

团 体 标 准

T/CCTAS XX—2025

城市轨道交通隧道二衬用流态混凝土 技术规范

Technical specification for application of fluid concrete for secondary lining
of urban rail transit tunnels

（征求意见稿）

2025 年 3 月 10 日

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国交通运输协会 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 1

4 基本规定 2

5 材料 2

 5.1 水泥 2

 5.2 骨料 2

 5.3 拌合用水 3

 5.4 外加剂 3

 5.5 矿物掺合料 4

6 混凝土性能 5

 6.1 混凝土拌合物性能 5

 6.2 硬化混凝土性能 5

7 配合比设计 5

 7.1 一般规定 5

 7.2 混凝土配合比设计 5

 7.3 配合比的试配、调整与确定 7

8 生产与运输 8

 8.1 生产 8

 8.2 运输 8

9 施工与养护 8

 9.1 施工准备 8

 9.2 泵送 9

 9.3 浇筑 9

 9.4 养护 9

10 检验与验收 10

 10.1 检验 10

 10.2 验收 10

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国交通运输协会交通工程设施分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

城市轨道交通隧道二衬用流态混凝土技术规范

1 范围

本文件规定了用于城市轨道交通隧道二衬用流态混凝土的材料、性能、配合比设计、生产与运输、施工与养护以及检验与验收的基本要求。

本文件适用于城市轨道交通隧道二衬用流态混凝土的设计、施工及质量检验。

2 规范性引用文件

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

GB 175	通用硅酸盐水泥
GB/T 1596	用于水泥和混凝土中的粉煤灰
GB/T 8075-2017	混凝土外加剂术语
GB 8076	混凝土外加剂
GB/T 14684	建设用砂
GB/T 14685	建设用卵石、碎石
GB/T 14902	预拌混凝土
GB/T 17395	钢管尺寸、外形、重量及允许偏差
GB/T 18046	用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
GB/T 50080	普通混凝土拌合物性能试验方法标准
GB/T 50081	混凝土物理力学性能试验方法标准
GB/T 50299	地下铁道工程施工质量验收标准
JC/T 474	砂浆、混凝土防水剂
JGJ 55	普通混凝土配合比设计规程
JGJ 63	混凝土用水标准
JGJ/T 10	混凝土泵送施工技术规程
JGJ/T 23	回弹法检测混凝土抗压强度技术规程
JGJ/T 283-2012	自密实混凝土应用技术规程
TB 10223	铁路隧道衬砌质量无损检测规程
TB 10424-2018	铁路混凝土工程施工质量验收标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 流态混凝土 fluid concrete

适用于隧道二衬，工作性能满足长时间运输和长距离泵送，具有高流动性、良好的黏聚性和抗离析性，初凝时间不小于 10h 的混凝土。

3.2 外加剂 chemical admixture

混凝土外加剂是混凝土中除胶凝材料、骨料、水和纤维组分以外，在混凝土拌制之前或拌制过程中加入的，用以改善新拌混凝土和(或)硬化混凝土性能，对人、生物及环境安全无有害影响的材料。掺量一般不超过胶凝材料用量的 5%。

[来源：GB/T 8075-2017，2，有修改]

3.3 矿物掺合料 mineral filler

以硅、铝、钙等一种或多种元素形成的氧化物为主要成分、具有规定细度，掺入混凝土中能改善混凝土性能的粉体材料。

[来源：TB 10424-2018，2.0.19，有修改]

3.4 抗离析性 segregation resistance

混凝土拌合物中各种组分保持均匀分散的性能。

[来源：JGJ/T 283-2012，2.1.4]

