

DB63

青 海 省 地 方 标 准

DB 63/T 1977—2021

寒区公路隧道湿喷水泥混凝土施工 技术规范

2021 - 12 - 01 发布

2022 - 01 - 01 实施

青海省市场监督管理局

发 布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 材料要求 2

5 混凝土配合比 3

6 施工工艺 7

7 质量检验 9

附录 A （规范性） 液体速凝剂稳定性试验方法..... 10

附录 B （规范性） 掺速凝剂的砂浆强度测定方法..... 11

附录 C （资料性） 公路隧道湿喷水泥混凝土施工工艺流程图..... 14

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

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。

本文件由青海省交通运输标准化专业技术委员会提出。

本文件由青海省交通运输厅归口。

本文件起草单位：青海省交通控股集团有限公司、中铁十六局集团第一工程有限公司、青海省交通建设管理有限公司、长安大学。

本文件主要起草人：王发平、郭志永、张金保、刘万生、褚人猛、陈亮、范建闻、林哲宇、陈丽敏、李书挠、王剑、王永亮、翟希兰、林杰、刘兵、张志熠、商大勇、李鑫、赵青林、韩晓庆、王振军、关博文。

本文件由青海省交通运输厅监督实施。

寒区公路隧道湿喷水泥混凝土施工技术规范

1 范围

本文件规定了寒区公路隧道湿喷水泥混凝土施工技术的术语与定义、材料要求、混凝土配合比、施工工艺、质量检验。

本文件适用于寒区公路隧道衬砌用湿喷水泥混凝土的施工技术。

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 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 17671 水泥胶砂强度检验方法
GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
JC/T 681 行星式水泥胶砂搅拌机
JC/T 723 水泥胶砂振动台
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 372 喷射混凝土应用技术规程
JTG 3420 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
JTG/T 3660 公路隧道施工技术规范
JTG E42 公路工程集料试验规程
JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册土建工程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

寒区

累年最冷月平均温度不高于-10℃或日平均温度不高于5℃天数在145 d以上的地区。

3.2

喷射混凝土

将混凝土拌合物送入喷射设备，借助压缩空气或其他动力输送，快速喷射至受喷面所形成的一种混凝土。

3.3

湿喷

搅拌混凝土用泵或压缩空气输送到喷嘴处与液体速凝剂混合，借助高压风喷射的施工方法。

3.4

高含气量湿喷混凝土

湿喷混凝土中拌和时掺入引气剂，使含气量达到较高水平（12%~20%）；压送过程及喷射作用下气泡挤压逸出，喷射后混凝土含气量处于合理水平（4%~6%）。

4 材料要求

4.1 一般规定

4.1.1 原材料包括：水泥、粗集料、细集料、拌和水、外加剂及掺合料等。

4.1.2 进场后应按规定对原材料分批进行验收、复验，并有检验合格标志。

4.1.3 检验和试验方法应按 JTG 3420、JTG E42、GB 8076 和 GB 50119 执行。

4.2 原材料

4.2.1 水泥

湿喷混凝土所使用水泥应符合GB 175规定，并满足以下要求：

- a) 掺入速凝剂后的水泥应凝结快、保水性好，早期强度增长快、收缩小；
- b) 永久性支护结构宜优先采用强度等级不低于 42.5 级的普通硅酸盐类水泥。有特殊要求时，可采用特种水泥。

4.2.2 细集料

湿喷混凝土所使用细集料应符合GB/T 14684规定，并满足以下要求：

- a) 宜采用中砂或中粗砂，细度模数一般为 2.5~3.2，宜采用连续级配；
- b) 细集料中有害物质含量应符合规定，砂的含泥量应不大于 1%。

4.2.3 粗集料

湿喷混凝土所使用粗集料应符合GB/T 14685规定，并满足以下要求：

- a) 粗集料为碎石，且坚硬、耐久、洁净；
- b) 碎石应选用连续级配，粗集料最大粒径宜不大于 12 mm；
- c) 喷射混凝土有抗冻要求时，试样经 5 次冻融循环后，质量损失不应超过 8%；
- d) 针、片状颗粒含量、含泥量，应符合表 1 规定。

