

DB51

四川省地方标准

DB 51/T 1994—2015

桥梁高性能清水混凝土技术规程

2015 - 07 - 08 发布

2015 - 10 - 01 实施

四川省质量技术监督局

发布

目 次

前言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 总则..... 1

4 术语..... 2

5 基本规定..... 3

6 原材料..... 4

7 性能指标..... 7

8 配合比设计..... 9

9 模板工程..... 15

10 混凝土施工..... 20

11 表面处理..... 23

12 成品保护..... 24

13 验收..... 24

前 言

根据四川省质量技术监督局川质监函[2013]129号文件的要求，以四川省交通科研项目“高性能清水混凝土制备与应用技术研究”的成果为支撑，制订了《桥梁高性能清水混凝土技术规程》。

本规程主要技术内容包括：总则、术语、基本规定、原材料、性能指标、配合比设计、模板工程、混凝土施工、表面处理、成品保护和验收。

本规程由四川省质量技术监督局审查批准，四川省交通运输厅负责管理，四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见和建议，请寄送四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院（地址：成都市武侯横街1号，邮编：610041）。

主编单位：四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院

参编单位：武汉理工大学

西华大学

主要起草人：牟廷敏 周孝军 张 蓉 骆 燕 范碧琨

主 审 人：丁庆军 庄卫林

桥梁高性能清水混凝土技术规程

1 范围

本规程规定了桥梁高性能清水混凝土术语、原材料、性能指标、配合比设计、模板工程、混凝土施工与表面处理、成品保护和验收等。

本规程适用于桥梁工程清水混凝土设计、制备、施工与质量验收。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件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 8076 混凝土外加剂
- 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
- GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计规范
- JGJ 52 普通混凝土用砂、石质量及验收方法标准
- JGJ 74 建筑工程大模板技术规程
- JGJ 169 清水混凝土应用技术规程
- JTG/T F50 公路桥涵施工技术规范
- SCG F51 桥梁高性能混凝土制备与应用技术指南
- DBJT01-64 混凝土矿物掺合料应用技术规范

3 总则

3.1 为保证桥梁高性能清水混凝土的品质，满足规定设计使用年限，具有良好的工作性能、耐久性能和自然质感的清水效果，做到技术先进、经济合理、安全适用，制订本规程。

条文说明

由于清水混凝土强度等级高、构件体量大、浇筑数量多、环境条件恶劣等特点，需要制订具有针对桥梁特点的清水混凝土技术标准。

3.2 桥梁高性能清水混凝土工程的设计、施工与质量验收，除满足本规程外，尚应符合现行国家有关标准的规定。

条文说明

桥梁高性能清水混凝土设计应符合《混凝土结构耐久性设计规范》（GB/T 50476）、《桥梁高性能混凝土制备与应用技术指南》（SCG F51）的规定；桥梁高性能清水混凝土的集料质量应符合《普通混凝土用砂、石质量及验收方法标准》（JGJ 52）的规定；粉煤灰、矿渣粉、硅灰等矿物掺合料应符合《混凝土矿物掺合料应用技术规范》（DBJT01-64）的规定；桥梁高性能清水混凝土外加剂应符合《混凝土外加

剂》(GB 8076)、《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119)的规定;桥梁高性能清水混凝土的施工应符合《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)的规定;桥梁高性能清水混凝土工程质量应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204)的规定;桥梁高性能清水混凝土外观质量应符合《清水混凝土应用技术规程》(JGJ 169)的规定;桥梁高性能清水混凝土的模板拆除应符合《建筑工程大模板技术规程》(JGJ 74)的规定。

3.3 桥梁高性能清水混凝土工程应进行系统的工艺和构造设计,并应编制施工组织管理文件。

条文说明

桥梁高性能清水混凝土的工艺和构造设计,是为了减少施工环境、空气、污水对清水效果的影响。

3.4 清水混凝土包括普通清水混凝土、饰面清水混凝土和装饰清水混凝土,本规程的高性能清水混凝土属于普通清水混凝土,适用于桥梁工程。

条文说明

普通清水混凝土的“普通”是相对于饰面和装饰清水混凝土而言的,仍属于高性能混凝土的范畴。

3.5 桥梁高性能清水混凝土使用的原材料,应具有专项检测报告和抽检报告,原材料之间应进行适应性试验。

3.6 桥梁高性能清水混凝土施工前,宜做样板,样板宜与构件具有一定的相似性;根据样板外观质量,调整外加剂和矿物掺合料掺量、水胶比,确定其配合比;同时,通过样板优选脱模剂,优化脱模剂涂刷工艺。

4 术语

4.1 普通清水混凝土

直接利用混凝土成型后的自然质感作为饰面效果,表面无明显色差,对饰面效果无特殊要求的清水混凝土。

4.2 饰面清水混凝土

表面颜色基本一致,由有规律排列的对拉螺栓孔眼、明缝、蝉缝、假眼等组合形成,以自然质感为饰面效果的清水混凝土。

4.3 装饰清水混凝土

表面形成装饰图案、镶嵌装饰片或彩色的清水混凝土。

4.4 高性能清水混凝土

满足混凝土结构所要求的各项力学性能,具有高耐久性、高工作性和高体积稳定性,且表面平整光滑、无明显色差的普通清水混凝土。

4.5 桥梁高性能清水混凝土

满足桥梁工程服役环境对工作性能、耐久性能和饰面要求的高性能清水混凝土。

4.6 表面色差

清水混凝土成型后的表面颜色差异。

4.7 衬模

设置在模板内表面，可使混凝土形成致密表面，提高混凝土表观质量的内衬板。

4.8 清水混凝土脱模剂

涂刷在模板表面，使混凝土易于拆模，且表面平整光滑，不改变混凝土自身颜色，达到清水混凝土效果的有机高分子材料。

4.9 石粉含量

机制砂中粒径小于 0.075mm 的颗粒称为石粉，石粉占机制砂的质量百分比称为石粉含量。

5 基本规定

5.1 桥梁高性能清水混凝土与普通混凝土采用的粗细集料的质量标准相同。

5.2 桥梁高性能清水混凝土不宜采用 P·O 52.5 水泥。粉煤灰掺量不宜超过 50kg/m³，其最大掺量宜通过样板试验确定。

5.3 桥梁高性能清水混凝土应采用减水率高、与砂石集料及胶凝材料适应好的聚羧酸系减水剂，且应具有调整混凝土粘聚性的功能。

5.4 桥梁高性能清水混凝土应根据混凝土不同强度等级，确定合理砂率，优化减水剂掺量和混凝土粘聚性，保证混凝土的均匀性。

5.5 桥梁高性能清水混凝土的拌合应控制工作性能的一致性。

5.6 桥梁高性能清水混凝土的施工应进行全过程质量控制，对于外观效果要求相同的清水混凝土，选用的材料和采用的工艺应保持一致。在同一视觉范围内，相邻结构部位的混凝土不宜超过一个强度等级。

