

甘肃省交通运输行业技术规程

GJGC/2026—02

盐渍土地地区小型构造物耐久性提升 技术指南

Guidelines for Improving the Durability of Small Structures in
Areas with Saline-Alkali Soil

2026-05-21发布实施

甘肃省交通运输厅 发布

目次

前 言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 符号和缩略语	3
5 盐渍土环境类别与作用等级	3
6 原材料	4
6.1 一般规定	4
6.2 胶凝材料	4
6.3 集料	6
6.4 外加剂	10
7 配合比设计	11
7.1 一般规定	11
7.2 配合比要求	11
7.3 耐久性要求	12
8 混凝土施工	15
8.1 一般规定	15
8.2 材料计量与储存	15
8.3 搅拌与浇筑	16
8.4 养护	17
8.5 检验与评定	18
8.6 特殊规定	19
附录 A（规范性）硬化混凝土气泡间距系数测试方法	21
附录 B（资料性）条文说明	23

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。

本文件由甘肃省交通运输厅提出、监督实施并归口。

本文件起草单位：甘肃省公路事业发展中心、甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司、交通运输部公路科学研究院、甘肃省酒泉公路事业发展中心。

本文件主要起草人：苗婷婷、杨晓林、毛永强、王磊、韩淋臣、刘宗杰、温得成、胡立恩、赵天宇、任国斌、李论基、林柏松、寇小舟、吴立坚、安亮、王琳、丁建强、曹青霞、蔡丽萍、贾延军、宋常军、王志。

本文件由甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司负责解释。

各单位或个人在执行本文件过程中如发现需要修改和补充之处，请随时将意见和建议反馈至甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司《盐渍土地地区小型构造物耐久性提升技术指南》编制组（地址：兰州市城关区雁北路 1689 号交通科技产业园，邮编：730030，E-mail：382991864@qq.com，电话：0931-8501101），供今后修订时参考。

盐渍土地区小型构造物耐久性提升技术指南

1 范围

本文件规定了公路工程盐渍土地区涵洞、挡土墙、路缘石、排水沟、六棱块等预制和现浇小型构造物耐久性提升技术的适用范围、原材料、配合比设计、施工等相关技术要求。

本文件适用于甘肃省范围内盐渍土地区高等级公路新建与改扩建工程中小型构造物预制与现浇应用，其它等级公路参照执行。

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 175 通用硅酸盐水泥
- GB/T 176 水泥化学分析方法
- GB/T 1346 水泥标准稠度用水量、凝结时间与安定性检验方法
- GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB/T 2847 用于水泥中的火山灰质混合材料
- 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 17671 水泥胶砂强度检验方法（ISO法）
- GB/T 18046 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
- GB/T 21372 硅酸盐水泥熟料
- 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 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 50119 混凝土外加剂应用技术规范
- GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计规范
- JTG B07-01 公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范
- JTG E30 公路水泥及水泥混凝土试验规程
- JTG F50 公路桥涵施工技术规范
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准
- JGJ 55 普通混凝土配合比设计规程
- JG/T 223 聚羧酸系高性能减水剂
- JTG/T 3310 公路工程混凝土结构耐久性设计规范
- JTG/T 3331-08 盐渍土地区公路路基设计与施工技术细则
- JTG 3432 公路工程集料试验规程
- T/CBMF 164 预制混凝土构件耐久性评价技术要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

小型构造物 small structures

预制和现浇小型混凝土构件，如涵洞、小桥、挡土墙、路缘石、排水沟、六棱块等。

3.2

盐渍土混凝土耐久性 durability of concrete with saline-alkali soil

在盐渍土环境下，混凝土构造物在预定作用、多重环境侵蚀（如氯盐渗透、硫酸盐化学侵蚀与结晶破坏、冻融循环及其协同作用）和预期的维护条件下，能够维持其结构安全性和规定使用功能的能力。

3.3

胶凝材料 cementitious material or binder

用于配制混凝土的水泥和矿物掺和料的总称。

3.4

矿物掺合料 mineral admixture

用于提升混凝土性能的辅助胶凝材料。

3.5

集料 aggregate

在混凝土中起骨架作用的填充料。

3.6

电通量 passed electric charge

在一定条件下通过混凝土规定截面积的电荷总量，用于评价混凝土抵抗水和离子等介质向内渗透的能力。

3.7

氯离子扩散系数 chloride diffusion coefficient

描述混凝土孔隙水中氯离子从高浓度区向低浓度区扩散过程的参数，用于评价混凝土抵抗氯离子侵蚀的能力。

3.8

抗冻等级 resistance class to freezing-thawing

用快冻法测得的最大冻融循环次数划分的混凝土抗冻性能的级别，用于评价混凝土抵抗冻融循环破坏的能力。

3.9

气泡间隔系数 air bubble spacing

硬化混凝土或水泥浆体中相邻气泡边缘之间的平均距离。

4 符号和缩略语

下列符合和缩略语适用于本文件。

I_p ——普通射线放射强度比，无单位；

γ ——伽马射线放射强度比，无单位；

ΔS ——掺合料流动度比，%；

H ——掺合料含水量质量分数，%。

5 盐渍土环境类别与作用等级

5.1 盐渍土地区环境类别按其对应钢筋和混凝土材料的腐蚀机理可分为5类，并按表1确定。

表1 盐渍土地区环境类别

环境类别	名称	腐蚀机理
I	一般环境	保护层混凝土碳化引起的钢筋腐蚀
II	冻融环境	反复冻融导致的混凝土损伤
III	除冰盐氯化物环境	氯盐引起钢筋锈蚀
IV	盐渍土氯化物环境	氯盐引起钢筋锈蚀
V	化学腐蚀环境	硫酸盐等化学物质对混凝土腐蚀

注1：本表参考GB/T 50476和JTG/T 3310的相关规定；
注2：一般环境指无冻融、氯化物和其他化学腐蚀物质作用环境。

5.2 盐渍土地区环境对混凝土构造物的作用程度应采用环境作用等级表达，并按表2确定。

表2 盐渍土地区环境作用等级

环境作用等级	A 轻微	B 轻度	C 中度	D 严重	E 非常严重	F 极端严重
一般环境	I-A	I-B	I-C	/	/	/
冻融环境	/	/	II-C	II-D	II-E	/
除冰盐氯化物环境	/	/	III-C	III-D	III-E	/
盐渍土氯化物环境	/	/	IV-C	IV-D	IV-E	IV-F
化学腐蚀环境	/	/	V-C	V-D	V-E	V-F

注1：本表参考GB/T 50476和JTG/T 3310的相关规定；
注2：一般环境指无冻融、氯化物和其他化学腐蚀物质作用环境。

5.3 盐渍土中氯盐含量对混凝土构造物的作用等级应采用氯作用等级表达，并按表 3 确定。

表 3 氯盐作用等级

盐种类	盐渍土氯盐含量 (mg/kg)			
	≤500	500-5000	3000-5000	≥7500
氯盐	IV-C	IV-D	IV-E	IV-F
注：本表结合实际调研数据并参考GB/T 50476和JTG/T 3310的相关要求制定。				

5.4 盐渍土盐含量对混凝土构造物的作用等级应采用盐含量作用等级表达，并按表 4 确定。

表 4 硫酸盐作用等级

盐种类	盐渍土硫酸盐含量 (mg/kg)		
	300-3000	3000-6000	≥6000
硫酸盐	V-D	V-E	V-F
注：本表结合实际调研数据并参考GB/T 50476和JTG/T 3310的相关要求制定。			

6 原材料

6.1 一般规定

6.1.1 水泥应优先选择氯离子含量低于 0.06% 的低氯水泥，避免使用高碱性水泥。掺合料宜选择矿渣粉或粉煤灰，且需通过试验验证其在盐渍土环境下的适应性。C30、C25 及 C20 混凝土，可采用矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥。