表1 粗骨料的针、片状颗粒含量、含泥量及泥块含量

项目	针、片状含量			含泥量
	≤C20	C25～C35	≥C40	
指标/%	≤12.0	≤10.0	≤8.0	≤0.5

4.2.4 级配范围

湿喷混凝土用骨料的颗粒级配范围应符合表2规定。

表2 骨料通过各筛径（方孔）的累计质量百分率

骨料粒径/mm	0.15	0.30	0.60	1.25	2.50	5.00	10.00	15.00
累计通过质量百分率/%	4～8	5～22	13～31	18～41	26～54	40～70	62～92	100

4.2.5 速凝剂

湿喷混凝土所使用速凝剂应满足以下要求：

- a) 液体速凝剂通用要求应符合表 3 规定，稳定性试验方法按附录 A 执行；宜采用无碱速凝剂；
- b) 掺入速凝剂的净浆及砂浆的性能应符合表 4 规定，掺入速凝剂的砂浆强度测定方法按附录 B 执行。

表3 液体速凝剂通用要求

项目	指标
稳定性（上清液或底部沉淀物体积）/mL	≤5.0
氯离子含量/%	≤1.0
碱含量/%	应小于生产厂控制值，其中无碱速凝剂≤1.0

表4 掺入速凝剂的净浆及砂浆性能

项目		无碱速凝剂 FSA-AF
净浆凝结时间	初凝时间/min	≤5.0
	终凝时间/min	≤12.0
砂浆强度	1d 抗压强度/MPa	≥7.0
	28d 抗压强度比/%	≥90.0
	90d 抗压强度保留率/%	≥100.0

4.2.6 引气剂

湿喷混凝土所使用引气剂性能符合 GB 8076、GB 50119 规定。介入式高含气量湿喷水泥混凝土宜选用 AES 型（脂肪醇聚氧乙烯醚硫酸钠）引气剂、松香热聚物、松香皂及改性松香皂等松香树脂类引气剂等。

4.2.7 其他

4.2.7.1 需添加防水剂时，应通过试验确定最佳掺量。

4.2.7.2 混凝土施工用水应符合 JGJ 63 规定。

4.2.7.3 混凝土施工用粉煤灰应符合 GB/T 1596。

5 混凝土配合比

5.1 一般要求

5.1.1 混凝土配合比应针对气候特征和工程条件通过试配确定。

5.1.2 混凝土试配应根据设计强度等级、环境条件、耐久性能、工作性能等要求综合确定。

5.2 配合比设计

湿喷混凝土配合比设计应按以下步骤进行：

- 水胶比应在湿喷混凝土配合比设计的基础上，通过强度试验确定；
- 利用简易试验法综合确定骨料紧装堆积的空隙体积，再确定最小胶浆体积量；
- 依据最小胶浆体积量、水胶比、胶凝材料密度间的关系，计算单位体积胶凝材料、水的质量；
- 按照体积法求解单位体积砂、石质量；
- 根据 GB 8076 和 GB 50119 中有关规定，依据试验确定与调整减水剂、速凝剂等的掺量；
- 通过对湿喷混凝土配合比设计的分析总结，提出高含气量湿喷混凝土的配合比设计与调整方法。

5.3 参数确定

5.3.1 配制强度

混凝土配制强度按公式（1）计算：

$$f_{cu,o} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$f_{cu,o}$ ——混凝土的配制强度，MPa；

$f_{cu,k}$ ——设计规定的混凝土立方体抗压强度标准值，MPa。当设计未明确规定时，取混凝土结构荷载效应抗压强度设计值和混凝土耐久性设计强度值两者中的较大值；

$f_{cu,o}$ ——混凝土的配制强度，MPa；

σ ——混凝土强度标准差，MPa，应按统计资料确定。

5.3.2 水胶比、砂率

1. 水胶比由混凝土配制强度与水胶比之间的 Bolomey 关系按公式（2）确定：

$$\frac{W}{B} = \frac{\alpha_a f_b}{f_{cu,o} + \alpha_a \alpha_b f_b} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

W/B ——水胶比；

α_a 、 α_b ——骨料回归系数；

f_b ——胶凝材料28d抗压强度，MPa。

2. 骨料回归系数宜按以下规定确定：

- 根据工程所使用原材料，通过试验建立的水胶比与混凝土强度关系式确定；

b) 当不具备上述试验统计资料时, α_a 取 0.53, α_b 取 0.20。

5.3.3 最小胶浆体积量

3. 最小胶浆体积量计算公式

最小胶浆体积量按公式 (3) 计算:

$$V_s = P_{s+g} + P \dots\dots\dots (3)$$

式中:

V_s ——最小胶浆体积量, m^3 ;

P_{s+g} ——混合骨料紧装堆积空隙体积, m^3 ;

P ——管道润滑层体积, m^3 。

4. 骨料紧装堆积空隙率

骨料紧装堆积空隙率按公式 (4) 计算:

$$P_{s+g} = (1 - \frac{\rho'_{s+g}}{\rho_{s+g}}) \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中:

P_{s+g} ——骨料的紧装堆积空隙率, %;

ρ'_{s+g} ——砂、石混合骨料的紧装堆积密度, kg/m^3 ;

ρ_{s+g} ——砂、石混合骨料的平均表观密度, kg/m^3 。

5. 混合骨料平均表观密度

混合骨料平均表观密度按公式 (5) 计算:

$$\rho_{s+g} = \frac{\rho_s \rho_g}{\rho_g S_p + \rho_s (1 - S_p)} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

ρ_{s+g} ——混合骨料的平均表观密度, kg/m^3 ;

ρ_s ——细骨料的表观密度, kg/m^3 ;

ρ_g ——粗骨料的表观密度, kg/m^3 ;

S_p ——砂率, %。

6. 混合骨料紧装堆积密度

砂、石混合骨料的堆积密度按公式 (6) 计算:

$$\rho'_{s+g} = \frac{m_{s+g}}{V_t} \times 1000 \dots\dots\dots (6)$$

式中:

ρ'_{s+g} ——砂、石混合骨料的紧装堆积密度, kg/m³;

m_{s+g} ——容积筒内砂、石混合材料的质量, kg;

V_t ——容积筒的体积, L。

7. 管道润滑层体积量

形成润滑层的相对胶凝材料浆体的体积按公式 (7) 计算:

$$P = \frac{R^2 - (R - e)^2}{R^2} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

P ——形成润滑层的相对胶凝材料浆体体积, m³;

R ——压送管的半径, m;

e ——润滑层的厚度, 一般取值 1 mm。

5.3.4 组成材料用量

8. 胶凝材料、用水量

胶凝材料、用水量计算按以下步骤进行:

- a) 按确定的胶浆体积, 联合式 (8)、(9) 和 (10) 计算胶凝材料中水泥、粉煤灰、水的质量。
其中用水量可以根据减水剂与引气剂的实际减水率情况, 予以调整。

$$\frac{m_w}{m_c + m_f} = \frac{W}{B} \dots\dots\dots (8)$$

$$\frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_f}{\rho_f} + \frac{m_w}{\rho_w} + V_a = V_s \dots\dots\dots (9)$$

$$m_f = k \cdot m_c \dots\dots\dots (10)$$

式中:

m_w ——未使用外加剂时的单位体积用水量, kg;

m_c ——单位体积水泥用量, kg;

m_f ——单位体积粉煤灰用量, kg;

ρ_c ——水泥的表观密度, 一般取 3100, kg/m³;

ρ_f ——粉煤灰的表观密度, 一般取 1900~2400, kg/m³;

ρ_w ——水的表观密度, 一般取 1000, kg/m³;

V_a ——混凝土的含气量, 此含气量为未掺加引气剂时的含气量, 一般取 4%;

V_s ——胶浆总体积, m³;

K ——粉煤灰占胶凝材料总量的质量百分比。

- b) 当使用减水剂时, 实际用水量 m_{wj} 按公式 (11) 计算:

$$m_{wj} = m_w (1 - \beta) \dots\dots\dots (11)$$

式中:

m_{wj} ——未使用外加剂时的单位体积用水量, kg;

β ——减水剂的减水率。

5.3.4.2 骨料用量

粗、细集料用量根据体积法, 由公式 (12)、(13) 和 (14) 确定:

$$\frac{m_s}{m_s + m_g} = S_p \dots\dots\dots (12)$$

$$V_{s+g} = 1 - V_s \dots\dots\dots (13)$$

$$\frac{m_s}{\rho_s} + \frac{m_g}{\rho_g} = V_{s+g} \dots\dots\dots (14)$$

式中:

m_s ——单位体积细集料的质量, kg;

m_g ——单位体积粗集料的质量, kg;

ρ_s ——细集料的表观密度, kg/m³;

ρ_g ——粗集料的表观密度, kg/m³;

V_s ——胶浆总体积, m³。

V_{s+g} ——集料总体积, m³。

9. 外加剂用量

外加剂用量应按以下步骤确定:

