



T/CECS G XXXX: 2025

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction

Standardization

公路桥涵混凝土技术规程

Technical Specifications for Cement Concrete of Highway Bridges and Culverts

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

中国工程建设标准化协会标准

《低交通量水泥混凝土路面设计施工技术规范》（征求意见稿）

公路桥涵混凝土技术规范

Technical Specifications for Cement Concrete of Highway Bridges and Culverts

T/CECS G: XXXX: 2025

主编单位：交通运输部公路科学研究院

发布机构：中国工程建设标准化协会公路分会

人民交通出版社股份有限公司

北 京

前言

根据中国工程建设标准化协会公路分会《关于开展2017年第二批中国工程建设标准化协会标准(CECS G)制修订项目编制工作的通知》(中建标公路[2017]71号)的要求,编制组经深入调查研究,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 9 章,主要内容包括:1 总则、2 术语和符号、3 基本规定、4 使用环境类别与作用等级、5 原材料、6 配合比设计、7 施工及质量控制、8 检测评定和9 特种混凝土。

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公路分会归口管理,由交通运输部公路科学研究院负责具体技术内容的解释。执行过程中,如有意见或建议,请反馈给交通运输部公路科学研究院(地址:北京市海淀区西土城路8号,邮编:100088,邮箱:z.he@rioh.cn; l.quan@rioh.cn)

主 编 单 位: 交通运输部公路科学研究院

参 编 单 位: 广西邕洲高速公路有限公司

哈尔滨工业大学

清华大学

广西大学

西藏自治区交通勘察设计研究院

辽宁省建设科学研究院有限责任公司

北京建工新型建材有限责任公司

广西路建工程集团有限公司

嘉华特种水泥股份有限公司

广西长长路桥建设有限公司

内蒙古大学

四川华构住宅工业有限公司
北京市政路桥集团有限公司
广西交科工程建设有限公司
河北省赤城县交通运输局

主 编：田 波

主要参编人员：杨文翠 李立辉 何 哲 傅宇方 苏爱斌 权 磊 魏 亚
梁军林 次德吉 落桑慈成 张 爱 袁野真 王子龙
秦志 李刚 李思李 陈喜旺 林 燕 刘 强 周晓明
梅永胜 张永泉 杨荣俊 郭万江

主 审：葛 勇

参加审查人员：张 君、黄世武、陈亮亮、高 源、王 浩、张艳聪

参 加 人 员：

目录

1	总 则	1
2	术语	2
3	基本规定	4
4	环境作用类别与作用等级	5
4.1	一般环境	5
4.2	环境类别和作用等级	5
4.3	混凝土结构设计要求	10
5	原材料	13
5.1	一般规定	13
5.2	水泥	14
5.3	矿物掺合料	14
5.4	细集料	17
5.5	粗集料	20
5.6	化学外加剂	21
5.7	拌合水	23
6	配合比设计	24
6.1	一般规定	24
6.2	混凝土性能要求	24
6.3	配合比设计	26
7	施工及质量控制	30
7.1	一般规定	30
7.2	施工配合比调整	30
7.3	拌合、运输、浇筑和养护	30
7.4	检验评定	33
8	特种混凝土	35
8.1	抗冻混凝土	35
8.2	抗渗混凝土	38

8.3	泵送混凝土	40
8.4	自密实混凝土	41
8.5	顶升法混凝土	45
8.6	水下抗分散混凝土	47
8.7	大体积混凝土	48
8.8	高强混凝土	51

1 总 则

1.0.1 为提高公路工程中桥涵混凝土设计水平，提升桥涵混凝土性能与施工质量，确保桥涵混凝土使用性能及寿命，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于新建、改扩建公路工程中桥涵混凝土的技术要求、原材料、配合比设计、施工及质量控制及验收。

1.0.3 公路桥涵混凝土的设计、生产和应用应遵循因地制宜的原则，根据所处的环境类别及环境作用等级，满足混凝土结构和构件在服役期的力学性能和耐久性要求。

1.0.4 公路工程中桥涵混凝土除应符合本规范规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语

2.1.1 环境作用类别 Environmental action category

环境作用包括温、湿度及其变化以及二氧化碳、氧、盐、酸等环境因素对结构或材料性能的影响；根据主要环境因素进行分类，包括碳化环境、冻融环境、氯盐环境、盐类结晶破坏环境、磨蚀环境、大温差环境和干燥环境。

2.1.2 环境作用等级 Environmental action level

针对环境作用合理设计混凝土材料，对主要环境因素的影响严重程度进行等级划分，包括 1 轻微、2 轻度、3 中度、4 严重、5 非常严重和 6 极端严重 6 个等级。

2.1.3 水泥混凝土年有害冻融循环次数 Annual harmful freeze-thaw cycles for cement concrete

一年内当日最低地表温度小于或等于 -6°C 且最高地表温度大于 0°C 的天数。

2.1.4 胶凝材料 Binder

用于配制混凝土的水泥和具有胶凝活性的矿物掺和料的总称。

2.1.5 水胶比 Water to binder ratio

混凝土拌合物中总用水量与胶凝材料总量的质量比。

2.1.6 自密实混凝土 Self-compacting concrete

具有高流动度、不离析、均匀性和稳定性，浇筑时依靠其自重流动，无需振捣而达到密室的混凝土。

2.1.7 顶升混凝土 Concrete for pumping-up method

适用于顶升法施工的混凝土，新拌混凝土具有高流动性和自密实性，且流动性经时损失小，能够连续施工；硬化混凝土具有低收缩和微膨胀性，能够与钢壁紧密贴合并共同受力。

2.1.8 水下抗分散混凝土 Anti-washout underwater concrete

掺加絮凝剂，具有很强的抗分散性和较好的流动性，能够实现水下自流平、自密实，抑制水下施工时水泥和骨料分散并且不污染施工水域的混凝土。

2.1.9 高强度混凝土 High strength concrete

按常规工艺生产，强度等级不低于 C60 的混凝土，不包括超高性能混凝土（UHPC）。

2.1.10 气泡间距系数 Air bubble spacing

硬化混凝土中相邻气泡边缘之间距离的平均值。

2.1.11 粘度改性剂 Viscosity modifying agent

调节混凝土拌合物粘度的外加剂，包括增粘剂和降粘剂。

征求意见稿

3 基本规定

3.0.1 应根据公路桥涵混凝土结构设计使用年限和所处环境类别与作用等级进行耐久性设计和施工。

3.0.2 混凝土用原材料应符合现行国家或行业标准的规定，在进场时对其性能和质量进行检验。进场后根据不同的品种、规格及用途分别妥善存放，对容易受潮、锈蚀的材料应采取防雨、防潮或防锈的措施。

3.0.3 混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值确定，抗压强度试验方法应符合现行行业标准《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》（JTG 3420）的规定。

3.0.4 混凝土宜使用非碱活性集料，当地材等条件限制必须使用碱活性集料时，混凝土总碱含量应符合本规范的规定，并按《预防混凝土碱集料反应技术规范》（GB/T 50733）的规定，采取抑制碱集料反应技术措施。

4 环境作用类别与作用等级

4.1 一般环境

- 4.1.1 公路桥涵混凝土耐久性设计应根据结构设计使用年限及本规程划分的环境类别和作用等级进行。
- 4.1.2 公路桥涵混凝土环境作用类别和作用等级依据其服役环境中腐蚀介质、腐蚀机理及作用程度进行划分。
- 4.1.3 当构件受到多种环境类别共同作用时，应根据最不利环境进行混凝土耐久性设计。

4.2 环境类别和作用等级

4.2.1 公路桥涵混凝土结构所处的暴露环境按其对混凝土材料和钢筋锈蚀分为 7 类，包括碳化环境、冻融环境、氯盐环境、盐类结晶破坏环境、磨蚀环境、大温差环境和干燥环境，公路桥涵混凝土的环境类别按表 4.2.1 的规定确定。

表 4.2.1 公路桥涵混凝土的环境类别

环境类别	环境名称	腐蚀机理
T	碳化环境	正常大气作用引起钢筋锈蚀，主要碳化腐蚀
D	冻融环境	频繁冻融作用导致混凝土损伤
L	氯盐环境	氯盐侵入引起混凝土内部钢筋锈蚀
Y	盐类结晶破坏环境	硫酸盐等化学物质对混凝土的腐蚀
M	磨蚀环境	高速水流、风沙以及车轮行驶对混凝土表面的冲刷、磨损等作用。
W	大温差环境	环境温差过大导致混凝土早期开裂和长期疲劳损伤
G	干燥环境	大风和较低相对湿度导致的混凝土失水引起的混凝土收缩开裂

条文说明

本条款参照《混凝土结构耐久性设计标准规范》（GB/T 50476—2019）和《铁路混凝土》（TB 10424—2018）编制。其中本规程中的“碳化环境（T）、冻融环境（D）、氯盐环境（L）、盐类结晶破坏环境（Y）”分别对应《混凝土结构耐久性设计标准规范》（GB/T 50476—2019）中表 3.2.1 的“一般环境（I）、冻融环境（II）、海洋氯盐环境（III）和除冰盐等其他氯盐环境（IV）、化学腐蚀环境（V）”，此外，针对高速水流、风沙以及车轮行驶对混凝土表面的冲刷、磨损等作用，规定了磨蚀环境（M），针对我国青藏高原地区、西北地区规定了大温差环境（W）和干燥环境（G）。

4.2.2 将环境对混凝土结构的影响严重程度划分为 6 个等级，分别为 1 轻微、2 轻度、3 中

度、4 严重、5 非常严重和 6 极端严重，混凝土环境作用等级见表 4.2.2。

表 4.2.2 混凝土的环境作用等级

环境类别 环境作用等级	1 轻微	2 轻度	3 中度	4 严重	5 非常严重	6 极端严重
碳化环境	T-1	T-2	T-3			
冻融环境	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6
氯盐环境			L-3	L-4	L-5	L-6
盐类结晶破坏环境			Y-3	Y-4	Y-5	
磨蚀环境			M-3	M-4	M-5	
大温差环境				W-4	W-5	W-6
干燥环境				G-4	G-5	G-6

条文说明

参照《混凝土结构耐久性设计标准规范》（GB/T 50476—2019）编制。

4.2.3 公路桥涵混凝土碳化环境作用等级按照表 4.2.3 划分。

表 4.2.3 公路桥涵混凝土碳化环境作用等级

环境类别	环境作用等级	环境条件
碳化环境	T-1	干燥环境
		长期浸没水中
	T-2	非干湿交替的露天环境
		长期湿润环境
	T-3	干湿交替环境

注：1 一般环境主要指仅有正常的大气(二氧化碳、氧气等)和温、湿度(水分)作用，不存在冻融、氯化物和其他化学腐蚀物质的影响。一般环境对混凝土结构的侵蚀主要是表层混凝土碳化、氧气和水分共同作用引起的钢筋锈蚀。

2 干燥、低湿度环境指年平均湿度低于 60%，中、高湿度环境指年平均湿度大于 60%。

3 干湿交替指混凝土表面经常交替接触大气和水的环境条件。

4.2.4 公路桥涵混凝土冻融环境作用等级按照表 4.2.4-1 划分。

表 4.2.4-1 水泥混凝土的冻融环境作用等级

有害冻融次数 (次/年)	无盐环境		有盐环境	
	中度饱水	高度饱水	中度饱水	高度饱水
<10	D1	D1	D2	D3
10~59	D1	D2	D3	D4
60~120	D3	D4	D5	D5
121~180	D4	D5	D5	D6

有害冻融次数 (次/年)	无盐环境		有盐环境	
	中度饱水	高度饱水	中度饱水	高度饱水
>180	D5	D6	D6	D6

- 注：1. 中度饱水指冰冻前偶受水或受潮，混凝土内饱水程度不高。高度饱水指冰冻前长期或频繁接触水或润湿土体，混凝土内饱水程度高。
2. 有盐环境指冻结的水中含有氯盐类，包括除冰盐、海水、盐渍土或其它含有氯化物的环境。
3. 位于冰冻线以上土中的混凝土构件，其冻融环境等级可根据当地实际情况和经验适当降低，但混凝土抗冻等级不应低于 F100。
4. 偶尔浸水的混凝土构件，其冻融环境等级可按表 4.2.4-1 中度饱水的规定适当降低，但混凝土抗冻等级不应低于 F100。
5. 本表指阳光可经常照射的混凝土构件，对于阳光较少照射到的混凝土构件，冻融环境等级可按表 4.2.1-1 的规定适当降低；对于阳光照射不到的混凝土构件（如隧道衬砌用喷射水泥混凝土等），其受到的冻融循环次数远低于外露表面，故其冻融环境等级可按表 4.2.1-1 的规定适当降低，但混凝土抗冻等级不应低于 F100。

条文说明

冻融环境等级与冻融次数、饱水程度、冻结温度、是否含有氯盐等有关。水泥混凝土的饱水程度与入冬前和入冬后的降水量密切相关，同一构件处于不同的地区时饱水程度可能相差较大。常见公路工程水泥混凝土构件的饱水程度示例见表 4.2.4-2。确定饱水程度时，应根据工程所在地受冻期间的降水量多少、部位等来确定。

表 4.2.4-2 公路工程水泥混凝土构件的饱水程度示例

冻融条件	饱水状态	结构构件
无盐	中度饱水	非水中的竖向构件，偶受渗漏影响的构件，干旱地区的水平构件
	高度饱水	水平构件，水位变化区的竖向构件，受渗漏影响严重的构件
有盐	中度饱水	受氯盐作用的非水中的竖向构件，偶受渗漏影响的构件，干旱地区的水平构件
	高度饱水	受氯盐作用的水平构件，潮汐区、浪溅区的竖向构件，受渗漏影响严重的构件

本规程中冻融环境等级依据各地地表受到的有害冻融次数划分的。水泥混凝土的冻害主要与冻融次数有关、冻结温度、混凝土饱水程度等有关。专题对水泥混凝土结构的冻害状况调研情况结果表明，北京、辽宁等地的冻害最为严重，而黑龙江省、内蒙东部等严寒地区的冻害则相对较轻。主要原因是黑龙江省、内蒙东部等严寒地区，由于冬季气温较低，长期处于冻结状态，冻融次数相对较少，冻害相对较轻，因此冻融循环次数引起的冻害大于冻结温度。故本细则采用有害冻融次数来划分水泥混凝土的冻融环境等级。

