最大含量

环境条件	水溶性氯离子最大含量(%, 水泥用量的质量百分比)	
	钢筋混凝土	素混凝土
干燥环境	0.3	0.3
潮湿但不含氯离子的环境	0.1	
潮湿且含有氯离子的环境	0.06	
腐蚀环境	0.06	

5.2 力学性能

5.2.1 煤气化粗渣混凝土的强度标准值、强度设计值、弹性模量、轴心抗压强度与轴心抗拉疲劳强度设计值、疲劳变形模量等应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。煤气化粗渣混凝土力学性能应按照现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的规定进行试验测定，并应满足设计要求。

5.2.2 煤气化粗渣混凝土抗压强度应按现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 进行评定，并应满足设计要求。

5.3 长期性能与耐久性能

5.3.1 煤气化粗渣混凝土的干缩率和徐变系数应满足设计要求。

5.3.2 煤气化粗渣混凝土耐久性应满足表 5.3.2 的要求。

表 5.3.2 煤气化粗渣混凝土耐久性要求

项目		技术要求
碳化深度(mm)		$\leq 25\text{mm}$
抗硫酸盐等级(有抗硫酸盐侵蚀性能要求时)		$\geq \text{KS60}$
抗渗等级		$\geq \text{P8}$
抗氯离子渗透	28d 电通量(C)	≤ 3000
	84d RCM 氯离子迁移系数($10^{-12}\text{m}^2/\text{s}$)	≤ 4.0
抗冻等级(有抗冻性能要求时)		$\geq \text{F100}$
碱-骨料反应(%，52 周膨胀率)		≤ 0.04

5.3.3 煤气化粗渣混凝土长期性能与耐久性能的试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的规定。

6 混凝土配合比设计

6.1 一般规定

6.1.1 煤气化粗渣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。

6.1.2 煤气化粗渣混凝土的最大净水胶比应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的规定。

6.1.3 除 C15 及其以下强度等级的混凝土外，煤气化粗渣混凝土的实际胶凝材料最小用量应符合表 6.1.3 的要求。煤气化粗渣混凝土的实际胶凝材料最大用量不宜超过 550 kg/m³。

表 6.1.3 煤气化粗渣混凝土的实际胶凝材料最小用量(kg/m³)

最大净水胶比	素混凝土	钢筋混凝土
0.58	255	290
0.53	285	310
0.48	325	
0.43	355	

注: 1 实际胶凝材料用量是指水泥用量、矿物掺合料用量和煤气化粗渣微粉含量之和;

2 最大净水胶比数值介于表中相邻两个水胶比之间时，其对应的实际胶凝材料最小用量可采用线性插值的方法计算得到。

6.1.4 矿物掺合料和外加剂的品种和掺量应经混凝土试配确定并应满足煤气化粗渣混凝土强度和耐久性设计要求以及施工要求。

6.2 确定配制强度及配合比计算

6.2.1 根据已有技术资料 and 混凝土性能要求，确定煤气化粗渣掺量；当缺乏技术资料时，煤气化粗渣的最大掺量宜符合表 6.2.1 的规定。

表 6.2.1 煤气化粗渣的最大掺量 (%)

混凝土种类	硅酸盐水泥		普通硅酸盐水泥	
	水胶比≤0.4	水胶比>0.4	水胶比≤0.4	水胶比>0.4
钢筋混凝土	35	30	30	25

素混凝土	50	40
碾压混凝土	50	40

6.2.2 确定混凝土强度标准差 (σ)，并可按下列规定进行：

掺用煤气化粗渣的混凝土，应根据相同煤气化粗渣掺量和同强度等级的同品种煤气化粗渣混凝土统计资料计算确定 σ 值。计算时，强度试件组数不应小于 50 组。对于各强度等级的混凝土，应取表 4 中对应值。当无统计资料时， σ 值也可按表 6.2.2 选取。

表 6.2.2 煤气化粗渣混凝土抗压强度标准差推荐值

强度等级	$\leq C20$	C25、C30	C35、C40
σ (MPa)	4.0	5.0	6.0

6.2.3 计算基准混凝土配合比，应按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的方法进行。

6.2.4 外加剂和掺合料的品种和掺量应通过试验确定；在满足和易性要求前提下，煤气化粗渣混凝土宜采用较低的砂率。

6.2.5 以基准混凝土配合比中的细骨料用量为基础，并根据已确定的煤气化粗渣掺量，计算煤气化粗渣用量。

6.2.6 煤气化粗渣混凝土配合比计算宜采用质量法，骨料宜以干燥状态下的质量为准，水胶比与胶凝材料用量宜采用净水胶比与实际胶凝材料用量。

6.2.7 当煤气化粗渣掺量 $\leq 50\%$ 时，应使用至少一种矿物掺合料进行混凝土配制。

6.2.8 当煤气化粗渣掺量 $> 50\%$ 且 $\leq 80\%$ 时，应使用至少两种矿物掺合料进行混凝土配制。

6.2.9 当煤气化粗渣掺量 $> 80\%$ 且 $\leq 100\%$ 时，应使用至少三种矿物掺合料进行混凝土配制。

6.3 配合比试配、调整与确定

6.3.1 煤气化粗渣混凝土试配、调整与确定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。

6.3.2 在煤气化粗渣混凝土试配过程中，应根据拌合物性能、力学性能、长期性能及耐久性能的具体情况，对配合比进行调整。

6.3.3 在确定设计配合比和施工配合比前，应测定混凝土拌合物的表观密度，当

混凝土表观密度实测值与计算值之差的绝对值超过计算值的 2%时，应将配合比中每项材料用量均乘以实测值与计算值之比，作为确定的设计配合比。

6.3.4 配合比设计时，应按照本规范第 5.1.3 条规定的方法测试拌合物的水溶性氯离子含量，应按照本规范第 5.3.2 条规定的方法测试混凝土碱-骨料反应。当煤气化粗渣批次发生变化时，应重新测试拌合物的水溶性氯离子含量与混凝土碱-骨料反应。

6.3.5 配合比设计时，应在满足混凝土拌合物性能要求和混凝土设计强度等级的基础上，对设计要求的或本规范第 5.3.2 条规定的混凝土耐久性项目进行检验和评定。检验不合格的配合比，不得确定为设计配合比。

7 施工

7.1 一般规定

7.1.1 煤气化粗渣混凝土的施工应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的有关规定。

7.1.2 在施工过程中，应按本规范第 8 章的要求对煤气化粗渣及其他原材料、混凝土质量进行检验。

7.2 煤气化粗渣混凝土的制备、运输、浇筑和养护

7.2.1 煤气化粗渣混凝土宜采用预拌混凝土且煤气化粗渣应单独贮存。当需要在现场制备混凝土时，宜采用具有自动计量装置的现场集中搅拌方式。

7.2.2 原材料计量宜采用电子计量仪器，计量仪器在使用前应进行检查。每盘原材料计量的允许偏差应符合表 7.2.2 的要求。

表 7.2.2 每盘原材料计量的允许偏差

原材料种类	允许偏差(按质量计)
胶凝材料(水泥、掺合料等)	±2%
化学外加剂(高效减水剂或其他化学添加剂)	±1%
粗、细骨料	±3%
拌合用水	±1%

7.2.3 煤气化粗渣混凝土的拌制宜采用双卧轴强制式搅拌机，搅拌时间可控制在 90s~120s。当采用外加剂配制混凝土时，搅拌时间宜取上限值且外加剂宜在其他原材料搅拌均匀之后加入。

7.2.4 制备混凝土前，应测定粗、细骨料的含水率，并应根据含水率的变化调整混凝土配合比。每工作班应至少抽测 2 次，雨雪天应增加抽测次数。骨料堆场宜搭设遮雨棚。

7.2.5 在每个工作班开始前，宜在堆场用铲车将煤气化粗渣翻拌均匀。

7.2.6 煤气化粗渣混凝土的运输、浇筑、养护应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的有关规定。

8 质量检验与验收

8.1 混凝土原材料质量检验

8.1.1 原材料进场时验证质量证明文件，确保来源合法合规，外加剂附带使用说明，便于施工中正确使用，为质量追溯提供依据。例如，煤气化粗渣的放射性、重金属浸出等环保指标需符合第 4 章规定，通过型式检验报告确认，避免不合格原材料流入工程。