- 对于介入式高含气量湿喷混凝土, 应通过砂浆流动度试验, 检测减水剂与引气剂的相容性, 确定引气剂类型, 试验方法应按 GB8076 规定执行;
- 喷射前混凝土含气量应为 12 %~20 %, 入机坍落度应为 80 mm~120 mm;
- 喷射后混凝土含气量应为 4 %~6 %;
- 外加剂掺量应根据水泥、原材料及外加剂类型, 经现场试验确定最佳掺量。

5.3.5 配合比的试配、试喷、调整

喷射混凝土配合比的试配、试喷、调整与确定除应符合本文件外, 还应符合 JGJ/T 372 规定。

6 施工工艺

6.1 一般要求

6.1.1 施工工艺流程见附录 C。

6.1.2 湿喷混凝土应按设计要求及 JTG/T 3660 规定执行, 并应编制专项施工方案。

6.1.3 湿喷作业应配置相应的专业人员和仪器设备, 并应符合 JGJ/T 372 规定。

6.1.4 施工时应由专业人员或在其指导下进行喷射。

6.1.5 施工前应进行试喷, 混凝土性能合格后, 方可进行喷射作业。

6.1.6 受喷面有明显出水点时，按照设计防排水要求进行施作。

6.1.7 受喷面质量验收符合要求后，方可进行喷射作业。

6.2 设备

6.2.1 湿喷混凝土机械设备性能应满足以下要求：

- a) 密封性能良好，输料连续均匀；
- b) 生产率大于 $5 \text{ m}^3/\text{h}$ ；
- c) 混凝土输料的距离水平应不小于 30 m，垂直应不小于 20 m；
- d) 机械设备周围粉尘应少于 $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。

6.2.2 应配备增压型发动机，且能提供稳定风压，风压宜不小于 0.6 MPa，波动值应不大于 0.01 MPa。密封件采用耐低温、耐辐射的高品质橡胶件

6.2.3 输送管工作时的承压能力应大于 0.8 MPa，管径应满足输送设计最大粒径骨料的要求，并应具有良好的耐磨性能及抗冻性能。

6.2.4 设备宜采用车载式湿喷机。

6.3 搅拌与运输

6.3.1 混凝土拌和应严格控制材料用量，胶凝材料 and 外加剂偏差应不大于 2%，骨料偏差应不大于 3%。

6.3.2 湿喷水泥混凝土应采用拌合楼拌和，搅拌时间应不少于 2 min，拌和应均匀。

6.3.3 应采用搅拌运输车运送，运送时间应不超过 2 h，运送中不应产生离析或初凝现象。

6.4 喷射作业

6.4.1 喷射作业现场应做好以下准备工作：

- a) 喷射前应进行技术交底；
- b) 作业区应具有良好的通风和足够的照明装置；
- c) 应对机械设备、风、水管路、输料管路和电缆线路等进行全面检查及试运转，拆除作业面障碍物，清除开挖面的浮石、泥浆、回弹物及岩渣堆积物等；
- d) 埋设控制喷射混凝土厚度的标志（厚度控制钉、喷射线）；
- e) 有液态速凝剂时，应检查速凝剂的泵送及计量装置性能；
- f) 使用压力水预先湿润受喷面；
- g) 应对岩面上可见空洞、凹穴和较宽的裂隙等进行预处理。

6.4.2 喷射作业应符合以下规定：

- a) 喷射作业应分段分片进行，喷射顺序由下而上，拱部喷射混凝土应对称作业；
- b) 喷嘴指向与受喷面应垂直，距离宜不大于 1.5 m；
- c) 初喷混凝土厚度宜控制在 20 mm~50 mm，岩面有较大凹洼时，可结合初喷找平；
- d) 根据喷射混凝土设计厚度，喷射部位和钢架、钢筋网设置情况，复喷可采用一次作业或分层作业。拱顶每次复喷厚度宜不大于 100 mm；边墙每次复喷厚度宜不大于 150 mm。复喷最小厚度宜不小于 50 mm；
- e) 分层喷射时，后层喷射应在前层混凝土终凝后进行，两层时间间隔较长时，表面若有粉尘时，喷射前对受喷面应吹洗干净；
- f) 喷射作业紧跟开挖工作面时，下一循环爆破作业应在喷射混凝土终凝 3 h 后进行；
- g) 喷射过程中应对喷射体中的分层、蜂窝、疏松、空隙或砂囊等进行处理；

h) 冬期施工时应采取保温措施,喷射作业区的气温应不低于 5℃。不应在结冰的岩面上进行喷射作业。

6.4.3 喷射混凝土养护应符合以下规定:

