

ICS 93.080.20
CCS P 66

DB 14

山 西 省 地 方 标 准

DB 14/T 2767—2023

公路工程高性能混凝土应用技术规程

2023 - 05 - 19 发布

2023 - 08 - 19 实施

山西省市场监督管理局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 基本规定	2
5 原材料	2
6 配合比设计	6
7 制备与运输	8
8 浇筑与养护	10
9 检查与验收	11
附录 A（资料性） 石粉亚甲蓝试验	12
附录 B（资料性） 高性能混凝土制备工艺流程	14

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。

本文件由山西省交通运输厅提出、组织实施和监督检查。

山西省市场监督管理局对标准的组织实施情况进行监督检查。

本文件由山西省交通运输标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：山西交通建设监理咨询集团有限公司。

本文件主要起草人：何晓明、陈俊、姚利郎、马冬云、杨军、郭文君、张迎军、周韶华、程志康、赵国锋、杨文俊、郭小丽、赵宝军、赵国梁、刘江龙、马海兵、王江龙、王荣豪、韩文忠、赵艳光。

公路工程高性能混凝土应用技术规程

1 范围

本文件规定了公路工程高性能混凝土的术语和定义、基本规定、原材料、配合比设计、制备与运输、浇筑与养护以及质量检查与验收。

本文件适用于C60及以下公路工程高性能混凝土生产与施工质量控制，其他建筑工程可参照使用。

2 规范性引用文件

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

- GB 175 通用硅酸盐水泥
- GB/T 176 水泥化学分析方法
- GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB/T 8074 水泥比表面积测定方法 勃氏法
- GB 8076 混凝土外加剂
- GB/T 8077 混凝土外加剂匀质性试验方法
- GB/T 10171 建筑施工机械与设备混凝土搅拌站（楼）
- 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 18046 用于水泥、砂浆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 27690 砂浆和混凝土用硅灰
- GB/T 50080 普通混凝土拌合物性能试验方法标准
- GB/T 50081 混凝土物理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 50119 混凝土外加剂应用技术规范
- GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
- JG/T 568 高性能混凝土用骨料
- JGJ 55 普通混凝土配合比设计规程
- JGJ 63 混凝土用水标准
- JGJ/T 193 混凝土耐久性检验评定标准
- JGJ/T 385 高性能混凝土评价标准
- JT/T 819 公路工程水泥混凝土用机制砂
- JTG/T 3310 公路工程混凝土结构耐久性设计规范
- JTG 3420 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
- JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
- JTG/T 3660 公路隧道施工技术规范

JTG E42 公路工程集料试验规程

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

高性能混凝土

采用优质水泥及精细化加工的砂石材料,掺加外加剂和活性矿物掺合料,通过预拌生产方式制成的,有优良拌合物工作性,硬化后具有较高强度、高耐久性和高体积稳定性的混凝土。

3.2

混凝土工作性

混凝土满足施工工艺要求,适宜于现场施工操作的性能总称。

3.3

机制砂

天然岩石或卵石、矿山废石和尾矿,经除土、机械破碎、整形、筛分、粉控等工艺制成的粒径小于4.75mm的颗粒,不包括软质、风化的颗粒。

3.4

混合砂

由天然砂与机制砂按一定比例混合,满足规定级配的细集料。

3.5

石粉亚甲蓝值(MB_f)

用于判定石粉吸附性能的指标。

4 基本规定

4.1 原材料和配合比除应符合本文件的规定外,尚应符合有关标准规范的相关规定。

4.2 配制高性能混凝土时,应选用优质水泥和级配良好的优质集料,同时掺加与水泥相匹配的高性能外加剂及优质掺合料。

4.3 对混凝土的胶凝材料总量应进行控制,胶凝材料浆体体积宜不大于混凝土体积的35%。

4.4 水胶比应根据混凝土的配制强度、抗氯离子渗透性能、抗渗性能和抗冻性能等要求确定。

4.5 高性能混凝土应积极采用先进成熟的新技术、新材料、新设备、新工艺。

5 原材料

5.1 水泥

5.1.1 应选用品质稳定、标准稠度用水量低,强度等级不低于42.5级的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥,不宜选用矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥以及早强型水泥。水泥的技术要求除应符合GB 175的规定外,尚应符合表1的规定。

表 1 水泥技术要求

检测项目	技术要求	试验方法
比表面积 (m ² /kg)	300~350	GB/T 8074
游离氧化钙含量 (%)	≤1.5	GB/T 176
熟料中的 C ₃ A 含量 (%)	≤8.0	
氯离子含量 (%)	≤0.03	