6.1.2 矿物掺和料应选用品质稳定的产品。在运输和存贮过程中应有明显标志，严禁与水泥等其它粉状材料混淆。

6.1.3 细集料应选用级配合理、质地均匀坚固、吸水率低、空隙率小的洁净天然中粗河砂，也可选用专门机组生产的人工砂。避免使用含有可溶性盐分的集料，防止盐分渗透引起的腐蚀。

6.1.4 粗集料应选用级配合理、粒形良好、质地均匀坚固、线胀系数小的洁净碎石。粗集料应采用二级或多级级配集料混配而成，粗集料应分级采购、分级运输、分级堆放、分级计量。

6.1.5 外加剂应选用质量稳定的产品，外加剂与水泥及矿物掺和料之间应具有良好的适应性。当将不同功能的多种外加剂复合使用时，外加剂之间以及外加剂与水泥之间应具有良好的适应性。

6.1.6 不同原材料应按品种、规格和检验状态分别标识存放。

6.1.7 混凝土中宜适量掺加符合技术要求的粉煤灰、磨细矿渣粉或硅灰等矿物掺和料。不同矿物掺和料的掺量应根据混凝土的环境条件、拌和物性能、力学性能以及耐久性要求通过试验确定。

6.2 胶凝材料

6.2.1 硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的技术要求应符合表 5 的规定。

表 5 水泥技术要求

序号	检验项目	技术要求	检验方法
1	比表面积 (m ² /kg)	300-350	GB/T8074
2	凝结时间 (min)	初凝 ≥ 45, 终凝 ≤ 600 (硅酸盐水泥终凝 ≤ 390)	GB/T1346
3	安定性	沸煮法合格	GB/T1346
4	抗压强度 (MPa)	3d ≥ 17; 28d ≥ 42.5	GB/T17671
5	抗折强度 (MPa)	3d ≥ 3.5; 28d ≥ 6.5	GB/T17671
6	烧失量 (%)	≤ 5.0 (P·O); ≤ 3.5 (P·II); ≤ 3.0 (P·I)	GB/T176
7	游离CaO含量 (%)	≤ 1.0	GB/T176
8	MgO含量 (%)	≤ 5.0	GB/T176
9	SO ₃ 含量 (%)	≤ 3.5	GB/T176
10	Cl ⁻ 含量 (%)	≤ 0.06	GB/T176
11	碱含量 (%)	≤ 0.60	GB/T176
12	熟料中的C ₃ A含量 (%)	≤ 8	GB/T 21372
<p>注1: 当集料具有碱-硅酸反应活性时, 水泥的碱含量不应超过0.60%; C40及以上混凝土用水泥的碱含量不宜超过0.60%;</p> <p>注2: 在氯盐环境条件下, 混凝土宜采用低氯离子含量的水泥, 不宜使用抗硫酸盐硅酸盐水泥;</p> <p>注3: 在硫酸盐化学侵蚀环境条件下, 混凝土应采用低C₃A含量的水泥, 且胶凝材料56d抗蚀系数不得小于0.8;</p> <p>注4: 助磨剂、石膏和混合材种类及掺量应符合GB175 第5.2条规定。</p>			

6.2.2 矿物掺和料粉煤灰的检验数量和检验方法应符合表 6 的规定。

表 6 粉煤灰技术要求

序号	技术要求		粉煤灰等级质量指标	
			I级	II级
1	细度 (45μm方孔筛筛余, %)		≤ 12.0	≤ 30.0
2	烧失量 (%)		≤ 5.0	≤ 8.0
3	需水量比 (%)		≤ 95	≤ 105
4	含水量 (%)		≤ 1.0	
5	游离氧化钙 (f-CaO) 质量分数 (%)	F类粉煤灰	≤ 1.0	
		C类粉煤灰	≤ 4.0	
6	三氧化硫 (SO ₃) 质量分数 (%)		≤ 3.0	
7	二氧化硅 (SiO ₂)、三氧化二铝 (Al ₂ O ₃) 和三氧化二铁 (Fe ₂ O ₃) 总质量分数 (%)	F类粉煤灰	≥ 70.0	
		C类粉煤灰	≥ 50.0	
6	密度 (g/cm ³)		≤ 2.6	
8	安定性 (雷氏法) (mm)	F类粉煤灰	/	
		C类粉煤灰	≤ 5.0	
9	强度活性指数 (%)		≥ 70.0	
10	碱含量		按Na ₂ O+0.658K ₂ O计算, 当粉煤灰应用中有	

序号	技术要求	粉煤灰等级质量指标	
		I级	II级
		碱含量要求时，由供需双方协商确定	
注1：F类粉煤灰指由无烟煤或烟煤煅烧收集的粉煤灰； 注2：C类粉煤灰指由褐煤或次烟煤煅烧收集的粉煤灰； 注3：粉煤灰技术要求的检验方法参考GB/T 1596。			

6.2.3 矿物掺和料矿渣粉的检验数量和检验方法应符合表 7 的规定。

表 7 矿渣粉技术要求

序号	技术要求		级 别		
			S105	S95	S75
1	密度 (g/cm ³)		≥2.8		
2	比表面积 (m ² /kg)		≥500	≥400	≥300
3	活性指数 (%)	7d	≥95	≥70	≥55
		28d	≥105	≥95	≥75
4	流动度比 (%)		95≤ <i>A</i> S≤200		
5	含水量 (质量分数) (%)		1.0≤ <i>H</i> ≤200		
6	氯离子 (质量分数) (%)		≤0.06		
7	不溶物 (质量分数) (%)		≤3.0		
8	放射性	<i>I</i> _p	≤1.01		
9		<i>γ</i>	≤1.0		
注：矿粉技术要求的检验方法参考GB/T 18046。					

6.2.4 矿物掺和料硅灰的检验数量和检验方法应符合表 8 的规定。

表 8 硅灰技术要求

序号	技术要求	指标
1	总碱量 (%)	≤1.5
2	SiO ₂ 含量 (%)	≥85
4	氯含量 (%)	≤0.1
5	含水率 (粉料) (%)	≤3.0
6	烧失量 (%)	≤4.0
7	需水量比 (%)	≤125
8	比表面积 (BET法) (m ² /g)	≥15
9	活性指数 (7d快速法) (%)	≥105
10	放射性 <i>I</i> _p	≤1.0
注：硅灰技术要求的检验方法参考GB/T 27690。		

6.3 集料

6.3.1 细集料的技术要求和检验要求应符合下列规定：

——细集料宜采用级配良好，质地坚硬、颗粒洁净的河砂；当河砂不易得到时，可采用符合规定的其他天然砂或机制砂；细集料不得采用海砂。细集料的技术指标应符合表 9 规定。

表 9 细集料技术要求

序号	技术要求		分类			
			I类	II类	III类	
1	有害物 质限量	云母 (%)	≤1.0	≤2.0		
2		轻物质 (%)	≤1.0			
3		有机物	合格			
4		硫化物及硫酸盐 (按SO ₃ 含量, %)	≤0.5			
5		氯化物 (以氯离子计, %)	≤0.01	≤0.02	≤0.06	
6	天然砂	含泥量 (%)	≤1.0	≤3.0	≤5.0	
7		泥块含量 (%)	0	≤1.0	≤2.0	
8	机制砂	MB值≤1.4	MB值 (%)	≤0.5	≤1.0	≤1.4%
9		或快速法	石粉含量 (%)	≤10.0		
10		试验合格	含泥量 (%)	0	≤1.0	≤2.0
11		MB值>1.4	石粉含量 (%)	≤1.0	≤3.0	≤5.0
12			含泥量 (%)	0	≤1.0	≤2.0
13	坚固性	硫酸钠溶液法试验, 砂的质量损失 (%)	≤8.0		≤10.0	
14		机制砂单级最大压碎值指标 (%)	≤20.0	≤25.0	≤30.0	
15	表观密度 (kg/m ³)		≥2500			
16	松散堆积密度 (kg/m ³)		≥1400			
17	孔隙率 (%)		≤44.0			
18	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%。			
<p>注1: 砂按产源分为天然砂、机制砂两类; 按技术指标要求分为I类、II类、III类;</p> <p>注2: 石粉含量系指机制砂中粒径小于75 μm的颗粒含量;</p> <p>注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;</p> <p>注4: 砂中不应混有杂物;</p> <p>注5: 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;</p> <p>注6: 细集料技术要求的检验方法参考JTG 3432。</p>						