- a) 干燥气候环境下,喷射混凝土终凝后 2 h 后,应开始洒水养护,洒水次数应能保持混凝土具有足够的湿润状态为准,养护期不少于 7 d;
- b) 当施工现场昼夜平均气温连续 3d 稳定低于 5℃或最低气温低于-3℃时,浇筑的混凝土应采取冬期防冻措施,养护期不少于 7 d。冬期施工期间,混凝土强度达到设计强度的 60%之前,不应受冻。

7 质量检验

7.1 原材料与混凝土

原材料与混凝土的质量控制应符合以下规定:

- a) 原材料技术要求符合本文件 4.2 规定;
- b) 每批材料到达现场后应进行质量检测,合格后方可使用;
- c) 每工班的原材料、配合比及拌和均匀性检查不少于 2 次。

7.2 喷射混凝土厚度

喷射混凝土厚度的检查应符合以下规定:

- a) 检查点:结构性喷层为每 100 平方米 1 点,拱部喷层为每 50 平方米~80 平方米 1 点;
- b) 喷层厚度合格条件:凿孔法检查点中,喷层厚度应有 60 %的点不小于设计厚度,最小值应不小于设计厚度的 60 %,检查孔处喷层厚度的平均值应不小于设计厚度;
- c) 喷射混凝土支护应与围岩结合紧密、粘结牢固、无空洞。受喷面应清洁,喷层内不应有片石和木板等杂物。不应挂模喷射混凝土,钢架与围岩之间的间隙应采用喷射混凝土进行充填,且密实;
- d) 喷射混凝土表面应无漏喷、离鼓、钢筋网和钢架外露现象。

7.3 强度检验

喷射混凝土应进行抗压强度、抗弯强度和黏结强度试验,必要时还应进行、残余抗弯强度(韧性)、抗冻性和抗渗性试验,具体要求符合JTG F80/1规定。

7.4 实测项目

喷射混凝土实测项目按表5规定。

表5喷射混凝土实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	喷射混凝土强度/MPa	在合格标准内	按JTG F80/1 附录E检查
2	喷层厚度/mm	平均厚度≥设计厚度; 60%的检查点的厚度≥设计厚度; 最小厚度≥0.6设计厚度	凿孔法: 每10m检查1个断面, 每个断面从拱顶中线起每3m测1点。 按JTG F80/1附录R检查: 沿隧道纵向分别在拱顶两侧拱腰、两侧边墙连续测试共5条测线,
3	喷层与围岩接触状况	无空洞, 无杂物	每10m检查1个断面, 每个断面测5点。

附 录 A
(规范性)
液体速凝剂稳定性试验方法

A.1 试验原理

将一定量的液体速凝剂试样放入量入式具塞量筒中，在一定温度下静置一段时间，测试上清液体积或者底部沉淀物体积。

A.2 试验仪器

- A.2.1 量入式具塞量筒：100 mL。
- A.2.2 烧杯：500 mL。

A.3 试验步骤

- A.3.1 充分摇匀试样，倒入烧杯中。将烧杯中的试样缓慢倒入3个100 mL具塞量筒中。每个具塞量筒液面在临近100 mL刻度线时，改用滴管滴加至100 mL，精确到1mL，盖紧筒塞。
- A.3.2 将3个具塞量筒置于温度为20 ℃±2 ℃的环境条件下水平静置，避免阳光直射，28 d后读取上清液体积 $V_{\text{上清}}$ （悬浮液型）或者底部沉淀物体积 $V_{\text{沉淀}}$ （溶液型）。

A.4 数据处理

- A.4.1 当溶液型液体速凝剂静置28 d后，底部沉淀物太少无法读数时，将溶液倒至另一个100mL量筒中，量出溶液体积 V ，按公式A.1计算底部沉淀物体积。

$$V_{\text{沉淀}}=100-V \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：
 $V_{\text{沉淀}}$ ——底部沉淀物体积，mL；
 V ——溶液体积，mL。