5.1.2 水泥的品种和强度等级应通过混凝土配合比试验选定。

5.1.3 需要预防混凝土碱集料反应的工程，或配制混凝土的材料中含有碱活性集料时，应选用碱含量小于 0.6% 的低碱水泥。

5.1.4 预应力混凝土，宜选用强度等级不低于 52.5 级的水泥。

5.2 集料

5.2.1 细集料应选择质地坚硬、级配良好、吸水率低、空隙率小、细度模数 2.6~3.2 的洁净天然砂、机制砂或混合砂。其性能指标除应符合 GB/T 14684 和 JG/T 568 的规定外，其有害物质含量的限值应符合表 2 的规定。

表 2 细集料有害物质含量限值

检测项目	有害物质含量限值		试验方法
	C50以下混凝土	C50及以上混凝土	
天然砂含泥量 (%)	≤2.0	≤1.0	JTG E42
泥块含量 (%)	≤0.5	0	
云母含量 (%)	≤0.5		
轻物质含量 (%)	≤0.5		
氯离子含量 (%)	≤0.02	≤0.01	
有机物含量	合格		
硫化物及硫酸盐含量 (按 SO ₃ 质量计%)	≤0.5		

5.2.2 机制砂根据石粉的亚甲蓝确定石粉含量限值，机制砂石粉含量限值应符合表 3 的规定，试验方法见附录 A。

表 3 机制砂石粉含量限值

亚甲蓝值 (g/kg)	石粉含量 (%)	试验方法
>6.0	≤5.0	附录A
4.0~6.0	≤7.0	
<4.0	≤10.0	

5.2.3 混合砂细度模数宜为 2.6~2.9，小于 0.075mm 颗粒含量不大于 7.0%，松散堆积空隙率不大于

42%，压碎指标不大于 20%。预应力混凝土结构宜选用混合砂。

5.2.4 粗集料应选用碎石或卵石破碎加工而成，宜质地均匀坚硬、粒形良好、级配合理，最大粒径不宜超过 26.5mm（大体积混凝土除外），且不得超过保护层厚度的 2/3。按单粒级分档，不少于两档规格组成连续级配，松散堆积空隙率宜不大于 43%，其他性能指标除应符合 GB/T 14685 和 JG/T 568 的规定外，有害物质含量的限值尚应符合表 4 的规定。

表 4 粗集料有害物质含量限值

检测项目	有害物质含量限值		试验方法
	C50以下混凝土	C50及以上混凝土	
卵石含泥量（%）	≤1.0	≤0.5	JTG E42
碎石泥粉含量（%）	≤1.5	≤0.5	
泥块含量（%）	≤0.1	0	
针片状颗粒含量（%）	≤7	≤5	
氯离子含量（%）	<0.02	<0.01	
有机物含量（比色法）	合格		
硫化物及硫酸盐含量 （按 SO ₃ 质量计）	≤0.5		

5.2.5 预应力混凝土用粗集料，强度采用岩石单轴饱水抗压强度与压碎指标双指标控制，岩石抗压强度不低于 80MPa，且不小于混凝土强度等级的 1.5 倍，粗集料压碎值指标不大于 10.0%。

5.2.6 应采用无碱活性反应的集料，碱活性试验方法按 JTG E42 执行。

5.2.7 环境作用等级 D 级及以上混凝土，宜采用抗渗透性能良好的集料，吸水率不大于 2.0%。

5.3 矿物掺合料

5.3.1 采用低钙粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰或复合使用。

粉煤灰性能除应符合 GB/T 1596 的规定外，尚应符合表 5 的规定。

表 5 粉煤灰技术要求

检测项目	技术要求		试验方法	
	C50以下混凝土	C50及以上混凝土		
细度（%）	≤25		GB/T 1596	
需水量比（%）	≤105	≤95		
含水率（%）	≤1.0			
烧失量（%）	≤8.0	≤5.0		
SO ₃ （%）	≤3.0			
CaO（%）	≤10			
游离CaO（%）	≤1.0			
氯离子含量（%）	≤0.06			
活性指数（%）	7d	≥75	≥80	GB/T 1596
	28d	≥85	≥90	

5.3.2 粒化高炉矿渣粉性能除应符合 GB/T 18046 和 GB/T 18736 的规定外，尚应符合表 6 的规定。

表 6 粒化高炉矿渣粉技术要求

检测项目	技术要求	试验方法
比表面积 (m^2/kg)	≥ 400	GB/T 176
需水量比 (%)	≤ 100	GB/T 18736
含水率 (%)	≤ 1.0	GB/T 18046
烧失量 (%)	≤ 3.0	GB/T 176
SO_3 (%)	≤ 4.0	
氯离子含量 (%)	≤ 0.06	
28d活性指数 (%)	≥ 95	GB/T 18046