4.2.5 公路桥涵混凝土氯盐环境作用等级按照表 4.2.5 划分。

表 4.2.5 水泥混凝土的氯盐环境作用等级

环境类别	环境作用等级	环境条件
氯盐环境	L-3	水下区和土中区：周边永久浸没于海水或埋于土中
		受除冰盐盐雾轻度作用
		四周浸没于含氯化物水中
		接触较低浓度氯离子水体，且有干湿交替
	L-4	大气区（轻度盐雾）：距平均水位 15m 高度以上的海上大气区；涨潮岸线以外 100m~300m 内的陆上暴露环境
		受除冰盐水溶液轻度溅射作用
		接触较高浓度氯离子水体，且有干湿交替
	L-5	大气区（重度盐雾）：距平均水位上方 15m 高度以内的海上大气区；涨潮岸线以外 100m 内、低于海平面以上 15m 的陆上暴露环境
		潮汐区和浪溅区，非炎热地区
		直接接触除冰盐溶液
		受除冰盐水溶液重度溅射或重度盐雾作用
		接触高浓度*氯离子水体，且有干湿交替
	L-6	潮汐区和浪溅区，炎热地区

注：1 近海或海洋环境中的水下区、潮汐区、浪溅区和大气区的划分，按现行《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规程》（JTJ 275）的规定确定。

2 轻度盐雾区与重度盐雾区界限的划分，宜根据当地的具体环境和既有工程调查确定。靠近海岸的陆上工程，盐雾对暴露混凝土构件的作用尚应考虑风向、地貌等因素。

3 炎热地区指年平均温度高于 20℃ 的地区。

4 受海水激流和海砂冲刷的混凝土构件，其环境作用等级宜提高一级。

5 一侧接触海水或含有海水土体，另一侧接触空气的海中或海底隧道配筋混凝土构件，其环境作用等级不宜低于 L-5。

6 水中氯离子浓度的划分为：较低，100mg/L~500mg/L；较高，500mg/L~5000mg/L；高，大于 5000mg/L。

7 土中氯离子浓度的划分：较低，150mg/L~750mg/L；较高，750mg/L~7500mg/L；高，大于 7500mg/L。

4.2.6 公路桥涵混凝土盐类结晶破坏环境作用等级按照表 4.2.6 划分。

表 4.2.6 水泥混凝土的盐类结晶破坏环境作用等级

环境类别	环境作用等级	环境条件
盐类结晶破坏环境	Y-3	非干旱、高寒冷地区，200mg/L ≤ 水中 SO ₄ ²⁻ 浓度 ≤ 1000mg/L；
		干旱、高寒冷地区，200mg/L ≤ 水中 SO ₄ ²⁻ 浓度 ≤ 500mg/L。
		非干旱、高寒冷地区，300mg/L ≤ 土中 SO ₄ ²⁻ 水溶值 ≤ 1500mg/L；
		干旱、高寒冷地区，300mg/L ≤ 土中 SO ₄ ²⁻ 水溶值 ≤

环境类别	环境作用等级	环境条件
	Y-4	750mg/L。
		非干旱、高寒冷地区，1000mg/L<水中 SO ₄ ²⁻ 浓度≤4000mg/L；干旱、高寒冷地区，500mg/L<水中 SO ₄ ²⁻ 浓度≤2000mg/L。
		非干旱、高寒冷地区，1500mg/L<土中 SO ₄ ²⁻ 浓度≤6000mg/L； 干旱、高寒冷地区，750mg/L<土中 SO ₄ ²⁻ 水溶值≤3000mg/L。
	Y-5	非干旱、高寒冷地区，4000mg/L<水中 SO ₄ ²⁻ 浓度≤10000mg/L； 干旱、高寒冷地区，2000mg/L<水中 SO ₄ ²⁻ 浓度≤5000mg/L。
		非干旱、高寒冷地区，6000mg/L<土中 SO ₄ ²⁻ 浓度≤15000mg/L； 干旱、高寒冷地区，3000mg/L<土中 SO ₄ ²⁻ 水溶值≤7500mg/L。

注：1 我国干旱区指干燥系数大于 2.0 的地区，高寒地区指海拔 3000m 以上的地区。

2 当无干湿交替（长期浸没于地表或地下水中）时，腐蚀等级可以降低一级，但不得低于 Y-3。

3 硫酸根含量的测试方法应符合本标准附录 E 的规定。

4.2.7 公路桥涵混凝土磨蚀环境作用等级按照表 4.2.7 划分。

表 4.2.7 水泥混凝土磨蚀环境作用等级

环境类别	环境作用等级	环境条件
磨蚀环境	M-3	风力等级≥7 级，且年累计刮风天数大于 90d 的风沙地区
	M-4	风力等级≥9 级，且年累计刮风天数大于 90d 的风沙地区
		有强烈流冰撞击的河道（冰层水位线下 0.5m～冰层水位线上 1.0m）
		汛期含砂量为 200～1000kg/m ³ 的河道
	M-5	风力等级≥11 级，且年累计刮风天数大于 90d 的风沙地区
		汛期含砂量>1000kg/m ³ 的河道 西北戈壁荒漠区洪水期间夹杂大量粗颗粒砂石的河道

4.2.8 公路桥涵混凝土大温差环境作用等级按照表 4.2.8 划分。

表 4.2.8 水泥混凝土大温差环境作用等级

环境类别	环境作用等级	环境条件
大温差环境	W-4	最大月平均气温日较差ΔT≥20℃且<25℃
	W-5	最大月平均气温日较差ΔT≥25℃且<30℃
	W-6	最大月平均气温日较差ΔT≥30℃

4.2.8 公路桥涵混凝土干燥环境作用等级按照表 4.2.9 划分。

表 4.2.8 水泥混凝土干燥环境作用等级

环境类别	环境作用等级	环境条件
干燥环境	G-4	年风力等级大于 6 级的日数 $\geq 60d$ ，且年平均相对湿度 $w\% > 45\%$ 且 $\leq 55\%$
	G-5	年风力等级大于 6 级的日数 $\geq 60d$ ，且年平均相对湿度 $w\% > 35\%$ 且 $\leq 45\%$
	G-6	年风力等级大于 6 级的日数 $\geq 60d$ ，且年平均相对湿度 $w\% \leq 35\%$

4.3 混凝土结构设计要求

4.3.1 各环境作用等级下混凝土的最低抗压强度等级应满足表 4.3.1 的技术要求。

表 4.3.1 混凝土的最低抗压强度等级

环境类别	环境作用等级	设计使用年限（年）					
		100		50		30	
		钢筋混凝土和预应力混凝土	素混凝土	钢筋混凝土和预应力混凝土	素混凝土	钢筋混凝土和预应力混凝土	素混凝土
碳化环境	C-1	C30	C30	C25	C25	C25	C25
	C-2	C35	C30	C30	C25	C25	C25
	C-3	C40	C30	C35	C25	C30	C25
冻融破坏环境	D-1	C _a 25	C _a 25	C _a 20	C _a 20	C _a 20	C _a 20
	D-2	C _a 35	C _a 30	C _a 35	C _a 30	C _a 30	C _a 25
	D-3	C _a 40	C _a 35	C _a 35	C _a 30	C _a 35	C _a 30
	D-4	C _a 40	*	C _a 40	*	C _a 35	C _a 30
	D-5	C _a 45	*	C _a 45	*	C _a 40	*
	D-6	C _a 50	*	C _a 50	*	C _a 45	*
氯盐环境	L-3	C40	C35	C35	C30	C35	C30
	L-4	C45	C35	C40	C30	C40	C30
	L-5	C50	*	C45	C40	C45	C35
	L-6	C50	*	C50	*	C50	C40
盐类结晶破坏环境	Y-3	C35	C35	C30	C30	C30	C30
	Y-4	C45	*	C40	C35	C40	C35
	Y-5	C50	*	C45	*	C45	C40
磨蚀环境	M-3	C35	C35	C30	C30	C30	C30
	M-4	C40	*	C35	C35	C35	C35
	M-5	C45	*	C40	*	C40	*
大温差环境	W-4	C35	C30	C30	C25	C25	C25
	W-5	C35	C30	C30	C25	C25	C25
	W-6	C35	C30	C30	C25	C25	C25

环境类别	环境作用等级	设计使用年限（年）					
		100		50		30	
		钢筋混凝土和预应力混凝土	素混凝土	钢筋混凝土和预应力混凝土	素混凝土	钢筋混凝土和预应力混凝土	素混凝土
干燥环境	G-4	C35	C30	C30	C25	C25	C25
	G-5	C35	C30	C30	C25	C25	C25
	G-6	C35	C30	C30	C25	C25	C25

注：“*”表示不宜采用素混凝土。当不得不使用素混凝土时，混凝土的最低抗压强度等级应与钢筋混凝土的最低抗压强度等级一致，且应采取有效的防裂措施。

4.3.2 各环境作用等级下钢筋混凝土保护层厚度应满足表 4.3.2 的技术要求。

表 4.3.2 钢筋混凝土保护层厚度 (mm)

环境类别	环境作用等级		设计使用年限（年）		
			100	50	30
碳化环境	T-1		20	20	20
	T-2		30	25	25
	T-3		40	35	30
冻融破坏环境	D-1		30	30	25
	D-2		35	30	30
	D-3		40	35	35
	D-4		40	40	35
	D-5		50	40	35
	D-6		60	45	40
氯盐环境	L-3	板、墙等面形构件	45	40	35
		梁、柱等条形构件	50	45	40
	L-4	板、墙等面形构件	55	50	45
		梁、柱等条形构件	60	55	50
	L-5	板、墙等面形构件	60	55	45
		梁、柱等条形构件	65	60	55
	L-6	板、墙等面形构件	65	60	55
		梁、柱等条形构件	70	65	55
盐类结晶破坏环境	Y-3	板、墙等面形构件	40	35	30
		梁、柱等条形构件	45	40	35
	Y-4	板、墙等面形构件	45	40	35
		梁、柱等条形构件	50	40	40
	Y-5	板、墙等面形构件	45	40	35
		梁、柱等条形构件	50	45	40
大温差环境	W-4		35	25	20
	W-5		35	25	20
	W-6		35	30	20

《公路桥涵混凝土技术规程》（征求意见稿）

环境类别	环境作用等级	设计使用年限（年）		
		100	50	30
干燥环境	G-4	35	25	20
	G-5	35	25	20
	G-6	35	30	20

5 原材料

5.1 一般规定

5.1.1 应根据桥涵混凝土结构、环境和施工等技术要求，选用适当品种、性能和的原材料，且其特性应满足混凝土工作性能、强度、耐久性等技术要求。

5.1.2 水泥应选用通用硅酸盐水泥，不宜使用早强水泥。C30 及以上的混凝土应采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，C30 以下的混凝土可采用粉煤灰硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥。

5.1.3 粉煤灰、矿渣粉、硅灰和石灰石粉等矿物掺和料应选用能改善混凝土性能且品质稳定的产品。

5.1.4 细集料应选用级配合理、质地坚固、吸水率低、空隙率小的洁净天然河砂，也可选用满足规范要求的机制砂、混合砂，不宜使用海砂。

5.1.5 粗集料应选用粒形良好、级配合理、质地坚固、吸水率低、热膨胀系数小的洁净碎石；当一种级配的粗集料无法满足使用要求时，可以将两种或两种以上级配的粗集料混合使用。

5.1.6 减水剂、引气剂、膨胀剂、降粘剂、水化热抑制剂等外加剂应选用品质稳定的产品。外加剂与水泥及矿物掺和料之间应具有良好的相容性，其品种和掺量应经试验确定。

5.1.7 拌合用水宜采用饮用水，其它水源的水应满足本规程的要求。

5.1.8 混凝土原材料储存和运输应符合下列规定：

- 1 采取有效措施，防止水泥、矿物掺和料受潮，降低散装水泥的温度，避免散装水泥温度持续升高。

- 2 将袋装水泥和矿物掺和料储存在具有防潮防水功能的仓库内。

- 3 采用仓库储存外加剂，冬期应采取保温措施，避免外加剂受冻或出现低温结晶现象。液体外加剂储存罐宜配置自循环或搅拌装置。

- 4 集料的储料间应具有防晒、防水和防污染的功能。

- 5 不同原材料应有固定的堆放地点和明确的标识，标明材料名称、品种、生产厂家、生产日期和进场日期。原材料堆放时应有堆放分界标识，以免误用。

- 6 不同原材料进场后，应及时建立原材料管理台帐，台帐内容应包括材料的名称、生产日期、进货日期、品种、规格、数量、生产单位、供货单位、质量证明书编号、试验检验报告编号及检验结果等。原材料管理台帐应填写正确、真实，项目齐全。

5.2 水泥

5.2.1 普通混凝土用水泥的性能除应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》（GB 175）的规定外，还应满足表 5.2.1 的要求。

表 5.2.1 水泥技术指标要求

序号	项目	技术要求	试验方法
1	碱含量	$\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}\leq 0.8\%$	JTG 3420
2	游离氧化钙	$\leq 1.0\%$	GB/T 176
3	比表面积	$300\text{ m}^2/\text{kg}\sim 350\text{ m}^2/\text{kg}$	JTG 3420
4	水泥温度	$\leq 60^\circ\text{C}$	-
5	熟料的 C_3A	$\leq 8\%$	GB/T 176

注：1 当采用碱活性集料时，应选用碱含量不大于 0.60% 的低碱水泥。

2 特大桥、大桥等控制性工程 C40 及以上混凝土，宜选用碱含量不大于 0.60% 的低碱水泥。

3 当混凝土结构处于河流、湖泊、水库等可流入灌溉或居民用水，宜选用水溶性六价铬含量不大于 10 mg/kg 的水泥。

4 当混凝土结构所处环境为氯盐环境时，宜选用氯离子含量不大于 0.03% 的水泥。

5.2.2 水泥进场时，应附有生产厂的质量检验报告等合格证明文件，并按批次对同一生产厂、同一品种、同强度等级及同一出厂日期的水泥进行强度、细度、安定性和凝结时间等性能的检验，散水泥应以每 500t 为一批，装水泥应以每 200t 为一批，不足 500t 或 200t 时，亦按一批计。当对水泥质量有怀疑或受潮或存放时间超过 3 个月时，应重新取复验，并按其复验结果使用。水泥的检验试验方法应符合现行行业标准《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》（JTG E30）的规定。