条文说明

在同一视觉范围内，如果相邻结构部位（如：墩和承台、墩和梁等）的混凝土抗压强度超过一个强度等级，则混凝土的水胶比、胶凝材料组成和用量差别较大，易导致明显色差。

5.7 桥梁清水混凝土工程所采取的防裂、抗冻、抗渗、抗碳化等技术措施，宜兼顾高性能清水混凝土的外观效果。

5.8 桥梁高性能清水混凝土工程应在本道工序质量验收合格后，再进行下道工序施工。

5.9 桥梁高性能清水混凝土的设计、拌合、模板、浇筑、养护等关键技术，应通过试验编制专项施工方案，制定季节性施工及成品保护措施。

5.10 桥梁高性能清水混凝土的具体施工工艺流程见图 5.10 所示。

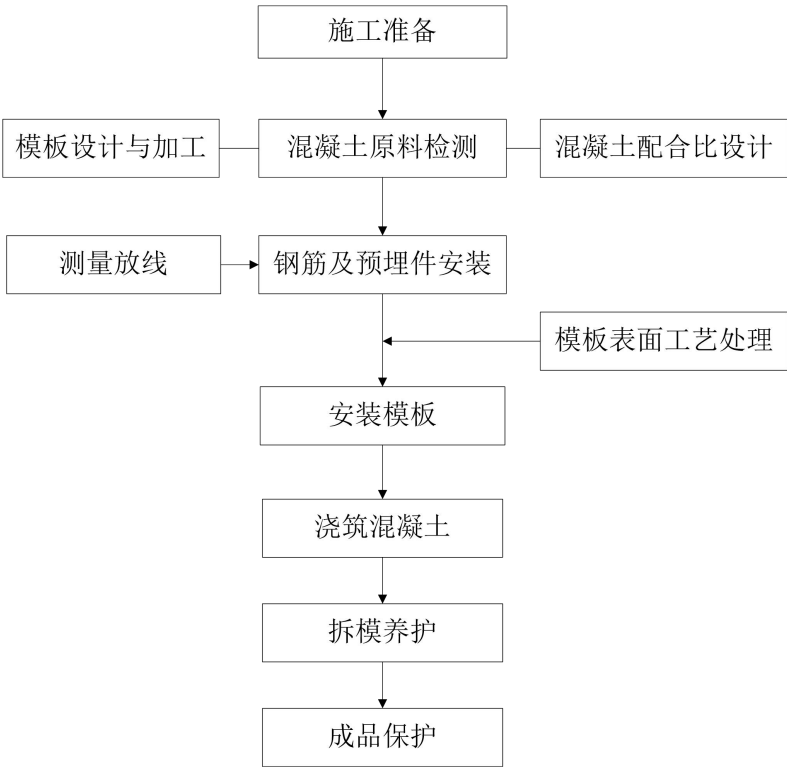


图 5.10 施工工艺流程图

6 原材料

6.1 水泥

6.1.1 桥梁高性能清水混凝土应采用旋窑生产的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，不宜采用矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥。

条文说明

矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥中的混合材掺量一般较高，且水泥的细度波动较大，配制满足泵送施工要求的混凝土时，混合材易上浮引起分布不均，造成色差。

6.1.2 同一座桥梁的高性能清水混凝土宜选择同一厂家生产的同一品牌水泥，同一桥梁构件宜采用同一批水泥。

6.2 矿物掺合料

6.2.1 桥梁高性能清水混凝土的矿物掺合料宜选择粉煤灰、矿渣粉、硅灰等。

6.2.2 桥梁高性能清水混凝土宜采用Ⅰ级粉煤灰；当采用Ⅱ级粉煤灰时，其掺量不应超过 40kg/m³，并应掺加增粘组分调整浆体粘度；不得采用Ⅲ级粉煤灰。

条文说明

Ⅱ级粉煤灰烧失量较大、含碳量高，在振捣过程中粉煤灰容易上浮而产生色差。采用Ⅱ级粉煤灰配制桥梁高性能清水混凝土时，采取掺加增粘组分调整浆体粘度的措施，避免粉煤灰上浮引起的色差。

6.2.3 桥梁高性能清水混凝土的矿渣粉宜选用 S95 级或 S105 级。

6.2.4 同一座桥梁的高性能清水混凝土，矿物掺合料宜选择同一厂家生产的同一品牌产品。

6.3 砂

6.3.1 宜选用颜色一致的中砂或粗砂，细度模数宜控制在 2.3~3.5 范围之内。

6.3.2 用于配制预应力结构部位混凝土的砂，其氯离子含量 $\leq 0.02\%$ ；用于配制非预应力结构部位混凝土的砂，其氯离子含量 $\leq 0.06\%$ 。

6.3.3 天然砂的含泥量小于 3.0%，泥块含量小于 0.5%；机制砂的石粉、泥块含量应符合表 6.3.3 的规定。

表 6.3.3 机制砂的泥块、石粉含量限值

混凝土强度等级		$\leq C35$	C40~C60	$> C60$
泥块含量（按质量计）（%）		< 0.5		
石粉含量 （按质量计）（%）	MB < 1.4	≤ 10.0	≤ 7.0	≤ 5.0
	MB ≥ 1.4	不得采用		

条文说明

天然砂的泥块含量高，易引起混凝土色差，其含量应小于 0.5%。机制砂的 MB ≥ 1.4 时，石粉的含泥量高，吸附能力强，需水量大，配制混凝土时外加剂掺量高、气泡多、表面质量差。

6.4 碎石

6.4.1 宜选用无碱活性的卵石或碎石，最大粒径应满足混凝土浇筑需要。

6.4.2 碎石或卵石中含泥量、泥块含量、针片状颗粒含量、压碎值、坚固性应符合表 6.4.2 的规定。

表 6.4.2 碎石或卵石性能指标要求

项 目		指 标		
		$\leq C35$	C40~C60	$> C60$
含泥量（%）		≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5
泥块含量（%）		≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.2
针片状颗粒（按质量计）（%）		≤ 15	≤ 10	≤ 5
压碎值（%）	碎石	≤ 20	≤ 12	≤ 10
	卵石	≤ 16	≤ 12	≤ 10
坚固性，5 次循环后的质量损失（%）		≤ 8	≤ 8	≤ 8

条文说明

碎石或卵石的泥块含量和含泥量将影响混凝土色差，针片状颗粒含量、压碎值和坚固性将影响混凝土力学性能和耐久性能，因此，应对其最大含量进行控制。

6.5 外加剂

6.5.1 桥梁高性能清水混凝土采用的减水剂，应通过合成技术实现高效减水、低含气量、缓凝、保塑等复合功能，并与原材料具有良好的相容性。

条文说明

减水剂低含气量实现技术途径之一是“先消后引”技术，即通过添加适量消泡剂，消除影响外观质量的大气泡，再掺入适量引气剂，引入的气泡尺寸控制在 20~50 μm，最大尺寸<200 μm，既不影响混凝土外观质量，又改善混凝土的流动性。消泡剂与引气剂的质量应符合相关技术标准的要求。

6.5.2 桥梁高性能清水混凝土应采用不改变混凝土颜色的聚羧酸系高性能减水剂，其减水率不应小于 25%。

6.5.3 当桥梁高性能清水混凝土的胶凝材料用量较低时，宜在减水剂合成时掺入甲基纤维素醚或聚丙烯酰胺等增粘组分，其掺量应根据试验确定。

条文说明

胶凝材料用量低，混凝土拌合物粘聚性差，易出现离析泌水，因此，在减水剂中掺入增粘组分，调节混凝土的粘度，避免离析、泌水、翻砂等病害。

6.5.4 桥梁高性能清水混凝土宜选用分子链主、侧结构共聚合成的聚羧酸减水剂。

条文说明

桥梁高性能清水混凝土宜优先选用基于分子链组成结构设计的高减水率、低含气量、缓凝、保塑等复合多功能聚羧酸系减水剂。其复合多功能主要通过优化分子链组成、主链与侧链长度、接枝密度等技术措施实现。

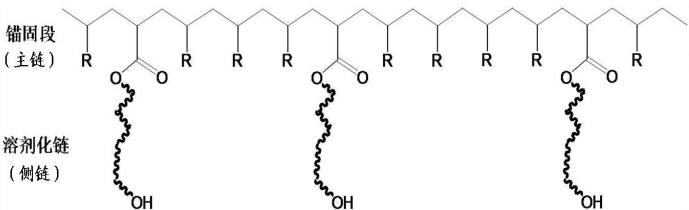


图 6.5.4-1 聚羧酸减水剂分子结构示意图

聚羧酸系减水剂的分子结构示意如图 6.5.4-1 所示：其以 C-C 链为主链，带有多个亲水锚固基团，如羧酸基 (-COOH)、磺酸基 (-SO₃H-)、多元胺、多元醇及聚醚等，可与水泥颗粒中的 Ca²⁺ 络合，并提供静电斥力；侧链为可溶剂化的聚合物链，主要为聚乙二醇醚 (PEO)，聚烯烃以及聚丙烯酸酯等，可与水分子形成溶剂化的立体保护膜，提供空间位阻的作用，增强聚羧酸系减水剂的分散性和分散保持性。聚羧酸系减水剂的最大特点在于其分子结构的可设计性，可以根据混凝土的性能需求来调整聚羧酸共聚物的主链官能团组成和比例、接枝侧链长度和密度、以及分子量大小和分布。