5.3.3 硅灰性能除应符合 GB/T 27690 和 GB/T 18736 的规定外，尚应符合表 7 的规定。

表 7 硅灰技术要求

检测项目	技术要求	试验方法	
比表面积 (m^2/kg)	≥ 15000	GB/T 18736	
需水量比 (%)	≤ 125		
含水率 (%)	≤ 3.0		
烧失量 (%)	≤ 6.0	GB/T 176	
氯离子含量 (%)	≤ 0.10		
SiO_2 含量 (%)	≥ 85	GB/T 18736	
活性指数 (%)	3d		≥ 90
	7d		≥ 95
	28d		≥ 115

5.3.4 预应力高性能混凝土应采用 I 级粉煤灰或烧失量不大于 5%、需水量比不大于 100%的 II 级粉煤灰。

5.3.5 硅灰宜与粉煤灰或矿渣粉复合使用。硅灰掺量不宜超过胶凝材料总量的 10%。

5.4 外加剂

5.4.1 应选用减水率高、坍落度损失小、适量引气、能明显提高混凝土耐久性的高性能外加剂。其性能指标符合 GB 8076 和 GB 50119 的规定。

5.4.2 掺量应根据使用要求、施工条件、混凝土原材料的变化等情况通过试验确定。

5.4.3 应有良好的气泡稳定性，含气量宜不大于 3%，1h 经时变化量不大于 1.5%。

5.4.4 坍落度损失指标 1h 经时变化量 0mm，2h 经时变化量应不大于 30mm，还应根据运距调整坍落度损失指标。

5.4.5 冬季施工不应采用含有氯盐的防冻性能外加剂。

5.4.6 外加剂或水泥（矿物掺合料）进场及批次发生变化时，应对外加剂的密度、减水率及其与胶凝材料的相容性进行复验，复验结果满足要求后方可用于工程实体。

5.4.7 外加剂的技术要求应符合表 8 的规定。

表 8 外加剂技术要求

检测项目		技术要求	试验方法
硫酸钠含量 (%)		≤ 5.0	GB/T 8077
碱含量 (%)		≤ 10.0	
氯离子含量 (%)		≤ 0.02	GB 8076
减水率 (%)		≥ 25	
常压泌水率 (%)		≤ 20	
压力泌水率 (%)		≤ 90	GB/T 50080
抗压强度比 (%)	3d	≥ 160	GB/T 8076
	7d	≥ 150	
	28d	≥ 140	
收缩率比 (%)		≤ 110	
相对耐久性指标 (%)		≥ 80	

注：硫酸钠含量、碱含量和氯离子含量按折固含量计。

5.5 水

5.5.1 拌合用水和养护用水应符合 JGJ 63 的规定。

5.5.2 混凝土用水不应有漂浮明显的油脂和泡沫，且不应有明显的颜色和异味。

5.5.3 对设计使用年限为 100 年的结构混凝土，氯离子含量不应超过 500 mg/L；对使用钢丝或经热处理钢筋的预应力混凝土，氯离子含量不应超过 350 mg/L。

6 配合比设计

6.1 基本要求

6.1.1 配合比设计应根据混凝土结构工程的要求，按强度、耐久性和体积稳定性等进行设计，并使混凝土拌合物工作性能满足施工要求。同时综合考虑经济性、适用性和节能环保等因素。

6.1.2 设计方法和步骤参照 JGJ 55 的规定执行。

6.1.3 砂率应根据细度模数、颗粒级配、石粉含量，及碎石最大粒径、混凝土的水胶比、工作性要求等因素确定。采用天然砂时，砂率宜取 35%~42%；采用机制砂时，砂率宜取 40%~45%；采用混合砂时，砂率选取根据工程实际确定。

6.1.4 隧道衬砌用高性能混凝土配合比，采用体积法设计，粗集料最大粒径不大于 19.0mm，用水量宜不大于 190kg/m³，坍落扩展度 550mm~650mm，外加剂掺量根据工作性要求确定。

6.2 水胶比及胶凝材料用量

6.2.1 在满足混凝土工作性能的前提下，单位用水量宜控制在 130 kg/m³~160kg/m³。水胶比不宜大于 0.50。

6.2.2 胶凝材料总量，C40 以下不宜大于 400kg/m³，C40~C45 不宜大于 450kg/m³，C50 不宜大于 480kg/m³，C50 以上不应大于 550kg/m³。混凝土的最大水胶比和单位体积混凝土的胶凝材料用量应符合表 9 的规定。

表 9 混凝土的最大水胶比和单位体积混凝土的胶凝材料用量

混凝土强度等级	最大水胶比	最小胶凝材料用量 (kg/m ³)	最大胶凝材料用量 (kg/m ³)
C30	0.50	280	400
C35	0.48	300	400
C40	0.45	320	450
C45	0.40	340	450
C50	0.36	360	480
C55	0.32	380	500
C60	0.30	400	550