4 基本规定

4.1 配制流态混凝土应选用质量稳定的优质原材料，并应采取严格的混凝土质量控制措施。

4.2 流态混凝土配合比应考虑隧道二衬施工条件，根据混凝土结构设计和所处环境合理确定。

4.3 流态混凝土的工作性能应满足运输和浇筑要求。

4.4 流态混凝土入泵前和入模前均应对工作性能进行检验，满足要求后方可接收和浇筑。

5 材料

5.1 水泥

5.1.1 水泥应采用不低于42.5强度等级的硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥，其技术指标应符合表1规定。

5.1.2 水泥应按GB 175规定的方法检验。

5.1.3 预防混凝土碱—骨料反应要求的混凝土工程宜采用碱含量低于0.60%的水泥。

表1 通用硅酸盐水泥技术要求

检验项目		技术要求		
		P • I	P • II	P • 0
凝结 时间	初凝（min）	≥45		
	终凝（min）	≤390		≤600
安定性（雷氏法）		合格		
比表面积（m ² /kg）		≥300，≤400		/
细度（45 μ m筛筛余，%）		/		≥5
不溶物（质量分数，%）		≤0.75	≤1.5	/
烧失量（质量分数，%）		≤3.0	≤3.5	≤5.0
三氧化硫（质量分数，%）		≤3.5		
氧化镁（质量分数，%）		≤5.0		
氯离子含量（质量分数，%）		≤0.06		
注：如果水泥压蒸试验合格，则水泥中氧化镁的含量(质量分数)允许放宽至6.0%。				

5.2 骨料

5.2.1 细骨料应符合GB/T 14684中Ⅰ类砂的规定。

5.2.2 细骨料累计筛余应符合表2要求，分计筛余应符合表3要求。

表2 细骨料累计筛余技术要求

砂的分类	天然砂	混合砂
筛孔尺寸（mm）	累计筛余（%）	
4.75	10~0	5~0
2.36	25~0	25~0

1.18	50~10	50~10
0.60	70~41	70~41
0.30	92~70	92~70
0.15	100~90	94~80

表3 细骨料分计筛余技术要求

筛孔尺寸 (mm)	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	筛底
分计筛余 (%)	0~10	10~15	10~25	20~31	20~30	5~15	0~20

5.2.3 粗骨料应符合 GB/T 14685 中 I 类碎石的规定，其级配应符合表 4 规定。

表 4 粗骨料颗粒级配要求

公称粒级/mm		累计筛余/%							
		方孔筛孔径/mm							
		2.36	4.75	9.50	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5
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
单粒级	5~10	95~100	80~100	0~15	0	—	—	—	—
	10~16	—	95~100	80~100	0~15	0	—	—	—
	10~20	—	95~100	85~100	—	0~15	0	—	—
	16~25	—	—	95~100	55~70	25~40	0~10	0	—
	16~31.5	—	95~100	—	85~100	—	—	0~10	0
	25~31.5	—	—	—	95~100	—	80~100	0~10	0

5.2.4 骨料应按 GB/T 14684、GB/T 14685 规定的方法检验。

5.3 拌合用水

5.3.1 混凝土拌合用水技术要求应符合表5规定。对于设计使用年限为100年的结构混凝土，氯离子含量不应超过500mg/L。

5.3.2 拌合用水应按JGJ63规定的方法检验。

表5 混凝土拌合用水技术要求

检验项目	技术要求
pH 值	≥4.5
不溶物 (mg/L)	≤2000
可溶物 (mg/L)	≤5000
Cl ⁻ (mg/L)	≤1000
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	≤2000
碱含量 (mg/L)	≤1500
注：碱含量按Na ₂ O+0.658K ₂ O计算值来表示。采用非碱活性骨料时，可不检验碱含量。	

5.4 外加剂

5.4.1 流态混凝土所用外加剂宜包括缓凝型减水剂、增黏剂、防水剂等。

5.4.2 外加剂技术要求应符合表6规定。

5.4.3 减水剂应按GB 8076规定的方法检验。增黏剂黏度比及扩展度之差应按TB/T 3275规定的方法检验，其他项目应按GB 8076规定的方法检验。防水剂应按JC/T 474规定的方法检验。