——细集料的颗粒级配应符合表 10 的规定:

表 10 细集料的颗粒级配范围

序号	细集料的分类 级配区	天然砂			机制砂		
		I区	II区	III区	I区	II区	III区
/	方孔筛	累计筛余 (%)					
1	4.75mm	10-0	10-0	10-0	10-0	10-0	10-0
2	2.36mm	35-5	25-0	15-0	35-5	25-0	15-0
3	1.18mm	65-35	50-10	25-0	65-35	50-10	25-0
4	0.60mm	85-71	70-41	40-16	85-71	70-41	40-16
5	0.30mm	95-80	92-70	85-55	95-80	92-70	85-55
6	0.15mm	100-90	100-90	100-90	97-85	94-80	94-75

序号	细集料的分类 级配区	天然砂			机制砂		
		I区	II区	III区	I区	II区	III区
/	方孔筛	累计筛余 (%)					
1	4.75mm	10-0	10-0	10-0	10-0	10-0	10-0
2	2.36mm	35-5	25-0	15-0	35-5	25-0	15-0
3	1.18mm	65-35	50-10	25-0	65-35	50-10	25-0
4	0.60mm	85-71	70-41	40-16	85-71	70-41	40-16
5	0.30mm	95-80	92-70	85-55	95-80	92-70	85-55
6	0.15mm	100-90	100-90	100-90	97-85	94-80	94-75

注1: 表中除4.75 mm和0.60 mm筛档外, 其余可略有超出, 但各级累计筛余的超出值总和应不大于5%;
注2: 对砂浆用砂, 4.75mm筛孔的累计筛余量应为0%。

——细集料的级配类别应符合表 11 规定。

表 11 细集料级配类别

序号	类别	I类	II类	III类
1	细度模数	2区	1、2、3区	

注: 细度模数主要反应全部颗粒的粗细程度, 不完全反应颗粒的级配情况, 混凝土配置时应同时考虑砂的细度模数和级配。

——细集料的检验项目应符合表 12 规定。

表 12 细集料的检验要求

序号	检验项目	检验批要求				
		检验要求	特殊规定	检验要求	特殊规定	
1	颗粒级配	√	下列情况之一时, 检验一次: ①选用新选料源; ②连续使用同料源、同品种、同规格的细集料达一年; ③施工单位试验检验; 监理单位平行检验。	√	①连续进场的同料源、同品种、同规格的细集料每400m ³ (或600t) 为一批, 不足上述数量按一批计; ②施工单位每批抽样试验一次, 其中有机物含量每3月检验一次; 监理单位按施工单位抽检次数的10%进行平行检验, 但不少于一次。	
2	含泥量	√		√		
3	泥块含量	√		√		
4	云母含量	√		√		
5	轻物质含量	√		√		
6	有机物含量	√		√		
7	石粉含量 (人工砂)	MB<1.40		√		/
		MB≥1.40		√		/
8	表观密度	√		√		
9	松散堆积密度	√		√		
10	孔隙率	√		√		
11	吸水率	√		√		
12	坚固性	√		√		
13	硫化物及硫酸盐含量	√		√		
14	Cl ⁻ 含量	√		√		
15	碱活性	√	√			

6.3.2 粗集料的技术要求和检验要求应符合下列规定:

——粗集料宜采用质地坚硬、洁净、级配合理、粒形良好、吸水率小的碎石或卵石, 其技术要求应符合表 13 的规定。

表 13 粗集料技术要求

序号	技术要求		分类		
			I类	II类	III类
1	碎石压碎值指标 (%)		≤10.0	≤20.0	≤30.0
2	卵石压碎值指标 (%)		≤12.0	≤14.0	≤16.0
3	坚固性 (硫酸钠溶液法试验, %)		≤5.0	≤8.0	≤12.0
4	吸水率 (%)		≤1.0	≤2.0	
5	针片状颗粒总含量 (%)		≤5.0	≤10.0	≤15.0
6	含泥量 (%)		≤0.5	≤1.0	≤1.5
7	泥块含量 (%)		≤0	≤0.2	≤0.5
8	有害物质	有机物	合格		
		硫化物及硫酸盐 (按SO ₃ 质量计, %)	≤0.5	≤1.0	
9	岩石抗压强度 (水饱和状态, MPa)		火成岩≥80; 变质岩≥60; 水成岩≥30		
10	表观密度 (kg/m ³)		≥2600		
11	连续级配松散堆积孔隙率 (%)		≤43.0	≤45.0	≤47.0
12	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%		
<p>注1: 粗集料中不应混其它杂物;</p> <p>注2: 混凝土强度等级为C60及以上时应进行岩石抗压强度检验; 岩石的抗压强度除应满足表中要求外, 其抗压强度于混凝土强度等级之比对于C60及以上的混凝土, 应不小于2, 其余应不小于1.5. 岩石强度首先应由生产单位提供, 工程中可采用压碎值指标进行质量控制;</p> <p>注3: 当粗集料中含有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;</p> <p>注4: 采用卵石破碎成碎石时, 应具有两个及以上的破碎面, 且其破碎面面积应不小于70%;</p> <p>注5: 卵石和碎石混合使用时, 压碎值应分别按卵石和碎石控制;</p> <p>注6: 粗集料技术要求的检验方法按JTG 3432。</p>					

——粗集料的颗粒级配应符合表 14 的规定。粗集料宜根据混凝土最大粒径采用连续两级级配或连续多级配, 单粒粒级宜用满足要求的连续粒级。

表 14 粗集料的颗粒级配范围

序号	累积筛余, 按质量 (%)											
	方孔筛筛孔边长尺寸 (mm)											
	2.36	4.65	9.5	16.0	19.0	26.5	31.5	36.5	53.0	63.0	75.0	90.0
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	/	/
单级粒级	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	/	/	70-100	/	30-60	0-10

——粗集料最大粒径宜按混凝土结构情况及施工方法选取，但最大粒径不得超过结构最小边尺寸的 1/4 和钢筋最小净距的 3/4；在两层或多层密布钢筋结构中，最大粒径不得超过钢筋最小净距的 1/2，同时不得超过 75.0mm。混凝土实心板的粗集料最大粒径不宜超过板厚的 1/3 且最大不得超过 37.5mm；采用泵送混凝土时，除上述规定外，碎石不宜超过输送管径的 1/3，卵石不宜超过输送管径的 1/2.5。

——施工前应对所用的粗集料进行碱活性检验，宜避免采用有碱活性反应的粗集料。

——当混凝土结构物处于不同环境条件下，粗集料坚固性试验的结果除应符合表 13 的规定外，还应符合表 15 的规定。

表 15 粗集料的坚固性试验

序号	混凝土所处环境条件	I类 (%)
1	寒冷地区，经常处于干湿交替状态	<5
2	严寒地区，经常处于干湿交替状态	<3
3	混凝土处于干燥状态，但粗骨料风化或软弱颗粒过多	<12
4	混凝土处于干燥条件，但抗疲劳、耐磨、抗冲击要求高或强度等级大于C40	<5