5.3 矿物掺合料

5.3.1 公路桥涵普通混凝土用粉煤灰的性能应满足表 5.3.1 的要求。

表 5.3.1 粉煤灰技术指标要求

项目		技术要求	
		I 级	II 级
细度（45 μm 方孔筛筛余，%）		≤ 12.0	≤ 30.0
需水量比（%）		≤ 95	≤ 105
烧失量（%）		≤ 5.0	≤ 8.0
含水率（%）		≤ 1.0	
三氧化硫质量分数（%）		≤ 3.0	
游离氧化钙质量分数（%）	F 类粉煤灰	≤ 1.0	
	C 类粉煤灰	≤ 4.0	
二氧化铬、三氧化二铝和三氧化二铁总质量分数（%）	F 类粉煤灰	≥ 70.0	
	C 类粉煤灰	≥ 50.0	

项目		技术要求	
		I 级	II 级
密度（g/cm ³ ）		≤2.6	
安定性（雷氏法）	C 类粉煤灰	≤5.0	
强度活性指数（%）		≥70.0	
碱含量		按 Na ₂ O+0.658K ₂ O 计算，当粉煤灰应用中有碱含量要求时，由供需双方协商确定	
铵离子含量		≤210mg/kg	

注：1 F 类粉煤灰指由无烟煤或烟煤煅烧收集的粉煤灰；C 类粉煤灰指由褐煤或次烟煤煅烧收集的粉煤灰；

- 2 混凝土强度等级大于 C20 及以上结构，不得使用 C 类粉煤灰；
- 3 铵离子含量的试验方法参照 GB/T 39701 的规定执行。

条文说明

本条款参照《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》（GB/T 1596—2017）、《水运工程混凝土施工规范》（JTS 202—2011）、《铁路混凝土》（TB10424—2018）和《粉煤灰中铵离子含量的限量及检验方法》（GB/T 39701—2020）编制。

随着国家对氮氧化物污染的严格控制与脱硝工艺的普及实施，电烟气脱硫脱硝工艺呈现出从石灰石-石膏法占据绝对主导地位向多种工艺技术共同发展的趋势，氨法脱硝是治理燃煤产生氮氧化物污染的主要技术手段，而氨法脱硝的脱硝剂主要为氨水或者尿素，脱硝剂在脱硝的过程中能有效降低火电厂氮氧化物排放量，同时产生过剩的氨气，氨气可能与 CO₂、SO₃ 等气体反应形成铵盐，过剩的氨气和形成的铵盐易存在于火发电的另-副产品粉煤灰中。粉煤灰作为混凝土的主要矿物掺和料，在混凝土搅拌过程中，由于碱性条件和大量热量的存在，所吸附的氨气释放或者铵盐发生分解，产生氨气。氨气易存在于混凝土中，可能会改变混凝土工作性能和硬化性能，为此，本规程参照《粉煤灰中铵离子含量的限量及检验方法》（GB/T 39701—2020）的规定，规定了公路桥涵混凝土用粉煤灰中铵离子含量限值和相关测试方法。

5.3.2 公路桥涵普通混凝土用粒化高炉矿渣粉应满足表 5.3.2 的要求。

表 5.3.2 粒化高炉矿渣粉技术指标要求

项目		级别		
		S105	S95	S75
密度（g/cm ³ ）		≥2.8		
比表面积（m ² /kg）		≥500	≥400	≥300
活性指数 （%）	7d	≥95	≥70	≥55
	28d	≥105	≥95	≥75

项目	级别		
	S105	S95	S75
流动度比（%）	≥ 95		
初凝时间比（%）	≤ 200		
含水量（质量分数）（%）	≤ 1.0		
三氧化硫（质量分数）（%）	≤ 4.0		
氯离子（质量分数）（%）	≤ 0.06		
烧失量（质量分数）（%）	≤ 1.0		
不溶物（质量分数）（%）	≤ 3.0		
玻璃体含量（质量分数）（%）	≥ 85		
放射性	$I_{Ra} \leq 1.0$ 且 $I_r \leq 1.0$		

注：1 当采用碱活性集料时，宜选用碱含量不大于 1.0% 的粒化高炉矿渣粉；

2 当混凝土构件追求表观色泽时，不宜掺入粒化高炉矿渣粉；

3 当设计 C60 及以上混凝土时，宜采用满足 S105 级别要求的粒化高炉矿渣粉。

5.3.3 硅灰一般用于高强高性能或特殊设计要求的混凝土，其指标除应符合现行国家标准《砂浆和混凝土用硅灰》（GB/T 27690）和《高强高性能混凝土用矿物外加剂》（GB/T 18736）的规定外，还应满足表 5.3.3 的要求。

表 5.3.3 硅灰技术指标要求

项目	技术要求
固含量（液料）（%）	按生产厂控制值的 ± 2
总碱量（%）	≤ 1.5
二氧化硅含量（%）	≥ 85
氯含量（%）	≤ 0.1
含水率（粉料）（%）	≤ 3.0
烧失量（%）	≤ 4.0
需水量比（%）	≤ 125
比表面积（BET 法）（ m^2/g ）	≥ 15
活性指数（7 d 快速法）（%）	≥ 105
放射性	$I_{Ra} \leq 1.0$ 和 $I_r \leq 1.0$
抑制碱集料反应性（%）	14 d 膨胀率降低值 35
抗氯离子渗透性（%）	28 d 电通量之比 ≤ 40

注：1 硅灰浆折算为固体含量按本表进行检验。

2 抑制碱集料反应性和抗氯离子渗透性为选择性试验项目，由供需双方协商决定。

5.3.4 公路桥涵普通混凝土用石灰石粉的性能应满足表 5.3.4 的要求。

表 5.3.4 石灰石粉的性能

序号	项目	技术要求		试验方法
		$< C50$	$\geq C50$	
1	细度（45 μm 方孔筛）	$\leq 15\%$		GB/T 1345 水筛法

序号	项目		技术要求		试验方法
			<C50	≥C50	
	筛余)				
2	碳酸钙含量		≥75%		GB/T 5762 测定 CaO 含量，再乘以 1.785 得到碳酸钙含量。
3	MB 值		≤1.0 g/kg	≤0.5 g/kg	GB/T 35164
4	含水量		≤1.0%		
5	流动度比		≥95%	≥100%	
6	抗压强度比	7 d	≥60%		
		28 d	≥60%		
7	碱含量		*		GB/T 176

注：碱含量用于计算混凝土的总碱含量。

条文说明

本条款参照《用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉》（GB / T 35164—2017）和《铁路混凝土》（TB 10424—2018）编制。石灰石粉在公路桥涵混凝土工程中的应用较少，市场矿物掺合料较为丰富，石粉石粉活性较低且需水量较大等缺点，本规范参照《铁路混凝土》（TB 10424—2018）进行规定。

5.4 细集料

5.4.1 细集料宜采用级配良好、质地坚硬、颗粒洁净且粒径小于 5mm 的天然砂；当天然砂不易得到时，可采用符合规定的机制砂；细集料不宜采用海砂，不得不采用时，应按照相关标准进行处理。

5.4.2 细集料应根据细度模数划分为四类：3.7~3.1 粗砂、3.0~2.3 中砂、2.2~1.6 细砂和 1.5~0.7 特细砂。

条文说明

细度模数仅反映细集料的粗细程度，不能反映其颗粒级配，在混凝土配合比设计时，应充分考虑细度模数和颗粒级配的合理性。

5.4.3 细集料的颗粒级配应符合表 5.4.3-1 的规定，级配类别应符合表 5.4.3-2 的规定。

表 5.4.3-1 细集料颗粒级配

砂的分类	天然砂			机制砂		
级配区	1 区	2 区	3 区	1 区	2 区	3 区
方孔筛	累计筛余/%					
4.75mm	10~0	10~0	10~0	10~0	10~0	10~0
2.36mm	35~5	25~0	15~0	35~5	25~0	15~0

砂的分类	天然砂			机制砂		
1.18mm	65~35	50~10	25~0	65~35	50~10	25~0
0.60mm	85~71	70~41	40~16	85~71	70~41	40~16
0.30mm	95~80	92~70	85~55	95~80	92~70	85~55
0.15mm	100~90	100~90	100~90	97~85	94~80	94~75

注：1 表中除 4.75mm 和 0.60mm 筛孔外，其余各筛孔的累计筛余允许超出分界线，但超出量不得大于 5%；

2 对于机制砂，4.75mm 筛的分计筛余不应大于 5%，对于 $M_B > 1.4$ 的机制砂，0.15mm 筛和筛底的分计筛余之和不应大于 25%。

3 对于天然砂，筛底的分计筛余不应大于 10%。

4 浇筑垂直高度大于 100m 或水平泵送长度大于 200m 的泵送混凝土，宜采用细度模数为 2.4~2.8 的中砂，且 0.60mm 及以下的累计筛余量不宜小于 40%；

5 1 区砂宜提高砂率配制低流动性混凝土，2 区砂宜优选选用配不同强度等级的混凝土，3 区砂宜适当降低砂率，防止混凝土收缩开裂；

6 采用细砂和特细砂时，应符合有关标准的规定。

表 5.4.3-2 级配类别

类别	I 类	II 类	III 类
级配区	2 区	1、2、3 区	

条文说明

细度模数相同而级配不同的砂，会具有不同的混凝土配制性质。有关资料表明，合格粒径与良好级配的集料可使混凝土用水量降低约 20%，有可能减小收缩值约 100×10 。因此，条文列入了各种级配区的级配，如表 5.4.3-1 所示，其中 1 区基本属于粗砂范畴，2 区基本属于中砂范畴，3 区基本属于细砂范畴。为了保证混凝土结构物的质量，重要工程的混凝土用砂通常选用中砂，细度模数一般为 2.9~2.6。

5.4.4 细集料技术指标应满足表 5.4.4 的要求。

表 5.4.4 细集料技术指标要求

项目		技术要求		
		I 类	II 类	III类
有害物质限量	云母（按质量计，%）	≤1.0	≤2.0	
	轻物质（按质量计，%）	≤1.0		
	有机物	合格		
	硫化物及硫酸盐（按 SO ₃ 质量计，%）	≤0.5		
	氯化物（以氯离子质量计，%）	≤0.01	≤0.02	≤0.06
天然砂	含泥量（按质量计，%）	≤1.0	≤3.0	≤5.0
	泥块含量（按质量计，%）	0	≤1.0	≤2.0

项目			技术要求		
			I 类	II 类	III类
机制砂	MB 值≤1.4 或快速法试验不合格	MB 值	≤0.5	≤1.0	≤1.4 或合格
		石粉含量（按质量计，%）	≤10.0		
		泥块含量（按质量计，%）	0	≤1.0	≤2.0
	MB 值>1.4 或快速法试验不合格	石粉含量（按质量计，%）	≤1.0	≤3.0	≤5.0
		泥块含量（按质量计，%）	0	≤1.0	≤2.0
坚固性	硫酸钠溶液法试验，砂的质量损失（%）		≤8		≤10
	机制砂单级最大压碎指标（%）		≤20	≤25	≤30
表观密度（kg/m³）			≥2500		
松散堆积密度（kg/m³）			≥1400		
空隙率（%）			≤44		
碱集料反应			经碱集料反应试验后，试件应无裂缝、酥裂、胶体外溢现象，在规定试验龄期的膨胀率应小于0.10%		

注：1 砂按产源分为天然砂、机制砂两类：按技术要求分为 I 类、II 类、III 类。

- 2 石粉含量系指机制砂中粒径小于 $75\mu\text{m}$ 的颗粒含量。
- 3 当工程有要求时，含水率和饱和面干吸水率应采用实测值。
- 4 砂中不应混有草根、树叶、树枝、塑料、煤块、炉渣等杂物。
- 5 当对砂的坚固性有怀疑时，应做坚固性试验。
- 6 当碱集料反应不符合表中要求时，应采取抑制碱集料反应的技术措施。

5.4.5 细集料碱活性宜采用砂浆棒法测定，且应满足表 5.4.5 要求。

表 5.4.5 集料的碱活性

序号	砂浆棒膨胀率（ ϵ_t ）	使用要求
1	1. 普通混凝土 $\epsilon_t < 0.20\%$ 2. 预应力混凝土 $\epsilon_t < 0.10\%$	混凝土的碱含量应满足不大于 3kg/m^3 的规定。
2	1. 普通混凝土 $0.20\% \leq \epsilon_t < 0.30\%$ 2. 预应力混凝土 $0.10\% \leq \epsilon_t < 0.20\%$	混凝土的碱含量应满足不大于 3kg/m^3 的规定，且应对混凝土采取抑制碱—集料反应的技术措施，并经试验证明抑制有效。
3	1. 普通混凝土 $\epsilon_t \geq 0.30\%$ 2. 预应力混凝土 $\epsilon_t \geq 0.20\%$	不得使用。

条文说明

参照《铁路混凝土》（TB 10424—2018）编制。

5.5 粗集料

5.5.1 粗集料宜采用质地坚硬、表面洁净、级配合理、粒形良好、吸水率小的碎石或卵石，不宜采用砂岩加工成的碎石，粗集料的技术要求应符合表 5.5.1 的规定。

表 5.5.1 粗集料技术指标要求

项目		技术要求		
		I 类	II 类	III类
碎石压碎指标（%）		≤10	≤20	≤30
卵石压碎指标（%）		≤12	≤14	≤16
坚固性 （硫酸钠溶液法试验质量损失值，%）		≤5	≤8	≤12
吸水率（%）		≤1.0	≤2.0	
针片状颗粒总含量（按质量计，%）		≤5	≤10	≤15
泥含量（按质量计，%）		≤0.5	≤1.0	≤1.5
泥块含量（按质量计，%）		0	≤0.2	≤0.5
有害物质限量	有机物	合格		
	硫化物及硫酸盐 （按 SO ₃ 质量 计，%）	≤0.5	≤1.0	
岩石抗压强度（水饱和状态，MPa）		火成岩≥80；变质岩≥60；水成岩≥30		
表观密度（kg/m ³ ）		≥2600		
连续级配松散堆积空隙率（%）		≤43	≤45	≤47
碱集料反应		经碱集料反应试验后，试件应无裂缝、酥裂、胶体外溢现象，在规定试验龄期的膨胀率应小于 0.10%		