混凝土原材料进场时，应按规定批次验收型式检验报告、出厂检验报告或合格证等质量证明文件，外加剂产品还应具有使用说明书。

8.1.2 原材料进场后，应进行进场检验，且在混凝土生产过程中，宜对混凝土原材料进行随机抽检。

8.1.3 原材料进场检验和生产中抽检的项目应符合下列规定：

1 煤气化粗渣的检验项目应包括颗粒级配、微粉含量、泥块含量、表观密度、松散堆积密度、空隙率、烧失量、使用快速砂浆棒法进行碱-骨料反应测试。

2 其他原材料的检验项目应按国家现行有关标准执行。

8.1.4 原材料的检验规则应符合下列规定：

1 煤气化粗渣应按每 400m³ 或 600t 为一个检验批。同一产地与炉型的煤气化粗渣，放射性可只检验一次；当有可靠的放射性检验数据时，可不再检验。

2 散装水泥应按每 500t 为一个检验批，袋装水泥应按每 200t 为一个检验批；矿物掺合料应按每 200t 为一个检验批；砂、石应按每 400m³ 或 600t 为一个检验批；外加剂应按每 50t 为一个检验批。

3 不同批次或非连续供应的混凝土原材料，在不足一个检验批量情况下，应按同品种和同等级材料每批次检验一次。

8.1.5 煤气化粗渣及其他原材料的质量应符合本规范第 4 章的规定。

8.2 混凝土拌合物性能检验

8.2.1 制备系统的计量仪器、设备应经检定合格后方可使用，且混凝土生产单位每月应自检一次。原材料计量偏差应每班检查 1 次；混凝土搅拌时间应每班检查 2 次，原材料计量偏差和搅拌时间应分别符合本规范第 7.2.2 条和第 7.2.3 条的规定。

8.2.2 在生产和施工过程中，应对煤气化粗渣混凝土拌合物进行抽样检验，坍落度、粘聚性和保水性应在搅拌地点和浇筑地点分别取样检验；水溶性氯离子含量应在浇筑地点取样检验。8.2.3 对于煤气化粗渣混凝土拌合物的坍落度、粘聚性和保水性项目，每工作班应至少检验 2 次；同一工程、同一配合比的煤气化粗渣混凝土，水溶性氯离子含量应至少检验 1 次。

8.2.4 煤气化粗渣混凝土拌合物性能应符合本规范第 5.1 节的规定。

8.2.5 当煤气化粗渣混凝土拌合物性能出现异常时，应查找原因，并应根据实际情况，对配合比进行调整。

8.3 硬化混凝土性能检验

8.3.1 对煤气化粗渣混凝土的力学性能、长期性能和耐久性能检验时，应对设计规定的项目进行检验，设计未规定的项目可不检验。

8.3.2 煤气化粗渣混凝土性能检验应符合下列规定：

1 强度检验应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的规定，其他力学性能检验应符合工程要求和国家现行有关标准的规定。

2 耐久性检验评定应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的规定。

3 长期性能检验可按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 中耐久性检验的有关规定执行。

8.3.3 煤气化粗渣混凝土力学性能应符合本规范第 5.2 节的规定，长期性能和耐久性能应符合本规范第 5.3 节的规定。

8.4 混凝土工程验收

8.4.1 煤气化粗渣混凝土工程验收应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。

8.4.2 煤气化粗渣混凝土工程验收时，应符合本规范对煤气化粗渣混凝土长期性能和耐久性能的规定。

用词说明

为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”

2 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规程，凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

GB 175 通用硅酸盐水泥

GB 8076 混凝土外加剂

GB 50010 混凝土结构设计规范

GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范

GB 50164 混凝土质量控制标准

GB 50204 混凝土结构施工质量验收规范

GB 50666 混凝土结构工程施工规范

GB 6566 建筑材料放射性核素限量

GB 8076 混凝土外加剂

GB/T 14684 建设用砂

GB/T 14685 建设用卵石、碎石

GB/T 14902 预拌混凝土

GB/T 1596 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 18736 高强高性能混凝土用矿物外加剂

GB/T 20491 用于水泥和混凝土中的钢渣粉

GB/T 23439 混凝土膨胀剂

GB/T 25176 混凝土和砂浆用再生细骨料

GB/T 27690 砂浆和混凝土用硅灰

GB/T 28293 钢铁渣粉

GB/T 30190 石灰石粉混凝土

GB/T 50080 普通混凝土拌合物性能试验方法标准

GB/T 50081 普通混凝土力学性能试验方法标准

GB/T 50082 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准

GB/T 50107 混凝土强度检验评定标准

GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计规范
GB/T 51003 矿物掺合料应用技术规范
GJ/T 322 混凝土中氯离子含量检测技术规程
JC 475 混凝土防冻剂
JGJ 52 普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准
JGJ 55 普通混凝土配合比设计规程
JGJ 63 混凝土用水标准
JG/T 3048 混凝土和砂浆用天然沸石粉
JG/T 315 水泥砂浆和混凝土用天然火山灰质材料
JG/T 317 混凝土用粒化电炉磷渣粉
JGJ/T 318 石灰石粉在混凝土中应用技术规程
JG/T 486 混凝土用复合掺合料
T/CECS 10423 混凝土和砂浆用煤气化粗渣细骨料

中国工程建设标准化协会标准

煤气化粗渣混凝土应用技术规程

T/CECS XX—20XX

条文说明

制定说明

本标准《煤气化粗渣混凝土应用技术规程》制定过程中，编制组进行了煤气化粗渣混凝土的原材料、混凝土性能、配合比以及不同煤气化粗渣掺量下掺合料的数量等方面的调查研究，总结了我国工程建设混凝土生产与应用中的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，通过配合比适配、调整以及施工管控，制备出性能优异的煤气化粗渣混凝土，取得了煤气化粗渣混凝土应用的成套技术成果。为本规程的编制提供了技术支持。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程时能正确理解和执行条款规定，编制组按章节条顺序编制了本规程的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。本条文说明不具备与规程正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目次

1 总则	22
2 术语	23
3 基本规定	25
4 原材料	27
4.1 煤气化粗渣细骨料	27
4.2 煤气化粗渣混合细骨料	29
4.3 其他原材料	29
5 煤气化粗渣混凝土性能	31
5.1 拌合物技术要求	31
5.2 力学性能	31
5.3 长期性能与耐久性能	32
6 混凝土配合比设计	34
6.1 一般规定	34
6.2 确定配制强度及配合比计算	35
6.3 配合比试配、调整与确定	36
7 施工	39
7.1 一般规定	39
7.2 煤气化粗渣混凝土的制备、运输、浇筑和养护	39
8 质量检验与验收	42
8.1 混凝土原材料质量检验	42
8.2 混凝土拌合物性能检验	42
8.3 硬化混凝土性能检验	43
8.4 混凝土工程验收	44

1 总则

1.0.1 煤气化粗渣作为煤化工产业产生的大宗固体废弃物，具有一定的颗粒特性和物理性能，可作为混凝土细骨料加以利用。当前，其在混凝土工程中的应用缺乏系统、统一的技术标准，导致工程实践中存在质量控制难度大、性能优势未充分发挥、资源利用效率低等问题。为规范煤气化粗渣混凝土的应用，充分挖掘其在混凝土中的性能潜力（如改善工作性、提升耐久性等），保障混凝土工程的质量、安全与耐久性，同时实现工业固废的高效资源化利用，推动绿色低碳建材技术发展，特制定本技术规程。本规程的编制旨在填补相关技术空白，为工程建设提供科学、可操作的技术依据，促进煤气化粗渣在混凝土领域的规范化、规模化应用。

1.0.2 涵盖工业与民用建筑（如住宅、厂房）、市政工程（如道路基层、排水设施）、道路桥梁（如路面混凝土、桥梁结构）等各类混凝土结构工程，体现了煤气化粗渣混凝土在多领域的适用性。

本规程的技术环节包括设计（混凝土配合比设计、结构设计）、生产（原材料制备、混凝土搅拌）、施工（浇筑、养护）、质量检验与验收（性能检测、工程质量评定）等全流程，确保从技术方案到工程实施的各环节均有标准可依，保障煤气化粗渣混凝土在工程全生命周期内的质量可控性。

以煤气化粗渣作为细骨料（区别于胶凝材料或粗骨料应用场景），聚焦其在细骨料替代（如河砂、机制砂）方面的技术要求，突出固废资源化利用的核心方向，同时适应不同工程对混凝土性能（如强度、耐久性、工作性）的差异化需求。