注：有抗冻、抗渗要求的混凝土用硫酸钠法进行粗集料坚固性试验不合格时可再进行直接冻融试验。

6.3.3 严重腐蚀环境下采取防腐蚀强化措施时选用的钢筋阻锈剂、混凝土表面涂层、防腐蚀面层等材料应符合设计要求和相关产品规定：

——检验数量：施工单位按相关标准规定进行检验；监理单位见证检验或平行检验；

——检验方法：施工单位检验全部质量证明文件并按批进行抽样试验；监理单位检验全部质量证明文件并按批并进行见证检验或平行检验。

6.4 外加剂

6.4.1 减水剂应选择高效减水剂或高性能减水剂，宜采用聚羧酸系减水剂；采用的减水剂应具有保证混凝土坍落度经时损失不大于 30mm/h 的能力。

6.4.2 减水剂技术要求和检验要求应符合 GB8076 和 JG/T223 的相关规定，且氯离子含量应小于 0.6%；减水剂用于机制砂混凝土时应符合 GB 50119 的规定。

6.4.3 减水剂应与水泥、掺合料、集料有良好的适应性，该适应性可采用混凝土拌合物性能和力学性能对比试验加以确定，适应性试验结果应满足工程的要求。

6.4.4 当采用石粉含量较小的机制砂制备 C30 以下强度等级的混凝土时，宜在减水剂中掺入适量的增粘组分，以提高混凝土拌合物的包裹性能，避免因胶凝材料较少使得混凝土出现黏聚性差、离析和泌水等现象。

6.4.5 当采用细集料石粉含量大于等于 5%时，宜在减水剂中掺入降粘组分和引气组分，降低拌合物的粘度，增大流动性，提高工作性能。

7 配合比设计

7.1 一般规定

7.1.1 混凝土配合比应根据设计使用年限、环境条件和施工工艺等进行设计。混凝土力学性能试验试件养护龄期一般为 28d，混凝土耐久性能试验试件养护龄期一般为 56d。配合比选定试验应提前进行，以便后续进行配合比调整及长期耐久性能测试。

7.1.2 当混凝土原材料和施工工艺发生变化时，必须重新选定配合比。当施工工艺和环境条件未发生明显变化、原材料的品质合格性发生波动时，可对混凝土外加剂用量、粗集料分级比例、砂率进行适当调整，调整后混凝土的拌和物性能应与原配合比性能一致。

7.1.3 对含气量要求大于等于 4.0% 的混凝土，必须采取减水剂和引气剂双掺方式进行配制。

7.1.4 混凝土拌合前，应测定砂、含水率，并根据测试结果和理论配合比，确定施工配合比；应对首盘混凝土的坍落度、含气量、泌水率、均质性和拌和物温度等进行测试。

7.2 配合比要求

7.2.1 钢筋混凝土中由水泥、矿物掺和料、集料、外加剂和拌和用水等引入的氯离子总含量不应超过胶凝材料总质量的 0.10%；预应力混凝土氯离子总含量不应超过胶凝材料总质量的 0.06%；三氧化硫含量不应超过胶凝材料总质量的 4.00%。

7.2.2 不同作用环境下混凝土矿物掺和料用量宜按表 16 的规定执行。使用普通硅酸盐水泥、矿渣水泥时，应将水泥原有矿物掺和料与配置混凝土时加入的矿物掺和料用量一起计算。

表 16 不同作用环境下混凝土矿物掺和料用量范围

环境类别	水胶比	粉煤灰 (%)	矿粉 (%)	硅灰 (%)
I	≤0.4	≤30	≤50	≤5
	>0.4	≤20	≤30	≤3
II	≤0.4	≤30	≤40	≤5
	>0.4	≤20	≤30	≤3
III	≤0.4	30-50	50-80	5-8
	>0.4	20-40	30-60	3-6
IV	≤0.4	≤40	≤50	≤6
	>0.4	≤30	≤40	≤4
V	≤0.4	30-50	40-60	5-10
	>0.4	20-40	30-50	3-8

注 1：表中用量为矿物掺和料占胶凝材料质量百分比；
注 2：本表规定矿物掺和料的掺量范围仅限于使用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥的混凝土；
注 3：以硫酸盐为主的 V 类化学腐蚀环境和 IV 类氯化物腐蚀环境，宜掺入矿渣粉。

7.2.3 应限制每立方米混凝土中胶凝材料的最低和最高用量，在保证强度的前提下，宜减少胶凝材料中的硅酸盐水泥用量。混凝土的最大水胶比和单位体积胶凝材料用量应满足表 17 的要求。

表 17 混凝土的最大水胶比和最小胶凝材料用量

序号	混凝土强度等级	最大水胶比	最小水泥用量 (kg/m ³)	最大胶凝材料用量 (kg/m ³)
1	C25	0.55	275	400
2	C30	0.55	280	400
3	C35	0.50	300	400
4	C40	0.45	320	450
5	C45	0.40	340	450
6	C50	0.36	360	480
7	C55	0.32	380	500
8	C60	0.30	400	530

注：大掺量矿物掺合料混凝土的水胶比不应大于 0.42。

7.2.4 泵送混凝土的配合比应符合下列规定：

——胶凝材料用量宜不小于 300 kg/m³，水泥宜选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥；细集料宜采用中砂，且通过 300μm 筛孔的颗粒含量宜不少于 15%，砂率宜为 35%-45%；粗集料宜采用连续级配，其针片状颗粒含量宜不大于 10%，粗集料的最大公称粒径与输送管径之比应符合表 18 的规定。

表 18 粗集料的最大公称粒径与输送管径之比

粗集料品种	泵送高度 (m)	粗集料的最大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

——应通过试验掺用适量的泵送剂或减水剂。

——试配时应着重考虑坍落度经时损失。

7.3 耐久性要求

7.3.1 盐渍土地区混凝土配合比设计应根据使用年限、环境条件和施工工艺等进行，并通过计算、试配、试件检测和中试浇筑后确定。

——混凝土配合比选定试验的方法和计算项目应符合表 19 的规定。

表 19 混凝土配合比选定试验的检验

序号	检测项目	检定方式	备注
1	坍落度或维勃稠度	GB/T 50080	基本检验项目
2	泌水率		
3	凝结时间		
4	抗压强度	GB/T 50081	

序号	检测项目	检定方式	备注
5	电通量	GB/T 50082	
6	含气量	GB/T 50080	
7	弹性模量	GB/T 50081	仅对预应力混凝土或当设计有要求时
8	抗冻指数	GB/T 50082	仅对处于冻融破坏环境的混凝土或对耐久性有特殊要求的混凝土
9	气泡间距系数	附录A	仅对处于冻融破坏、盐类结晶破坏环境的混凝土
10	氯离子扩散系数	GB/T 50082	仅对处于氯盐环境的混凝土
11	56d抗硫酸盐结晶破坏等级	GB/T 50082	仅对处于盐类结晶破坏环境的混凝土
12	胶凝材料抗蚀系数	/	仅对处于硫酸盐化学侵蚀环境的混凝土
13	抗渗等级	GB/T 50082	仅对处于硫酸盐化学侵蚀环境的混凝土
14	碱含量	所有原材料碱含量之和	基本计算项目
15	三氧化硫含量	所有原材料三氧化硫含量之和	
16	氯离子含量	所有原材料氯离子含量之和	