注：大掺量矿物掺合料混凝土的水胶比不应大于0.45。

6.3 矿物掺合料应用

6.3.1 应掺加一种或多种矿物掺合料，按下列原则选择确定：

- 混凝土的水胶比小，浇筑温度与气温较高或混凝土强度验收龄期较长时，矿物掺合料宜采用较大掺量；
- 对大体积混凝土、水下工程混凝土及有抗腐蚀要求的混凝土，可适当增加矿物掺合料用量；
- 对早期强度要求较高或环境温度较低条件下施工的混凝土，矿物掺合料采用较小掺量。

6.3.2 应根据工程所处的环境条件、结构特点，合理选取掺合料种类，经试配验证，确定矿物掺合料的最佳掺量。混凝土中矿物掺合料最大掺量应符合表 10、表 11 的规定。

表 10 钢筋混凝土中矿物掺合料最大掺量

矿物掺合料种类	水胶比	最大掺量 (%)	
		硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥
粉煤灰	≤0.40	45	35
	>0.40	40	30
粒化高炉矿渣粉	≤0.40	65	55
	>0.40	55	45
硅灰	-	10	10
复合掺合料	≤0.40	65	55
	>0.40	55	45

注1：复合掺合料各组份的掺量不宜超过单掺时的最大掺量。

注2：在混合使用两种或两种以上矿物掺合料时，其总掺量应符合表中复合掺合料的规定。

表 11 预应力混凝土中矿物掺合料最大掺量

矿物掺合料种类	水胶比	最大掺量 (%)	
		硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥
粉煤灰	≤0.40	35	30
	>0.40	25	20
粒化高炉矿渣粉	≤0.40	55	45
	>0.40	45	35
硅灰	-	10	10
复合掺合料	≤0.40	55	45
	>0.40	45	35

注1: 复合掺合料各组份的掺量不宜超过单掺时的最大掺量。
注2: 在混合使用两种或两种以上矿物掺合料时, 其总掺量应符合表中复合掺合料的规定。

6.4 混凝土中碱含量

- 6.4.1 可溶性碱总含量应小于 $3.0\text{kg}/\text{m}^3$, 重要结构混凝土最大碱含量不宜大于 $2.1\text{kg}/\text{m}^3$ 。
- 6.4.2 当混凝土结构处于严重侵蚀的环境时, 不应使用有碱活性反应的集料。
- 6.4.3 矿物掺合料的碱含量, 以可溶性碱计算, 粒化高炉矿渣粉取其总碱含量 1/2, 粉煤灰取其总碱含量 1/6, 硅灰按其总碱含量计算。

6.5 混凝土中氯离子含量

- 6.5.1 游离氯离子含量应小于胶凝材料用量的 0.10%; 预应力混凝土应小于 0.06%。
- 6.5.2 混凝土拌合物中水溶性氯离子含量测试方法应符合 JTJ 270 的规定。

6.6 混凝土耐久性

- 6.6.1 混凝土耐久性电通量试验, 宜采用 56d 龄期混凝土试样进行检测, 电通量值不大于 1000C, 试验方法应按照 GB/T 50082 规定执行。
- 6.6.2 限制混凝土中胶凝材料的最大、最小用量。最小用量用于保证强度合理增长, 最大用量控制过大收缩应力, 有效发挥胶凝材料中水泥效力。
- 6.6.3 300 次冻融循环后相对动弹性模量不小于 80%。

7 制备与运输

7.1 一般要求

- 7.1.1 应采用集中搅拌方式生产, 生产过程应符合 GB/T 14902 及 JTG/T 3650 的规定。
- 7.1.2 应加强生产过程监控, 根据监控情况及时调整生产技术措施。

7.2 原材料存储与管理

- 7.2.1 原材料进场时, 供方应按规定批次, 提供相关质量证明文件; 进场后各种原材料应有明确标识, 标识内容包括材料名称、品种、生产厂家、生产日期和进场日期; 集料堆场, 应为能排水的硬化地面, 并应有防尘和遮雨设施, 具备喷淋降尘、湿度监测等功能。
- 7.2.2 水泥按品种、强度等级和生产厂家分别标识和贮存。应防止受潮及污染。水泥出厂超过 3 个月

应进行复检，复检合格方可使用。用于生产时水泥温度不宜高于 60℃。

7.2.3 细集料宜保持 3.0%~5.0%含水率，减少堆存过程级配离析及扬尘。

7.2.4 粗集料应按不同品种、规格分别贮存，避免混杂或污染。

7.2.5 矿物掺合料应按品种、质量等级和产地分别标识和贮存，不应与水泥混杂，并应有防潮、防雨措施。

7.2.6 外加剂应按生产厂家、品种分别标识和贮存。液态外加剂应贮存在密闭容器内，并应有防晒、防冻和必要的搅拌设施。为防止沉淀和温度变化引起分层等异常现象，贮存容器应配备循环匀化装置。