- 注：1 粗集料中不应混有草根、树叶、树枝、塑料、煤块、炉渣等杂物；
- 2 母岩的抗压强度除应满足表中要求外，其抗压强度与混凝土强度等级之比不应小于 1.5，母岩抗压强度首先应由生产单位提供，工程中可采用压碎指标进行质量控制；
- 3 粗集料中含颗粒状硫酸盐或硫化物杂质时，应进行专门检验，确认能满足混凝土耐久性要求后，方可采用；
- 4 采用卵石破碎成砾石时，应具有两个或以上的破碎面，且其破碎面不应小于 70%；
- 5 卵石或卵石破碎砾石，不宜用于配制预应力混凝土。

5.5.2 粗集料最大粒径宜按混凝土结构情况和施工工艺选取，宜采用连续两级配或连续多级配，采用单粒级或间断级配时，应通过配合比验证。粗集料的级配范围应符合表 5.5.2 的规定。

表 5.5.2 粗集料的累积筛余质量百分数（%）

公称粒级 (mm)	累计筛余（按质量计，%）
	方孔筛筛孔边长尺寸（mm）

		2.36	4.75	9.50	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5	53.0
连续 粒 级	5~16	95~100	85~100	30~60	0~10	0				
	5~20	95~100	90~100	40~80		0~10	0			
	5~25	95~100	90~100		30~70		0~5	0		
	5~31.5	95~100	90~100	70~90		15~45		0~5	0	
	5~40		95~100	70~90		30~65			0~5	0
单 粒 粒 级	5~10	95~100	80~100	0~15	0					
	10~16		95~100	80~100	0~15					
	10~20		95~100	85~100		0~15	0			
	16~25			95~100	55~70	25~40	0~10			
	16~31.5		95~100		85~100			0~10	0	
	20~40			95~100		80~100			0~10	0
	40~80					95~100			70~100	

注：1 浇筑垂直高度大于 100m 或水平泵送长度大于 200m 的泵送混凝土，所用粗集料最大粒径不大于 20mm，且应采用连续级配；

2 高强混凝土粗集料最大粒径不宜大于 25mm，且应采用连续级配；

3 自密实混凝土粗集料最大粒径不宜大于 25mm，且宜采用连续级配；

4 集料的最大公称粒径不宜超过钢筋的混凝土保护层厚度的 2/3，在严重腐蚀环境下不宜超过 1/2，且不应超过钢筋最小间距的 3/4；

5 配制强度等级 C50 及以上混凝土时，集料最大公称粒径不应大于 25 mm。

5.6 化学外加剂

5.6.1 化学外加剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》（GB 8076）的规定。外加剂使用前应进行复验，复验结果满足要求后方可用于工程中。

5.6.2 化学外加剂应有厂商提供的主要成分、推荐掺量、减水率以及施工中必要的注意事项，如超量或欠量使用时的有害影响、掺合方法等。

5.6.3 减水剂应选用品质稳定的产品。减水剂与水泥及掺合料之间应具有良好的相容性。不得采用氯盐类、硫酸盐类的早强剂及与其复配的早强减水剂。

5.6.4 聚羧酸系高性能减水剂的技术要求应符合表 5.6.4 的规定。

表 5.6.4 水泥混凝土用聚羧酸系高性能减水剂的技术要求

序号	项目		技术要求			备注
			早强型	标准型	缓凝型	
1	减水率，%		≥25			
2	含气量，%		≤2.0			
3	压力泌水率比，%		≤90			用于配制泵送混凝土时
4	抗压强度	1d	≥180	≥170	/	

序号	项目		技术要求			备注
			早强型	标准型	缓凝型	
	比，%	3d	≥170	≥160	/	
		7d	≥145	≥150	≥140	
		28d	≥130	≥140	≥130	
5	60min 坍落度损失值， mm		/	/	≧30	用于配制泵送混凝土时
6	凝结时间之差，min	初凝	-90~+90	-90~+120	>+90	
		终凝			/	
7	甲醛含量，%		≤0.05			按折固含量计
8	硫酸钠含量，%		≤5.0			按折固含量计
9	氯离子含量，%		≤0.2			按折固含量计
10	碱含量，%		≤10			按折固含量计
11	收缩率比，%		≤110			

条文说明

(1) 使用引气剂时要注意引气剂与减水剂之间的适应性, 应该严格控制聚羧酸减水剂本身的引气效果, 同时使用聚羧酸专用引气剂; (2) 一般最后采用复合减水剂, 单列聚羧酸减水剂和高效减水剂的目的是希望最后混凝土中引入的气泡是通过引气剂引入的均匀微小的小气泡, 而不是聚羧酸类减水剂自身引入的不稳定大气泡, 可以采用引气较弱的减水剂与引气剂复配或者先消后引的方式, 但是要注意匹配性; (3) 减水剂质量评定中有一个关键的指标, 即坍落度保持能力, 根据运距和施工操作时间确定, 最后取最大值。

5.6.5 引气剂的技术指标应符合表 5.6.5 的规定。

表 5.6.5 引气剂的技术指标

序号	项目		技术要求
1	减水率		≥6%
2	含气量		≥3.0%
3	泌水率比		≤70%
4	含气量经时变化量	1h	-1.5%~+1.5%
5	抗压强度比	3 d	≥95%
		7 d	≥95%
		28 d	≥90%
6	凝结时间差	初凝	-90 min~+120 min
		终凝	

序号	项目		技术要求
7	收缩率比	28 d	$\leq 125\%$
8	相对耐久性指数（200次）	28 d	$\geq 80\%$
9	硬化混凝土气泡间距系数	28 d	$\leq 300 \mu\text{m}$
10	氯离子含量（按折固含量计）		*
11	碱含量（按折固含量计）		*

注：氯离子含量和碱含量用于计算混凝土的总氯离子含量和总碱含量。

5.7 拌合水

5.7.1 符合国家标准规定的饮用水可直接作为混凝土搅拌与养护用水。

5.7.2 采用非饮用水时应进行水质检验，性能指标应符合表 5.7.2 的规定。

表 5.7.2 拌合水的性能指标

序号	项目		技术要求		
			预应力混凝土	钢筋混凝土	素混凝土
1	pH 值		>6.5	>6.5	>6.5
2	不溶物含量		<2000 mg/L	<2000 mg/L	<5000 mg/L
3	可溶物含量		<2000 mg/L	<5000 mg/L	<10000 mg/L
4	氯化物含量（以 Cl ⁻ 计）		<500 mg/L <350 mg/L（用钢丝或热处理的钢筋）	<1000 mg/L	<3500 mg/L
			<200 mg/L（混凝土处于氯盐环境下）		
5	硫酸盐含量（以 SO ₄ ²⁻ 计）		<600 mg/L	<2000 mg/L	<2700 mg/L
6	碱含量		<1500 mg/L	<1500 mg/L	<1500 mg/L
7	抗压强度比	28 d	≥90%		
8	凝结时间差		≤30 min		

注：对于钢筋配筋率低于最小配筋率的混凝土结构，其混凝土拌合用水性能亦应满足本表中钢筋混凝土用拌合水性能要求。

6 配合比设计

6.1 一般规定

- 6.1.1 混凝土的性能应根据结构设计使用年限、所处的环境类别和作用等级、施工工艺进行确定。
- 6.1.2 混凝土配合比设计和配制强度应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ 55）进行，并应满足本规程对配合比设计参数选择、力学性能和耐久性能的要求。
- 6.1.3 特种混凝土配合比设计除应满足本章相关规定外，尚应根据具体混凝土的特殊性能要求进行设计。

6.2 混凝土性能要求

- 6.2.1 混凝土工作性应符合现行行业标准 JTG/T 3650 的规定。
- 6.2.2 混凝土中应适量掺加高效减水剂或高性能减水剂，尽量减少用水量和胶凝材料用量；含气量要求大于等于 4.0%的混凝土应同时掺加减水剂和引气剂。
- 6.2.3 混凝土的总碱含量应符合设计要求。当设计无要求时，混凝土的总碱含量应满足表 6.2.3 的要求。

表 6.2.3 混凝土的总碱含量最大值 (单位: kg/m³)

设计使用年限		100 年	50 年	30 年
环境条件	干燥环境	3.5	3.5	3.5
	潮湿环境	3.0	3.0	3.5
	含碱环境	3.0	3.0	3.0

注：1 混凝土总碱含量是指本标准要求检测的各种混凝土原材料的碱含量之和。其中，矿物掺和料的碱含量以其所含可溶性碱量计算。粉煤灰的可溶性碱量取粉煤灰总碱量的 1/6，矿渣粉的可溶性碱量取矿渣粉总碱量的 1/2，硅灰的可溶性碱量取硅灰总碱量的 1/2。

2 干燥环境是指不直接与水接触、年平均空气相对湿度长期不大于 75%的环境；潮湿环境是指长期处于水下或潮湿土中、干湿交替区、水位变化区以及年平均相对湿度大于 75%的环境；含碱环境是指与高含盐碱土体、海水、含碱工业废水或钠（钾）盐等直接接触的环境；干燥环境或潮湿环境与含碱环境交替作用时，均按含碱环境对待。

3 对于含碱环境中的混凝土主体结构，除了总碱含量满足本表要求外，还应采用非碱活性集料。

条文说明

在长期潮湿或接触水的环境条件下，混凝土结构的耐久性设计应考虑混凝土可能发生的碱骨料反应、钙矾石延迟生成反应和环境水对混凝土的溶蚀，在设计中采取相应的措施。

6.2.4 混凝土的总氯离子含量应满足表 6.2.4 的要求。

表 6.2.4 混凝土的总氯离子含量最大值

混凝土类别	钢筋混凝土	预应力混凝土
总氯离子含量	0.10%	0.06%

注：1 混凝土的总氯离子含量是指本标准要求检测的各种混凝土原材料的氯离子含量之和，以其与胶凝材料的重量比表示。

2 对于钢筋配筋率低于最小配筋率的混凝土结构，其混凝土的总氯离子含量应与本表中钢筋混凝土结构的混凝土总氯离子含量的限值要求相同。

6.2.5 混凝土的总三氧化硫含量不应超过胶凝材料总量的 4.0%。

6.2.6 氯盐环境下混凝土抗氯离子渗透性应满足表 6.2.6 的要求。

表 6.2.6 氯盐环境下混凝土抗氯离子渗透性

评价指标	环境作用等级	设计使用年限（年）	
		100	50
氯离子扩散系数（56d） DRCM($\times 10^{-12}\text{m}^2/\text{s}$)	L-3	≤ 7	≤ 10
	L-4	≤ 5	≤ 8
	L-5	≤ 3	≤ 4
	L-6	≤ 2	≤ 3

6.2.7 盐类结晶环境下混凝土抗硫酸盐结晶破坏性能应满足表 6.2.7 的规定。

表 6.2.7 盐类结晶环境下混凝土抗硫酸盐结晶破坏性能

评价指标	环境作用等级	设计使用年限（年）		
		100	50	30
抗硫酸盐结晶 破坏等级（56d）	Y-3	$\geq \text{KS90}$	$\geq \text{KS60}$	$\geq \text{KS60}$
	Y-4	$\geq \text{KS120}$	$\geq \text{KS90}$	$\geq \text{KS90}$
	Y-5	$\geq \text{KS150}$	$\geq \text{KS120}$	$\geq \text{KS120}$

6.2.8 冻融环境中水泥混凝土的抗冻等级应满足表 6.2.8 的要求。

表 6.2.8 水泥混凝土的抗冻等级要求

冻融环境等级	设计基准期（年）		
	100	50	30
D-1	F200	F150	F100
D-2	F250	F200	F150
D-3	F300	F250	F200
D-4	F350	F300	F250
D-5	F400	F350	F300
D-6	F450	F450	F400

注：1 水泥混凝土抗冻性采用快速冻融试验方法，按 JTG 3420—2020 中的 T 0565 进行。

2 设计基准期小于 30 年的以 30 年计。

6.2.9 大温差环境下，墩台身、承台混凝土的水化温升宜满足表 6.2.9 的要求。

表 6.2.9 大温差环境下混凝土的水化温升要求

作用等级	项目	技术要求
W-4	水化温升/ $T_{(3d)}$	$\leq 45^{\circ}\text{C}$
W-5	水化温升/ $T_{(3d)}$	$\leq 43^{\circ}\text{C}$
W-6	水化温升/ $T_{(3d)}$	$\leq 40^{\circ}\text{C}$

6.2.10 干燥环境下，墩台身、承台混凝土的干燥收缩率宜满足表 6.2.10 的要求。

表 6.2.10 干燥环境下混凝土的干燥收缩要求

作用等级	项目	技术要求
G-4	56d 干燥收缩率/ $\varepsilon_{(56d)}$	$\leq 400 \times 10^{-6}$
G-5	56d 干燥收缩率/ $\varepsilon_{(56d)}$	$\leq 370 \times 10^{-6}$
G-6	56d 干燥收缩率/ $\varepsilon_{(56d)}$	$\leq 340 \times 10^{-6}$

6.3 配合比设计

6.3.1 混凝土配合比的设计方法既可采用体积法，也可采用质量法。

6.3.2 混凝土配合比应按最小浆体比原则进行设计。不同等级混凝土浆体比最大值宜符合表 6.3.2 的规定

表 6.3.2 不同等级混凝土浆体比的最大值

强度等级	浆体比
C30~C50（不含 C50）	≤ 0.32
C50~C60（含 C60）	≤ 0.35
C60 以上（不含 C60）	≤ 0.38

注：1 浆体比即混凝土中水泥、矿物掺和料、水和外加剂的体积之和与混凝土总体积之比。

2 自密实混凝土单位体积浆体比不宜大于 0.40。

6.3.3 不同强度等级混凝土的胶凝材料最大用量宜符合表 6.3.3 的规定。

表 6.2.3 混凝土的胶凝材料最大用量（单位：kg/m³）

混凝土强度等级	成型方式	
	振动成型	自密实成型
<C30	360	—
C30~C35	400	550
C40~C45	450	600
C50	480	—
C55~C60	500	—