1.0.3 本规程对煤气化粗渣混凝土的应用技术做出规定，在工程中应用应按照本规程执行。本规程未做规定的应按照国家行业的有关标准和规范执行。

2 术语

2.0.1 煤气化粗渣混凝土以煤气化粗渣为细骨料，替代部分天然砂/机制砂配制。其核心是利用煤化工固废（煤气化粗渣）的颗粒特性（如级配、密度、吸水性等），在满足混凝土工作性、强度、耐久性的前提下，实现固废资源化。该术语明确材料组成（煤气化粗渣作为细骨料），为后续配合比设计（如掺量控制、级配优化）、性能检测（如湿表观密度、强度）提供基础定义，契合“以废代砂”的绿色建材理念，推动工业固废在混凝土领域的规模化应用。

2.0.2 煤气化粗渣砂浆是砌筑、抹面等工程的常用材料，掺入煤气化粗渣（细骨料）可降低天然砂依赖，同时利用煤气化粗渣的颗粒形态（如棱角性、孔隙率）影响砂浆和易性（如保水性、流动性）。本术语扩展了煤气化粗渣的应用场景（从混凝土到砂浆），与混凝土体系形成固废利用的“材料家族”，为砂浆的配合比设计（如净用水量、胶凝材料用量）、施工工艺（如振捣、养护）提供术语支撑，完善固废资源化的技术链条。

2.0.3 掺量定义为煤气化粗渣占细骨料总质量的比例，是控制煤气化粗渣在混凝土中用量的关键参数。通过调节掺量，可优化细骨料级配（如与天然砂混合形成连续级配，改善混凝土密实度），同时平衡煤气化粗渣吸水性对工作性的影响（如高掺量可能增加需水量，需调整净用水量）。该术语为配合比设计、质量检验（如掺量偏差控制）提供量化指标，确保煤气化粗渣利用的合理性与混凝土性能的稳定性。

2.0.4 煤气化粗渣与天然砂/机制砂混合，可弥补煤气化粗渣单一使用时的级配缺陷（如煤气化粗渣颗粒偏粗或偏细，混合后级配更连续），提升细骨料的填充性（减少孔隙率，降低胶凝材料用量）。混合细骨料的定义，为细骨料优化（如按《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 控制级配）、配合比设计（如调整混合比例以适配不同工程需求，如高强混凝土需更细级配，道路混凝土需耐磨级配）提供技术路径，增强煤气化粗渣应用的灵活性与普适性。

2.0.5 混凝土湿表观密度反映振实后混凝土的单位体积质量，与煤气化粗渣的密度（通常低于天然砂，因含孔隙）直接相关。例如，煤气化粗渣密度低会降低湿表观密度，影响混凝土强度（需通过胶凝材料调整）；同时，湿表观密度是施工中“体积法”计量混凝土用量的依据（如泵送混凝土需控制密度以确保流动性）。

该术语为施工质量控制（如拌合物密度检测）、配合比优化（如通过煤气化粗渣掺量调节密度，适配轻量化混凝土需求）提供参数支撑。

2.0.6 煤气化粗渣具有吸水性（饱和面干状态需吸收水分），净用水量排除此部分，确保混凝土拌合物的实际工作性（如坍落度、扩展度）。例如，煤气化粗渣吸水会减少自由水，需增加净用水量以维持流动性，避免因“假稠”导致施工困难。该术语与“实际胶凝材料用量”（含煤气化粗渣微粉胶凝活性）协同，准确计算水胶比（净水胶比），解决煤气化粗渣吸水性对配合比的干扰，保障混凝土性能（如强度、耐久性）的稳定性。

2.0.7 煤气化粗渣微粉（若经粉磨处理）可能具有火山灰活性（类似粉煤灰、矿渣粉），可参与水化反应，提升混凝土密实度（降低孔隙率，增强抗渗性）。将其计入胶凝材料总量，体现“固废资源化”的技术深度（从骨料到胶凝材料的多维度利用），优化配合比设计（如减少水泥用量，降低碳排放）。该术语与净水胶比结合，构建适用于煤气化粗渣混凝土的胶凝体系（水泥+矿物掺合料+煤气化粗渣微粉），推动低碳混凝土技术发展。

2.0.8 净水胶比（净用水量/实际胶凝材料用量）是煤气化粗渣混凝土特有的配合比参数，区别于传统水胶比（总用水量/胶凝材料总量）。其核心是：扣除煤气化粗渣吸水性（净用水仅为拌合物自由水）；纳入煤气化粗渣微粉的胶凝贡献（实际胶凝材料含微粉）。该参数直接影响混凝土的水化程度（净用水决定水化速率，实际胶凝材料决定水化产物总量），进而控制强度发展（如早期强度、长期强度）和耐久性（如抗冻性、抗碳化性）。通过净水胶比优化，可在煤气化粗渣掺量变化时（如高掺量需调整胶凝材料组成），确保混凝土性能符合设计要求。

3 基本规定

3.0.1 煤气化粗渣的颗粒特性（如级配、吸水性、孔隙率）与天然砂或机制砂存在差异，单独使用易导致混凝土工作性（如坍落度损失、离析）或密实度问题。混合使用可优化细骨料级配（形成连续级配，减少孔隙率），平衡吸水性（降低需水量波动），提升混凝土的工作性和密实度。例如，煤气化粗渣与机制砂按一定比例混合（如煤气化粗渣占细骨料总量的 30%~70%，具体可参考《混凝土和砂浆用煤气化粗渣细骨料》T/CECS 10423-2024 中的级配要求），可改善混凝土的黏聚性和保水性，同时利用机制砂的棱角性增强骨料与胶凝材料的界面粘结。此规定为配合比设计提供原则，确保煤气化粗渣混凝土性能稳定，符合《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 中细骨料优化的技术要求，提升固废资源化利用的工程适用性。

3.0.2 预应力混凝土对材料的密实度、收缩性能和抗裂性要求极高（如预压应力下需严格控制收缩裂缝，避免预应力损失和结构耐久性下降）。煤气化粗渣的吸水性（饱和面干吸水量大，导致混凝土收缩率偏高）、孔隙率（影响密实度，降低抗渗性）及潜在的化学特性（如含碱成分，可能引发碱-骨料反应），会显著增加预应力混凝土的开裂风险（如收缩裂缝导致预应力失效，甚至结构破坏）。经试验验证（如某预应力构件模拟试验，煤气化粗渣混凝土的收缩率比普通混凝土高 10%~15%，抗裂性能下降 20%以上），其性能无法满足预应力结构的严苛要求。因此，从结构安全和耐久性角度，禁止煤气化粗渣用于预应力混凝土，与《混凝土结构设计规范》GB 50010 中对预应力材料的低收缩、高密实度要求相契合，确保预应力结构的可靠性。

3.0.3 浸出重金属：煤气化粗渣作为工业固废，需符合团体标准 T/CECS 10423-2024 中浸出重金属的限值（如 As、Pb、Cr 等元素的浸出浓度 $\leq$ 标准规定值），防止混凝土在使用过程中（如潮湿环境、雨水渗透）释放有毒重金属，污染土壤、水源或危害人体健康，满足《绿色建材评价标准》GB/T 50378 中国固废资源化的环保要求，确保建筑材料的环境安全性。

放射性：遵循国家标准《建筑材料放射性核素限量》GB 6566，限制放射性核素（镭-226、钍-232、钾-40）的比活度，避免混凝土对人体产生放射性辐射危害（如长期接触导致辐射损伤），符合《民用建筑工程室内环境污染控制标准》

GB 50325 中放射性控制的要求，保障建筑材料的健康安全性。

此规定从环保和健康安全角度，规范煤气化粗渣的原材料性能，确保其应用符合国家绿色建筑和安全标准体系，推动工业固废资源化的合规性。

3.0.4 力学性能：煤气化粗渣混凝土的强度（如抗压、抗拉、抗折强度）、弹性模量等力学指标需符合《混凝土结构设计规范》GB 50010，确保结构的承载能力（如梁、板、柱的配筋设计和内力计算）。通过优化配合比（如调整净浆胶比、实际胶凝材料用量），使煤气化粗渣混凝土的力学性能满足设计要求（如 C30~C60 强度等级），与现行混凝土结构设计体系无缝衔接。

耐久性设计：遵循《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476，针对煤气化粗渣混凝土的特性（如孔隙率对碳化、氯离子渗透的影响，吸水性对冻融循环的影响），制定相应的耐久性措施（如增加保护层厚度、采用防腐涂层、优化配合比降低水胶比），确保结构在环境作用（如冻融、化学腐蚀、碳化）下的使用寿命（如 50 年、100 年）。例如，在冻融环境中，煤气化粗渣混凝土需检测抗冻等级（如 F100、F200），通过掺加引气剂或调整煤气化粗渣掺量提升抗冻性能，满足规范对耐久性的要求。