——检验数量：施工单位应对同强度等级的混凝土进行一次配合比选定试验；当使用的原材料、施工工艺发生变化时，应重新进行配合比选定试验；监理单位应检查全部项目。

——检验方法：施工单位应进行配合比选定试验；监理单位应检查确认配合比选定报告。

7.3.2 盐渍土地区混凝土耐久性检验项目指标要求如下：

——冻融破坏环境下，混凝土气泡间距系数应小于 280 μm，混凝土的抗冻耐久性指数应满足表 20 的要求。

表 20 混凝土抗冻耐久性指数

序号	环境类别	100年 (%)		50年 (%)	
		高度饱水	重度饱水	高度饱水	重度饱水
1	严寒地区	80	70	70	60
2	寒冷地区	70	60	60	50
3	微冻地区	60	60	50	45
<p>注 1：抗冻耐久性指数 (DF) 为混凝土试件 300 次快速冻融循环后混凝土的动弹模量 (E_1) 与其初始值 (E_0) 的比值, $DF=E_1/E_0$; 如达到 300 次循环之前 E_1 已降至初始值的 60 %或试件重量损失已达到 5%, 以此时循环次数 N 计算 DF 值, 并取 $DF=(N/300) \times 0.6$;</p> <p>注 2: 混凝土的抗冻耐久性应按现行国家标准 GB/T 50082 规定的快冻法进行检验。</p>					

——盐渍土地区不同环境作用等级和设计年限的混凝土抗氯离子渗透性能应满足表 21 的要求。

表 21 混凝土抗氯离子渗透性能

序号	评价指标	环境作用等级					
		100年			50年		
		III-D/IV-D	III-E/IV-E	III-F/IV-F	III-D/IV-D	III-E/IV-E	III-F/IV-F
1	混凝土氯离子扩散系数	<7	<5	<4	<9	<7	<5

	DRCM ($\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)						
2	电通量 (C)	<1200	<800	<800	<1500	<1200	<800
注1: 混凝土的氯离子扩散系数和电通量应按现行国家标准 GB/T 50082 规定方法进行检验;							
注2: 测定氯离子扩散系数(DRCM)时混凝土试样龄期为28d; 测定电通量试验混凝土试样龄期为56d。							

——盐渍土地区不同环境作用等级混凝土内游离氯离子总含量不应高于表 22 中要求。

表 22 游离氯离子含量

序号	环境类别与作用等级	钢筋混凝土 (%)	预应力混凝土 (%)
1	II、III、IV	0.10	0.06
2	I-B、I-C、IV	0.20	
3	I-A、IV	0.30	
注: 以胶凝材料质量百分数计。			

——盐渍土地区混凝土应严格限制单位体碱含量, 最大碱含量应不大于表 23 中的要求。

表 23 盐类结晶破坏环境下混凝土碱含量

序号	环境条件	碱含量 (kg/m^3)
1	干燥环境 (相对湿度<75%)	3.0
2	潮湿环境 (相对湿度 \geq 75%)	
3		集料有活性
注: 混凝土中的碱含量指所有组分碱物质含量之和, 以等效 Na_2O 当量的水溶碱计。		

——单位体积混凝土中的硫化物及硫酸盐含量 (以 SO_3 计) 不应超过胶凝材料总质量的 4%。

——盐渍土地区不同环境作用等级和设计年限的混凝土抗硫酸盐冻融循环性能应满足表 24 中的要求。

表 24 冻融破坏环境下混凝土抗硫酸盐性能

序号	环境作用等级	抗硫酸盐结晶破坏等级	
		100年	50年
1	V-D	$\geq \text{KS90}$	$\geq \text{KS60}$
2	V-E	$\geq \text{KS120}$	$\geq \text{KS90}$
3	V-F	$\geq \text{KS150}$	$\geq \text{KS120}$
注1: 混凝土抗硫酸盐结晶破坏等级以混凝土抗压强度耐蚀系数下降不低于 75%时的最大干湿循环次数来确定, 并以符号 KS 来表示;			
注2: 混凝土抗硫酸盐结晶干湿循环次数应按 GB/T 50082 规定的快冻法进行检验。			

——磨蚀环境下应对混凝土耐磨性技术要求进行专门研究和规定。

——对于特别重要的公路混凝土结构, 应对混凝土的抗裂性、护筋性指标进行专门试验研究。

8 混凝土施工

8.1 一般规定

8.1.1 混凝土工程施工前，施工单位应根据设计要求、工程性质、结构特点、环境条件等，制定严密的施工技术方案。

8.1.2 混凝土应采用强制式搅拌机集中搅拌，计量系统应定期检定。搅拌机经大修、中修或迁移至新的地点后，应重新检定计量设备；每一工班正式拌合生产前须安装计量监控系统。

8.1.3 混凝土运输设备的运输能力应适应混凝土凝结速度和浇筑速度需要以保证浇筑连续进行。

8.1.4 混凝土运输、浇筑及间歇的全部时间不应超过混凝土的初凝时间。

8.1.5 混凝土采用泵送方式时应符合下列规定：

——混凝土的供应应使泵送设备连续工作，泵送的间歇时间不宜超过 15 min。

——输送管应顺直，转弯处应圆缓，接头处应严密不漏气。

——向低处泵送混凝土时，应采取防止混凝土离析或堵塞输送管的必要措施。

8.1.6 除水下混凝土外，在盐渍土地区，混凝土浇筑时应避免大温差。应严格控制施工缝的设置，防止水分渗透和盐分侵蚀。

8.1.8 混凝土浇筑过程中应根据混凝土流动性、结构物特点、钢筋间距等选择合理的振捣方式。

8.1.9 应制定明确的方案对混凝土浇筑时的模板温度、拌和物入模温度、拆模温度及养护过程中温度进行检测和控制。

8.1.10 混凝土养护用水除满足拌和用水要求外，水中氯离子和硫酸根离子含量应分别小于 3500mg/L 和 2700mg/L。

8.1.11 混凝土拆模后强度低于设计强度 50%或龄期不足 7d 时新浇混凝土不得与流水接触；在盐渍土地区混凝土拆模后应严禁避免与含盐水接触，防止盐分引起钢筋腐蚀和混凝土表面劣化；当环境水具有侵蚀作用时，应保证混凝土在 10d 以内且强度达到设计强度的 70%以前不受水的侵袭。

8.2 材料计量与储存

8.2.1 混凝土配料宜采用自动计量装置，计量器具应定期标定，迁移后应重新进行标定。拌制混凝土所用各项固体原材料应按质量进行计量投料，水和液体外加剂可按体积或质量进行计量投料，原材料允许质量偏差应符合表 25 的规定。

表 25 配料数量的允许质量偏差

序号	材料类别	允许偏差 (%)	
		现场拌制	预制场或集中搅拌站拌制
1	水泥、矿物掺和料	±2	±1
2	粗、细集料	±3	±2
3	外加剂、拌和用水	±2	±1

注：各种衡器应定期检定，每次使用前应进行零点校核，保证计量准确。

8.3 搅拌与浇筑

8.3.1 混凝土拌制前，应测定集料含水率，并根据测试结果及时调整施工配合比；雨天时应增加集料含水率检测次数，当集料含水率大于等于 6.0 %时应停止拌合。

8.3.2 混凝土拌合物应搅拌均匀、颜色一致，不得有离析和泌水现象；对集中拌制的混凝土应检验拌合物的均匀性，检测时应从搅拌机卸料的 1/4-3/4 之间部位取样，试验结果应符合下列规定：

——混凝土密度两次测试值的相对误差应不大于 0.8%。

——单位体积混凝土中粗集料含量两次测试值的相对误差应不大于 5%。

——检验数量：施工单位每拌制 50m³ 或每工作班测试不应少于两次；监理单位全部检查测试结果。

——检验方法：施工单位进行均匀性测试；监理单位见证试验。

8.3.3 混凝土拌制过程中，应对混凝土拌和物的坍落度进行测定，测定值应在理论配合比坍落度控制范围内。混凝土拌合物的坍落度及经时损失，宜在搅拌地点和浇筑地点分别取样，评定时应以浇筑地点测试值为准。