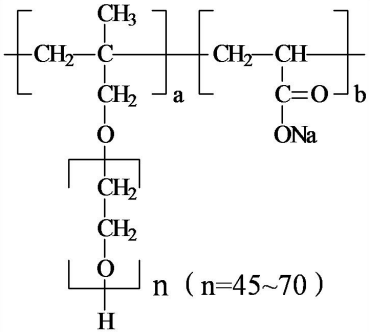


图 6.5.4-2 丙烯酸/甲基烯丙基聚乙二醇共聚物

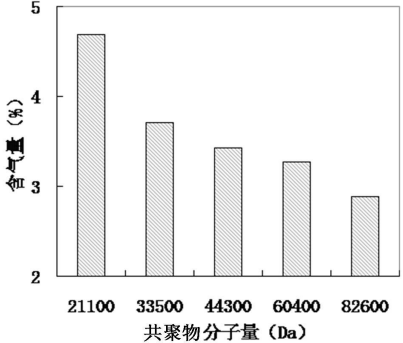


图 6.5.4-3 共聚物对含气量影响

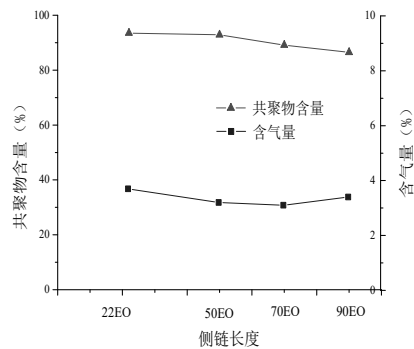


图 6.5.4-4 侧链长度对共聚物含量与含气量影响

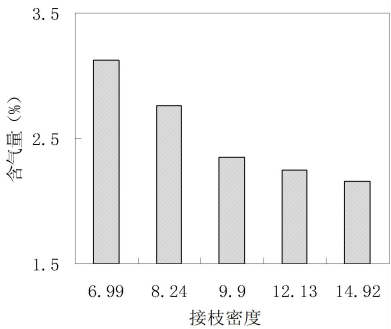


图 6.5.4-5 接枝密度对含气量影响

研究表明：(1) 丙烯酸与甲基烯丙基聚乙二醇组成的聚合物（如图 6.5.4-2）主链减水率高，水泥浆体含气量低、抗压强度高。(2)主链长度增加，分子量增高，混凝土含气量降低。(3)侧链长度增加，共聚物含量下降，混凝土含气量先降低后增加。(4)接枝密度增加，混凝土含气量降低，接枝密度超过 9.9% 后，含气量下降不明显。

根据研究成果，主链采用丙烯酸与甲基烯丙基聚乙二醇共聚，侧链长度保持适中(聚乙二醇聚合度宜为 45-70)，合成得到高减水率、低含气量、缓凝、保塑等多功能聚羧酸减水剂（重均分子量 4-5 万）。

6.5.5 冬季施工掺入防冻剂时，对混凝土表面不得产生明显色差。

6.6 水

6.6.1 桥梁高性能清水混凝土拌合用水不得影响混凝土的外观颜色。

6.6.2 桥梁高性能清水混凝土养护用水不应在构件表面形成水迹、水线。

7 性能指标

7.1 桥梁高性能清水混凝土的拌合物性能应包括坍落度、扩展度、坍落度经时损失、凝结时间、抗离析泌水等，其指标宜符合表 7.1 的规定。

表 7.1 拌合物性能指标

项目		泵送	非泵送
初始坍落度 (mm)		180~220	140~180
入模坍落度 (mm)		≥160	≥140
初始扩展度 (mm)		≥450	≥400
入模扩展度 (mm)		≥400	≥380
2 小时坍落度经时损失 (mm)		≤25	≤30
凝结时间（初凝和终凝）(h)		满足施工要求	
压力泌水率 (%)		<20	
抗离析性能	离析率 (%)	≤20	

	粗骨料振动离析率(%)	≤10
含气量(%)		≤2.0 (具有抗冻要求的清水混凝土除外)

条文说明：
为了减少掺合料上浮引起的色差，对于泵送高度较低或泵送距离较短者，坍落度宜接近范围下限；对于泵送高度较高或泵送距离较长者，坍落度宜接近范围上限。

7.2 桥梁高性能清水混凝土的力学性能主要包括抗压强度、抗折强度、弹性模量等，其性能指标应满足桥梁设计要求。当混凝土强度等级低于 C30 时，宜采用有机或无机增粘成分，提高混凝土的粘聚性。

条文说明
当强度等级低于 C30 时，混凝土中的胶凝材料用量较少，矿物掺合料用量较高，水胶比较大，矿物掺合料易上浮，引起结构物表面色差，采用有机或无机增粘成分，如在外加剂中掺加甲基纤维素醚或聚丙烯酰胺等增粘组分、掺加矿物掺合料的技术措施，增加混凝土的粘聚性。

7.3 桥梁高性能清水混凝土的体积稳定性能包括干燥收缩、自收缩、温度收缩等，其中干燥收缩技术指标宜符合表 7.3 的规定。

表 7.3 干燥收缩技术指标

混凝土强度等级	C30	C40	≥C50
7d 干燥收缩率/×10 ⁻⁴ (20±2℃)	≤1.5	≤2.0	≤2.5
28d 干燥收缩率/×10 ⁻⁴ (20±2℃)	≤2.5	≤3.0	≤3.5

条文说明
桥梁工程混凝土强度等级高，胶凝材料用量大，易产生收缩裂缝，采用满足表中 7d、28d 干燥收缩技术指标的混凝土，可减少裂缝的产生。

7.4 C40 及以上强度等级的桥梁高性能清水混凝土 360d 徐变系数（7d 加载）不应大于 2.0。

条文说明
桥梁预应力施工一般 7d 加载，混凝土的徐变系数越小，其预应力损失越低。试验结果表明，混凝土 7d 加载 360d 的徐变系数，C40 及以上强度等级应控制在 2.0 以下。

7.5 桥梁高性能清水混凝土的耐久性能指标主要包括：抗碳化性能、抗氯离子渗透性能、抗冻性能等。

7.6 桥梁高性能清水混凝土应满足服役环境下设计使用寿命的要求，各指标值应符合表 7.6-1～表 7.6-3 的规定。

表 7.6-1 一般大气环境下抗碳化性能要求

强度等级	28d 碳化深度 (mm)
C30	≤15
C35～C45	≤10
≥C50 (预应力梁)	≤5
≥C50	≤5

(有碳化、盐雾复合作用下的预应力梁)	
--------------------	--

表 7.6-2 氯化物环境下抗氯离子渗透性能要求

混凝土强度等级	56d 氯离子扩散系数 ($\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)		
	轻度盐雾	重度盐雾	除冰盐
C30	≤ 10.0	≤ 8.0	≤ 8.0
C35~C45	≤ 8.0	≤ 6.0	≤ 6.0
$\geq \text{C50}$	≤ 6.0	≤ 4.0	≤ 4.0

表 7.6-3 冻融环境下抗冻性能要求

混凝土强度等级	环境条件	抗冻耐久性指数 DF (%)
$\geq \text{C30}$	微冻条件	70
	寒冷条件	80
	严寒条件	85

条文说明

桥梁高性能清水混凝土主要用于墩柱、梁等结构，其服役环境为：大气碳化环境、盐雾和除冰盐环境、冻融环境，一般接触不到土壤和水中的硫酸盐。因此，桥梁高性能清水混凝土设计时，以抗碳化性能、抗氯离子渗透性能、抗冻性能作为其耐久性的评价指标，耐久性能指标要求是根据桥梁相应服役环境和工程实践而提出的。

8 配合比设计

8.1 基本要求

8.1.1 混凝土配合比应采用密实骨架堆积法进行集料组成设计、试配，确定减水剂的最佳掺量、最小用水量和胶凝材料用量，并进行混合料的计算，通过反复试配和调整确定基准配合比。