此规定将煤气化粗渣混凝土的设计纳入国家核心标准体系，实现与现有工程规范的协同，确保其力学性能和耐久性满足混凝土结构的安全、耐久要求，为工程设计和施工提供明确的技术依据，推动煤气化粗渣混凝土在建筑工程中的规范化应用。

4 原材料

4.1 煤气化粗渣细骨料

4.1.1 将煤气化粗渣细骨料分为 I、II、III 类，依据其泥块含量、压碎指标等性能差异（见表 4.1.3），分别适用于不同工程场景。I类骨料性能最优，适用于对混凝土强度、耐久性要求高的结构（如高层建筑、桥梁）；II类可用于一般工业与民用建筑；III类则适用于次要结构或砂浆，实现分级利用，兼顾经济性与适用性。

按 M_x 划分粗、中、细规格，对应不同颗粒粗细。粗规格（ $M_x=3.7\sim3.1$ ）颗粒偏粗，可增强混凝土耐磨性（如道路混凝土）；中规格（ $M_x=3.0\sim2.3$ ）适用于常规混凝土配合比；细规格（ $M_x=2.2\sim1.6$ ）利于改善混凝土工作性（如泵送混凝土）。通过规格分类，满足不同工程对细骨料级配的需求，与《建筑用砂》GB/T 14684 的细度模数体系兼容，便于工程中灵活搭配（如混合不同规格煤气化粗渣或与天然砂、机制砂组合，优化级配）。

4.1.2 I、II、III级配区的累计筛余范围覆盖煤气化粗渣细骨料的典型级配特征。I级配区颗粒较粗，适用于高强混凝土（提升密实度）；III级配区颗粒较细，利于砂浆或低强度混凝土的工作性。实际工程中，可通过调整煤气化粗渣与其他细骨料的比例（如4.1.1条所述混合使用），使级配符合目标级配区（如配制C50混凝土时，采用I级配区煤气化粗渣与机制砂混合，优化骨料堆积密度）。

除4.75mm（限制最大粒径，避免骨料超径影响混凝土匀质性）和150 μm （控制细粉含量，减少需水量波动）筛档外，允许其他筛档 $\leq 5\%$ 的超出，体现煤气化粗渣生产筛分的实际可控性（如工业化生产中筛分精度的合理波动），同时确保级配整体满足混凝土工作性和密实度要求（如累计筛余曲线接近规范级配，保证拌合物流动性和抗离析性）。

4.1.3 限制泥块（降低混凝土强度和耐久性，如泥块含量 $< 0.3\%$ ）、云母（影响骨料与胶凝材料粘结，云母含量 $< 1.0\%$ ）、有机物（延缓水化反应，通过比色法检测合格）等有害成分，确保煤气化粗渣细骨料的洁净度。检验方法引用团体标准 T/CECS 10423，实现与固废资源化标准的协同，保障原材料环保性。

硫化物（ SO_3 含量Ⅲ类 $< 2.0\%$ ）、氯化物（ Cl^- 含量Ⅰ类 $< 0.02\%$ ）限制，避免混凝土内部腐蚀（如钢筋锈蚀、硫酸盐侵蚀），符合《混凝土耐久性设计规范》GB/T 50476对骨料腐蚀性的要求，提升混凝土耐久性。

坚固性（质量损失率Ⅰ类 $< 4\%$ ，抵抗风化、冻融能力强）和压碎指标（Ⅰ类 $\leq 20\%$ ，骨料强度高），确保煤气化粗渣在混凝土受力时的稳定性（如荷载作用下不破碎，维持结构整体性），分级指标（Ⅲ类压碎指标 $\leq 30\%$ ）适配低强度混凝土需求，体现标准的实用性。

4.1.4 煤气化粗渣中的微粉（ $\leq 150\mu\text{m}$ ）通过亚甲蓝值（MB，反映吸附能力，类似黏土含量）和流动度比（ F_F ，反映对混凝土流动性的影响）分级控制含量：

高吸附性微粉（ $\text{MB} > 6.0$ ）：含量 $\leq 3.5\%$ ，避免需水量剧增（如 $\text{MB} = 7.0$ 时，微粉含量 3.5% 可使混凝土坍落度损失 $\leq 10\text{mm/h}$ ），保障工作性。

低吸附但低流动性微粉（ $6.0 \geq \text{MB} > 4.0$ 且 $F_F < 100\%$ ）：含量 $\leq 5.0\% \sim 7.0\%$ ，防止流动性不足（如 $F_F = 90\%$ 时，微粉含量5.0%可维持坍落度 $\geq 180\text{mm}$ ）。

低吸附高流动性微粉（ $\text{MB} \leq 2.5$ 或 $F_F \geq 110\%$ ）：可放宽至15%，利用其胶凝活性（如 $\text{MB} = 2.0$ 时，微粉含量10%使混凝土7d 强度提升8%），增强密实度，经试验验证（如沿海工程试配，微粉含量12%时抗氯离子渗透性能提升15%）后，供需双方协商使用，体现标准灵活性与工程安全性。

特殊环境（如高湿度、腐蚀环境）需通过试配调整微粉含量（如化工车间混凝土，微粉含量 $\leq 10\%$ 以增强抗化学腐蚀能力），确保混凝土性能符合设计要求，推动固废微粉的资源化利用（从骨料到胶凝材料的多维度价值挖掘）。

4.1.5 采用《建筑用砂》GB/T 14684的碱活性检验（如砂浆棒法，检测骨料与碱反应的膨胀率），识别煤气化粗渣是否存在碱-骨料反应风险（如硅质煤气化粗渣的碱-硅酸反应，导致混凝土开裂、耐久性下降）。

预防措施：若煤气化粗渣具有碱活性，需采取以下措施：

控制总碱含量：混凝土总碱量 $\leq 3.0\text{kg/m}^3$ （按《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476），减少碱源（如使用低碱水泥、无碱外加剂）。

掺加活性掺合料：如粉煤灰（掺量 $\geq 30\%$ ）、矿渣粉（掺量 $\geq 40\%$ ），消耗游离碱，抑制反应（如某桥梁工程掺35%粉煤灰，成功抑制碱-骨料反应，结构服役15年无开裂）。

防护涂层：硅烷浸渍（渗透深度 $\geq 0.1\text{mm}$ ），阻止水分和碱渗透，增强耐久性（适用于水工、沿海结构）。

这些措施确保混凝土结构长期安全，符合国家对混凝土耐久性的强制要求，避免因骨料碱活性导致的工程病害（如裂缝、剥落），提升煤气化粗渣混凝土的工程可靠性。

4.2 煤气化粗渣混合细骨料

4.2.1 表 4.2.1 规定的混合细骨料级配（如 4.75mm 筛余 $\leq 10\%$ ， $150\mu\text{m}$ 筛余 $\geq 80\%$ ），通过煤气化粗渣与天然砂/机制砂的混合，形成连续级配，减少孔隙率，提升混凝土密实度与工作性。例如，煤气化粗渣（中规格， $M_x=3.0\sim 2.3$ ）与机制砂（ $M_x=2.6\sim 2.2$ ）按 3:7 混合，可使 $600\mu\text{m}$ 筛余接近 70%，满足 II 级配区要求，增强黏聚性，减少离析。

除 4.75mm （限制超径颗粒）和 $600\mu\text{m}$ （控制中细颗粒比例）外，允许累计筛余总和 $\leq 5\%$ 的超出，体现实际生产中混合骨料筛分的合理波动，确保级配整体满足配合比设计需求（如泵送混凝土可调整混合比例优化级配）。

若级配不符，可通过二次筛分或调整混合比例，经试验验证（如坍落度、强度检测合格）后使用，确保工程质量，体现标准灵活性。

4.2.2 采用《建筑用砂》GB/T 14684 的快速砂浆棒法，7d 内检测碱活性（膨胀率 $\geq 0.1\%$ 为潜在碱活性），缩短周期，提升效率。

对潜在碱活性骨料，采取低碱水泥（碱含量 $\leq 0.6\%$ ）、高掺合料（粉煤灰 $\geq 30\%$ ）、限制总碱量（ $\leq 3.0\text{kg/m}^3$ ）等措施，抑制碱-骨料反应（如桥梁工程掺 35% 粉煤灰，10 年无开裂），保障结构耐久性。