7.3 计量

7.3.1 计量设备应能连续计量，具有逐盘记录、重量调差和贮存计量结果等相关功能，其精度应满足 GB 10171 的要求。计量设备应定期检定。

7.3.2 计量设备应根据设备特点和使用环境要求，制定科学的校准作业指导书，每月进行一次校准；每一工作班开始前，应进行零点校准。

7.3.3 应加强粗、细集料的含水率监控，每天开盘前对各规格集料，取代表性样品进行快速检测。当含水率有显著变化时，增加测定次数。根据其含水率变化调整施工配合比。

7.3.4 原材料的计量允许偏差不应大于表 12 的规定范围，并应每班检查一次。

表 12 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
每盘计量允许误差 (%)	±2	±2	±1	±1	±2
累计计量允许误差 (%)	±1	±2	±1	±1	±1

注：累计计量允许偏差是指每一运输车中各盘混凝土的每种材料计量总和的偏差。

7.4 混凝土搅拌

7.4.1 应采用搅拌效率高且匀质性好的卧轴式、行星式或逆流式强制搅拌机。

7.4.2 搅拌时间应满足设备说明书的要求，且不宜少于 120s。制备 C50 及以上高性能混凝土或掺有引气剂、膨胀剂或粉状外加剂的混凝土时，应适当延长搅拌时间。混凝土搅拌时间每班检查 2 次。制备工艺流程见附录 B。

7.4.3 炎热季节应采用低温水搅拌混凝土，或尽可能在气温较低时间段搅拌混凝土，保证混凝土的入模温度不超过 28℃。

7.4.4 冬季施工，各类原材料采用合适的保温措施，保证混凝土入模温度不低于 10℃。

7.4.5 应检测混凝土拌合物的均匀性。检测时，在搅拌机的卸料过程中，从卸料流的 1/4~3/4 之间部位取样进行试验，试验结果应满足以下要求：

- 混凝土中砂浆密度两次测值的相对误差不大于 0.8%；
- 粗集料含量两次测值的差值不大于 5.0%；
- 混凝土坍落度两次测定值的差值不大于 30mm。

7.5 混凝土运输

7.5.1 宜采用专业搅拌运输车运输，在运输时应能保证混凝土拌合物均匀且不产生分层离析。

7.5.2 运输车辆到达浇筑地点时，应测定现场坍落度，与搅拌站测定坍落度相比较，计算经时损失。

7.5.3 对于寒冷、严寒或炎热的气候情况，搅拌运输车的搅拌罐应有保温或隔热措施。

- 7.5.4 搅拌运输车在装料前应将搅拌罐内积水排尽，装料后不应向搅拌罐内的混凝土加水。
- 7.5.5 运输时间一般不宜大于 90min，应保证混凝土浇筑的连续性。
- 7.5.6 搅拌运输车到达现场，卸料前应采用高速挡旋转搅拌罐 20s~30s。

8 浇筑与养护

8.1 混凝土浇筑

- 8.1.1 进入施工现场的混凝土拌和物应符合设计要求和有关规定。应根据浇筑结构物的情况、环境条件及浇筑量等制定合理的浇筑工艺方案，工艺方案应对施工缝设置、浇筑顺序、浇筑工具、防裂措施、保护层的控制做出明确规定。
- 8.1.2 应对支架、模板、钢筋和预埋件等进行检查，模板内的杂物、积水及钢筋上的污物应清理干净。
- 8.1.3 混凝土入模前，应测定混凝土的温度、坍落度、扩展度等工作性能指标，浇筑混凝土时坍落度的允许偏差为±20mm，拌合物性能符合配合比设计要求的混凝土方可浇筑入模。
- 8.1.4 当确需调整混凝土的坍落度时，严禁向运输车内添加计量外用水，必须在专职检测人员指导下，在卸料前加入外加剂，加入后快速转动搅拌罐。外加剂数量和搅动时间应通过试验确定。
- 8.1.5 混凝土的入模温度应控制在 10℃~28℃。
- 8.1.6 混凝土应按一定的厚度、顺序和方向分层浇筑，且应在下层混凝土初凝或能重塑前浇筑完成上层混凝土。
- 8.1.7 大体积混凝土必须采取措施控制其温度应力裂缝。
- 8.1.8 在炎热季节浇筑混凝土时，宜安排在气温较低的时间段浇筑混凝土，避免模板和新浇筑混凝土直接受阳光照射。
- 8.1.9 在冬季施工浇筑混凝土时，应采取适当的保温防冻措施。
- 8.1.10 在相对湿度较小、风速较大的环境下浇筑混凝土时，应采取挡风及覆盖等措施，防止混凝土失水过快，此时应避免浇筑有较大暴露面积的构件。
- 8.1.11 混凝土试件应在浇筑地点随机取样，同一工程、同一配合比的混凝土取样应按 JTG/T 3650 的规定执行。留置组数可根据实际需要适当增加。