8.1.2 桥梁高性能清水混凝土最低强度等级、最大水胶比和原材料组成应满足结构的设计使用年限、结构所处的环境类别及作用等级的要求。

8.1.3 桥梁高性能清水混凝土胶凝材料用量较低时，配合比设计宜采取下列技术措施，改善混凝土拌合物的粘聚性、包裹性。

- 1 在减水剂中复配甲基纤维素醚或其他增粘组分；
- 2 提高矿物掺合料掺量或水泥用量；
- 3 确定合理砂率，拌合物不能分层、离析泌水。

8.1.4 桥梁高性能清水混凝土胶凝材料用量较高时，配合比设计宜采取下列技术措施，改善混凝土拌合物工作性能。

- 1 优化减水剂掺量，且混凝土含气量不宜超过 2.0%；
- 2 根据混凝土拌合物状态确定合理砂率，保持粘聚性适中；
- 3 适当提高硅灰、优质矿渣粉等矿物掺合料掺量，减少水泥用量。

8.1.5 桥梁高性能清水混凝土的减水剂用量应根据施工条件、环境温度、原材料变化情况实时调整。

8.2 配合比设计参数

8.2.1 常见桥梁高性能清水混凝土腐蚀环境类别应符合表 8.2.1 的规定。

表 8.2.1 环境类别

环境类别	名称	腐蚀成因
I	碳化环境	保护层混凝土碳化引起钢筋锈蚀
II	冻融环境	反复冻融导致混凝土损伤
III	氯化物环境	氯盐引起钢筋锈蚀
IV	多因素复合作用环境	氯盐、硫酸盐、碳化、冻融等的复合作用引起混凝土破坏

8.2.2 环境对桥梁高性能清水混凝土的作用分为 A、B、C、D、E 五个等级，并应符合表 8.2.2 的规定。

表 8.2.2 环境作用等级

环境类别 \ 环境作用等级	A 轻微	B 轻度	C 中度	D 严重	E 非常严重
碳化环境	I-A	I-B	I-C	—	—
冻融环境	—	—	II-C	II-D	II-E
氯化物环境	—	—	III-C	III-D	III-E
多因素复合作用环境	—	—	IV-C	IV-D	IV-E

8.2.3 满足耐久性要求的混凝土最低强度等级应符合表 8.2.3 的规定，预应力混凝土构件的混凝土在任何环境下的最低强度等级不应低于 C40。

表 8.2.3 满足耐久性要求的混凝土最低强度等级

环境类别与作用等级	设计使用年限 100 年
I-A	C30
I-B	C35
I-C	C40
II-C	C35
II-D	C40
II-E	C45
III-C	C40
III-D	C45

环境类别与作用等级	设计使用年限 100 年
III-E	C50
IV-C (I-A+II-C+III-C)	C40
IV-D (I-B+II-D+III-D)	C50
IV-E (I-C+II-E+III-E)	C60

8.2.4 配筋混凝土结构构件，其普通钢筋的保护层最小厚度与相应的混凝土强度等级、最大水胶比应符合表 8.2.4 的规定

表 8.2.4 混凝土设计参数与钢筋的保护层最小厚度 C

设计使用年限 环境作用等级		100 年		
		强度等级	最大水胶比	C (mm)
墩 柱 梁	I	C30	0.55	25
		≥C35	0.50	20
	II	C35	0.50	40
		≥C40	0.45	35
	III	C40	0.45	50
		C45	0.40	45
		≥C50	0.36	40
	IV	C45	0.40	60
		C50	0.36	55
		≥C55	0.32	50

8.2.5 当采用的混凝土强度等级比本规程表 8.2.4 的规定低一个等级时，混凝土保护层厚度应增加 5mm；当低两个等级时，混凝土保护层厚度应增加 10mm。

8.2.6 不同强度等级的桥梁高性能清水混凝土配合比设计参数（水胶比、胶凝材料用量、矿物掺合料掺量、砂率等）可按表 8.2.6 的规定进行选择。

表 8.2.6 配合比设计参数表

强度等级	水胶比	胶凝材料用量 (kg/mm³)	矿物掺合料掺量 (%)	砂率 (%)	外加剂掺量 (%)
C30	0.36~0.42	360~420	≤40	35~45	试验 最佳掺量
C40	0.34~0.40	400~460			
C50	0.30~0.34	420~500			
C60	0.28~0.32	450~550			

条文说明

(1) 水胶比中的水应包括集料中所含的水；(2) 泵送混凝土的砂率取值宜取上限，非泵送混凝土的砂率取值宜取下限；(3) 外加剂掺量宜根据外加剂品种，结合材料试验确定的最佳掺量进行选择。

8.3 配合比设计原理

8.3.1 密实骨架堆积法设计原理是通过需求混凝土中粗细骨料的最大容重来寻找最小空隙率，采用曲线拟合法得出骨料间的最佳比例，使得制备出的混凝土具有合格的力学性能、高超的工作性能、优良的耐久性能和经济性。

8.3.2 粉煤灰等矿物掺合料的密度与细度较砂小，从材料堆积理论上讲，密度小的材料填充密度大的材料，其填充率曲线会表现为具有峰值的抛物线形式。按四分法取料，进行最大容重测试，将试验数据通过曲线拟合得出密实堆积系数 α 、 β ，从而获得最大堆积密度 U_w 。

8.3.3 密实骨架堆积法首先将不同比例的粉煤灰（将粉煤灰作为矿物掺合料的代表，其他矿物掺合料计算方法与此相同）与砂进行充填单位重试验，获得最大单位重。再以粉煤灰与砂为细骨料，与石子进行充填单位重试验，获得三者最大单位重。由此可以计算出最小空隙率 V_v ，所需要的润滑浆量

$V_p = V_v + s \times t = n \times V_v$ ，依据强度和耐久性需要设定水胶比。密实骨架堆积法以大量满足安定性要求的骨料为骨架，采用致密配比技术，使粗细骨料的堆积密度达到最大，从而使混凝土的孔隙率最小，结构达到最密实的程度，在保证混凝土强度的同时能最大程度的降低水泥用量，减小收缩，提高混凝土体积稳定性。

8.4 配合比计算

8.4.1 桥梁高性能清水混凝土配合比设计时的试配强度应按式（8.4.1）确定：

$$f_{cu,0} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma \tag{8.4.1}$$

式中： $f_{cu,0}$ —混凝土试配强度，MPa；

$f_{cu,k}$ —混凝土强度标准值，MPa；

σ —混凝土强度标准差，MPa；当无统计数据时，可按表 8.4.1 取值。

表 8.4.1 混凝土强度标准差 σ 值

混凝土强度标准值	C30~C45	C50~C60
σ (MPa)	5.0	6.0

8.4.2 配合比用量计算时，粗细集料应以饱和面干状态为基准。

8.4.3 试拌配合比的计算步骤：

1 确定粉煤灰填充砂的比例，以粉煤灰（代表矿物掺合料）填塞砂，其最大比例堆积因子 α 应按式（8.4.3-1）计算：

$$\alpha = w_f / (w_f + w_s) \tag{8.4.3-1}$$

式中： w_f —粉煤灰的单位重量；

w_s —砂的单位重量。

2 以 α 比例的粉煤灰与砂填塞石子，其最大比例堆积因子 β 应按式 (8.4.2-2) 计算：

$$\beta = (w_f + w_s) / (w_f + w_s + w_a) \quad (8.4.3-2)$$

式中： w_a —石子的单位重量。

3 最大单位重 U_w 应按式 (8.4.3-3) 计算：

$$U_w = w_f + w_s + w_a \quad (8.4.3-3)$$

4 最大单位重中的石子重 G 应按式 (8.4.2-4) 计算：

$$G = U_w(1 - \beta) \quad (8.4.3-4)$$

5 最大单位重中的砂重 S 应按式 (8.4.2-5) 计算：

$$S = U_w\beta(1 - \alpha) \quad (8.4.3-5)$$

6 最大单位重中的粉煤灰重 F 应按式 (8.4.3-6) 计算：

$$F = U_w\beta\alpha \quad (8.4.3-6)$$

7 最小空隙率 V_v 应按式 (8.4.3-7) 计算：

$$V_v = 1 - (F / \gamma_f + S / \gamma_s + G / \gamma_a) \quad (8.4.3-7)$$

式中： γ_f —粉煤灰的密度， kg/m^3 ；

γ_s —砂的密度， kg/m^3 ；

γ_a —石子的密度， kg/m^3 。

8 混凝土中所需填塞和润滑的水泥浆量 V_p 应按式 (8.4.3-8) 计算：

$$V_p = V_v + s \times t = n \times V_v \quad (8.4.3-8)$$

式中： s —骨料表面积， m^2 ；

t —包裹于骨料表面的浆体厚度， m ；

n —水泥浆量的放大倍数。

9 骨料的用量 V_G 应按式 (8.4.3-9) 计算：

$$V_G = 1 - V_p \quad (8.4.3-9)$$

10 n 值应经过多次试验满足工作性能、力学性能，保证耐久性和经济性后确定。

11 骨料用量调整应按式 (8.4.3-10) ~ (8.4.3-12) 计算：

$$W_s = \frac{V_G}{1/\gamma_s + (1-\beta)/[\gamma_a\beta(1-\alpha)] + \alpha/[\gamma_f(1-\alpha)]} \tag{8.4.3-10}$$