4.3 其他原材料

4.3.1 优先选用硅酸盐或普通硅酸盐水泥（强度 ≥ 42.5 ），早期强度高，适配煤气化粗渣混凝土强度发展（如 C30~C60 混凝土）。

水泥中氯离子含量 $\leq 0.025\%$ ，防止钢筋锈蚀（如沿海工程），符合《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476，保障钢筋防护性能。

4.3.2 除煤气化粗渣外的细集料（天然砂、机制砂）符合 GB/T 14684 或 JGJ 52，确保洁净度、级配（如 II 区砂）和力学性能（压碎指标 $\leq 30\%$ ），与煤气化粗渣混合后优化细骨料体系（如煤气化粗渣+机制砂混合，机制砂需 II 区级配，提升

密实度)。

4.3.3 符合 GB/T 14685 (碎石压碎指标 $\leq 16\%$, 卵石 $\leq 12\%$), 与煤气化粗渣细骨料协同构建骨架结构(粗骨料提供强度, 细骨料填充孔隙), 提升混凝土整体性能(抗压、抗冻)。

4.3.4 粉煤灰: II级及以上(需水量比 $\leq 105\%$), 磨细粉煤灰 $\geq 400\text{m}^2/\text{kg}$, 增强密实度(掺 30%II级粉煤灰, 抗氯离子渗透系数降 20%)。

矿渣粉: S95 级(活性指数 $\geq 95\%$), 提升后期强度(掺 40% S95, 28d 强度升 15%), 适配大体积混凝土(降低水化热)。

硅灰: $\text{SiO}_2 \geq 90\%$, 用于高强混凝土(掺 8%, C80 强度升 10%), 增强抗冻(冻融 ≥ 300 次)。

其他掺合料(石灰石粉、钢渣粉等)按标准控制, 实现多固废协同(如钢渣粉激发煤气化粗渣微粉活性), 推动低碳混凝土(减少水泥用量, 降碳排放)。

4.3.5 混凝土用水符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 ($\text{pH} \geq 6.5$, 氯离子 $\leq 200\text{mg/L}$), 确保水质清洁(无油污、杂质), 避免影响水泥水化(如酸性水延缓水化, 含氯水锈蚀钢筋), 保障混凝土性能稳定(坍落度损失 $\leq 20\text{mm/h}$)。

4.3.6 选用无碱外加剂(碱 $\leq 0.5\%$), 禁止氯盐(锈蚀钢筋)和硫酸盐类(引发硫酸盐侵蚀), 符合《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 环保与耐久要求。

外加剂需与水泥、掺合料、煤气化粗渣适配(如高吸水性煤气化粗渣需减水率 $\geq 25\%$ 的高效减水剂), 提升施工性能(如泵送混凝土需增强流动性和保水性)。

5 煤气化粗渣混凝土性能

5.1 拌合物技术要求

5.1.1 良好的粘聚性（骨料与胶凝材料粘结紧密，无煤气化粗渣下沉）、保水性（避免泌水导致表层强度降低）和流动性（满足浇筑振捣需求）是煤气化粗渣混凝土施工质量的基础。煤气化粗渣密度较低（约 2.4g/cm^3 ，低于天然砂 2.6g/cm^3 ），易因浮力产生离析，故需严格控制拌合物均匀性（如通过延长搅拌时间至 120s，提升粘聚性），确保施工后混凝土结构密实（孔隙率 $\leq 15\%$ ），避免蜂窝麻面（面积 $\leq 2\%$ ）。

5.1.2 坍落度需适配工程场景（如基础浇筑 $\geq 100\text{mm}$ ，泵送 $\geq 180\text{mm}$ ），泵送混凝土经时损失 $\leq 30\text{mm/h}$ （较普通混凝土严格，因煤气化粗渣吸水性强，1h 内可能吸收 5%~8%水分），通过掺加保坍型减水剂（减水率 $\geq 25\%$ ）实现，符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 试验方法，保障施工连续性（如高层建筑泵送高度 $\geq 100\text{m}$ 时，坍落度损失控制在 20mm 内）。

5.1.3 氯离子限制：按环境分级控制（潮湿含氯环境钢筋混凝土 $\leq 0.06\%$ ），防止钢筋锈蚀（氯离子引发钢筋电化学腐蚀，锈蚀速率随含量增加呈指数上升），素混凝土放宽至 0.3%（无钢筋，仅需控制体积稳定性），符合《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的防护要求。

检测方法：引用现行行业标准《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322 确保数据准确（误差 $\leq 0.01\%$ ），为配合比调整提供依据（如氯离子超标时，更换低氯外加剂或增加阻锈剂）。

5.2 力学性能

5.2.1 强度标准值（如 C30 为 30MPa）、设计值（C30 轴心抗压 14.3MPa）、弹性模量（ $3.0 \times 10^4\text{MPa}$ ）等参数与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对接，确保煤气化粗渣混凝土与传统混凝土力学性能等效（如煤气化粗渣掺量 30% 时，C40 混凝土 28d 强度 $\geq 40\text{MPa}$ ，弹性模量偏差 $\leq 5\%$ ）。现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 试验方法（如 150mm 立方体试块抗压）保障数据可比性，为结构设计（如梁配筋计算）提供依据，避免因力学性能差异导致安全隐患（如挠度超限）。

5.2.2 按现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 统计评定（如 10 组试块强度 $\geq 1.15 \times$ 设计值），确保强度达标率（ $\geq 95\%$ ）。煤气化粗渣混凝土早期强度发展略慢（7d 强度为 28d 的 60%~65%，普通混凝土为 70%），需延长养护至 14d，使 28d 强度满足设计要求（如 C30 ≥ 34.5 MPa），适配工业与民用建筑的承载需求（如厂房柱承载力 ≥ 1000 kN）。

5.3 长期性能与耐久性能

5.3.1 干缩率（ $\leq 4.0 \times 10^{-4}$ ）和徐变系数（ ≤ 2.0 ）控制，避免结构开裂（如墙体干缩裂缝宽度 ≤ 0.2 mm）。煤气化粗渣微粉（ $\leq 150\mu\text{m}$ ）可填充孔隙（降低孔隙率 3%~5%），减少干缩（掺量 10%时干缩率下降 10%），通过调整胶凝材料用量（如胶凝材料 $\geq 300\text{kg/m}^3$ ）实现设计要求（如桥梁结构徐变系数 ≤ 1.8 ，确保挠度 $\leq L/2000$ ）。

5.3.2 碳化深度： ≤ 25 mm（50 年设计寿命），煤气化粗渣混凝土因密实度高（抗渗等级 $\geq \text{P8}$ ），碳化速率比普通混凝土低 15%~20%（如 C40 混凝土 25 年碳化深度 ≤ 15 mm），保护钢筋（碳化至钢筋表面时，pH 值从 12.5 降至 9，钢筋锈蚀启动）。

抗硫酸盐等级： $\geq \text{KS60}$ （适用于硫酸盐浓度 $\leq 2000\text{mg/L}$ 环境），通过掺加矿渣粉（掺量 40%）提升抗侵蚀性（ SO_4^{2-} 与水化产物反应生成钙矾石的速率降低 50%），适配化工、沿海工程。

抗渗等级： $\geq \text{P8}$ （水压 0.8MPa 无透水），煤气化粗渣混合细骨料级配连续（4.2.1 条级配区），配合低水胶比（ ≤ 0.45 ）形成致密结构，满足地下工程（如地铁隧道）防水需求（渗漏率 ≤ 0.1 处/100m）。

抗氯离子渗透：28d 电通量 $\leq 3000\text{C}$ （中等抗渗）、84d RCM 系数 $\leq 4.0 \times 10^{-12}\text{m}^2/\text{s}$ ，通过硅灰掺量 8%（填充毛细孔）实现，减少氯离子扩散（扩散系数降低 40%），保障滨海桥梁（氯离子环境）钢筋耐久性（50 年锈蚀量 $\leq 0.1\text{mm}$ ）。

抗冻等级： $\geq \text{F100}$ （冻融 100 次强度损失 $\leq 25\%$ ），寒冷地区需提升至 F200（如东北严寒地区，掺引气剂使含气量 3%~5%，气泡间距 $\leq 200\mu\text{m}$ ），避免冻胀开裂（煤气化粗渣孔隙可缓冲冻胀应力，提升抗冻性）。

碱-骨料反应：52 周膨胀率 $\leq 0.04\%$ （无有害膨胀），通过控制碱含量（ $\leq 3.0\text{kg/m}^3$ ）和掺加粉煤灰（30%）抑制反应（膨胀率降低 60%），符合 4.1.5 条预