——检验数量：施工单位每拌制 50m³ 或每工作班测试不应少于两次；监理单位全部检查测试结果。

——检验方法：施工单位进行坍落度测试；监理单位见证试验。

8.3.4 混凝土拌和物入模含气量应满足设计要求，当设计无要求时应满足表 26 的规定。

表 26 混凝土含气量的最低限值

序号	集料最大粒径 (mm)	含气量范围 (%)	集料最大粒径 (mm)	含气量范围 (%)
1	10.0	5.0-8.0	31.5	3.5-6.5
2	20.0	4.0-7.0	40.0	3.0-6.0
3	25.0	3.5-7.0	/	/

注 1：泵送混凝土含气量应控制在 5.0%-7.0%；

注 2：当要求的含气量为某一定值时，其检测结果与要求值的允许偏差范围应为±1.0%；当含气量要求值为范围值时，检测结果应满足规定的范围。

——检验数量：施工单位每拌制 50 m³ 混凝土或每工作班测试不应少于一次；监理单位全部检查测试结果；

——检验方法：施工单位进行含气量试验；监理单位见证试验。

8.3.5 混凝土的入模温度不宜高于 28℃。冬期施工时混凝土的出料温度不宜低于 10℃，混凝土的入模温度不应低于 5℃。

——检验数量：施工单位每工作班至少检测 3 次并记录；监理单位至少检测 1 次；

——检验方法：温度测试。

8.3.6 新浇筑混凝土入模温度与邻接的已硬化混凝土或其他介质表面温度差不得大于 15℃。

——检验数量：施工单位每部位检测 1 次并记录；监理单位每部位检测 1 次；

——检验方法：温度测试。

8.3.7 当施工环境温度高于 35℃时应满足高温施工特殊规定：

——宜在早晨或晚上进行超高性能混凝土施工，避免高温对超高性能混凝土影响，夜间施工应配备良好的照明措施，确保施工安全；

——应随时检测原材料和拌合物温度，拌合物温度高于 40℃时不可继续施工；

——应加快浇筑速率，防止高温加速水分蒸发对拌合物性能影响；施工完成后应在表面喷水雾，并覆盖塑料膜和土工布以减缓水分蒸发。

8.3.8 混凝土施工温度不应低于 5℃，当温度范围为 5℃-15℃时，应先制定保温措施并满足低温施工特殊规定：

——应加快搅拌运输车搅拌速率，避免低温导致拌合物工作性能损失；

——混凝土终凝后宜采取蒸汽养护措施，养护温度宜高于 20℃，不应采用电热风等干热养护措施。

8.3.9 在施工缝处新浇混凝土之前应对已硬化混凝土表面进行凿毛处理并充分湿润。凿毛后露出新鲜混凝土面积不低于 75%。不同凿毛工艺下混凝土应达到下列强度：

——水冲洗凿毛时混凝土强度不低于 0.5 MPa；

——用人工凿毛时混凝土强度不低于 2.5 MPa；

——用机械凿毛时混凝土强度不低于 10 MPa；

——检验数量：施工单位、监理单位全部检查；

——检验方法：观察和丈量。

8.4 养护

8.4.1 混凝土浇筑完毕后应按标准规定和施工技术方案及时采取养护措施，并应符合下列规定：

——养护期间混凝土内部温度不宜超过 60℃，不得大于 75℃，混凝土内外温差不大于 25℃；混凝土表面与环境温差不宜大于 20℃（梁体混凝土不宜大于 15℃）；养护用水与混凝土表面温差不得大于 15℃。

——蒸汽养护期间，混凝土外部环境温度不应低于 5℃；蒸汽的升温和降温速度不宜大于 10℃/h；蒸汽养护的预制构建脱模后的保温保湿养护时间不应少于 3d。

——检验数量：选择有代表性部位进行测温。

——检验方法：测温并记录。

8.4.2 拆模时混凝土内部与表面、表面与环境之间的温差不得大于 20℃，大风天气及气温骤降时不得拆模。

——检验数量：选择有代表性部位进行测温。

——检验方法：测温并记录。

8.5 检验与评定

8.5.1 混凝土的强度等级必须符合设计要求，力学性能养护试件龄期为 28d，养护试件应在混凝土浇筑地点或拌合地点随机抽样制备。

——检验数量：施工单位按标准 GB/T 50081 要求进行强度评定。

——检验方法：施工单位测定混凝土弯拉和抗压强度；监理单位检查试验报告并旁站。

8.5.2 混凝土同条件养护试件的抗压强度必须满足设计要求，抗压强度同条件养护试件的留置组数应按设计或标准要求确定。

——检验数量：施工单位按设计或标准规定数量进行检验；监理单位按施工单位检验次数 10% 进行平行检验但至少一次。

——检验方法：施工单位进行混凝土抗压强度试验；监理单位检查混凝土抗压强度试验报告并进行平行检验。

8.5.3 当设计对混凝土的弹性模量有要求时弹性模量必须符合设计要求。弹性模量试件应在混凝土浇筑地点随机抽样制作，试件数量应符合下列规定：

——同条件养护弹性模量试件不得少于一组。

——标准条件养护弹性模量试件不得少于一组。

——检验数量：施工单位按规定制作弹性模量试件。

——检验方法：施工单位进行混凝土弹性模量试验；监理单位检查试验报告。

8.5.4 混凝土电通量耐久性能检测应符合下列规定：

——电通量标准条件养护试件龄期为 56d，试件应在混凝土浇筑地点随机抽样制作。

——检验方法：施工单位按 GB/T 50082 进行混凝土电通量试验；监理单位检查试验报告。

8.5.5 混凝土抗冻耐久性能检测应符合下列规定：

——当设计对混凝土抗冻等级有要求时应符合设计要求；抗冻性标准条件养护试件龄期为 28d，抗冻试件应在混凝土的浇筑地点随机抽样制作。

——检验方法：施工单位按 GB/T 50082 规定进行混凝土抗冻试验；监理单位检查试验报告。

8.5.6 混凝土氯离子扩散系数耐久性能检测应符合下列规定：

——氯离子扩散系数试验标准条件养护试件龄期为 56d，试件应在混凝土的浇筑地点随机抽样制作。

——检验方法：施工单位按 GB/T 50082 中快速氯离子迁移系数方法进行混凝土氯离子扩散系数试验；监理单位检查试验报告。

8.5.7 混凝土抗硫酸盐类结晶破坏耐久性能检测，应符合下列规定：

——混凝土抗硫酸盐类结晶破坏试验标准条件养护试件龄期为 56d，试件应在混凝土的浇筑地点随机抽样制作。

——检验方法：施工单位按 GB/T 50082 中抗硫酸盐侵蚀试验方法进行混凝土抗硫酸盐类结晶破坏试验；监理单位检查试验报告。

8.5.8 混凝土胶凝材料抗蚀系数检测应符合下列规定：

——混凝土胶凝材料抗蚀系数试验标准条件养护试件的试验龄期为 56d，试件应在混凝土的浇筑地点随机抽样制作，试件的取样与留置频率应符合检验使用要求。

——检验方法：施工单位按胶凝材料抗硫酸盐侵蚀性能快速试验方法进行混凝土胶凝材料抗蚀系数试验；监理单位检查试验报告。

8.5.9 混凝土气泡间距系数检测应符合下列规定：

——混凝土气泡间距系数试验标准条件养护试件的试验龄期为 28d，试件应在混凝土的浇筑地点随机抽样制作。

——检验方法：施工单位按附录 A 规定的方法进行混凝土气泡间距系数试验；监理单位检查试验报告。

8.5.10 混凝土抗渗性能检验检测，应符合下列规定：

——抗渗标准条件养护试件龄期不少于 28d，不超过 90d，宜控制为 56d，抗渗试件应在混凝土的浇筑地点随机抽样制作。

——检验数量：施工单位每 5000m³ 同配合比、同施工工艺的混凝土应至少制备抗渗性试件一组。

——检验方法：施工单位按 GB/T 50082 规定进行混凝土抗渗试验；监理单位检查试验报告。

8.5.11 对于同一工程和同一配合比的混凝土，检验批次不少于一个，且同一检验批次混凝土的强度等级、龄期、生产工艺和配合比应相同。

8.6 特殊规定

8.6.1 当项目昼夜平均气温连续 3d 低于 5℃或最低气温低于-3℃时应采取冬期施工措施；冬期施工期间，混凝土强度达到设计强度的 40%以前不得受冻；采用矿渣硅酸盐水泥配置的混凝土，混凝土强度达到设计强度 50%以前不得受冻；冻融循环作用环境的混凝土在强度达到设计强度的 80%之前不得受冻；当工地昼夜平均气温高于 30℃时，应采取夏期施工措施。