表6 外加剂技术要求

检验项目		技术要求		
		减水剂	增黏剂	防水剂
减水率（%）		≥25	—	—
泌水率比（%）		≤70	≤50	≤50
含气量（%）		≤6.0	—	—
凝结时间差（min）	初凝	>+90	-90~+120	≥-90
	终凝	—		—
1h经时变化量/坍落度（mm）		≤60	—	—
抗压强度比（%）	1d	—	—	—
	3d	—	≥90	≥100
	7d	≥140	—	≥110
	28d	≥130	≥100	≥100
收缩率比（%）		≤110	≤100	≤125
黏度比（%）		—	≥150	—
扩展度之差（mm）		—	≤50	—
渗透高度比（%）		—	—	≤30
48h吸水量比（%）		—	—	≤65

5.5 矿物掺合料

5.5.1 流态混凝土宜采用矿渣粉、粉煤灰等矿物掺合料。

5.5.2 矿渣粉、粉煤灰技术指标应符合表7规定。

5.5.3 矿渣粉应按GB/T 18046规定的方法检验。粉煤灰应按GB/T 1596规定的方法检验。

表7 矿物掺合料技术要求

检验项目		技术要求			
		矿渣粉		粉煤灰	
		S105	S95	I 级	II 级
密度（g/cm ³ ）		≥2.8		≤2.6	
细度（45 μm方孔筛筛余，%）		—		≤12.0	≤30.0
比表面积（m ² /kg）		≥500	≥400	—	
需水量比（%）		—		≤95	≤105
活性指数（%）	7d	≥95	≥70	—	
	28d	≥105	≥95	≥70.0	
流动度比（%）		≥95		—	
初凝时间比（%）		≤200		—	
含水量（%）		≤1.0		≤1.0	
游离氧化钙（f-CaO）（质量分数，%）		—		≤1.0	
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 ）（质量分数，%）		—		≥70.0	
三氧化硫（质量分数，%）		≤4.0		≤3.0	
氯离子（质量分数，%）		≤0.06		—	
烧失量（%）		≤1.0		≤5.0	≤8.0

检验项目	技术要求			
	矿渣粉		粉煤灰	
	S105	S95	I 级	II 级
不溶物 (%)	≤3.0		—	

6 混凝土性能

6.1 混凝土拌合物性能

6.1.1 流态混凝土应首先满足初凝时间要求，还应满足流动性、黏聚性、抗离析性要求。

6.1.2 流态混凝土拌合物性能及要求应符合表8规定。

表8 流态混凝土拌合物性能及要求

检验项目		技术要求
初凝时间 (h)		≥10
流动性	坍落度 (mm)	≥240
	扩展度 (mm)	≥600
黏聚性	扩展时间 T_{500} (s)	≥2
抗离析性	离析率 (%)	≤20

6.1.3 流态混凝土坍落度应按GB/T 50080规定的方法检验。扩展度、扩展时间 T_{500} 应按JGJ/T 283附录A.1规定的方法检验。离析率应按JGJ/T 283附录A.3规定的方法检验。

6.1.4 出厂检验时，坍落度、扩展度和扩展时间 T_{500} 应每100m³相同配合比的混凝土至少检验1次；当一个台班相同配合比的混凝土不足100m³时，检验不应少于1次。

6.2 硬化混凝土性能

6.2.1 混凝土的强度等级应不小于C35，抗渗等级应不小于P8，抗氯离子渗透性能（电通量法）应不小于2000C，其他长期性能和耐久性能应符合GB 50476的相关规定及设计要求。