$$W_a = (1-\beta)W_s/[\beta(1-\alpha)] \tag{8.4.3-11}$$

$$W_f = \alpha W_s/(1-\alpha) \tag{8.4.3-12}$$

式中： W_s —调整后砂的单位用量；

W_a —调整后石子的单位用量；

W_f —调整后粉煤灰的单位用量。

12 应依据强度和耐久性设定水胶比 λ ，其取值宜符合表 8.4.3 的规定。

表 8.4.3 配合比设计参数表

强度等级	水胶比 λ	外加剂掺量(%)
C30	0.36~0.42	试验确定 最佳掺量
C40	0.34~0.40	
C50	0.30~0.34	
C60	0.28~0.32	

13 水泥用量 W_c 应按式（8.4.3-13）～（8.4.3-15）计算：

$$V_p = V_w + V_c + V_f = W_w/\gamma_w + W_c/\gamma_c + W_f/\gamma_f \tag{8.4.3-13}$$

$$\lambda(W_c + W_f) = W_w \tag{8.4.3-14}$$

$$W_c = \frac{V_p - (\lambda/\gamma_w + 1/\gamma_f)W_f}{\lambda/\gamma_w + 1/\gamma_c} \tag{8.4.3-15}$$

式中： W_w —水的单位用量；

W_c —水泥的单位用量；

γ_w —水的密度，kg/m³；

γ_c —水泥的密度，kg/m³。

14 水用量 W_w 应按式（8.4.3-16）计算：

$$W_w = \lambda W_c + \lambda W_f \quad (8.4.3-16)$$

8.5 试配与调整

8.5.1 配合比的试拌应采用工程实际使用的原材料，每盘混凝土试拌量不应小于 20L。

8.5.2 以 8.4.3 条计算的配合比为基准，根据设计要求的混凝土强度等级和表 7.1.1 拌合物技术指标的要求，对混凝土拌合物的组成材料进行试拌，初步确定合理的砂率、减水剂和矿物掺合料的掺量。

8.5.3 当试配的混凝土工作性能、力学性能、体积稳定性能与耐久性能满足设计要求后，模拟待浇桥梁构件的外形特点，进行样板试验，根据样板外观质量，进行配合比调整，确定基准混凝土配合比。

8.5.4 经试配调整确定基准配合比后，应对每 m³ 混凝土原材料用量进行校正。首先应按公式(8.5.4-1)计算校正系数 δ ，然后将配合比中每项原材料用量均乘以 δ ，作为基准配合比最终材料用量。

$$\delta = \frac{\rho_{c,t}}{\rho_{c,c}} \quad (8.5.4-1)$$

式中： $\rho_{c,t}$ —混凝土表观密度实测值；

$\rho_{c,c}$ —混凝土表观密度计算值，应按式(8.5.4-2)进行计算：

$$\rho_{c,c} = m_c + m_f + m_s + m_a + m_w \quad (8.5.4-2)$$

m_c —试配调整后水泥的用量；

m_f —试配调整后矿物掺合料的用量；

m_s —试配调整后砂的用量；

m_a —试配调整后石子的用量；

m_w —试配调整后水的用量。

8.5.5 桥梁高性能清水混凝土的配合比应在搅拌站进行试拌，通过试拌验证实际的砂、石、水泥、减水剂等原材料性能是否满足基准混凝土配合比要求；验证基准混凝土配合比的工作性能是否满足施工环境温度和浇筑工艺要求。当基准混凝土配合比与实际原材料、施工环境温度和浇筑工艺不相适应时，应进行配合比调整或重新进行配合比设计。

9 模板工程

9.1 模板材料

9.1.1 同一工程的模板应采用相同的面板材料。

条文说明

采用不同的面板材料，浇筑的桥梁高性能清水混凝土表面质感不同，其中钢模板、木模板、玻璃钢模板和透水模板布的特点：

(1) 钢模板：易满足设计造型和拼缝要求，配模材料节约，模板刚度大，但加工难度大，材料单价高。

(2) 木模板：成本相对较低，但不易满足设计造型和拼缝要求，配模难度大，配模材料浪费高，模板刚度较小。

(3) 玻璃钢模板：可以满足设计造型和拼缝要求，配模材料节约，但配模难度大，加工费高，材料单价高。

(4) 透水模板布：混凝土的外观质量相对较好，但工程成本高。

9.1.2 模板面板可采用钢板、竹胶合板、塑料板、玻璃钢板等材料，应满足强度、刚度和周转使用要求，且加工性能好，模板材料抵抗变形的能力强。

条文说明

模板面板在水、外力等作用下，应具有较高的抵抗变形的能力。

(1) 遇水膨胀性的影响。施工时模板与混凝土浆体直接接触，板材容易吸水而产生湿胀。木模板的材料一般多为松木和杉木，由于其膨胀程度不一样，会造成拆模后表面有木纹，影响普通清水混凝土表面的质感。

(2) 含水率的影响。竹胶合板由于制造工艺本身的原因在使用过程中容易出现白斑和水迹。混凝土施工时，长时间水浸会使表面产生分层，造成普通清水混凝土的表面色差。

(3) 表面平整度及板材厚度偏差的影响。模板表面不平整，会严重影响普通清水混凝土的表面平整度和构件的尺寸精度。

(4) 表面耐磨性的影响。竹胶合板由于受到摩擦、挤压、冲击、剥蚀及综合作用产生磨损，导致模板的表面平整度达不到要求。

(5) 模板透水性能的影响。由于模板表面吸附作用，混凝土拌合物中的自由水和空气集附在模板表面，拆模以后在构件表面形成孔洞、蜂窝等通病。

(6) 模板刚度的影响。在混凝土施工中，模板的侧面要承受较大的侧向压力，如果没有足够的刚度，会使得模板变形过大。

9.1.3 面板应具有均匀的透气性能、耐水性能和良好的阻燃性能。

9.2 模板表面处理

9.2.1 钢模板使用前，宜选用电动砂轮机除锈，阴角部位宜采用电动铁刷除锈，除锈后再涂刷脱模剂（漆）。

9.2.2 模板周转过程中，应对模板进行清理，对表面脱模剂（漆）破损部位及时补涂。

9.2.3 预制构件的模板宜使用3次后进行全面的修磨、清理，并重新涂刷脱模剂（漆）。现浇构件的模板宜每次使用后进行全面的修磨、清理、涂刷脱模剂（漆）。

条文说明

现浇构件施工环境恶劣、模板堆放场地复杂，模板表面易破损，每次使用后都应进行全面的修磨、清理、涂刷脱模剂（漆）。

9.3 脱模剂（漆）

9.3.1 脱模剂（漆）性能

- 1 具有良好的隔离性能，能使模板与构件顺利脱开；
- 2 施工方便，无毒、无臭，对人体无害；
- 3 具有一定的存储稳定性，不沉淀、不变质；
- 4 涂刷后成膜性能好、干燥快、不易脱落或被雨水冲刷破损；
- 5 脱模剂（漆）不应腐蚀钢模板；
- 6 涂刷工艺简单，清除方便。