6.3.4 混凝土中应根据需要适量掺加粉煤灰、矿渣粉、硅灰或石灰石粉等矿物掺和料；硅灰掺量一般不超过胶凝材料总量的 8%，且宜与其它矿物掺和料复合使用。不同环境下混凝土中矿物掺和料的掺量宜满足表 6.3.4 的规定。

表 6.3.4 不同环境下混凝土中矿物掺和料掺量

环境类别	矿物掺和料种类	水胶比	
		≤ 0.40	> 0.40
碳化环境	粉煤灰	$\leq 40\%$	$\leq 30\%$
	矿渣粉	$\leq 50\%$	$\leq 40\%$
氯盐环境	粉煤灰	30%~50%	20%~40%
	矿渣粉	40%~60%	30%~50%
化学侵蚀环境	粉煤灰	30%~50%	20%~40%
	矿渣粉	40%~60%	30%~50%
盐类结晶破坏环境	粉煤灰	$\leq 40\%$	$\leq 30\%$
	矿渣粉	$\leq 50\%$	$\leq 40\%$
冻融破坏环境	粉煤灰	$\leq 40\%$	$\leq 30\%$
	矿渣粉	$\leq 50\%$	$\leq 40\%$
磨蚀环境	粉煤灰	$\leq 30\%$	$\leq 20\%$
	矿渣粉	$\leq 40\%$	$\leq 30\%$
大温差环境	粉煤灰	$\leq 35\%$	$\leq 25\%$
	矿渣粉	$\leq 40\%$	$\leq 30\%$
干燥环境	粉煤灰	$\leq 40\%$	$\leq 30\%$
	矿渣粉	$\leq 45\%$	$\leq 35\%$
各类环境	石灰石粉	$\leq 30\%$	$\leq 20\%$

注：1 本表规定的矿物掺和料的掺量范围适用于使用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥的混凝土；

2 本表中的掺量是指单掺一种矿物掺和料时的适宜范围，当采用多种矿物掺和料复掺时，不同矿物掺和料的掺量可参考本表，并经过试验确定；

3 严重氯盐环境与化学侵蚀环境下，混凝土中粉煤灰的掺量应大于 30%，或矿渣粉的掺量大于 50%；

4 年平均环境温度低于 15℃硫酸盐环境下，混凝土不宜使用石灰石粉；

5 对于预应力混凝土结构，混凝土中粉煤灰的掺量不宜超过 30%。

6.3.5 钢筋混凝土和预应力混凝土中矿物掺合料最大掺量尚宜分别符合表 6.3.5-1 和 6.3.5-2 的规定。

表 6.3.5-1 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（%）	
		采用硅酸盐水泥	采用普通硅酸盐水泥
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
石灰石粉	≤ 0.40	25	20
	> 0.40	20	15
天然火山灰质材料	≤ 0.40	35	25
	> 0.40	30	20
钢渣粉	—	30	20
磷渣粉	—	30	20
硅灰	—	10	10
复合掺合料	≤ 0.40	65	55
	> 0.40	55	45

注：1 采用其它通用硅酸盐水泥时，应将水泥混合材掺量 20%以上的混合材量计入矿物掺合料；

2 复合掺合料各组分的掺量不应超过单掺时的最大掺量；

3 在混合使用两种或两种以上矿物掺合料时，矿物掺合料总掺量应符合表中复合掺合料的规定；

4 采用硅酸盐水泥时，经混凝土耐久性和长期性能试验验证，复合掺合料最大掺量可放宽 5%；

5 石灰石粉不宜单独使用；

6 当采用含石粉机制砂时，石灰石粉掺量应计入机制砂中的石粉含量，并经试验验证。

表 6.3.5-2 预应力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（%）	
		采用硅酸盐水泥	采用普通硅酸盐水泥
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
石灰石粉	≤ 0.40	25	20

矿物掺合料种类	水胶比	最大掺量（%）	
		采用硅酸盐水泥	采用普通硅酸盐水泥
	>0.40	20	15
天然火山灰质材料	≤ 0.40	30	20
	>0.40	25	15
钢渣粉	—	20	10
磷渣粉	—	20	10
硅灰	—	10	10
复合掺合料	≤ 0.40	55	45
	>0.40	45	35

6.3.6 混凝土砂率宜符合表 6.3.6 的规定。

表 6.3.6 混凝土砂率

集料最大粒径 (mm)	水胶比			
	0.30	0.40	0.50	0.60
10	38%~42%	40%~44%	42%~46%	46%~50%
20	34%~38%	36%~40%	38%~42%	42%~46%
40	—	34%~38%	36%~40%	40%~44%

注：1 本表适用于采用碎石、细度模数为 2.6~3.0 的天然中砂拌制的坍落度为 80 mm~120 mm 的混凝土。

- 2 砂的细度模数每增减 0.1，砂率相应增减 0.5%~1.0%。
- 3 当使用卵石时，砂率可减少 2%~4%。
- 4 当使用机制砂时，砂率可增加 2%~4%。

7 施工及质量控制

7.1 一般规定

7.1.1 混凝土应采用拌合站集中搅拌，混凝土制品应实行工厂化生产。

7.1.2 当混凝土原材料为预拌干混料和预处理集料时，可采用专门的移动式搅拌车进行搅拌。

7.1.3 拌合站正式启用之前应进行拌合工艺试验和混凝土匀质性测试。

7.1.3 混凝土结构施工前宜通过混凝土的试浇筑，对混凝土的配合比、施工工艺、施工机具的适应性进行检验；对于重要的大体积混凝土结构，应进行有代表性的模拟试浇筑试验，测定其内部温升和内外温差，发现问题及时调整。

7.1.3 当混凝土施工经历不同季节时，宜根据气候条件选定不同的配合比，并制定相应的施工技术措施。

7.2 施工配合比调整

7.2.1 混凝土施工前，应根据粗、细集料的实际含水率计算施工配合比的用水量，确定混凝土的施工配合比。

7.2.2 混凝土施工过程中，当施工工艺及环境条件未发生明显变化，原材料的品质在合格的基础上发生波动时，可对混凝土减水剂和引气剂掺量、粗集料分级比例、砂率进行适当调整，调整后的混凝土拌合物性能应符合设计或施工要求。

7.2.3 混凝土施工过程中，当原材料品质、施工工艺等发生较大变化时，应重新对混凝土配合比进行设计。

7.3 拌合、运输、浇筑和养护

7.3.1 公路桥涵混凝土的拌合应符合下列规定：

- 1 公路桥涵混凝土应采用拌合站集中搅拌，混凝土制品应实行工厂化生产。
- 2 混凝土应采用强制式搅拌机搅拌，搅拌机的性能及维护应符合现行国家标准 GB/T 9142 的要求。当混凝土原材料为预拌干混料和预处理集料时，可采用专门的移动式搅拌车进行搅拌。
- 3 各种原材料计量设备应检定合格，各种原材料计量偏差应符合表 7.3.1 的要求。

表 7.3.1 混凝土各种原材料允许计量偏差

原材料品种	水泥	集料	水	外加剂	掺和料
每盘允许计量偏差	±2%	±3%	±1%	±1%	±2%
每车（罐）允许计量偏差 ^a	±1%	±2%	±1%	±1%	±1%

注：每车（罐）允许计量偏差是指每一车（罐）混凝土中每种原材料的总用量相对于按施工配合比计算的总用量的偏差允许值。

4 搅拌投料顺序宜为：先投入集料、水泥和矿物掺和料，搅拌均匀后，再加水和外加剂。粉体外加剂应与矿物掺和料同时加入，液体减水剂应以稀释溶液加入，其稀释用水和原液中的水量应从拌合加水量中扣除。水泥的入机温度不应高于 55℃。

5 搅拌时间是指自全部材料装入搅拌机开始搅拌至搅拌结束开始卸料为止所经历的时间。搅拌时间应根据混凝土配合比和搅拌设备情况通过试验确定，但最短不宜少于 2min。

7.3.2 公路桥涵混凝土的运输应符合下列规定：

1 运输设备的运输能力应适应混凝土凝结时间和浇筑速度的需要，保证浇筑过程连续进行。

2 运输设备应具备防止混凝土发生离析、漏浆、泌水的功能，同时也应具备防晒与防冻等功能。

7.3.3 公路桥涵混凝土的浇筑应符合下列规定：

1 混凝土拌合物在浇筑时应保持良好的工作性，混凝土拌合物入模前的工作性宜满足表 7.3.3 的要求，混凝土入模前的含气量应满足设计要求。

表 7.3.3 公路桥涵混凝土的工作性要求

结构/构件类型	混凝土类型	浇筑方式	密实方式	坍落度 mm	扩展度 mm
护坡支护、楼梯等	普通混凝土	自卸	振捣棒	≤140	/
桩、墩台、承台、梁、涵洞、 隧道衬砌、防撞墙、仰拱、挡 墙等	普通混凝土	自卸	振捣棒	≤180	/
桩、墩台、承台、梁、涵洞、 隧道衬砌、防撞墙、仰拱、挡 墙等	泵送混凝土	泵送		≤200	≤500
桩	自密实混凝土		自密实	≤240	≤650
墩柱、钢管内填充、异形构件 等				≤260	≤750

注：上述坍落度和扩展度均为浇筑时，实际工程应根据运输距离、浇筑速度、天气等合理调控拌合出机的工作性。

2 混凝土浇筑宜连续进行，不宜出现长时间的间歇，尽量避免留置施工缝。

3 混凝土的入模温度不宜超过 35℃。

4 新浇筑的混凝土与邻接硬化的混凝土或岩土、钢筋、模板等介质间的温差不应大于 15℃。

7.3.4 公路桥涵混凝土的振捣应符合下列规定：

- 1 振捣设备的类型、振捣频率和振捣强度应与混凝土结构的类型和工作性能相适应。
- 2 振捣时间应按混凝土被振捣密实、表面微泛浆的原则进行确定，避免过振。振捣间距不宜大于振捣设备所能波及的最大范围，避免漏振。

7.3.5 公路桥涵混凝土的拆模应符合下列规定：

- 1 当拆除混凝土或钢筋混凝土结构的模板时，混凝土的抗压强度不应低于 5MPa，确保其表面和棱角不受损伤或塌陷。当拆除承重混凝土结构的模板时，混凝土的强度应满足设计要求。
- 2 当拆除混凝土或钢筋混凝土结构的模板时，混凝土结构的芯部与表面、表面与环境之间的温差不应大于 20℃；梁的芯部混凝土与表面混凝土、表面混凝土与环境之间的温差不应大于 15℃；箱梁的腹板内外侧混凝土的温差不应大于 15℃。
- 3 当拆除混凝土或钢筋混凝土结构的模板后，混凝土强度未达到设计强度 75%时，混凝土不应与直接流动的水接触；混凝土强度未达到设计强度或养护时间不足 6 周时，混凝土不应与海水或盐渍土直接接触。

7.3.6 公路桥涵混凝土的养护应符合下列规定：

- 1 混凝土养护应及时进行。一般情况下，浇筑完毕 1h 内应对新浇筑混凝土进行覆盖养护或喷雾养护。除不溶物、可溶物不作要求外，养护用水的其它性能应满足拌合水的要求。不得采用海水养护混凝土。
- 2 自然养护时，混凝土浇筑完毕后的保温保湿养护时间，应满足表 7.3.6 的要求。

表 7.3.6 混凝土保温保湿的最短养护时间

水胶比	大气潮湿（RH ≥50%）， 无风，无阳光直射		大气干燥（20%≤RH < 50%）， 有风，或阳光直射		大气极端干燥（RH < 20%）， 大风，大温差	
	日平均气温 T（℃）	养护时间（d）	日平均气温 T（℃）	养护时间（d）	日平均气温 T（℃）	养护时间（d）
>0.45	5≤T<10	21	5≤T<10	28	5≤T<10	56
	10≤T<20	14	10≤T<20	21	10≤T<20	45

水胶比	大气潮湿（RH≥50%）， 无风，无阳光直射		大气干燥（20%≤RH < 50%）， 有风，或阳光直射		大气极端干燥（RH < 20%）， 大风，大温差	
	日平均气温 T（℃）	养护时间（d）	日平均气温 T（℃）	养护时间（d）	日平均气温 T（℃）	养护时间（d）
	T≥20	10	T≥20	14	T≥20	35
≤0.45	5≤T<10	14	5≤T<10	21	5≤T<10	45
	10≤T<20	10	10≤T<20	14	10≤T<20	35
	T≥20	7	T≥20	10	T≥20	28

4 蒸汽养护前，应对混凝土进行适当的静停养护，静停养护温度不应低于 5℃，静停养护时间不宜小于 4h。蒸汽养护时，蒸汽的升、降温速度不宜大于 10℃/h。蒸汽养护后，混凝土还应进行适当的保温保湿养护，预制梁脱模后的保温保湿养护时间不少于 14d，其它预制构件脱模后的保温保湿养护时间不少于 10d。

5 当环境最低温度低于 5℃时，应采取适当的保温保湿养护措施进行养护，不得直接进行洒水养护。

7.4 检验评定

7.4.1 公路桥涵混凝土工程的质量检验评定应按分项工程、分部工程、单位工程逐级进行，按《公路工程质量检测评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1-2017）的相关规定进行。

7.4.2 混凝土的强度等级必须符合设计要求。试件的取样、制作、养护及检验评定应符合现行行业标准《公路工程质量检测评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1-2017）的相关规定。

7.4.3 混凝土结构表面的非受力裂缝宽度不应大于 0.2mm，预应力混凝土结构预应力区域混凝土表面不应出现裂缝。

7.4.4 由混凝土浇筑的桥梁工程和涵洞工程中的结构、构件的质量应符合现行行业标准《公路工程质量检测评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1-2017）的相关规定。