6.2.2 硬化混凝土的力学性能应按GB/T 50081规定的方法检验，并按GB/T 50107规定的方法进行评定。

6.2.3 出厂检验试件留置方法和数量应符合GB/T 14902的规定；交货检验试件留置方法和数量应符合GB 50204的规定。

6.2.4 硬化混凝土的长期性能和耐久性应按GB/T 50082规定的方法检测，并按JGJ/T 193的相关规定及设计要求进行评定。

7 配合比设计

7.1 一般规定

7.1.1 流态混凝土配合比设计应满足混凝土配制强度及其他力学性能、拌合物性能、长期性能和耐久性能的要求。

7.1.2 流态混凝土的配制应根据结构的构造尺寸和形式、钢筋的大小及密集程度选择骨料最大粒径，并根据施工条件确定混凝土技术指标。

7.1.3 配合比设计应采用绝对体积法，进行初始配合比的计算，并经试验室试配、调整后确定。

7.1.4 流态混凝土胶凝材料用量不宜大于500kg/m³，最大水胶比不宜超过0.45，用水量不宜大于170kg/m³。混凝土中矿物掺合料的掺量应符合JGJ 55的相关规定且不宜低于20%。低标号流态混凝土宜通过添加增黏剂等方法改善黏聚性和流动性。

7.2 混凝土配合比设计

7.2.1 配合比设计应确定拌合物中粗骨料体积、砂浆中砂的体积分数、水胶比、胶凝材料用量、矿物掺合料的比例等参数。

7.2.2 配合比设计步骤

7.2.2.1 计算配制强度及水胶比

1) 配制强度应按式 (1) 计算:

$$f_{cu,0} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad (1)$$

式中:

 $f_{cu,0}$ ——混凝土配制强度, 单位为MPa; $f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值, 单位为MPa, 取混凝土的设计强度等级值; σ ——混凝土强度标准差, 单位为MPa, 可取5.0。

2) 混凝土水胶比宜按式 (2) 计算:

$$W/B = \frac{a_a f_b}{f_{cu,0} + a_a a_b f_b} \quad (2)$$

式中:

 W/B ——混凝土水胶比; a_a 、 a_b ——回归系数, 其中 a_a 取值为0.53, a_b 取值为0.20; f_b ——胶凝材料28d胶砂抗压强度, 单位为MPa, 实测时试验方法应符合GB/T 17671的相关规定; 无实测数据时可按式 (3) 确定;

$$f_b = \gamma_f \gamma_s f_{ce} \quad (3)$$

式中:

 γ_f ——粉煤灰影响系数, 其值可取0.85; γ_s ——粒化高炉矿渣粉影响系数, 其值可取1.00; f_{ce} ——水泥28d胶砂抗压强度, 单位为MPa, 可实测, 也可按下式 (4) 确定;

$$f_{ce} = \gamma_c f_{ce,g} \quad (4)$$

式中:

 γ_c ——水泥强度等级值的富余系数, 可按实际统计资料确定; 当缺乏实际统计资料时, 也可取值1.16; $f_{ce,g}$ ——水泥强度等级值, 单位为MPa。

7.2.2.2 计算粗骨料体积及质量

1) 选取每立方米混凝土中粗骨料的体积 V_g , 宜为0.32~0.38m³。2) 每立方米混凝土中粗骨料 m_g 的用量应按式 (5) 计算:

$$m_g = V_g \times \rho_g \quad (5)$$

式中:

 ρ_g ——粗骨料表观密度, 单位为kg/m³。

7.2.2.3 计算砂体积及质量

1) 砂浆体积 V_m , 按式 (6) 计算:

$$V_m = 1 - V_g \quad (6)$$

2) 每立方米混凝土中砂的体积 V_s 和质量 m_s 按下列公式计算:

$$V_s = V_m \times \varphi_s \quad (7)$$

$$m_s = V_s \times \rho_s \quad (8)$$

式中:

 φ_s ——砂浆中砂的体积分数, 宜为0.42~0.45;