8.2 混凝土振捣

- 8.2.1 根据工程特点，选用插入式高频振捣棒、附着式平板振动器、表面平板振动器等振捣设备，振捣时避免碰撞模板、钢筋及预埋件。
- 8.2.2 应按事先规定的工艺路线和方式振捣混凝土，每振点不宜超过 30s，避免漏振或过振。
- 8.2.3 振捣后的混凝土表面不应出现明显的浮浆层，表面搓压至少两次，必要时可增加搓压次数，最后一次搓压应在混凝土终凝前完成。
- 8.2.4 振捣过程中应检查模板稳定性和接缝密合性。

8.3 混凝土养护

- 8.3.1 施工现场应提前准备好混凝土养护材料及装置。
- 8.3.2 混凝土浇筑成型后，根据环境情况覆盖混凝土表面并进行保湿养护。在高温季节或大风、日照较强的环境中，浇筑成型后应立即覆盖或采用其他保湿措施。
- 8.3.3 养护用水温度与混凝土表面温度之间的温差不应大于 15℃。撤除养护措施时，混凝土表面与外界温差不应大于 20℃。
- 8.3.4 混凝土成型后，浇水或潮湿覆盖养护时间不应少于 7d。

8.3.5 混凝土蒸汽养护时应符合下列要求：

- a) 成型后预养温度不宜高于 45℃，预养（静停）时间不得少于 4h。
- b) 蒸养时升、降温速率不宜大于 20℃/h。
- c) 养护时间不少于 3d。

9 检查与验收

9.1 过程质量检查

9.1.1 混凝土产品检验分为出站检验和交货检验。出站检验由混凝土搅拌站负责施行，交货检验在浇筑地点由检测人员进行。

9.1.2 高性能混凝土施工日常检验项目包括：混凝土坍落度、坍落扩展度、坍落度经时损失、混凝土强度等。

9.1.3 混凝土坍落度、坍落扩展度、坍落度经时损失、混凝土强度检验频率应符合下列规定：

- a) 出站检验时，每 100 盘相同配合比混凝土取样不少于 1 次，每一个工作班相同配合比混凝土不到 100 盘时，至少取样 1 次进行试验。
- b) 交货检验的取样频率应符合 JTG/T 3650 的规定。

9.1.4 混凝土氯离子含量、碱含量、耐久性能和体积稳定性能，按照同一工程、同一配合比至少检验不少于一次的原则进行。

9.2 实体质量检测

9.2.1 混凝土实体结构强度可采用同条件养护试块进行检验。实体结构强度也可以采用回弹法、超声—回弹综合法等非破损方法进行检验。当对强度产生争议时，采用钻芯法进行检验。

9.2.2 混凝土耐久性能可采用同条件养护试件进行耐久性能检验。

9.2.3 混凝土实体结构钢筋保护层厚度，采用超声波仪器检测。

9.2.4 混凝土实体结构裂缝检验应符合 GB 50204 的规定。

9.3 质量验收

9.3.1 混凝土结构工程的施工质量验收应符合 GB 50204 的规定。

9.3.2 强度检验评定应符合 JTG F80/1 的规定。

9.3.3 混凝土耐久性验收应符合 JGJ/T 193 的规定。

9.3.4 用肉眼或放大镜观察实体混凝土结构表面是否存在非外力裂缝。当混凝土表面出现非外力裂缝时，普通混凝土结构表面的裂缝最大宽度不得大于 0.20mm，钢筋混凝土结构表面裂缝宽度不得大于 0.10mm，预应力混凝土结构不得出现结构性裂缝。