征求意见稿

8 特种混凝土

8.1 抗冻混凝土

8.1.1 有抗冻性要求的公路桥涵混凝土的原材料应符合下列规定：

- 1 宜选用强度等级为 42.5 及以上的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，不宜使用火山灰质硅酸盐水泥。
- 2 在有氯盐或硫酸盐环境中，不得使用掺加石灰石粉的水泥。氯盐环境中不宜使用抗硫酸盐硅酸盐水泥。
- 3 混凝土中可掺加符合要求的硅灰、Ⅰ级或Ⅱ级低钙粉煤灰、磨细矿渣粉等。其中粉煤灰烧失量应满足表 8.1.1 的要求。对于氯盐冻融环境与硫酸盐环境，活性矿物掺合料中不得含有石灰石粉。

表 8.1.1 粉煤灰烧失量要求

水泥混凝土抗冻等级	≥F350	F200~F300	≤F150	试验方法
粉煤灰烧失量（%），不大于	3	5	8	GB/T 176—2008

- 4 粗集料为石灰岩碎石且用于氯盐冻融环境与硫酸盐环境时，石灰石粉含量应小于 0.5%。特大桥等重要工程应进行石灰岩低温抗硫酸盐腐蚀试验，验证其可行性。
- 5 细集料为石灰岩机制砂且用于氯盐、硫酸盐环境时，石灰石粉含量应小于 1%。重要工程应进行石灰岩低温抗硫酸盐腐蚀试验，验证其可行性。
- 6 有抗冻要求的混凝土宜掺入适量引气剂，应选用三萜皂甙、松香热聚物类或改性松香皂类引气剂，不宜使用烷基苯磺酸钠、烷基磺酸钠类、木质素磺酸盐及其他不符合使用质量要求的引气剂。
- 7 不宜使用无机盐类早强剂、防冻剂，不得使用含有碱金属或氯盐的外加剂。
- 8 选用外加剂时，应进行外加剂与胶凝材料的相容性、和易性、强度、耐久性等试验，确定外加剂的品种、复配组成，并用工程所用原材料进行配合比试验获得外加剂的最佳掺量。

条文说明

石灰石粉对水泥混凝土的抗盐冻性能有不利影响，且在低温下可能引起碳硫硅钙石腐蚀。抗硫酸盐硅酸盐水泥中的 C₃A 含量少，不利于对氯离子的吸收与固化，对钢筋防锈有不利影响。

三萜皂甙、松香热聚物类引气剂引入的气泡尺寸小、拌合物含气量稳定，对抗冻性的改善明显优于化学合成的引气剂。

部分聚羧酸盐减水剂虽然可使水泥混凝土拌合物获得较高含气量，但气泡尺寸大，不

能提高水泥混凝土的抗冻性。要求选用消泡效率高且与引气剂相容性好的消泡剂以去除聚羧酸盐减水剂引入的大气泡。

外加剂与水泥适应性的好坏，集料、活性矿物掺合料中的某些成分（如黏土、碳），不同外加剂间的相互作用，直接影响外加剂在水泥混凝土中的作用效果。故应对拟用的各种原材料进行外加剂相容性试验。相同材料，不同季节施工，则外加剂的效果也可能有较大的差异，故外加剂的掺量需要根据季节做实时调整。

常用的无机盐类早强剂、防冻剂对水泥混凝土抗冻性，特别是抗盐冻性能有不利影响。当需要使用无机盐类外加剂时，应增大含气量，以保证水泥混凝土抗冻性。

8.1.2 有抗冻性要求的公路桥涵混凝土的性能应符合下列规定：

- 1 拌合物浇筑时的含气量与硬化水泥混凝土的气泡间距系数应满足表8.1.2的要求。

表 8.1.2 引气水泥混凝土拌合物含气量与硬化水泥混凝土气泡间距系数要求

项目	抗冻等级	强度等级			
		C _a 30	C _a 40	C _a 50	≥C _a 60
设计含气量（%）	F100	3.5	3.0	2.5	2.5
	F150	4.0	3.5	3.0	2.5
	F200	4.5	4.0	3.5	2.5
	F250	5.0	4.5	4.0	3.0
	F300	5.5	5.0	4.0	3.0
	F350	6.0	5.0	4.5	3.5
	F400	—	5.5	4.5	3.5
	F450	—	5.5	5.0	3.5
气泡间距系数(μm)，≤	≤F150	320	350	370	390
	F200	300	330	350	370
	F250	280	300	330	350
	F300	260	280	310	330
	F350	240	260	290	310
	F400	—	230	260	290
	F450	—	210	240	270

注：1 表中含气量对应于粗集料最大粒径为 19mm 或 26.5mm 时的数值。当粗集料最大粒径为 9.5mm 或 16mm 时，含气量应较表中数值增加 0.5%；当粗集料的最大粒径为 31.5mm 时，含气量可较表中数值减少 0.5%。

2 表中含气量指现场入模前测得的水泥混凝土拌合物的含气量，含气量偏差应控制在-0.5%~+1.0%内。含气量的检测按《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》（JTG E30—2020）中的 T0526—2005 进行。

条文说明

气泡间距系数与水泥混凝土的抗冻性密切相关，用于施工过程中水泥混凝土的抗冻性质量控制或实体工程抗冻性评价。与现行其他规范规定的含气量、气泡系数相比较，表 4.3.3

规定的含气量有所降低，而气泡间距系数有所增大。一方面是表中的含气量由出机口测定值改为浇筑现场测定值；另一方面哈尔滨工业大学、同济大学、中国水利水电科学研究院等的研究成果以及国外的最新研究成果表明：强度较高的混凝土在较低含气量下和较高气泡间距下即可获得良好的抗冻性。此外，本细则强调使用的优质引气剂，也有主于提高混凝土拌合物含气量的稳定性、减少硬化混凝土的气泡间距系数。在确保抗冻性的前提下，适当降低含气量、增大气泡间距系数有利于保证中高强度引气混凝土的强度。

2 混凝土抗冻融循环次数试验方法、混凝土抗盐冻循环次数试验方法、混凝土含气量试验方法、混凝土气泡间隔系数试验方法应符合现行行业标准《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》（JTG 3420）的规定。

条文说明

本条款参照《混凝土质量控制标准》（GB 50164-2011）、《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ 55-2011）、《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650-2020）和《公路桥涵用耐久混凝土》（JT/T 985-2015）编制。

8.1.3 有抗冻性要求的公路桥涵混凝土的配合比应符合下列规定：

1 配合比应根据所在地区环境条件、工程特点，并结合原材料情况进行设计，应进行抗冻融性能试验验证。

2 引气水泥混凝土、设计使用年限小于30年的栏杆等可更换部件用结构水泥混凝土的最低强度等级与最大水胶比应符合表8.1.3规定。

表 8.1.3 结构引气水泥混凝土的最低强度等级与最大水胶比

抗冻等级	设计使用年限（年）						
	100		50		30		
	最低强度等级	最大水胶比	最低强度等级	最大水胶比	最低强度等级	最大水胶比	
F100	—	—	—	—	C _a 30	0.55	
F150			C _a 35	0.55		0.50	
F200	C _a 35	0.50		0.50			
F250	C _a 40	0.45	C _a 40	0.45		0.45	
F300	C _a 45	0.40	C _a 45	0.40			C _a 35
F350							
F400	C _a 50	0.36			C _a 40	0.40	
F450							

注：表中 C_a50 表示引气水泥混凝土的强度等级为 50MPa，其余类推。

条文说明：

调查发现，栏杆等部位水泥混凝土冻融破坏严重，故本细则中该类混凝土的最低强度

等级和最大水胶比按照表 4.3.2-1 中设计使用年限为 30 年进行控制。

8.1.4 有抗冻性要求的公路桥涵混凝土的施工质量控制应符合下列规定：

- 1 引气水泥混凝土应采用双卧轴混凝土搅拌机拌合，掺加引气剂或引气减水剂的水泥混凝土的拌合时间宜延长10~30s。
- 2 引气水泥混凝土拌制后应按要求检测拌合物含气量，拌合物含气量不足时应及时调整。
- 3 引气水泥混凝土的振捣时间宜控制在15~30s，不得过分振捣和抹面。施工过程中不得向水泥混凝土中加水，也不得在抹面时洒水。
- 4 引气水泥混凝土采用加热养护时，温度与湿度应满足表8.1.4的要求。

表 8.1.4 引气水泥混凝土暖棚加热养护的温度与湿度要求

温度				相对湿度
终凝前		终凝后		>80%
升温速度	最高温度	升温速度	最高温度	
≤10℃/h	≤20℃	≤15℃/h	≤50℃	

条文说明

过分振捣水泥混凝土或过多抹面将导致气泡溢出或小气泡变成大气泡，引起含气量过多损失，从而影响水泥混凝土抗冻性能。施工过程中加水将降低水泥混凝土的抗冻性能。

水泥混凝土成型、抹面结束后立即开始保温、保湿养护，防止养生过程中产生微裂纹与裂缝。

引气水泥混凝土内部含有大量气体，终凝前暖棚加热养护或蒸汽养护时，如升温速度快、温度高，可能导致水泥混凝土产生严重开裂。

8.2 抗渗混凝土

8.2.1 有抗渗性要求的公路桥涵混凝土的原材料应符合下列规定：

- 1 水泥宜采用普通硅酸盐水泥；
- 2 选用连续级配的粗骨料，其最大粒径不大于40mm，含泥量不大于1.0%，其中泥块含量不大于0.5%；
- 3 细骨料宜采用中砂，含泥量不得大于3.0%，泥块含量不得大于1.0%；
- 4 细骨料中云母含量不大于1%。
- 5 抗渗混凝土宜掺用防水剂等外加剂和矿物掺合料；粉煤灰应采用F类，并不应低于Ⅱ级。

6 外加剂宜采用膨胀剂、引气剂、减水剂。

8.2.2 有抗渗性要求的公路桥涵混凝土的抗渗等级应符合下列规定：

1 混凝土的抗渗等级应按 28d 龄期的标准试件测定，混凝土抗渗等级分为 P2、P4、P6、P8、P10 和 P12 六级。

2 结构所需的混凝土抗渗等级应根据所承受的水头、水力梯度以及下游排水条件、水质条件和渗透水的危害程度等因素确定，混凝土抗渗等级不应低于表 8.2.2 所列数值。

3 承受腐蚀性水作用的结构，混凝土抗渗等级应进行专门的试验研究，但不应低于 P4。

4 对背水面能自由渗水的素混凝土及钢筋混凝土结构构件，当水头小于 10 m 时，混凝土抗渗等级可根据表 8.2.2 中项次 3 降低一级。

5 对严寒、寒冷地区且水力梯度较大的结构，抗渗等级按表 8.2.2 中规定提升一级。

6 当结构表层设有专门可靠的防渗层时，表 8.2.2 中规定的混凝土抗渗等级可适当降低。

7 基础防渗墙等埋置在地基中的结构构件，可按表 8.2.2 中项次 3 的规定选择混凝土抗渗等级。

表 8.2.2 混凝土最低抗渗等级

项次	结构类型及运用条件		抗渗等级
1	大体积混凝土结构的下游面及建筑物内部		P2
2	大体积混凝土结构的挡水面	$H < 30$	P4
		$30 \leq H < 70$	P6
		$70 \leq H < 150$	P8
		$H \geq 150$	P10
3	素混凝土及钢筋混凝土结构构件	$i < 10$	P4
		$10 \leq i < 30$	P6
		$30 \leq i < 50$	P8
		$i \geq 50$	P10

注：H 为水头（m）；i 为水力梯度。

8.2.3 有抗渗性要求的公路桥涵混凝土的配合比应符合下列规定：

1 胶凝材料总量宜不小于 320kg/m^3 ；

2 掺用引气剂的抗渗混凝土应做含气量试验，其含气量控制在 3%~5% 的范围内。

3 砂率宜为 35%~45%；

4 最大水胶比应符合表 8.2.3 的规定；

表 8.2.3 抗渗混凝土最大水胶比

抗渗等级	最大水胶比	
	C25~C30 混凝土	C30 以上混凝土
P6	0.60	0.55
P8~P12	0.55	0.50
P12 以上	0.50	0.45

8.2.4 混凝土抗渗性试验方法应符合现行《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》（JTG 3420）的规定。试配时要求的抗渗水压值应比设计值提高 0.2MPa。

条文说明

本条款参照《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ 55）、《水运工程混凝土施工规范》（JTS202—2011）、《水工混凝土结构设计规范》（SL/T 191—2025）编制。

9.2.5 抗渗混凝土的施工与质量检验应符合现行国家标准《公路桥涵施工技术规范》（JTG 3650—2020）中的有关规定。

8.3 泵送混凝土

8.3.1 有泵送要求的公路桥涵混凝土的原材料应符合下列规定：

- 1 水泥宜选用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥；
- 2 粗骨料宜采用连续级配，其针片状颗粒含量不宜大于 10%；粗骨料的公称粒径与输送管径之比应符合表 8.3.1 的规定；

表 8.3.1 粗骨料的公称粒径与输送管径之比

粗骨料品种	泵送高度（m）	粗骨料的公称粒径与输送管径之比
碎石	<50	≤1:3.0
	50~100	≤1:4.0
	>100	≤1:5.0
卵石	<50	≤1:2.5
	50~100	≤1:3.0
	>100	≤1:4.0

3 细骨料宜采用中砂，其通过公称直径为 300μm 筛孔的颗粒含量不宜少于 15%，砂率宜为 35%~45%；

- 4 应通过试验掺用适量的泵送剂或减水剂，且宜掺用矿物掺合料。

8.3.2 有泵送要求的公路桥涵混凝土的性能应符合下列规定：

- 1 不同入泵坍落度或扩展度的混凝土，其泵送高度应符合表 8.3.2 的规定。

表 8.3.2 混凝土入泵坍落度与泵送高度关系表

最大泵送高度 (m)	50	100	200	400	400 以上
入泵坍落度(mm)	100~140	150~180	190~220	230~260	—
入泵扩展度(mm)	—	—	—	450~590	600~740

2 混凝土的性能除应符合设计要求外，尚应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 的有关规定。

8.3.3 有泵送要求的公路桥涵混凝土的配合比应符合下列规定：

- 1 计算方法参照《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55；
- 2 胶凝材料用量不宜小于 300kg/m³；
- 3 砂率宜为 35%~45%；
- 4 泵送混凝土试配时应考虑坍落度经时损失。