ρ_s ——砂的表观密度，单位为 kg/m^3 。

7.2.2.4 计算浆体体积及胶凝材料用量

1) 浆体密实体积 V_p 按下式计算：

$$V_p = V_m - V_s \quad (9)$$

2) 胶凝材料的表观密度 ρ_B 可根据矿物掺合料和水泥的相对含量及各自的表观密度确定，可按式计算：

$$\rho_B = \frac{1}{\frac{\beta}{\rho_m} + \frac{(1-\beta)}{\rho_c}} \quad (10)$$

式中：

ρ_m ——矿物掺合料的表观密度，单位为 kg/m^3 ；

ρ_c ——水泥的表观密度，单位为 kg/m^3 ；

β ——每立方米混凝土中矿物掺合料占胶凝材料的质量分数，单位为%。

3) 1m^3 混凝土中胶凝材料的用量 m_b 按下式计算：

$$\rho_b = \frac{1}{\frac{\beta}{\rho_m} + \frac{(1-\beta)}{\rho_c}} \quad (11)$$

式中：

V_a ——每立方米混凝土中引入空气的体积，单位为 m^3 ，可取 $10\text{L} \sim 20\text{L}$ ；

ρ_w ——每立方米混凝土中拌合水的表观密度，单位为 kg/m^3 ，取 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ 。

7.2.2.5 计算拌合用水质量、胶凝材料各组分质量及外加剂质量

1) 拌和用水的质量 m_w 按下式计算：

$$m_w = m_b \times (W / B) \quad (12)$$

2) 水泥 m_c 和矿物掺合料的质量 m_m 按下式计算：

$$m_c = m_b - m_m \quad (13)$$

$$m_m = m_b \times \beta \quad (14)$$

3) 外加剂用量 m_{ca} 按下式计算：

$$m_{ca} = m_b \times \alpha \quad (15)$$

式中：

α ——每立方米混凝土中外加剂的掺量，单位为%。

7.3 配合比的试配、调整与确定

7.3.1 试配时应采用工程实际使用的原材料，每盘混凝土的最小搅拌量不宜小于 25L 。

7.3.2 试配时，首先应进行试拌，拌合物性能应满足表8的要求。当试拌得出的拌合物性能不能满足要求时，应保持水胶比不变，合理调整胶凝材料用量、外加剂用量或砂的体积分数等，直到符合要求为止。根据试拌结果应提出基准配合比。

7.3.3 混凝土强度试验应至少采用三种不同的配合比，其中一种应为基准配合比，另外两种配合比的用水量应与基准配合比相同，水胶比宜较基准配合比分别增加和减少 0.02 ，砂的体积分数可分别增加或减少 1% 。

7.3.4 制作混凝土强度试件时，每种配合比至少应制作一组试件，标准养护到 28d 时试压，校核混凝土强度是否达到配制强度要求。

7.3.5 根据强度试验结果，绘制强度和胶水比的线性关系图，采用插值法在图中确定略大于配制强度对应的胶水比，根据该胶水比调整配合比中各材料用量。调整确定后的配合比即为设计配合比。

7.3.6 设计配合比确定后，对有耐久性设计要求的混凝土应进行相关耐久性试验验证。

8 生产与运输

8.1 生产

- 8.1.1 流态混凝土原材料进场时，供方应按批次向需方提供质量证明文件。原材料进场后应进行进场质量检验，检验项目应符合本规程第5章的规定。
- 8.1.2 原材料应按质量进行计量，允许偏差应符合表9的规定。

表9 原材料计量允许偏差

原材料品种	胶凝材料	骨料	水	外加剂	掺合料
每盘计量允许偏差（%）	±2	±3	±1	±1	±2
累计计量允许偏差（%）	±1	±2	±1	±1	±1

- 注： 1、现场搅拌时原材料计量允许偏差应满足每盘计量允许偏差要求；
2、累计计量允许偏差是指每一运输车中各盘混凝土的每种材料计量和的偏差，该项指标仅适用于采用计算机控制计量的搅拌站。
- 8.1.3 流态混凝土应采用集中搅拌方式生产，生产过程应符合GB/T 14902的规定。
- 8.1.4 流态混凝土搅拌时间不应少于90s。
- 8.1.5 骨料进场后，应根据检测结果调整骨料、水用量。生产过程中，每台班应至少检测一批次骨料含水率。
- 8.1.6 正式生产前应对流态混凝土拌合物进行坍落度、扩展度检测，检测结果应符合表8要求。