8.6.2 混凝土表面涂层等防腐蚀强化措施施工质量应符合设计要求和相关标准规定：

——检验数量：施工单位按 JTG B07-01 的规定进行检验；监理单位按施工单位检验数量的 10%进行见证检验，但至少一次；

——检验方法：施工单位按 JTG B07-01 规定进行抽样试验；监理单位见证检验并检查试验报告。

8.6.3 普通混凝土结构表面非受力裂缝宽度不得大于 0.20mm，预应力混凝土结构预应力区域混凝土表面不得出现裂缝。

——检验数量：施工单位、监理单位全部检查；

——检验方法：观察、测量。

8.6.4 混凝土结构外形尺寸偏差和检验方法及外观鉴定，遵照现行 JTG F80/1 的规定执行。

附录 A

(规范性)

硬化混凝土气泡间距系数测试方法

A.1 说明

A.1.1 本附录规定了混凝土气泡间距系数的测试方法。

A.1.2 本附录通过测定硬化混凝土中气泡的数量、大小和间距，用以计算混凝土的含气量、气泡比表面积和间距系数等气泡参数，以研究混凝土的抗冻性能和鉴定外加剂的引气性能等。也适用于混凝土工程抗冻性调查。

A.2 仪器设备要求

A.2.1 测量显微镜：放大 80-128 倍，具有目镜测微尺和物镜测微尺（非固定附件，用以率定目镜测微尺）。目镜测微尺最小读数为 10 μm 。载物台能纵、横向移动，移动范围分别不小于 50 mm 和 100 mm。

A.2.2 显微镜照明灯：聚光型灯。

A.2.3 其他：切片机、片机、抛光机等。

A.3 测试步骤

A.3.1 每组至少 3 个试件。试件的观测面应与浇筑面相垂直。最小观测总面积和最小导线总长度应符合表 A.1 的规定。

表 A.1 最小观测面积及最小导向总长度

序号	骨料最大粒径 (mm)	最小观测总面积 (mm^2)	最小导向总长度 (mm)
1	80	50000	3000
2	40	17000	2600
3	30	11000	2500
4	20	7000	2300
5	10	6000	1900

注：如混凝土内骨料或大孔隙分布很不均匀，应适当增大观测面积。当在一个凝土试样中取几个加工表面时，两加工表面的间距应大于骨料最大粒径的 1/2。

A.3.2 从试样上锯下试件后，洗刷干净，将观测面分别采用 400 号和 800 号金刚砂仔细研磨。每次完后应洗刷干净，再进行下次研磨。最后在抛光机转盘的呢料上涂刷氧化铬，进行抛光，再洗刷干净，在 105 $^{\circ}\text{C}$ \pm 5 $^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干，然后置于显微镜下试测。当强光低入射角照射在观测面上，观测到表面除了气泡截面和骨料孔隙外，基本是平的，气泡边缘清晰，并能测出尺寸为 10mm 的气泡截面，即可认为该观测截面已加工合格。

A.3.3 观测前用物镜测微尺校准目镜测微尺刻度。在观测面两端，附贴导线间距标志，使选定的导线长度均匀地分布在观测面范围内。调整观测面的位置，使十字丝的横丝与导线重合，然后用目镜测微尺进行定量测量。从第一条导线起点开始观察，分别测量并记录视域中气泡个数及测微

尺所截取的每个气泡的弦长刻度值。根据工作需要，也可增测气泡截面直径。第一条导线测试完后再按顺序进入第二、三、四……条导线，直至测完规定的导线长度。

A.4 试验结果处理

A.4.1 气泡平均弦长按式 (A.1) 计算：

$$l = \sum l / n \dots\dots\dots (A.1)$$

A.4.2 气泡比表面积按式 (A.2) 计算：

$$\alpha = 4 / l \dots\dots\dots (A.2)$$

A.4.3 气泡平均半径按式 (A.3) 计算：

$$r = 3l / 4 \dots\dots\dots (A.3)$$

A.4.4 硬化混凝土中空气含量按式 (A.4) 计算：

$$A = \sum l / T \dots\dots\dots (A.4)$$

A.4.5 1000 mm³ 混凝土气泡个数按式 (A.5) 计算：

$$n_v = 3A / 4\pi r^3 \dots\dots\dots (A.5)$$

A.4.6 混凝土间距系数按式 (A.6) 和 (A.7) 计算：

——当混凝土中浆气比 $P/A > 4.34$ 时：

$$L = 3A/4n_1 \cdot [1.4(P/A + 1)^{1/3} - 1] \dots\dots\dots (A.6)$$

——当混凝土中浆气比 $P/A \leq 4.34$ 时：

$$L = P / 4n_1 \dots\dots\dots (A.7)$$

式中： l ——气泡平均弦长，mm；

$\sum l$ ——全导线所切割的气泡弦长总和，mm；

n ——全导线所切割的气泡总个数；

α ——气泡比表面积，mm²/mm³；

r ——气泡平均半径，mm；

n_v ——1000mm³ 混凝土中的气泡个数；

A ——硬化混凝土的空气含量（体积比）；

T ——导线总长，mm；

P ——试件混凝土中胶凝材料浆体含量（体积比，不包括空气含量）；

n_1 ——平均每 10mm 导线切割的气泡个数；

L ——气泡间距系数，mm。

——计算结果取 3 位有效数字。

附录 B

(资料性)