9.3.5 采用无损检测方法进行混凝土保护层厚度的检测。对混凝土保护层厚度检测结果怀疑时，可采用局部破损的方法进行复核，复核结束后对破损部位及时修复。

附 录 A
(资料性)
石粉亚甲蓝试验

A.1 仪器设备

仪器设备应符合下列要求：

- a) 亚甲蓝 ($C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot 3H_2O$)：纯度不小于 98.5%。
- b) 鼓风干燥箱：温度控制范围为 $(105 \pm 5) ^\circ C$ 。
- c) 天平：称量 1000g，感量 1g；称量 100g，感量 0.01g。
- d) 方孔筛：孔径为 0.075mm、0.15mm、0.3mm、0.6mm、1.18mm、2.36mm、4.75mm 的筛各一只。
- e) 摇筛机。
- f) 移液管：5mL、2mL 移液管各一个。
- g) 叶轮搅拌器：转速可调最高达 $(600 \pm 60) r/min$ ，叶轮直径为 $(75 \pm 10) mm$ 。
- h) 定时装置：精度 1s。
- i) 玻璃容量瓶：容量 1L。
- j) 温度计：精度 $1^\circ C$ 。
- k) 玻璃棒：2 支，直径 8mm、长 300mm。
- l) 烧杯：容量为 1000mL。
- m) 其他：定量滤纸、搪瓷盘、毛刷、洁净水等。

A.2 试验步骤

A.2.1 标准亚甲蓝溶液 [$(10.0 \pm 0.1) g/L$ 标准浓度] 配制

A.2.1.1 测定亚甲蓝中的水分含量 ω 。称取 5g 左右的亚甲蓝粉末，记录质量 G_0 ，精确至 0.01g。在 $100^\circ C \pm 5^\circ C$ 的温度下烘干至恒重（若烘干温度超过 $105^\circ C$ ，亚甲蓝粉末会变质），在干燥器中冷却，然后称重，记录质量 G_1 ，精确到 0.01g。按式 (A.1) 计算亚甲蓝的含水率 ω 。

$$\omega = (G_0 - G_1) / G_1 \times 100\% \quad \text{..... (A.1)}$$

式中：

G_0 ——亚甲蓝粉末的质量，单位为克 (g)；

G_1 ——干燥后亚甲蓝的质量，单位为克 (g)。

注：每次配制亚甲蓝溶液前，均应首先确定亚甲蓝的含水率。

A.2.1.2 取亚甲蓝粉末 $(100 + \omega) (10g \pm 0.01g) / 100$ （即亚甲蓝粉末质量 10g），精确至 0.01g。

A.2.1.3 加热盛有约 600 mL 洁净水的烧杯，水温不超过 $40^\circ C$ 。

A.2.1.4 边搅动边加入亚甲蓝粉末，持续搅动 45min，直至亚甲蓝粉末全部溶解，然后冷却至 $20^\circ C$ 。

A.2.1.5 将溶液倒入 1L 容量瓶中，用洁净水淋洗烧杯等，使所有亚甲蓝溶液全部移入容量瓶，容量瓶和溶液的温度应保持在 $(20 \pm 1) ^\circ C$ ，加洁净水至容量瓶 1L 刻度。

A.2.1.6 摇晃容量瓶以保证亚甲蓝粉末完全溶解。将标准液移入深色储藏瓶中，亚甲蓝标准溶液保质期应不超过 28d。配制好的溶液应标明制备日期、失效日期，并避光保存。

A. 2.2 制备石粉悬浊液

A. 2.2.1 按 GB/T 14684 规定进行取样，并将样品烘干。

A. 2.2.2 将烘干后冷却至室温的样品试样倒入按孔径大小从上到下组合的套筛，用摇筛机筛 10min，取 0.075mm 方孔筛以下筛底石粉试样累计 100g，分 2 份备用，精确至 0.1g。

A. 2.2.3 称取石粉试样 50g，精确至 0.1g。将石粉试样倒入盛有 (500±5)mL 蒸馏水的烧杯中，将叶轮搅拌机调整到 (600±60)r/min 转速。叶轮距离烧杯底部约 10mm。搅拌 5min，形成石粉悬浮液，用移液管准确加入 5mL 亚甲蓝溶液，然后保持 (400±40)r/min 转速持续搅拌，直至试验结束。

A. 2.3 石粉亚甲蓝 (MB_F) 值的测定

A. 2.3.1 将滤纸架空放置在敞口烧杯的顶部，使其不与任何其他物品接触。

A. 2.3.2 石粉悬浊液在加入亚甲蓝溶液并经 (400±40)r/min 转速搅拌 1min 起，在滤纸上进行第一次色晕检验。即用玻璃棒蘸取 1 滴石粉悬浊液滴于滤纸上，液滴在滤纸上形成环状，中间是石粉沉淀物，液滴的数量应使沉淀物直径在 8mm~12mm 之间，外围环绕一圈无色的水环。观察在沉淀物周围边缘是否放射出 1mm 宽的浅蓝色晕。

A. 2.3.3 如果第 1 次的 5mL 亚甲蓝溶液没有使沉淀物周围出现色晕，再向石粉悬浊液中加入 5mL 亚甲蓝溶液，继续搅拌 1min，再用玻璃棒蘸取 1 滴悬浮液，滴于滤纸上，进行第 2 次色晕试验，若沉淀物周围仍未出现色晕，重复上述步骤，直至沉淀物周围出现约 1mm 宽的稳定浅蓝色晕。