8.2 运输

- 8.2.1 流态混凝土运输应采用混凝土搅拌运输车，混凝土搅拌运输车应符合现行国家标准《混凝土搅拌运输车》GB/T26408的有关规定，并宜采取防晒、保温等措施。。
- 8.2.2 运输车在接料前应将车内积水排尽，浇筑完毕后应将搅拌车罐内残留的混凝土清洗干净。
- 8.2.3 流态混凝土运输过程中，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，不应向车内加水。
- 8.2.4 当卸料前需要在混凝土拌合物中掺入外加剂时，应在外加剂掺入后采用快档旋转搅拌罐进行搅拌。外加剂掺量和搅拌时间应有预案。
- 8.2.5 流态混凝土从搅拌机卸入搅拌运输车至卸料时的运输时间不宜大于120 min，如需延长运送时间，应采取经试验验证的技术措施。

9 施工与养护

9.1 施工准备

- 9.1.1 混凝土泵的选配
- a) 混凝土泵的选型应根据混凝土输送管路系统布置方案及浇筑工程量、浇筑进度以及混凝土坍落度、设备状况等施工技术条件确定。
 - b) 采用接力泵输送混凝土时，接力泵的设置位置应确保上、下泵的输送能力匹配。对设置接力泵的结构部位应进行承载力验算。
 - c) 混凝土泵集料斗应设置网筛。
- 9.1.2 混凝土输送管的选配
- a) 混凝土输送管应根据工程特点、施工场地条件、混凝土浇筑方案等进行合理选配和布置。输送管宜平直布置，且应减少管道弯头用量。
 - b) 同一管路宜采用相同管径的输送管，除终端出口外，不应采用软管。
 - c) 管道接口应接缝严密，在泵车Y型管处设置弯管时，应接入50mm以上直管后，再接弯管。
 - d) 在斜管上端的弯管上应设置排气阀。

e) 混凝土输送管规格应根据粗骨料最大粒径、混凝土输出量和输送距离以及拌合物性能等进行选择，并应符合GB/T 17395的有关规定。输送管最小内径应符合表10规定。

表10 混凝土输送管最小内径要求

粗骨料最大粒径 (mm)	输送管最小内径 (mm)
25	125
31.5	150

e) 混凝土输送管强度应满足泵送要求，不应有龟裂、孔洞、凹凸损伤和弯折等缺陷。最小壁厚值应根据最大泵送压力计算确定。

f) 输送管接头应具有足够强度，并能快速装拆，其密封结构应严密可靠。

9.1.3 布料设备的选配

布料设备的选型与布置应根据浇筑混凝土的平面尺寸、配管、布料半径等要求确定，应与混凝土输送泵匹配。

9.2 泵送

9.2.1 流态混凝土的运输、输送、浇筑及间歇的全部时间不应超过混凝土初凝时间，泵送宜连续进行。

9.2.2 混凝土输送管的固定应可靠稳定。用于水平输送的管路应采用支架固定；用于垂直输送的管路支架应与结构牢固连接。

9.2.4 输送管支架固定应符合下列规定：

- a) 每根垂直管应有两个或两个以上固定点，如现场条件受限，应搭设专用支架；
- b) 垂直管下端的弯管不应作为支承点使用，宜设钢支撑承受垂直管重量；
- c) 接口密封圈应严格按要求安装，管道接头处不应漏浆。