条文说明

B.1 说明

B.1.1 本附录对甘肃省盐渍土的调研和分析情况给出相应的解释说明。

B.1.2 本附录针对甘肃省盐渍土地区小型构造物的典型应用案例，提供了相应的数据支撑。

B.2 甘肃省盐渍土调研情况

B.2.1 甘肃省盐渍土面积约 3 万平方公里，占全省面积 4.0%，主要分布在河西地区；全国盐渍土分布情况如图 B.1 所示。

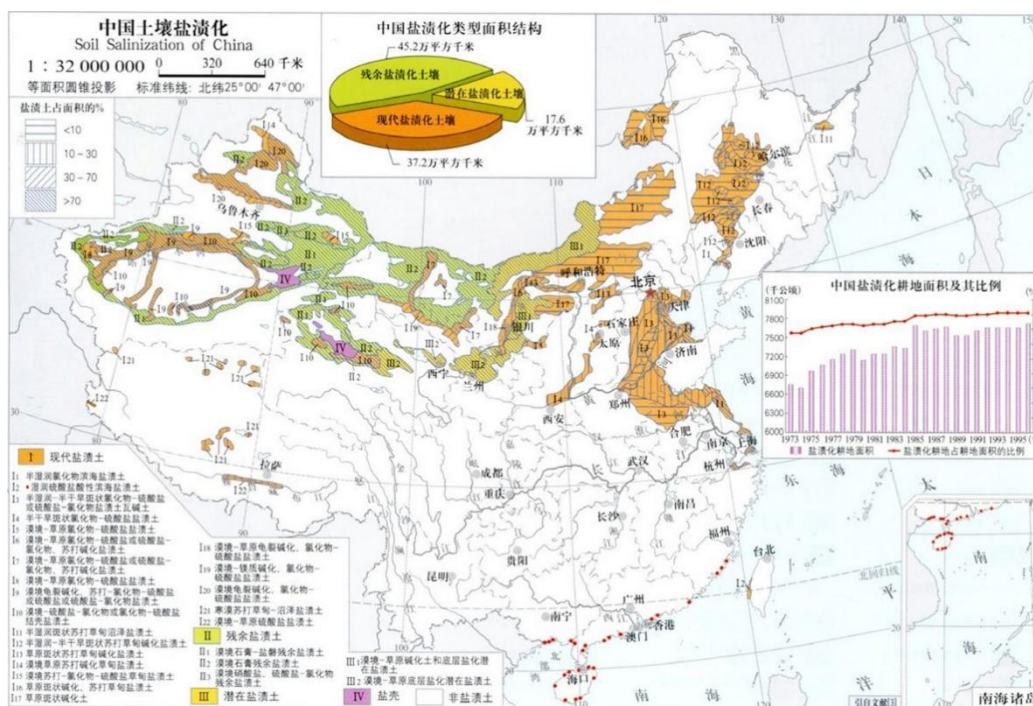


图 B.1 全国盐渍土分布情况图

B.2.2 项目组对甘肃省河西地区某地盐渍土调研分析后化学结果如表 B.1 所示，其中，该地 0.05m 及以上地表以氯盐为主、0.05m 至 0.25m 范围以硫酸盐为主，最大盐深度可达 4.50m。

表 B.1 甘肃省河西地区某地盐渍土化学分析结果

位置	深度 (m)	化学分析结果 (mg/kg)						pH	
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ /K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻		CO ₃ ²⁻
CTJ-09	0.0-0.05	2390.22	234.14	2100.75	3813.96	4120.93	193.98	0.00	7.86
7	0.05-0.25	536.58	29.27	686.00	886.97	1334.62	193.98	0.00	8.13
ZK181	0.25-0.5	97.56	29.27	317.75	266.09	444.87	193.98	63.60	8.36
3+260	0.5-0.75	97.56	29.27	344.25	266.09	444.87	258.64	63.60	8.40

	0.75-1.0	97.56	29.27	563.50	620.88	327.80	290.97	31.80	8.37
	1.0-1.5	2439.00	29.27	118.75	532.18	4682.88	193.98	0.00	8.15
	1.5-2.0	2439.00	117.07	161.50	532.18	5198.00	193.98	0.00	8.11
CRTJ-97	0.0-0.05	1150.00	120.00	771.75	852.00	2820.00	226.31	31.80	8.35
	0.05-0.25	2150.00	60.00	359.25	1065.00	5268.00	226.31	31.80	8.35
	0.25-0.5	2400.00	60.00	79.50	852.00	5952.00	290.97	31.80	8.34
YK190 9+320	0.5-0.75	2150.00	60.00	35.75	568.00	5232.00	258.64	63.60	8.40
	0.75-1.0	1750.00	90.00	354.50	710.00	4188.00	258.64	31.80	8.35
CRTJ-176	0-0.05	602.28	74.57	1140.37	2034.02	436.30	366.00	0.00	7.17
	0.05-0.25	890.80	301.82	1849.46	2680.62	1963.49	732.00	0.00	6.92
	0.25-0.5	1079.44	333.26	5789.87	3334.03	7753.27	732.00	0.00	6.98
ZK193 9+280	0.5-0.75	3426.96	81.74	571.02	3625.15	3725.60	951.60	0.00	6.81
	0.75-1.0	513.52	132.05	1657.88	1968.41	1258.65	475.80	0.00	7.22
	1.0-1.5	303.92	94.32	1240.99	1407.33	352.42	951.60	0.00	7.07
注 1: 本地区盐渍土氯离子含量多数处于 3000mg/kg 左右, 个别地区可达 8000mg/kg;									
注 2: 本地区硫酸盐含量多数处于 1000mg/kg-5000mg/kg, 个别地区可达 10000mg/kg 以上。									

B.2.3 相关耐久性规范对盐渍土中盐含量和作用等级要求如表 B.2 所示。

表 B.2 相关规范对盐渍土中盐含量的要求

盐种类	盐含量 (mg/kg)	相关规范		
		GB/T 50476	JTG/T 3310	TB 10005
氯盐	500-750	较低	IV-C	L1
	750-7500	较高	IV-D	L2
	>7500	高	IV-E	L3
普通地区硫酸盐	300-1500	V-C	V-C	Y1/Y2
	1500-6000	V-D	V-D	Y3
	6000-15000	V-E	V-E	Y4
寒旱地区硫酸盐	300-750	V-C	V-C	/
	750-3000	V-D	V-D	/
	3000-7500	V-E	V-E	/
注 1: 标准 JTG/T 3310 中 IV-C 普通地区硫酸盐范围为 150mg/kg -750mg/kg;				
注 2: 标准 JTG/T 3310 中 V-C 普通地区硫酸盐范围为 300mg/kg -3000mg/kg;				
注 3: 标准 TB 10005 中 Y1 和 Y2 普通地区硫酸盐范围分别为 300mg/kg -750mg/kg 和 750mg/kg-3000mg/kg。				

B.2.4 甘肃省河西地区原材料水泥性能指标如表 B.3 所示。

表 B.3 河西地区原材料水泥性能指标

厂家编号	比表面积 (m ² /kg)	初凝时间 (min)	终凝时间 (min)	抗压强度 (MPa)		抗折强度 (MPa)	
				3d	28d	3d	28d
1	330	180	230	5.6	8.9	28.1	48.3

2	345	167	210	4.7	9.1	30.1	48.1
3	338	165	180	5.5	9.9	27.9	50.0
4	350	177	220	5.4	8.9	28.5	49.4
5	330	181	190	7.1	10.1	27.7	51.1

B.2.5 甘肃省河西地区原材料粉煤灰性能指标如表 B.4 所示。

表 B.4 河西地区原材料粉煤灰性能指标

厂家编号	细度 (%)	需水量比 (%)	烧失量 (%)	含水量 (%)
1	11	94	2.5	0.7
2	10	85	2.0	0.6
3	10	87	1.9	0.6
4	9	90	1.9	0.4

B.2.6 甘肃省河西地区原材料矿粉性能指标如表 B.5 所示。

表 B.5 河西地区原材料矿粉性能指标

厂家编号	密度 (kg/m ³)	比表面积 (m ² /kg)	流动度比 (%)	活性指数 (%)	
				7d	28d
1	2.86	432	97	80	97
2	2.91	440	98	75	98
3	2.82	417	97	78	96

B.2.7 甘肃省河西地区原材料硅灰性能指标如表 B.6 所示。

表 B.6 河西地区原材料硅灰性能指标

厂家编号	含水率 (%)	烧失量 (%)	需水量比 (%)	活性指数 (%)	
				7d	28d
1	1.1	3.85	118	106	120
2	0.9	2.10	110	107	118
3	0.9	3.11	109	105	121

B.2.8 基于甘肃省盐渍土分别情况调研和河西地区原材料性能指标，考虑本指南应用地区盐渍土含量环境作用等级均为 III 级及以上，结合 GB/T 50476 和 JTG/T 3310 的相关要求，本指南进一步分别提升 100 年和 50 年 III-D 类混凝土氯离子扩散系数和电通量指标，以避免高盐渍土含量下小型构造物混凝土耐久性不足。本指南进一步分别提升 100 年和 50 年 V 级混凝土冻融环境下抗硫酸盐冻融循环次数，以避免高盐渍土含量下小型构造物混凝土耐久性不足。