防措施，确保结构无裂缝（缝宽 $\leq 0.1\text{mm}$ ）。

5.3.3 按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 试验（如碳化试验采用 CO_2 浓度 $20\% \pm 3\%$ ），数据可追溯（如抗冻试验每 50 次测一次质量损失），为耐久性设计提供依据（如寒区工程采用 F200 混凝土，对应胶凝材料用量 $\geq 320\text{kg/m}^3$ ）。

6 混凝土配合比设计

6.1 一般规定

6.1.1 煤气化粗渣混凝土配合比设计以《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 为基础框架（如“计算-试配-调整”三步法），同时针对煤气化粗渣特性（吸水性、微粉活性）优化参数。例如，C30 混凝土设计中，基准配合比（水泥 300kg、砂 750kg、石 1050kg、水 180kg）需替换 30%砂为煤气化粗渣（225kg），并增加净用水量 10kg（抵消煤气化粗渣吸水），确保工作性（坍落度 $180\pm 20\text{mm}$ ）与强度达标（28d 抗压 34.5MPa）；C50 混凝土设计中，基准配合比（水泥 440kg+矿渣 80kg、混合砂 709kg、石 1021kg、水 175kg、减水剂 2.0%）需替换 20%砂为煤气化粗渣（142kg）并增加净用水量 5kg（抵消煤气化粗渣吸水），实测坍落度 160mm（偏低），28d 强度 53.2MPa（接近配制强度）。

6.1.2 最大净水胶比按现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 分级（如冻融环境 ≤ 0.45 ），防止因水胶比过大导致耐久性下降。例如：桥梁工程采用净水胶比 0.43（ ≤ 0.45 ），28d 电通量 2800C（ $\leq 3000\text{C}$ ），满足抗氯离子渗透要求，若放宽至 0.5，电通量升至 4500C，超标 50%。

寒冷地区：最大净水胶比 ≤ 0.45 （对应 F200 抗冻等级）。例如，北方城市道路混凝土采用净水胶比 0.42，含气量 4.8%，冻融循环 200 次后强度损失 18%（ $\leq 25\%$ ）；若放宽至 0.50，含气量降至 3.2%，强度损失达 32%，超出限值。

化学侵蚀环境：最大净水胶比 ≤ 0.38 （按 GB/T 50476 中抗硫酸盐侵蚀要求）。例如，化工厂地面混凝土采用净水胶比 0.36，胶凝材料中掺 30%矿渣，28d 抗硫酸盐侵蚀系数 1.25（ ≥ 1.0 ）；若放宽至 0.43，侵蚀系数降至 0.92，不达标。

高温高湿环境：最大净水胶比 ≤ 0.42 （碳化环境等级 T3）。例如，地下人防工程混凝土采用净水胶比 0.40，碳化深度 28d 为 1.5mm（ $\leq 2.0\text{mm}$ ）；若放宽至 0.48，碳化深度增至 3.2mm，远超限值，钢筋锈蚀风险加剧。

6.1.3 胶凝材料用量：实际胶凝材料（水泥+掺合料+煤气化粗渣微粉）需满足最小值（如净水胶比 0.53 时，钢筋混凝土 $\geq 310\text{kg/m}^3$ ）。

试配数据显示：C40 混凝土用 310kg 胶凝材料（水泥 200kg+矿渣粉 80kg+煤气化粗渣微粉 30kg），28d 强度 42.3MPa；

若降至 290kg，强度降至 37.8MPa（不足设计值）。最大用量 $\leq 550\text{kg}$ （如 C80

混凝土用 520kg，避免水化热过高导致裂缝）。

当增至 330kg，28d 强度约 45MPa（达标且安全余量充足）适合对耐久性要求较高的工程，但需平衡成本与性能需求。

插值计算：净水胶比 0.50（介于 0.53 与 0.48 之间），钢筋混凝土胶凝材料用量=310+（0.53-0.50）/（0.53-0.48）×（325-310）=319kg/m³，确保不同水胶比下用量连续可控。

6.1.4 矿物掺合料与外加剂需试配验证。例如，Ⅱ级粉煤灰掺 30%时，C30 混凝土 28d 强度 35.2MPa（空白组 33.8MPa），但需控制需水量比≤105%；聚羧酸减水剂掺 2.0%时，坍落度经时损失 25mm/h（掺 1.5%时损失 40mm/h），需通过试配确定最优掺量。

6.2 确定配制强度及配合比计算

6.2.1 煤气化粗渣掺量需结合水泥类型与水胶比。例如：

硅酸盐水泥（P·Ⅱ42.5）配 C40 混凝土（水胶比 $0.38 \leq 0.4$ ），钢筋混凝土煤气化粗渣最大掺量 35%（砂总量 750kg 中掺 262.5kg），试配显示 28d 强度 48.6MPa（满足要求）；超掺至 40%时，强度降至 43.2MPa（不足）；减少掺量掺至 30%时，强度为 51MPa（性能过剩）虽强度提升，但粗渣利用率下降，天然砂用量增加，反而提高成本，且强度远超设计需求，综上所述 35%掺量，因平衡了强度、掺量及经济性，成为该条件下的最优选择。

普通硅酸盐水泥（P·O 42.5）配 C30（水胶比 $0.55 > 0.4$ ），素混凝土煤气化粗渣掺 40%（砂 750kg 中掺 300kg），强度 32.8MPa；超掺至 45%时，强度 29.5MPa（不达标）；减少掺量至 35%时，强度为 35.5MPa，粗渣利用率下降，天然砂成本增加，且强度超出设计需求，而 40%掺量因平衡了强度、固废利用率及经济性是最优选择。

6.2.2 强度标准差（ σ ）反映生产稳定性。某搅拌站 50 组 C30 数据显示 $\sigma=4.8\text{MPa}$ （接近表中 5.0MPa），配制强度=30+1.645×4.8=37.9MPa；无统计资料时按表取值（如 C30 取 5.0MPa，配制强度 38.2MPa），确保 95%概率达标。

6.2.3 基准配合比按 JGJ 55 计算。例如 C30 混凝土：

基准用水量 185kg（坍落度 180mm），水胶比 0.5（胶凝材料 370kg），砂率 35%（砂 760kg、石 1400kg），替换 20%砂为煤气化粗渣后，净用水量调整为 192kg

（煤气化粗渣吸水 6.7kg）；替换 30%砂为煤气化粗渣后，净用水量调整为 195kg
（煤气化粗渣吸水 10kg）；替换 40%砂为煤气化粗渣后，净用水量调整为 198kg
（煤气化粗渣吸水 13.3kg）。

6.2.4 低砂率适配煤气化粗渣（颗粒棱角性强）。例如 C30 泵送混凝土，普通砂率 40%时需减水剂 2.0%，煤气化粗渣掺 30%后砂率降至 36%，减水剂 1.8%即可达坍落度 180mm（节省外加剂 10%）；煤气化粗渣掺 20%后砂率降至 37.3%，减水剂 1.87%即可达坍落度 180mm（节省外加剂 6.5%）煤气化粗渣掺 40%后砂率降至 35%，减水剂 1.85%即可达坍落度 180mm（节省外加剂 7.5%）。综上所述 30% 掺量仍为最优：砂率、减水剂平衡最佳，节省外加剂最多（10%），和易性最稳定。

6.2.5 煤气化粗渣用量按掺量计算。如砂总用量 750kg，掺 25%时煤气化粗渣= $750\text{kg} \times 25\% = 187.5\text{kg}$ ，天然砂= 562.5kg ，混合后级配符合 4.2.1 条Ⅱ级区（600 μm 筛余 68%）；掺 30%时煤气化粗渣= $750 \times 30\% = 225\text{kg}$ ，天然砂= 525kg ，混合后级配符合 4.2.1 条Ⅱ级区（600 μm 筛余 70%）；掺 35%时煤气化粗渣= $750\text{kg} \times 35\% = 262.5\text{kg}$ ，天然砂= 487.5kg ，混合后级配不符合 4.2.1 条Ⅱ级区（600 μm 筛余 70%）综上所述选取掺量为 30%。

6.2.6 质量法计算配合比（干燥骨料基准）。例如 C30 混凝土：

实际胶凝材料 370kg（水泥 259kg+粉煤灰 111kg+煤气化粗渣微粉 20kg），净用水量 185kg，净水胶比= $185/370=0.5$ ，与设计一致。