8.3.4 有泵送要求的公路桥涵混凝土的施工质量控制应符合下列规定：

- 1 泵送混凝土的供应，应根据技术要求、施工进度、运输条件以及混凝土浇筑量等因素编制供应方案。混凝土的供应过程应加强通信联络、调度，确保连续均衡供料。
- 2 泵送混凝土在装料、运输、卸料和输送过程中应符合现行行业标准《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10 中的有关规定。
- 3 混凝土可泵性分析、泵的选配、运输车的选配、输送管的选配以及布料设备的选配应符合现行行业标准《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10 的有关规定。
- 4 当多台混凝土泵同时泵送或与其他输送方法组合输送混凝土时，应分工明确、互相配合、统一指挥。
- 5 混凝土泵送宜连续进行。混凝土运输、输送、浇筑及间歇的全部时间不应超过国家现行标准的有关规定；如超过规定时间时，应临时设置施工缝，继续浇筑混凝土，并按施工缝要求处理。
- 6 混凝土的浇筑应符合现行行业标准《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10 的有关规定。

8.4 自密实混凝土

8.4.1 有自密实要求的公路桥涵混凝土的原材料应符合下列规定：

- 1 宜采用符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 规定的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。
- 2 配制自密实混凝土宜采用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰等活性矿物掺合料，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，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，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。当采用其他活性矿物掺合料时，可按现行国家标准《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003 的有关规定，使用前应通过试验验证。

3 粗骨料级配宜合理，最大公称粒径不宜大于 20mm；对于配筋密集、形状复杂的结构或有特殊要求的工程，最大公称粒径宜不大于 16mm。粗骨料的针、片状颗粒含量应符合表 8.4.1 的规定，其他性能应符合本规程第 5.5 节的规定。

表 8.4.1 粗骨料的针、片状颗粒含量

混凝土强度等级	≥C60	C55~C30	≤C25
针、片状颗粒含量（%）	≤5	≤10	≤15

4 细骨料宜采用满足 II 级配区要求的中砂，细骨料的性能应符合本规程第 5.4 节的规定。

5 外加剂应符合本规程第 5.6 节和现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 和《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 中的有关规定。

6 膨胀剂应符合现行国家标准《混凝土膨胀剂》GB/T 23439 的有关规定，镁质膨胀剂应符合现行协会标准《混凝土用氧化镁膨胀剂应用技术规程》T/CECS 540 的有关规定。

7 采用粘度改性剂、减缩剂等其他外加剂时，外加剂应通过试验验证。

8.4.2 有自密实要求的公路桥涵混凝土的性能应符合下列规定：

1 自密实混凝土的自密实性能、要求及适用条件应符合表 8.4.2 的规定。自密实混凝土拌合物性能试验方法应按《自密实混凝土应用技术规程》T/CECS 203-2021 附录 A 执行。

表 8.4.2 自密实混凝土拌合物性能指标

自密实性能	性能指标	技术要求	性能等级	适用条件	重要性
填充性	坍落扩展度 (mm)	550~650	SF1	无筋或少筋结构、泵送混凝土结构、无须长距离水平流动的竖向结构	控制指标
		650~755	SF2	一般的钢筋混凝土结构	
		750~850	SF3	结构紧密的竖向构件、形状复杂的结构(集料最大粒径宜不大于 16mm)	
	扩展时间 T500(s)	≥2	VS1	一般的钢筋混凝土结构	
		<2	VS2	配筋较多或有较高外观要求的钢筋混凝土结构	
间隙通过性	坍落扩展度	25<PA1≤	PA1	钢筋净距 80~100mm	可选指

自密实性能	性能指标	技术要求	性能等级	适用条件	重要性
抗离析性	与 J 环扩展度差值(mm)	50			标
		0~25	PA2	钢筋净距 60~80mm	
	离析率(%)	≤ 20	SR1	流动距离小于 5m、钢筋净距大于 80mm 的薄板结构或竖向结构	
		≤ 15	SR2	流动距离大于 5m、钢筋净距大于 80mm 的竖向结构;或流动距离小于 5m、钢筋净距小于 80mm 的竖向结构(流动距离大于 5m 时 SR 值宜小于 10%)	
	粗集料振动离析率(%)	≤ 10	f_m		

注: 1 钢筋净距小于 60mm 时宜进行浇筑模拟试验; 对钢筋净距大于 80mm 的薄板结构, 或钢筋净距大于 100mm 的其他结构可不作间隙通过性指标要求。

2 高填充性(坍落扩展度指标为 SF2 和 SF3)的自密实混凝土, 应有抗离析性要求。

3 当对抗离析试验结果有争议时, 以离析率筛析法试验结果为准。

4 坍落扩展度试验后, 混凝土拌合物不得出现外沿泌浆和中心骨料堆积现象。

2 硬化混凝土力学性能应满足设计要求, 试验方法应按现行行业标准《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》JTG 3420 有关规定执行。

3 硬化混凝土长期性能和耐久性能应满足设计要求, 试验方法应按现行行业标准《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》JTG 3420 有关规定执行。

8.4.3 有自密实要求的公路桥涵混凝土的配合比应符合下列规定:

1 自密实混凝土配合比应根据工程结构形式的特点、施工工艺, 以及环境因素对自密实混凝土的技术要求进行设计。

2 在综合考虑自密实混凝土拌合物性能、强度、耐久性以及其他必要性能要求的基础上, 应提出计算配合比, 经试验室试配、调整得出满足工作性要求的试拌配合比, 并经强度、耐久性复核得到设计配合比。

3 自密实混凝土配合比设计宜采用绝对体积法, 水胶比宜小于 0.45, 胶凝材料用量宜控制在 $400\sim 550\text{kg}/\text{m}^3$, 砂率宜为 46%~52%, 用水量宜控制在 $150\sim 200\text{kg}/\text{m}^3$, 并宜掺加高效减水剂或高性能减水剂。

4 钢管自密实混凝土配合比设计时, 宜采取减少收缩的措施。

6 配合比计算应符合现行协会标准《自密实混凝土应用技术规程》T/CECS 203-2021 第 5.0.6 条规定。

7 配合比试配应符合现行协会标准《自密实混凝土应用技术规程》T/CECS 203-2021 第 5.0.7 条规定。

8 根据得到的试配结果，确定混凝土设计配合比。实际生产时，应根据原材料的变化对设计配合比进行调整，拌合物和硬化混凝土性能均应满足相应规定。

9 对于应用条件特殊的工程，可对确定的配合比进行模拟试验。

8.4.4 有自密实要求的公路桥涵混凝土的施工质量控制应符合下列规定：

1 自密实混凝土宜采用集中搅拌方式生产，拌合时间应不少于 90s。

2 自密实混凝土入模温度不应超过 35℃，浇筑大体积混凝土结构时不宜超过 30℃。高温施工时，原材料最高入机温度应符合表 8.4.4 规定，必要时应对原材料采取控制温度措施。

表 8.4.4 原材料最高入机温度

原材料	最高入机温度(℃)
水泥	60
骨料	30
水	25
掺合料	60

3 自密实混凝土运输过程中，搅拌运输车的滚筒应保持匀速转动，速度应控制在 3r/min~5r/min，不应向罐内加水。运输车从开始接料至卸料完成的时间不宜大于 120min，若需要延长卸料时间时，应对拌合物性能进行试验验证。卸料前，搅拌运输车罐体应高速旋转 20s 以上。

4 浇筑自密实混凝土时，应根据浇筑部位的结构特点及混凝土拌合物性能选择机具与浇筑方法，并宜采取防晒、保温等措施。

5 自密实混凝土泵送施工应符合现行行业标准《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10 的有关规定，泵送应连续进行。

6 大体积自密实混凝土施工应符合现行国家标准《大体积混凝土施工标准》GB 50496 的有关规定。

7 钢管自密实混凝土结构浇筑应符合现行国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923 的有关规定。

8 自密实混凝土浇筑布料点的间距应根据拌合物性能和工程特点选择，且不宜大于 4m；相邻布料点应均匀卸料；当构件钢筋最小净距小于 35mm 时，宜缩小布料点的间距，且布料点间距宜通过试验确定。

9 自密实混凝土浇筑时的最大水平流动距离应根据浇筑部位的具体情况确定，且最大不宜超过 7m。混凝土的最大自由倾落高度，浇筑基础、实心墩、承台等无筋或少筋结构

时，宜不大于 9m；浇筑薄壁墩、梁等钢筋较密的结构时，宜不大于 5m,超过时应采用串筒、溜槽或溜管等辅助装置进行浇筑。

10 混凝土浇筑过程应分层进行，分层厚度不宜大于 500mm，上层混凝土应在下层混凝土初凝前浇筑完毕。

11 自密实混凝土的养护方案应根据混凝土性能、现场条件、环境温度和湿度、结构特点、技术要求、施工操作等因素综合确定，养护时间应不少于 14d。

12 大体积自密实混凝土养护措施应符合设计要求，当设计无具体要求时，应符合现行国家标准《大体积混凝土施工标准》GB 50496 的有关规定。对开裂有严格要求的部位应适当延长养护时间。

13 采用蒸汽养护的预制构件，养护制度应通过试验确定。

8.5 顶升法混凝土

8.5.1 有顶升要求的公路桥涵混凝土的原材料应符合下列规定：

1 宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，水泥的强度等级不应小于 42.5，水泥中氯离子含量不应大于 0.06%。

2 矿物掺合料可采用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰、石灰石粉等，粉煤灰宜采用 F 类 I 级粉煤灰，粒化高炉矿渣粉宜采用 S95 级或 S105 级，硅灰中 SiO_2 含量宜大于 90%，石灰石粉的掺量应小于 20%。

3 粗骨料宜采用连续级配，最大公称粒径不宜大于 20mm。对于钢管内配筋密集的构件，宜使用最大公称粒径不大于 16mm 的碎石或卵石，粗骨料的性质应符合本规程第 5.5 节的规定。

4 细骨料宜采用满足 II 级配区要求的中砂，细骨料的性质应符合本规程第 5.4 节的规定。

5 外加剂的性能应符合本规程第 5.6 节的规定。膨胀剂的性能应符合现行国家标准《混凝土膨胀剂》GB 23439 的有关规定；减缩剂的性能应符合现行行业标准《砂浆、混凝土减缩剂》JC/T 2361 的有关规定；在使用增稠剂和内养护剂前，应对其性能进行试验验证。

8.3.2 有顶升要求的公路桥涵混凝土的性能应符合下列规定：

1 混凝土含气量应小于 2.5%，初凝时间应大于完成浇筑一根钢管所需的时间。

2 入泵时坍落度范围宜为 20cm~26cm，扩展度宜控制为 50cm~65cm，T500 时间宜控制为 5s~20s，V 形漏斗通过时间宜控制为 10s~25s，U 形箱填充高度试验宜大于 30cm。

3 如泵送顶升施工在 6h 内完成，宜控制 3h 坍落度损失小于 3cm；如泵送顶升施工在 10h 内完成，宜控制 3h 坍落度无损失，5h 坍落度损失宜小于 3cm。

4 密闭环境下钢管内混凝土自由膨胀率宜控制为 $0\sim6\times10^{-4}$ ，其稳定收敛期宜为 60d 内。

5 管内混凝土的力学性能试验应符合现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的规定；混凝土的体积稳定性能试验应符合现行国家标准《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的规定，并应进行在密闭环境下的混凝土收缩性能和抗压强度试验；混凝土的强度评定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；混凝土的质量控制应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定。

8.3.3 有顶升要求的公路桥涵混凝土的配合比应符合下列规定：

1 混凝土配合比设计宜采用绝对体积法。

2 混凝土的水胶比宜小于 0.45，水粉比应控制在 0.80~1.15，砂率宜控制在 40%~55% 之间，且配合比应通过试验确定。

3 混凝土配合比设计应根据工程结构形式、泵送高度以及环境因素进行，并在满足混凝土自密实性能、流动性、可泵性、强度、耐久性以及其它性能要求的基础上，设计初始配合比，经试验室试配、调整得到满足顶升性能的基准配合比，经强度、耐久性验证后得到设计配合比。

3 混凝土配合比设计应按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 和现行协会标准《自密实混凝土应用技术规程》T/CECS 203-2021 进行。

4 混凝土宜掺加一定量的粉体材料和高性能减水剂。当高性能减水剂中掺有引气组分时，应控制混凝土含气量。

5 混凝土配合比设计时，应采取减少收缩的措施。

8.3.4 有顶升要求的公路桥涵混凝土的施工质量控制应符合下列规定：

1 顶升混凝土的施工应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923 的有关规定。

2 钢管混凝土泵送顶升浇筑后质量检验应符合现行国家标准《钢管混凝土拱桥技术规

范》GB 50923 中的有关规定。

8.6 水下抗分散混凝土

8.6.1 有水下抗分散要求的公路桥涵混凝土的原材料应符合下列规定：

- 1 水泥可采用矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥。水泥的初凝时间不宜早于2.5h，水泥的强度等级不宜低于42.5。
- 2 粗骨料的最大粒径不应大于导管内径的1/6、混凝土输送管的1/3和钢筋最小净距的1/4，同时不应大于31.5mm。
- 3 细骨料宜采用级配良好的中砂。
- 4 若采用矿渣水泥，由于其泌水性大且易离析，必须采取防离析（如添加抗分散剂、絮凝剂或增稠剂等）的专门措施。
- 5 为调整水下混凝土的初凝时间及流动性，可经试验掺配适量的缓凝剂、外加剂或粉煤灰。

8.6.2 有水下抗分散要求的公路桥涵混凝土的性能应符合表 8.6.2 规定：

表 8.6.2 水下抗分散混凝土的基本性能

工作性	扩展度(mm)		400~550
	30min 扩展度损失(m)		≤50
水下抗分散性	水陆成型试件抗压强度比(%)	7d	≥65
		28d	≥75
	悬浮物含量(mg/L)		<180
	pH 值		<12
力学性能	满足结构强度要求		