条文说明

选用优质高效的脱模剂（漆），除具有良好的脱模效果外，还必须具有良好的耐碱性、耐摩擦性与良好的附着力，保证脱模后混凝土表面光洁度好，不会对混凝土表面形成污染。

9.3.2 脱模剂（漆）涂刷

- 1 模板应清理干净、不留残浆，应按先涂刷脱模剂（漆），再吊装、安装模板就位的程序进行；
- 2 脱模剂（漆）的涂刷应均匀，不漏刷、不积存、不流淌，防止圆弧状模具处脱模剂（漆）的堆积；
- 3 脱模剂（漆）涂膜厚度应满足供货产品的技术要求；
- 4 钢筋骨架的入模应在脱模剂（漆）涂刷干燥后进行，避免脱模剂（漆）沾污钢筋；
- 5 油性脱模剂（漆）涂刷不宜太厚，少沾多刷以免流坠；
- 6 采用水性脱模剂（漆）时，应与油性脱模剂（漆）交替使用。

条文说明

脱模剂（漆）涂膜厚度过薄效果差，过厚则不经济，涂抹方式、涂抹量、干燥时间应根据脱模剂（漆）的技术指标要求确定，产品供应商须提供现场技术服务；涂抹完毕宜用塑料薄膜覆盖，防止污染，在脱模剂（漆）实干前不得淋雨，淋雨将起气泡眼。采用水性脱模剂（漆），与油性脱模剂（漆）交替使用，可以避免长时间使用水性脱膜剂而造成钢模板锈蚀，影响清水混凝土的表现质量。

9.3.3 不得采用废机油等非专用材料作为脱模剂。

条文说明

废机油等非专用材料无法满足脱模剂性能要求，而且容易污染构件表面。

9.4 模板设计

9.4.1 应根据结构形式、质量目标及荷载大小等因素进行模板的专项设计。

9.4.2 模板体系的选择应根据桥梁工程特点、外观质量要求、施工方法和模板周转频率等要求确定，宜选择满足工程要求，构造简单、支拆方便、支撑牢固、经济性好的模板体系。

9.4.3 对于成批预制的桥梁构件，应采用定型组合钢模板，其面板厚宜为4~6mm、模板背楞间距宜为20~30cm。

条文说明

通过对定型组合钢面板和背楞复合面板两种模板的技术经济比较，采用定型组合钢面板作为成批预制的桥梁构件混凝土施工模板，周转次数多，刚度好，浇筑后混凝土表面光滑、外观好。

9.4.4 模板体系确定后，根据混凝土压力、振捣冲击力和施工荷载等作用，对模板厚度、背楞截面和间距、拉杆型号和间距、支撑体系进行计算，计算内容应包括强度、刚度和稳定性。拉杆螺栓孔的布置应对称、均匀。

条文说明

模板自身刚度或支撑刚度不满足要求时，混凝土梁、板结构会在自重和施工荷载的作用下，支撑面下沉，模板挠度及变形过大，影响桥梁高性能清水混凝土的平整度。

9.4.5 钢模板的倒角处宜设计为楔口接缝，并应粘贴止水橡胶条。

9.4.6 模板安装的拼缝应用玻璃胶或密封条涂贴，拼缝应光滑平整过渡。

条文说明

如果模板拼缝不平整，会造成混凝土表面平整度不合格；拼缝不严密，会造成混凝土漏浆，拆模后混凝土将出现蜂窝、麻面、露筋等严重质量问题。

9.4.7 桥梁工程的模板定位应采用塑料垫块或设计文件规定的措施，控制钢筋保护层厚度。

条文说明

模板控制方法标高用水准仪、边线用经纬仪、垂直度用激光铅直仪控制。采用水泥垫块容易在清水混凝土表面留下形似伤疤的外观缺陷。设计文件规定的钢筋保护层控制措施如：墩柱钢筋安装，先制作钢筋笼，加劲箍间距不大于 2m，在钢筋笼侧面焊接定位筋，准确安装钢筋笼并校核垂直度，再安装模板并再次校核垂直度后，才能浇筑混凝土。浇筑混凝土时，每隔一定高度用吊线坠法观察控带筋与模板相对位置，确保保护层厚度准确。

9.4.8 模板宜用整体式大模板体系。

条文说明

大模板体系可以减少拼缝，提高表面平整度和表面光洁度，减少混凝土常见质量通病拼缝处理不当带来的表面缺陷。

9.5 模板制造

9.5.1 采用钢模板时，面层应平整、抛光；模板规格尺寸准确，棱角平直光滑；模板焊缝应均匀美观、平整顺直。

9.5.2 模板制作精度应符合表 9.5.2 的规定。

表 9.5.2 模板制作允许偏差表

项次	项目	允许偏差值（mm）	检查方法
1	板面平整	1.0	用 2m 靠尺、塞尺检查
2	模板长、宽、高	1.0	用卷尺检查
3	模板拼缝 间隙、高低差	0.5	用直尺、塞尺检查
4	对角线长	2.0	对角拉线用卷尺检查
5	模板边平直	2.0	拉线用直尺检查
6	模板翘曲	L/2000	拉线用钢尺量最大弯曲处
7	孔眼位置	1.0	用钢尺检查

8	圆角成型尺寸	/	各种定型模具套量
9	圆角平整度	/	表面光滑无明显凹凸感

9.5.3 模板制作时，应在胎架上进行模板节段的试拼装和匹配，待模板节段加工制造完成并分类编号后，拆除拼装接头，运至工地安装。

9.5.4 运输中，装载车上应搭设模板的固定支架，支架周边应填塞柔性材料；模板装卸时应有防止变形、损坏、倾覆的保护措施；装车时底层模板应背楞朝下，模板应面对面或背对背叠放，叠放不能超过六层，面板间垫棉毡保护。

9.5.5 模板的楔口应顺直、密贴，模板面板的拼缝应平整。

9.6 模板安装

9.6.1 模板安装

- 1 模板安装前应调整影响模板安装的钢筋，清除模板内杂物和模板板面。
- 2 钢筋保护层垫块应采用与混凝土颜色一致，且性能稳定的材料。
- 3 钢筋绑扎的扎丝宜采用防锈镀锌钢丝，丝头向内，严禁接触模板表面。
- 4 模板安装应遵循先内侧、后外侧的原则。安装上层模板时，下层具有承受上层模板荷载的能力。模板安装就位后，应对缝隙及连接部位采取堵缝措施。
- 5 上层模板安装前，应对下层模板结合部位进行打磨处理，避免色差。
- 6 设置在模板表面的预留槽、预埋件、预留孔等应在模板加工制造时完成，且应安装牢固，其偏差应符合表 9.6.1 的规定。

表 9.6.1 预留槽、预埋件、预留孔的允许偏差

序号	项 目		允许偏差（mm）	检验方法
1	预埋钢板		1.5	钢 尺 检 测
2	预埋管，预留孔中心位置线		1.5	
3	预留图案，装饰片		1.0	
4	预留分格线，装饰线		1.0	
5	预埋螺栓	中心线位置	2.0	
		外漏长度	+10.0	

9.6.2 模板安装后应配置支架和操作平台，并全面检查模板接缝、平整度等指标和总体尺寸，模板安装允许偏差应符合表 9.6.2 的规定。

表 9.6.2 模板安装允许偏差

项目	允许偏差（mm）	检验方法
表面平整度	2	上口拉直线尺测量、下口以模板定位线为基准检查
相邻模板高低差	2	2m 靠尺、塞尺测量

项目	允许偏差（mm）		检验方法
标高垂直度	≤5m	3	2m 托线板测量
	>5m	5	
阴阳角	2		方尺、楔形尺测量
预留孔洞	中心线位移	2	拉线、尺量
	内孔洞尺寸	+3、-0	
预埋件 预埋管、螺栓	中心线位移	2	拉线、尺量