9.2.5 混凝土泵与输送管连通后，应对其进行全面检查。混凝土泵送前应进行空载试运转。

9.2.6 混凝土泵启动后，应先泵送适量清水以润湿混凝土泵的料斗、活塞及输送管的内壁等直接与混凝土接触的部位。泵送完毕后，应清除泵内积水。

9.2.7 经泵送清水检查，确认混凝土泵和输送管无异物后，应选用下列将浆液中的一种润滑混凝土泵和输送管内壁：

- a) 水泥净浆；
- b) 1:2水泥砂浆；
- c) 与混凝土内除粗骨料外的其他成分相同配合比的水泥砂浆。

9.2.8 开始泵送时，混凝土泵应处于匀速缓慢运行并随时可反泵的状态。泵送速度应先慢后快，逐步加强。同时观察混凝土泵的压力和各系统的工作情况，待各系统运转正常后，方可以正常速度进行泵送。

9.2.9 当混凝土泵出现压力升高且不稳定、油温升高、输送管明显振动等现象而泵送困难时，应立即查明原因，采取措施排除故障，不应强行泵送。

9.2.9 混凝土泵送需中断时，中断时间不应超过20min。

9.2.10 向下泵送混凝土时，应采取措施排除管内空气。

9.3 浇筑

9.3.1 运输至工作面的混凝土应进行坍落度、扩展度、含气量检测，确保工作性能符合表8要求。

9.3.2 浇筑过程中需采取辅助振捣时，每点振捣时间宜为30s-50s。

9.3.3 浇筑拱墙时应左右对称、分层连续浇筑，一次成型，每组衬砌混凝土浇筑时间宜控制在10h以内。

9.4 养护

9.4.1 衬砌混凝土脱模后应及时进行保温、保湿养护。

9.4.2 养护应采用养护台车，养护台车应具有保温、保湿以及监控调节温湿度的功能，并能实现养护数据的自动采集、记录、存储和传输。

- 9.4.3 混凝土养护不应使用已污染或对混凝土有腐蚀作用的水源，养护用水应不低于拌和用水标准。
- 9.4.4 混凝土养护的最低期限应不少于14d，混凝土养护相对湿度宜控制在90%以上。
- 9.4.5 当环境温度低于5℃时，不应在混凝土表面进行洒水养护。

10 检验与验收

10.1 检验

10.1.1 衬砌拆模后，应及时进行外观检查，记录外观缺陷类型、位置和范围。外观质量缺陷可按照表11确定。

表11 现浇结构外观质量缺陷

名称	现象	严重缺陷	一般缺陷
露筋	构件内钢筋未被混凝土包裹而外露	纵向受力钢筋有露筋	其他钢筋有少量露筋
蜂窝	混凝土表面缺少水泥砂浆而形成石子外露	构件主要受力部位有蜂窝	其他部位有少量蜂窝
孔洞	混凝土中孔穴深度和长度均超过保护层厚度	构件主要受力部位有孔洞	其他部位有少量孔洞
夹渣	混凝土中夹有杂物且深度超过保护层厚度	构件主要受力部位有夹渣	其他部位有少量夹渣
疏松	混凝土中局部不密实	构件主要受力部位有疏松	其他部位有少量疏松
裂缝	裂缝从混凝土表面延伸至混凝土内部	构件主要受力部位有影响结构性能或使用功能的裂缝	其他部位有少量不影响结构性能或使用功能的裂缝

10.1.2 对成型后二衬混凝土应采用雷达等无损检测方法检测密实度，每浇筑段检测不少于3个断面，每个断面检测不少于5点，其中拱顶附近检测不少于3点。雷达无损检测方法及其结果评定应符合TB 10223规定。

10.1.3 实体强度应采用回弹法检测，每浇筑段检测一次。回弹法应符合JGJ/T 23的规定。

10.2 验收

10.2.1 隧道二衬流态混凝土工程质量验收应符合GB/T 50299的规定。