8.6.3 有水下抗分散要求的公路桥涵混凝土的配合比应符合下列规定：

- 1 单位用水量应根据所用的砂石情况、高效减水剂或复合型水下抗分散剂的情况和确定的扩展度值选择，在达到要求的工作性时，宜减少单位用水量。
- 2 水下抗分散混凝土胶凝材料用量不宜小于500kg/m³。
- 3 水下抗分散混凝土的扩展度不宜小于400mm，30min扩展度损失不应大于50mm。
- 4 水下抗分散混凝土的砂率宜为38%~42%，也可根据经验在保证水下抗分散混凝土的和易性和抗分散性的情况下选取最佳砂率。
- 5 有抗冻要求的水下抗分散混凝土，含气量宜为4.0%~6.0%。
- 6 水下抗分散混凝土的试验宜按现行行业标准《水下抗分散混凝土试验规程》DL/T5117的有关规定执行。

8.6.4 有水下抗分散要求的公路桥涵混凝土的施工质量控制应符合下列规定：

- 1 水下混凝土施工，当水深大于1.5m时宜采用导管法或泵压法，水下抗分散混凝土也可采用吊罐法；
- 2 水下抗分散混凝土应采用强制式搅拌机搅拌，搅拌时间应较普通混凝土延长60s以上，且搅拌机的搅拌能力应能满足在规定时间内浇筑完毕。
- 3 泵送水下抗分散混凝土时，宜采用泵送能力较大的活塞式混凝土泵，并宜适当增大管径，减少弯头和减小输送距离。
- 4 水下抗分散混凝土施工时，水下浇筑落差不宜大于500mm，流动半径不宜大于3m。
- 5 水下抗分散混凝土采用吊罐法施工时，除应符合第4条的规定外，尚应符合下列规定：
吊罐法施工可用于混凝土运距短的中小型水下工程，吊罐的结构应保证混凝土能顺畅装入和排出，罐的有效容积不宜小于0.5m³，吊罐施工应按顺序快速浇筑，不得中途停顿。
- 6 灌注时间限制：水下混凝土的灌注时间不得超过首批混凝土的初凝时间，其初凝时间应根据气温、运距及灌注时间长短等因素试验确定，并满足现场使用要求。

8.7 大体积混凝土

8.7.1 公路桥涵大体积混凝土的原材料应符合下列规定：

- 1 水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175的有关规定，当采用其他品种时，其性能指标应符合国家现行有关标准的规定。
- 2 宜选用低水化热和凝结时间长的水泥品种。宜选用强度等级为42.5的水化热低通用硅酸盐水泥，3d水化热不宜大于250kJ/kg，7d水化热不宜大于280kJ/kg。
- 3 水泥在搅拌站的入机温度不宜超过60℃。
- 4 宜掺用可降低混凝土早期水化热的外加剂和掺合料，外加剂宜采用缓凝剂、减水剂，掺合料宜采用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉等。
- 5 用于大体积混凝土水化热抑制剂的性能应符合表8.7.1的规定。

表 8.7.1 水化热抑制剂技术指标要求

序号	项目		技术要求	实验方法
1	固含量		>20%	
2	绝热温升比，混凝土人模温度 20° C 时	3d	≤75%	JTG 3420
		7d	≤80%	
3	凝结时间差	初凝时间	+ 720 min	GB 8077
		终凝时间	+ 840 min	
4	抗压强度比	7d	≥50 %	GB 8077

序号	项目	技术要求	实验方法
	28d	>100 %	
	60d	>105%	
5	氯离子含量	≤0.06 %	GB/T 176
6	PH 值	不超过生产厂控制值	GB 8077
7	收缩比(28d)	≤125%	JTG 3420
8	碱含量(按折固含量计)	*	JTG 3420

注：氯离子含量和碱含量用于计算混凝土的总氯离子含量和总碱含量。

6 细骨料应选用级配良好的洁净中砂，宜采用连续级配且孔隙率较小的粗骨料。粗骨料最大粒径在满足以下要求基础上宜选用较大值：不大于80mm；5.2 不大于构件截面最小尺寸的1/4；5.3 不大于钢筋最小净距的3/4；5.4 不大于混凝土保护层厚度的4/5；在南方地区浪溅区不大于混凝土保护层厚度的2/3。

8.7.2 公路桥涵大体积混凝土的性能应符合下列规定：

设计强度等级宜为C25～C50，宜采用混凝土60d的强度作为混凝土配合比设计、混凝土强度评定及工程验收的依据。

条文说明

由于矿物掺合料的影响，掺加矿物掺合料的混凝土强度增长时间的关系曲线与普通混凝土的关系曲线有较大的出入，与普通混凝土不同的是，掺加粉煤灰等矿物掺合料的混凝土标准养护 28d 后，强度仍有较大的增长，因此其强度按 60d 龄期取值是合理的。

8.7.3 公路桥涵大体积混凝土的配合比除应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的有关规定外，尚应符合下列规定：

- 1 水胶比不宜大于0.45；
- 2 拌合水用量不宜大于170 kg/m³；
- 3 当采用普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥时，水泥用量不宜大于300 kg/m³；
- 4 吊罐方式施工时，混凝土拌合物坍落度不宜大于180mm；溜槽方式施工时，混凝土拌合物坍落度不宜大于190mm；泵送方式施工时，混凝土拌合物坍落度不宜大于200mm；

条文说明

坍落度大小应与混凝土浇筑方式相对应，其目的是满足施工要求的同时确保混凝土硬化质量。吊罐施工时，可将混凝土坍落度控制较小，而溜槽和泵送施工其对混凝土流动性要求较高，为此，本条款细化了不同施工方式下混凝土拌合工作性能要求，规定了吊罐方式施工、溜槽方式施工和泵送方式施工分别所对应的混凝土坍落度要求。

5 粉煤灰掺量不宜大于胶凝材料总量的50%，矿渣粉掺量不宜大于胶凝材料总量的35%，粉煤灰和矿渣粉掺量总和不宜大于胶凝材料总量的50%；

6 砂率宜为38%~45%。

8.7.4 公路桥涵大体积混凝土的施工质量控制应符合下列规定：

1 施工前应根据原材料、配合比、环境条件、施工方案和施工工艺等因素，进行温控设计和温控监测设计，并应在浇筑后按该设计要求对混凝土内部和表面的温度实施监测和控制。对大体积混凝土进行温度控制时，应使其内部最高温度不高于75℃，内表温差不大于25℃，混凝土表面与大气温差不大于20℃。

条文说明

大体积混凝土在浇筑初期水泥产生大量水化热，内部温度迅速升高，体积膨胀，在凝结后混凝土表面就会出现开裂，而新浇筑的混凝土底部虽然由于受基岩或先期混凝土的约束随即产生压应力，但在混凝土硬化后期冷却收缩时，将产生拉应力，且拉应力将大于升温膨胀产生的压应力值。当拉应力超过混凝土的极限抗拉应力时，就会在其内部产生裂缝，并可能发展成为贯穿裂缝，对结构造成较大的危害，因此大体积混凝土的施工需要进行温度控制，使内部的最高温度及内表温差控制在设计要求以内。

2 大体积混凝土可分层、分块浇筑，分层、分块的尺寸宜根据温控设计的要求及浇筑能力合理确定：当结构尺寸相对较小或能满足温控要求时，可全断面一次浇筑。

3 分层浇筑时，在上层混凝土浇筑之前应对下层混凝土的顶面作凿毛处理，且新浇混凝土与下层已浇筑混凝土的温差宜小于20℃，并应采取措施将各层间的浇筑间歇期控制在7d以内。

4 分块浇筑时，块与块之间的竖向接缝面应平行于结构物的短边，并应在浇筑完成拆模后按施工缝的要求进行凿毛处理。分块施工所形成的后浇段，应在对大体积混凝土实施温度控制且其温度场趋于稳定后方可浇筑：后浇段宜采用微膨胀混凝土，并应一次浇筑完成。

条文说明

在结构相对薄弱的部位设置后浇段，对防止因拉应力过大而产生温度应力裂缝是必要的：要求后浇段在先行施工混凝土的温度场趋于稳定后再浇筑，是为使其不承受额外的拉应力。

5 大体积混凝土的浇筑宜在气温较低时进行，但混凝土的入模温度应不低于5℃：热期施工时，宜采取措施降低混凝土的入模温度，且其入模温度宜不高于28℃。

6 大体积混凝土的温度控制宜按照“内降外保”的原则，对混凝土内部采取设置冷却水管通循环水冷却，对混凝土外部采取覆盖蓄热或蓄水保温等措施进行。在混凝土内部通水降温时，进出口水的温差宜小于或等于 10°C ，且水温与内部混凝土的温差宜不大于 20°C ，降温速率宜不大于 $2^{\circ}\text{C}/\text{d}$ ；利用冷却水管中排出的降温用水在混凝土顶面蓄水保温养护时，养护水温度与混凝土表面温度的差值应不大于 15°C 。

条文说明

“内降外保”是大体积混凝土实施温度控制的基本原则，其目的是使混凝土的内部温度与外表温度之间的差值不致偏离过大，过大则将产生温度应力裂缝，进而发展成贯通裂缝。蓄水保温一般利用内部冷却降温的循环水，因经内部循环后的水，其温度能基本满足外表混凝土保温的要求。

7 拆模不宜在混凝土可能受冷击时进行。

8 大体积混凝土采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥时，其浇筑后的养护时间宜不少于14d，采用其他品种水泥时宜不少于21d。在寒冷天气或遇气温骤降天气时浇筑的混凝土，除应对其外部加强覆盖保温外，尚宜适当延长养护时间。

8.8 高强混凝土

8.8.1 高强度混凝土的原材料应符合下列规定：

1 水泥宜选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。

2 细集料宜选用质地坚硬、级配良好的中砂，细度模数应为2.6-3.0，含泥量应不大于2.0%，泥块含量应不大于0.5%；配制C70及以上强度等级混凝土时，含泥量应不大于1.5%，且不应有泥块存在，必要时应冲洗后使用。

3 粗集料宜选用质地坚硬、级配良好、无风化颗粒的碎石。粗集料的最大粒径尚不宜大于25.0mm，含泥量应不大于0.5%，泥块含量应不大于0.2%，针片状颗粒含量宜不大于5.0%；配制C80及以上强度等级混凝土时，最大粒径宜不大于20.0mm。

4 外加剂的性能应符合本规程第5.6节的规定。所采用的减水剂应为高效减水剂或高性能减水剂。

5 掺合料可选用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉和硅灰等，粉煤灰等级应不低于Ⅱ级。掺合料的性能应符合本规程第5.3节的规定。

条文说明

参照《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ55—2011）编制。

8.8.2 高强度混凝土的配合比应符合下列规定：

- 1 配合比应有利于减少温度收缩、干燥收缩和自身收缩引起的体积变形，避免早期开裂。
- 2 配制高强度混凝土所用砂率及所采用的外加剂和矿物掺合料的品种、掺量等，均应通过试验确定。
- 3 高强度混凝土的水泥用量宜不大于 500 kg/m^3 ，胶凝材料总量宜不大于 600 kg/m^3 。
- 4 当采用3个不同的配合比进行混凝土强度试验时，其中一个应为基准配合比，另外两个配合比的水胶比宜较基准配合比分别增加和减少 $0.02\sim 0.03$ 。
- 5 高强度混凝土的设计配合比确定后，尚应采用该配合比进行不少于6次的重复试验进行验证，其平均值应不低于配制强度。

8.8.3 高强度混凝土的施工质量控制应符合下列规定：

- 1 混凝土应采用强制式搅拌机拌制，不得采用自落式搅拌机搅拌。配料数量的允许偏差应符合表8.8.3中预制场或集中搅拌站拌制的规定。

表 8.8.3 配料数量的允许质量偏差

材料类别	允许偏差(%)	
	现场拌制	预制场或集中搅拌站拌制
水泥、干燥状态的掺合料	± 2	± 1
粗、细集料	± 3	± 2
水、外加剂	± 2	± 1

- 2 应准确控制用水量，粗、细集料的含水率应及时测定，并按测定值调整用水量和集料用量，不得在拌合物出机后再加水。
- 3 搅拌混凝土时高效减水剂或高性能减水剂宜采用后掺法，且宜制成溶液后再加入，并应在混凝土用水量中扣除溶液用水量，加入减水剂后，混凝土拌合料在搅拌机中继续搅拌的时间宜不少于30s。
- 4 高强度混凝土的入模温度应根据环境状况和结构所受的内、外约束程度加以限制。保湿养护的时间应不少于7d。
- 5 高强度混凝土的质量检验评定方法与普通混凝土相同
<http://ebook.chinabuilding.com.cn/zbooklib/book/detail/show?SiteID=1&bookID=133003>。此外，当采用回弹法等无损检测技术时，需遵循专门的技术规程如《高强混凝土强度检测技术规程》（JGJ/T 294-2013）等。

用词说明

为便于在执行本规程条款时区别对待，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，仅对该日期对应的版本使用本规程；不注日期的，其最新版适用于本规程。

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 18046 用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉

GB/T 14684 建设用砂

GB/T 14685 建设用卵石、碎石

GB/T 27690 砂浆和混凝土用硅灰

GB/T 18736 高强高性能混凝土用矿物外加剂

GB 8076 混凝土外加剂

GB 23439 混凝土膨胀剂

JGJ 63 混凝土用水标准

GB/T 8077 混凝土外加剂匀质性试验方法

GB/T 30190 石灰石粉混凝土

GB/T 5762 建材用石灰石、生石灰和熟石灰化学分析方法

GB/T 8074 水泥比表面积测定方法勃氏法

GB/T 9142 混凝土搅拌机

GB 10247 粘度测试方法

GB/T 12573 水泥取样方法

GB/T 17671 水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）

GB/T 21372 硅酸盐水泥熟料

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

JTG 3420 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程

JTG E42 公路工程集料试验规程

GB/T50476 混凝土结构耐久性设计规范

GB/T 50733 预防混凝土碱集料反应技术规范

JTG/T 3450 公路桥涵施工技术规范

JC/T 681 行星式水泥胶砂搅拌机

JC/T 729 水泥净浆搅拌机

JC/T 958 水泥胶砂流动度测定仪（跳桌）

JG 244 混凝土试验用搅拌机

JG/T 248 混凝土坍落度仪

JTS 202 水运工程混凝土施工规范

TB/T 3275 铁路混凝土

TB 10005 铁路混凝土结构耐久性设计规范

GBT51028 大体积混凝土温度测控技术规范