9.7 模板的拆除

9.7.1 结构混凝土除强度满足相关规定外，其拆模龄期宜大于 48h。

9.7.2 制定拆模工序时，不应得损伤混凝土的外观质量。

9.7.3 拆除的模板系统，应维修整理、刷脱模剂、堆码整齐。

条文说明

拆除的模板应全面检查，如有弯曲变形或开裂，应严格按质量要求修复或更换。控制模板的周转次数，定期检查、维修和保养，对于损伤严重的模板应停止使用。

9.7.4 竹胶模板贮存时应防潮、防晒。

10 混凝土施工

10.1 施工准备

10.1.1 施工前，应制定混凝土拌制、运输、浇筑、振捣、养护各环节的质量控制措施。

10.1.2 砂、石集料宜专仓存放，混凝土宜专线生产、专车运输。

10.2 拌制

10.2.1 桥梁高性能清水混凝土的拌制宜采用双卧轴强制式搅拌机，搅拌时间宜比普通混凝土延长 20~30s。

条文说明

桥梁高性能清水混凝土掺有矿物掺合料，水胶比低，延长搅拌时间，以保证混凝土拌合均匀，避免混凝土不匀质带来色差。

10.2.2 配料时，应提前将粗细集料翻拌均匀，宜在距离地面 0.5m 高度处铲料；应实时测定粗、细集料含水率，动态调整混凝土施工配合比。

10.2.3 拌制混凝土前，应将减水剂搅拌均匀。

条文说明

由于清水混凝土减水剂中的消泡组分、保塑组分与其他组分密度不一致，久存之后易导致分层，温度变化也会导致部分组分析出，造成减水剂的不均匀，进而影响混凝土工作性能、力学性能和饰面效果。

10.2.4 混凝土应无泌水、分层、离析等现象，在出机时和入模时均需进行坍落度测试，二者差值宜小于 30mm。

条文说明

掺加矿物掺合料的桥梁高性能清水混凝土，如果坍落度过大，易导致浇筑振捣时矿物掺合料密度与水泥不同而上浮，造成色差。

10.2.5 冬季施工时，应保证混凝土拌合物入模温度不低于 5℃。

条文说明

冬季施工时，可采取在集料堆场搭设遮雨棚、加热拌合用水和白天搅拌混凝土等措施。

10.2.6 夏季施工时，应保证混凝土入模温度不高于 30℃。

条文说明

夏季施工时，可采取在集料堆场搭设遮阳棚、采用低温水搅拌混凝土或在晚间搅拌混凝土等措施。

10.3 运输与泵送

10.3.1 拌制产量、运输能力与浇筑进度应协调匹配，不得采用机动翻斗车、手推车等工具长距离运送混凝土。

10.3.2 运输设备应保温、隔热。

条文说明

由于桥梁高性能清水混凝土含气量较低，拌合物工作性能受温度影响敏感，因此，运输设备冬天应采取保温措施，热天应采取隔热措施，防止坍落度经时损失过大。

10.3.3 搅拌罐车运输混凝土到达浇筑现场时，应高速搅拌 20~30s，再将混凝土拌合物卸出。

10.3.4 当混凝土拌合物坍落度损失超过规定值时，宜掺加与混凝土拌制时相同的减水剂，其掺量应通过试验确定，待高速搅拌 90s 后，将混凝土拌合物卸出，严禁向拌合物中加水。

10.3.5 混凝土的泵送应保持连续性，严禁停泵时间超过 15min。

条文说明

当供料不及时可采取降低泵送速度的措施，使其连续；当停泵时间超过 15min 时，应每隔 4~5min 开泵一次，使泵机进行正转和反转两个冲程，同时开动料斗搅拌器，防止料斗中混凝土离析。

10.4 浇筑与振捣

10.4.1 做好浇筑施工计划，控制混凝土的质量，保证混凝土性能的同质性；浇筑过程必须有专人指挥、合理调度、振捣有序、监控检查模板。

10.4.2 墩柱浇筑节段顶部时，混凝土应超出该节段顶部 8~10cm；待浇筑下一节段混凝土时，将超浇筑混凝土部分凿除。

10.4.3 混凝土浇筑时的自由倾落高度宜小于 2m，否则应采用接软管、滑槽、串筒、漏斗等措施，保证混凝土不分层、不离析、无色差。

10.4.4 浇筑墩柱、塔实心段大体积桥梁高性能清水混凝土时，应采取必要温控措施，防止温度裂缝的产生。

10.4.5 分层连续推移的方式浇筑混凝土时，分层厚度不宜大于 50cm；振捣时，振动棒应插入下层混凝土深度 5~10cm，振捣应距离模板 5~10cm。

10.4.6 采用振动棒振捣混凝土时，宜采用垂直点振方式，振点由内向外均匀分布，间距不应大于振动棒振动半径的一倍。

10.4.7 振捣新旧混凝土交界面时，应使振动棒与旧混凝土面的距离保持在 50 ± 10 mm。

条文说明

振捣新旧混凝土交界面处时，振动棒不得触碰旧混凝土面，亦不能远离旧混凝土，使振动棒与旧混凝土面的距离保持在 50mm 左右，以使混凝土的石子在振捣时均匀地进入座底砂浆内，并使交界处混凝土得到充分振捣，保证新旧混凝土接缝严密。

10.4.8 振捣应选用振动棒为主，附壁式振捣器为辅。振捣时应避免碰撞模板、预埋件等。振动棒应为低频率、低振幅档位，操作时应快插慢拔，将振动棒上下略做抽动。振捣中应防止漏浆。

10.4.9 应按事先规定的工艺路线和方式将入模的混凝土振捣密实，每点的振捣时间不宜超过 30s，以混凝土表面呈水平并出现均匀的水泥浆、不再有显著下沉和大量气泡上冒时为止，在振捣过程中，插入式振捣器的振动，呈截锥形分布。严禁漏振、过振、欠振。

10.5 养护

10.5.1 在梁、墩柱混凝土脱模前，应对梁、墩柱的顶面采用高压水枪冲洗等措施进行清洁处理。

条文说明

对梁、墩柱的顶面进行冲水清洁处理，保证梁、墩柱表面无浮浆、灰尘、渣土和铁锈等污染物，是为了避免脱模后在洒水养护过程中形成的泥浆对梁侧面和墩身产生污染。

10.5.2 清水混凝土拆模后，应及时喷雾洒水或覆盖塑料薄膜充水保湿养护。洒水养护应从下往上的顺序，避免顶面脏物、析出的碱和减水剂污染下部结构。

条文说明

由于梁、墩柱混凝土顶面水分蒸发较快，会析出一定量的碱和减水剂，从下部往上洒水润湿，可以使下部的混凝土表面空隙填满水分，脏物和碱、外加剂不易吸入表面空隙，造成色差。塑料薄膜等养护材料应保持清洁，不得污染清水混凝土表面。

10.5.3 采用非饮用水或地下水养护时，宜做水质化验，养护用水不得污染混凝土表面。

10.5.4 冬季养护不得少于 14d，夏季养护不得少于 7d，养护到规定龄期后离地 2m 以内仍应用塑料布包裹保护。上部外露钢筋应逐根用塑料薄膜包裹。

条文说明

拆模后养护不及时或不到位都会造成混凝土强度不达标，造成表面裂缝、起皮等缺陷。养护 14d 后可将塑料薄膜揭掉，若包裹时间太长，由于包扎不均匀或雨天局部浸水长期包裹形成养护色差。离地 2m 以内仍应用塑料布包裹保护，以防雨水泥浆飞溅到至墩柱上。对于上部外露钢筋应逐根用塑料薄膜包裹，以防止钢筋在雨天产生锈水流至墩柱表面形成色斑。

11 表面处理

11.1 桥梁高性能清水混凝土工程外观质量缺陷如表 11.1 所示。

表 11.1 外观质量缺陷表

序号	缺陷类别	严重缺陷	一般缺陷
1	露筋、蜂窝、空洞、夹渣、疏松、连接处缺陷	出现均为严重缺陷	
2	色泽，光洁度	有明显色差，不均匀，光洁度差	局部个别部位有色差，流淌，冲刷痕迹
3	缺棱掉角，棱角不直，飞边凸肋	普遍存在缺棱掉角，棱角不直，飞边凸肋缺陷	出现 3 处以下缺棱掉角，棱角不直，飞边凸肋缺陷
4	构件表面麻面，掉皮起砂，沾污，气泡	存在大面积表面麻面，掉皮起砂，沾污，气泡的缺陷	局部有麻面，掉皮起砂，沾污，气泡的现象
5	模板拼接处错台，翘曲不平等	模板拼接处错台严重，翘曲不平	轻微存在模板拼接处错台，翘曲不平
6	表面裂缝	局部有宽度大于 0.15mm，长度大于 500mm 的裂缝	少量，无宽度大于 0.15mm，长度大于 500mm 的裂缝
7	修补痕迹	有单块面积大于 20cm ² 修补缺陷，一个构件的累积修补面积大于 50cm ²	无单块面积大于 20cm ² 修补缺陷，一个构件的累积修补面积小于 50cm ²