A. 2.3.4 停止滴加亚甲蓝溶液，但继续搅拌悬浊液，每 1min 蘸取 1 次悬浊液进行色晕试验。若色晕在 4min 内消失，再加入 5mL 亚甲蓝溶液；若色晕在第 5min 消失，再加入 2mL 亚甲蓝溶液。两种情况下，均应继续进行搅拌和蘸染试验，直至色晕可持续 5min。

注：由于石粉吸附亚甲蓝需要一定的时间才能完成，在色晕试验过程中，色晕可能在出现后又消失了。因此，需要每隔 1min 进行 1 次色晕检验，连续 5 次出现色晕为有效。

A. 2.3.5 记录色晕持续 5min 时所加入的亚甲蓝溶液总体积，精确至 1mL。

注：试验结束后应立即用水彻底清洗试验用容器，清洗后的容器不得含有清洁剂成分。

A. 3 石粉亚甲蓝 (MB_F) 值计算

A. 3.1 石粉亚甲蓝值 (MB_F) 按下式计算：

$$MB_F = V/G \times 10 \quad \text{..... (A. 2)}$$

式中：

MB_F—亚甲蓝值，表示每千克石粉试样所消耗的亚甲蓝克数，单位为克每千克 (g/kg)，精确至 0.1；

G—试样质量为 50g；

V—所加入的亚甲蓝溶液的总量，单位为毫升 (mL)；

10—换算系数，用于将每千克试样消耗的亚甲蓝溶液体积换算成亚甲蓝质量。

A. 3.2 石粉亚甲蓝 MB_F 值取 2 次试验结果的算术平均值，精确至 0.1。

附录 B
(资料性)
高性能混凝土制备工艺流程

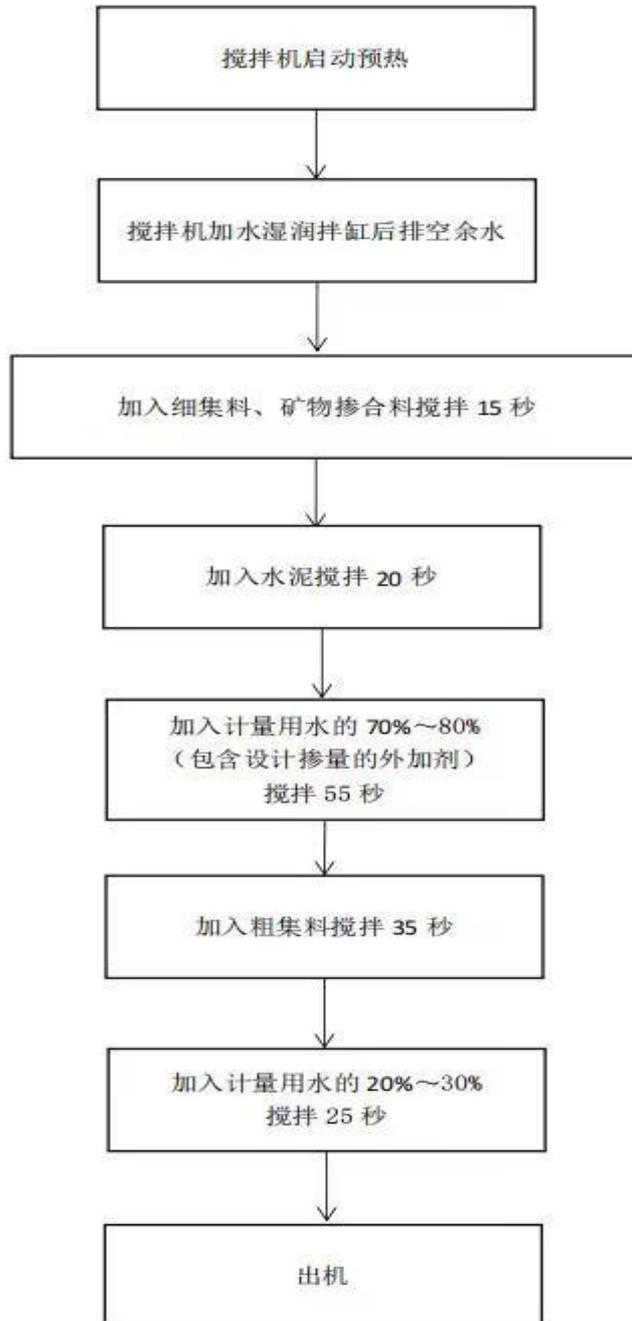


图 B.1 高性能混凝土制备工艺流程