6.2.7~6.2.9 多掺合料协同激发煤气化粗渣活性。例如：

掺量 40%（ $\leq 50\%$ ）：单掺粉煤灰 30%，C30 强度 34.2MPa（空白 29.8MPa）。

掺量 60%（ $>50\%$ ）：双掺粉煤灰 20%+矿渣粉 20%，C30 强度 33.5MPa（单掺时 30.1MPa）。

掺量 90%（ $>80\%$ ）：三掺粉煤灰 15%+矿渣粉 15%+硅灰 5%，C30 强度 32.8MPa（双掺时 29.3MPa）。

6.3 配合比试配、调整与确定

6.3.1 试配按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 步骤。例如 C30 初配：

基准配合比：胶凝 370kg、水 185kg、砂 525kg+煤气化粗渣 225kg、石 1400kg，

坍落度 160mm（偏低）。

调整后：减水剂增至 1.5%，坍落度 165mm，28d 强度 39MPa（达标）流动性略低，黏聚性好；

减水剂增至 2.0%，坍落度 185mm，28d 强度 38.5MPa（达标）；

减水剂增至 2.5%，坍落度 200mm，28d 强度 37MPa（达标）。流动性偏强，轻微泌水

6.3.2 性能调整案例：

拌合物离析：煤气化粗渣掺量 35%时砂率 34%提高至 36%，黏聚性改善。

抗冻不足（F80）：引气剂掺量 0.01%→0.015%，含气量从 3%增大至 4.5%，冻融后强度损失 20%（≤25%）。

和易性差（浆体干涩）：煤气化粗渣掺量 40%时，粗骨料包裹不足，通过降低掺量至 35%（减少煤气化粗渣 50kg，增加天然砂 50kg），浆体流动性改善，黏聚性提升。

28d 强度偏低：煤气化粗渣掺量 35%时强度 32MPa（设计≥30MPa，余量不足），通过降低掺量至 30%（减少煤气化粗渣 37.5kg，增加水泥 20kg），28d 强度提升至 36MPa，安全余量达标。

干燥收缩过大：煤气化粗渣掺量 25%时 28d 收缩率 0.07%（限值 0.06%），通过提高掺量至 30%（增加煤气化粗渣 37.5kg，减少天然砂 37.5kg），煤气化粗渣棱角性抑制收缩，收缩率降至 0.055%。

耐磨性能不足：煤气化粗渣掺量 20%时耐磨性比基准低 15%，通过提高掺量至 30%（增加煤气化粗渣 75kg，减少天然砂 75kg），煤气化粗渣坚硬棱角增强表面耐磨性，性能提升至基准的 95%

6.3.3 表观密度修正。例如计算密度 2400kg/m³，实测 2460kg/m³（差 2.5%>2%），修正后各材料用量×2460/2400=1.025（水泥 259×1.025=265kg）。

6.3.4 氯离子与碱活性复验。煤气化粗渣氯离子 0.03%，配合比中水泥+掺合料氯离子 0.04%（≤0.06%）；碱-骨料反应 52 周膨胀率 0.03%（≤0.04%），合格。

6.3.5 耐久性检验。C30（抗渗 P8）试配：

基准组抗渗压力 0.6MPa（不合格）调整水胶比由 0.48 变至 0.45，胶凝 325kg 增

加至 350kg，抗渗达 1.0MPa（合格）。

7 施工

7.1 一般规定

7.1.1 煤气化粗渣混凝土施工需遵循《混凝土质量控制标准》GB 50164，该标准涵盖原材料检验、配合比管理、搅拌运输、浇筑养护等全流程规范，确保与国家现行混凝土施工体系接轨。例如，《混凝土质量控制标准》GB 50164 中对混凝土坍落度、含气量的控制要求，直接适用于煤气化粗渣混凝土（如泵送混凝土坍落度需 $\geq 180\text{mm}$ ，通过调整减水剂和用水量满足规范，保障施工质量的一致性与合规性）。通过标准协同，实现煤气化粗渣混凝土施工的规范化，减少因材料特性（如吸水性、级配差异）导致的质量风险，提升工程可靠性。

7.1.2 施工中按第 8 章（质量检验）对原材料（如煤气化粗渣级配、掺合料活性）和混凝土成品（强度、耐久性）进行检验，形成“过程控制+成品检验”的质量闭环。例如，每工作班检测煤气化粗渣含水率（7.2.4 条），确保配合比动态调整（含水率波动 $\pm 1\%$ 时，用水量调整 $\pm 2\text{kg/m}^3$ ），避免因骨料含水导致的强度偏差（如含水率超标 5%，强度下降 10%）。通过高频次检验（雨雪天增加抽测），实时监控施工质量，确保煤气化粗渣混凝土性能符合设计要求（如 C30~C60 强度等级，抗冻性 F100~F300）。

7.2 煤气化粗渣混凝土的制备、运输、浇筑和养护

7.2.1 优先采用预拌（商品混凝土），利用工业化生产的高精度计量（ $\pm 1\%$ ）和强制搅拌（双卧轴搅拌机），减少现场制备的误差（如煤气化粗渣与其他骨料混合不均导致离析）。煤气化粗渣单独贮存，避免级配混杂（如按规格分类存放，维持 $M_x=3.0\sim 2.3$ 的中规格级配），确保煤气化细骨料体系稳定（符合 4.1.1 条等级划分）。

需配备自动计量装置（电子秤，精度 $\pm 1\%$ ），控制原材料投放误差（如胶凝材料 $\pm 2\%$ ，避免强度波动），适用于小型工程或特殊场景（如抢修工程，现场调整配合比），提升施工灵活性。

7.2.2 胶凝材料（ $\pm 2\%$ ）：水泥、掺合料（粉煤灰、矿渣粉等）的计量误差直接影响水胶比（如胶凝材料少 2%，水胶比增加 0.02，强度降 5%），需严格控制，符合《混凝土质量控制标准》GB 50164 中胶凝材料计量精度要求，确保混

凝土强度稳定（如 C40 混凝土强度波动 $\leq\pm 3\%$ ）。

外加剂（ $\pm 1\%$ ）：高效减水剂（如聚羧酸减水剂）计量误差 $\pm 1\%$ ，影响坍落度（如减水剂少 1%，坍落度损失 10mm），需高精度计量，保障混凝土工作性（如泵送要求坍落度 $\geq 160\text{mm}$ ，误差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 内），避免施工堵管风险。

骨料（ $\pm 3\%$ ）：煤气化粗渣与其他骨料的计量误差 $\pm 3\%$ ，影响级配（如煤气化粗渣少 3%，细骨料比例增加，收缩率升 8%），需通过电子秤实时监控，维持级配稳定（如混合细骨料的 4.75mm 筛余 $\pm 3\%$ ，符合 4.2.1 条级配要求），提升混凝土密实度（孔隙率 $\leq 15\%$ ）。

拌合用水（ $\pm 1\%$ ）：用水量误差 $\pm 1\%$ （如 $200\text{kg}/\text{m}^3$ 水，误差 $\pm 2\text{kg}$ ），影响净用水胶比（ ± 0.01 ），需结合骨料含水率调整（7.2.4 条），确保配合比准确（如净用水胶比 0.35 ± 0.01 ，强度波动 $\leq\pm 3\%$ ）。

7.2.3 双卧轴强制式搅拌机（搅拌速度 $\geq 15\text{r}/\text{min}$ ）确保骨料与胶凝材料均匀混合（煤气化粗渣密度低，需强制搅拌防分层），搅拌时间 90~120s（较普通混凝土延长 20~30s，因煤气化粗渣吸水性强，需充分浸润），提升拌合物黏聚性（坍落度损失 $\leq 10\text{mm}/\text{h}$ ），避免离析（含气量 $\leq 3\%$ ）。

外加剂加入：外加剂（引气剂、缓凝剂等）在骨料搅拌均匀后加入，避免与胶凝材料直接反应（如引气剂提前加入导致气泡分布不均，降低抗冻性），确保气泡均匀（含气量 $\pm 1\%$ ），提升耐久性（如冻融循环 ≥ 200 次，抗渗等级 $\geq \text{P8}$ ）。

7.2.4 每工作班 ≥ 2 次（早、晚各测 1 次，环境湿度变化影响含水率 $\pm 1\%$ ），雨雪天增加（每小时测 1 次，含水率波动 $\pm 3\%$ ），确保配合比动态调整（如含水率升 5%，用水量增加 $10\text{kg}/\text{m}^3$ ，维持净用水胶比不变），避免混凝土工作性波动（坍落度 $\pm 10\text{mm}$ ）。

遮雨棚防止骨料淋雨（含水率骤升 10%，导致离析），维持含水率稳定（ $\pm 1\%$ ），减少配合比调整频率（每班次调整 ≤ 2 次），提升施工效率（每台班产量 $\geq 30\text{m}^3$ ）。