条文说明

对已出现的表面缺陷，应由施工单位提出技术处理方案，并经监理（建设）单位认可后处理，对经处理的部位，应重新检查验收。对已出现的一般缺陷，应由施工单位按技术方案进行处理，并应重新检查验收；或经业主单位和设计部门认定不影响其外观质量的可不予以处理。

11.2 桥梁高性能清水混凝土表面修补应满足下列要求。

11.2.1 应针对不同部位及不同的缺陷采取有针对性的修补方法。

11.2.2 修补表面色泽应与桥梁高性能清水混凝土基本一致。

11.2.3 修补时应注意成品保护，修补后应及时洒水养护。

11.3 桥梁高性能清水混凝土表面修补方法应满足下列要求。

11.3.1 修补应采用与被修补构件同品种水泥、矿物掺合料和聚合物调制的水泥浆进行修补，并应在样板上先做试验，确定颜色对比度、修补方法，以及材料配比。

11.3.2 对盖梁混凝土的侧面、底面和墩柱混凝土的污染部位采用砂纸打磨处理，表面打磨处理顺序为：先处理盖梁，再处理墩柱，且在处理盖梁过程中，先对墩柱采用塑料薄膜包裹密封，避免粉尘污染墩柱，引起色差。各部位的打磨次数均匀，除掉混凝土表面的凹凸不平带来的色差影响。

条文说明

对盖梁混凝土的侧面、底面和墩柱混凝土的污染部位采用砂纸打磨处理，主要是为了除掉表面的粉煤灰、析出的碱、外加剂以及泥浆，使混凝土颜色与墩柱相近。

11.3.3 对梁的盖板侧面、底面进行打磨完成后，采用风机吹净浮尘，再用干净的湿抹布擦净表面，且抹布不能掉色，保证梁板和墩身颜色一致。

- 11.3.4 对于有孔洞和缺陷的部位，调整水泥和矿物掺合料、聚合物的比例，使其修补部位的颜色与墩柱的颜色一致，硬化后进行打磨处理。
- 11.3.5 上述工序完成后，应对构件涂刷透明保护膜材料。
- 11.3.6 上述要求通过首件制的试验和调整，编制成操作手册，再全面实施。
- 11.4 桥梁高性能清水混凝土表面修补后，应整理资料报请有关部门验收。

12 成品保护

12.1 模板

- 12.1.1 模板应有专用场地堆放，存放区应有排水、防水、防潮、防火等措施。
- 12.1.2 模板上不得堆放重物。模板面板不得被污染或损坏，模板边角和面板应有保护措施，运输过程中应采用护角保护。

12.2 钢筋

- 12.2.1 钢筋半成品应分类摆放，存放环境应干燥、清洁。

12.3 混凝土

- 12.3.1 模板拆除后对螺栓孔眼应进行留置保护；严禁随意剔凿成品清水混凝土表面，必要时，应制定专项施工措施。
- 12.3.2 对表面清洗和除污，可以先用清洗剂进行，然后用高压水枪冲洗，对泛碱部位的处理可以用砂纸打磨，不能用砂纸除掉的可用高压水枪清洗。
- 12.3.3 当环境温度低于 5℃，或下雨、大风等恶劣条件时不得施工，并应采用保护膜保护覆盖清水混凝土表面。
- 12.3.4 桥梁高性能清水混凝土的后续施工不得损伤或污染已完成的成品，制定成品清水混凝土专用保护措施。当施工临时支架与成品清水混凝土表面接触时，应采用专用垫衬保护。
- 12.3.5 当上层混凝土浇筑施工时，用塑料薄膜在模板下侧系紧，将下层混凝土保护好。一旦发现漏浆时要及时用清水冲洗干净。

13 验收

13.1 模板

- 13.1.1 模板制作尺寸的允许偏差与检验方法应符合表 13.1.1 的规定。

表 13.1.1 模板制作尺寸允许偏差与检验方法

项次	项目	允许偏差（mm）	检验方法
1	模板高度	±2	尺量
2	模板宽度	±1	尺量

3	整块模板对角线	≤ 3	塞尺、尺量
4	单块板面对角线	≤ 3	塞尺、尺量
5	板面平整度	3	2m 靠尺、塞尺
6	边肋平直度	2	2m 靠尺、塞尺
7	相邻面板拼缝高低差	≤ 1.0	平尺、塞尺
8	相邻面板拼缝间隙	≤ 0.8	塞尺、尺量
9	连接孔中心距	± 1	游标卡尺
10	边框连接孔与板面距离	± 0.5	游标卡尺

13.1.2 模板板面应干净，脱模剂（漆）应涂刷均匀。模板间的拼缝应平整、严密，模板支撑应设置正确、连接牢固。

13.1.3 模板安装尺寸允许偏差与检验方法应符合表 13.1.3 的规定。

表 13.1.3 模板安装尺寸允许偏差与检验方法

项次	项目		允许偏差 (mm)	检验方法
1	轴线位移	墩、梁	4	尺量
2	截面尺寸	墩、梁	± 4	尺量
3	标高		± 5	水准仪、尺量
4	相邻板面高低差		3	尺量
5	模板垂直度	$\leq 5\text{m}$	4	经纬仪 线坠、尺量
		$> 5\text{m}$	6	
6	表面平整度		3	塞尺、尺量
7	阴阳角	方正	3	方尺、塞尺
		顺直	3	线尺
8	预留洞口	中心线位移	8	拉线、尺量
		孔洞尺寸	$+8$	
9	预埋件、管、螺栓	中心线位移	3	拉线、尺量

13.2 钢筋

13.2.1 钢筋表面应清洁无浮锈；钢筋保护层垫块颜色应与混凝土表面颜色接近，位置、间距应准确；钢筋绑扎钢丝扎扣和尾端应弯向构件截面内侧。

13.3 混凝土拌合物质量检验

13.3.1 拌合系统各种计量仪器在投入使用前，必须经有资质的计量部门检验合格后才能使用，且混凝土生产单位每月应自检一次，以确保计量仪器的准确度。

13.3.2 应对混凝土拌合物工作性能进行抽样检验，检验项目包括坍落度、扩展度、坍落度经时损失、凝结时间、抗离析性能、压力泌水率和含气量。其中，坍落度和扩展度应在搅拌站和浇筑现场分别取样检验。

13.3.3 混凝土拌合物工作性能检验频率应为坍落度、扩展度，每车应检验 1 次，含气量、抗离析性能、压力泌水率、凝结时间，应每班检查一次。

13.3.4 拌合物工作性能出现异常时，应及时查找原因进行调整，确保满足施工要求。

13.4 硬化混凝土质量检验

13.4.1 桥梁高性能清水混凝土的外观质量与检测方法应符合表 13.4.1 的规定。

表 13.4.1 外观质量与检验方法

项次	项目		普通清水混凝土	检查方法
1	颜色		无明显色差	距离墙面 5m 观察
2	修补		少量修补痕迹	距离墙面 5m 观察
3	气泡 直径	≥5mm	不允许	尺量
		<5mm	气泡分散	
4	裂缝		无	刻度放大镜
5	光洁度		无明显漏浆、流淌、冲刷和修补痕迹	观察
6	接缝错台		错台高度≤2mm	尺量、刻度放大镜

条文说明

普通清水混凝土物理力学性能（抗压、弹模等）和耐久性应符合国家、行业规范的相关规定。

13.4.2 桥梁高性能清水混凝土结构允许偏差与检查方法应符合表 13.4.2 的规定，检查数量为各检验批的 30%，且不应少于 5 件。

13.4.2 结构允许偏差与检查方法

项次	项目		允许偏差（mm）	检查方法
1	轴线位移		6	尺量
2	截面尺寸		±5	尺量
3	垂直度	层高	8	经纬仪 线坠、尺量
		全高（H）	H/1000，且≤30	
4	表面平整度		4	2m 靠尺、塞尺
5	角线顺直		4	拉线、尺量

6	预留洞口中心线位移		10	尺量
7	标高	层高	±8	水准仪、尺量
		全高	±30	
8	阴阳角	方正	4	尺量
		顺直	4	