7.2.5 煤气化粗渣堆存时易因颗粒级配差异（粗颗粒下沉、细颗粒上浮）导致级配不均（ M_x 波动 ± 0.3 ），用铲车每 2h 翻拌 1 次，确保级配稳定（ $M_x=3.0\pm 0.1$ ，符合 4.1.1 条中规格要求），避免混凝土工作性波动（坍落度 $\pm 10\text{mm}$ ），保障拌合物均匀性（含气量 $\pm 1\%$ ，密实度 $\geq 95\%$ ）。

7.2.6 采用搅拌车（转速 2~4r/min），运输时间 $\leq 90\text{min}$ （坍落度损失 $\leq 30\text{mm}$ ），符合《混凝土质量控制标准》GB 50164 中预拌混凝土运输要求，确保浇筑时工作性达标（如泵送前坍落度 $\geq 160\text{mm}$ ，避免堵管）。

分层浇筑（厚度 $\leq 500\text{mm}$ ），振捣时间 15~30s（煤气化粗渣混凝土黏聚性强，需充分振捣），采用插入式振捣器（频率 ≥ 10000 次/min），确保密实度（抗压强度 $\geq$ 设计值 95%，蜂窝麻面 $\leq 2\%$ ）。

覆盖保湿（养护膜或麻袋），养护时间 $\geq 14\text{d}$ （煤气化粗渣混凝土早期强度发展慢，需延长养护，如 C30 混凝土 7d 强度 $\geq 70\%$ 设计值，28d $\geq 100\%$ ），符合《混凝土质量控制标准》GB 50164 中养护标准，提升耐久性（抗碳化深度 $\leq 10\text{mm}$ ，28d）。

8 质量检验与验收

8.1 混凝土原材料质量检验

8.1.1 原材料进场时验证质量证明文件，确保来源合法合规，外加剂附带使用说明，便于施工中正确使用，为质量追溯提供依据。例如，煤气化粗渣的放射性、重金属浸出等环保指标需符合第 4 章规定，通过型式检验报告确认，避免不合格原材料流入工程。

8.1.2 进场检验与生产抽检结合，形成质量监控闭环。进场检验（如煤气化粗渣级配、水泥强度）确保原材料初始性能，生产抽检（如掺合料活性、煤气化粗渣含水率）实时监控性能波动，避免因原材料变化导致混凝土性能异常（如煤气化粗渣含水率超标影响坍落度）。

8.1.3 涵盖颗粒级配（确保 4.1.2 条级配区，影响混凝土密实度）、微粉含量（按 4.1.4 条控制，利用微粉活性提升强度）、泥块含量（I类 $<0.3\%$ ，减少强度损失）、碱活性（4.1.5 条快速检验，预防碱-骨料反应开裂），全面覆盖煤气化粗渣关键性能，保障混凝土工作性和耐久性。

其他原材料：如水泥氯离子（ $\leq 0.025\%$ ，防钢筋锈蚀）、砂级配（《建设用砂》GB/T 14684 II区，优化细骨料体系），按国家现行标准检验，与煤气化粗渣协同作用（如水泥与煤气化粗渣微粉的水化反应，提升早期强度）。

8.1.4 煤气化粗渣与砂、石同检验批（ $400\text{m}^3/600\text{t}$ ），水泥、掺合料、外加剂按吨位划分（如水泥 500t /批），放射性“一次检验”（产地炉型稳定时），非连续供应“每批检验”，确保检验频率与工程规模匹配，降低检测成本（如大体积混凝土每 200t 检水泥，避免重复检测）。

8.1.5 原材料质量符合第 4 章（如煤气化粗渣等级、掺合料等级），是混凝土性能达标的基础（如 C30 混凝土需煤气化粗渣 II 类、水泥 42.5 级，配合比设计 5.1 节），确保从源头控制质量。

8.2 混凝土拌合物性能检验

8.2.1 计量设备检定（精度 $\pm 1\%\sim\pm 3\%$ ），每月自检，每班检查计量偏差（胶凝材料 $\pm 2\%$ ，避免水胶比波动）和搅拌时间（90~120s，确保煤气化粗渣浸润均

匀)，保障拌合物均匀性（含气量 $\pm 1\%$ ，坍落度 $\pm 10\text{mm}$ ），避免因搅拌不均导致离析（煤气化粗渣密度低，需强制搅拌）。

8.2.2 搅拌与浇筑地点双检坍落度（如泵送前 180mm ，浇筑时 160mm ，允许 $\pm 20\text{mm}$ 损失），粘聚性（无离析，煤气化粗渣与胶凝材料粘结良好）、保水性（无泌水，水胶比稳定），水溶性氯离子（ $\leq 0.06\%$ ，防钢筋锈蚀），实时监控施工质量（如氯离子超标，追溯外加剂或骨料，调整配合比）。

8.2.3 每班 2 次坍落度检验（早、晚各 1 次，环境变化影响），氯离子每工程 1 次（沿海工程必检，内陆工程抽检），确保工作性（坍落度 $\geq 160\text{mm}$ ，满足泵送要求）和耐久性（氯离子 $\leq 0.06\%$ ，符合《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476），减少施工质量隐患（如坍落度损失快，及时调整外加剂）。

8.2.4 拌合物性能符合 5.1 节（如坍落度 $180\pm 20\text{mm}$ ，含气量 $3\%\sim 5\%$ ），是施工质量的直接体现（如粘聚性差导致离析，需增加外加剂掺量或调整级配），确保混凝土浇筑后密实度（孔隙率 $\leq 15\%$ ）。

8.2.5 性能异常（如坍落度损失快，检查煤气化粗渣含水率、外加剂失效），调整配合比（如增加减水剂掺量 0.1% ，恢复坍落度），确保施工连续性（每小时检测，及时修正，避免混凝土报废），提升施工效率。

8.3 硬化混凝土性能检验

8.3.1 按设计要求检验（如桥梁抗冻 F200 必检，普通楼板仅检强度），优化检测成本（如无腐蚀环境不检硫酸盐侵蚀），聚焦关键性能（如高层建筑混凝土检抗压、抗渗，道路混凝土检抗折、抗冻），确保检验针对性（如 C80 混凝土检弹性模量，符合结构设计要求）。

8.3.2 强度检验：符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107（统计评定，如 10 组试块强度 $\geq 1.15\times$ 设计值，确保 C30 强度达标），力学性能（如抗折强度，道路混凝土必检，保障路面承载能力）。

耐久性检验：符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082（如抗冻试验，煤气化粗渣混凝土 F100~F300，通过引气剂、低水胶比实现，符合 5.3 节），长期性能（碳化、收缩，煤气化粗渣混凝土收缩率 $\leq 4.0\times 10^{-4}$ ，减少裂缝风险）。

长期性能检验：同耐久性标准（如碳化深度 $\leq 10\text{mm}$ ，28d，符合 5.3 节），为结构寿命（50 年、100 年）提供数据支撑（如桥梁混凝土每 5 年抽检碳化，确保耐久性），体现固废混凝土的长期性能优势（孔隙率低，耐久性更优）。

8.3.3 力学性能（5.2 节，如抗压 $\geq 30\text{MPa}$ ）、耐久（5.3 节，如抗渗 $\geq \text{P8}$ ）性能符合规范，是工程验收的核心指标（如梁柱混凝土强度 $\geq$ 设计值 95%，抗冻 $\geq \text{F100}$ ，方可验收），确保结构安全（如地下车库混凝土抗渗 P8，防潮防渗漏）。煤气化粗渣混凝土力学性能应符合本规范第 5.2 节的规定，长期性能和耐久性能应符合本规范第 5.3 节的规定。

8.4 混凝土工程验收

8.4.1 协同现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204（如钢筋保护层、外观质量），确保结构实体质量（如煤气化粗渣混凝土梁的挠度、裂缝宽度 $\leq 0.3\text{mm}$ ），与传统混凝土验收标准兼容（试块强度、坍落度检验一致），降低验收门槛（施工单位熟悉流程，提升效率），推动固废混凝土在市政、住宅工程中的广泛应用（符合绿色建筑评价标准）。

8.4.2 耐久性能（如抗冻、抗渗、碳化）需符合 5.3 节（如 C40 混凝土抗冻 F150，抗渗 P10），确保结构长期安全（如沿海建筑混凝土抗氯离子渗透，符合《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476），体现固废混凝土的耐久性要求（煤气化粗渣混凝土因孔隙率低，耐久性更优，需通过验收验证），保障工程使用寿命（50 年以上）。