- A.4.2 悬浮液型液体速凝剂以读取3个 $V_{\text{上清}}$ 的中间值为准；溶液型液体速凝剂以读取或计算的3个 $V_{\text{沉淀}}$ 的中间值为准。

附 录 B
(规范性)
掺速凝剂的砂浆强度测定方法

B.1 试验原理

将一定掺量的速凝剂试样加入水泥砂浆中，测试砂浆的1 d、28 d和90 d的抗压强度，并计算抗压强度比和抗压强度保留率。

B.2 试验仪器

- B.2.1 天平：分度值不大于0.5 g。
- B.2.2 塑料注射器：100 mL。
- B.2.3 秒表：分度值不小于1 s。
- B.2.4 行星式水泥胶砂搅拌机：满足JC/T 681要求。
- B.2.5 水泥胶砂振动台：满足JC/T 723要求。
- B.2.6 压力机：200 kN~300 kN。

B.3 砂浆配比

- B.3.1 基准砂浆：基准水泥900 g $\pm$ 2 g，标准砂1350 g $\pm$ 5 g，水450 g $\pm$ 2 g。
- B.3.2 受检砂浆：基准水泥900 g $\pm$ 2 g，标准砂1350 g $\pm$ 5 g，水450 g $\pm$ 2 g（包括液体速凝剂中的水）。
- B.3.3 速凝剂：按生产厂商提供的掺量，且该掺量的范围为粉状速凝剂4%~6%、液体无碱速凝剂6%~9%、液体有碱速凝剂3%~5%。

B.4 试验步骤

B.4.1 材料准备

B.4.1.1 基准砂浆

基准砂浆应符合GB/T 17671规定。

B.4.1.2 掺液体速凝剂受检砂浆

B.4.1.2.1 掺液体速凝剂受检砂浆应按以下流程操作：

- a) 将称量好的水（450 g 减去液体速凝剂中的水量）和 900 g 水泥依次放入搅拌锅内；
- b) 开动搅拌机，低速搅拌 30 s；
- c) 第二个 30 s 低速搅拌过程中，均匀加入标准砂，继续高速搅拌 30 s，停拌 90 s，在停拌中的第一个 15 s 内用胶皮刮具将叶片和锅壁上的砂浆刮入搅拌锅中；
- d) 再高速搅拌 30 s，用 100 mL 注射器加入推荐掺量的液体速凝剂，再继续低速搅拌 5 s，高速搅拌 15 s，结束搅拌；

e) 将拌和好的砂浆倒入水泥砂浆试模中。

B. 4. 1. 2. 2 从加入液体速凝剂到砂浆入模的全部操作时间应不超过 50 s。

B. 4. 1. 2. 3 操作流程见图 B. 1。

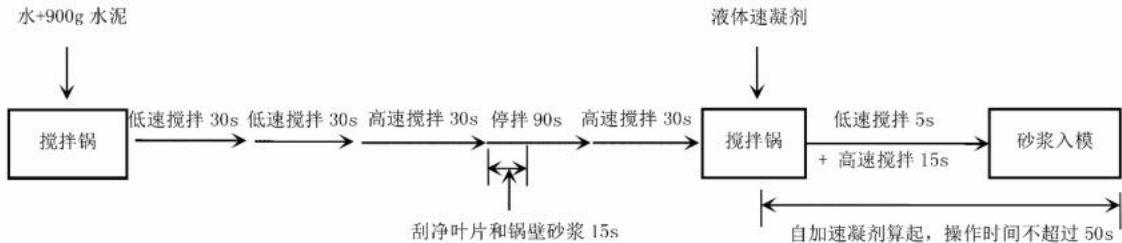


图 B. 1 掺液体速凝剂的受检砂浆试验操作流程

B. 4. 2 试件制备

每种速凝剂试样成型受检砂浆试件3组、基准砂浆试件1组，每组各3个试件。试件尺寸为40 mm×40

mm×160 mm的棱柱体，使用振动台振动成型，振动时间为30 s。将搅拌好的砂浆均匀装入下料漏斗中，

开启振动台，砂浆通过下料漏斗流入试模。振动30 s，关闭振动台。取下试模，刮去高出试模的砂浆后，并抹平表面，做好标记进行养护。

B. 4. 3 试件养护

试件养护应按GB/T 17671规定。试件强度龄期起点从加入液体速凝剂算起。不同龄期抗压强度试验应在规定时间内进行，其中1d强度试验时间应为24 h±15 min，28 d强度试验时间应为28 d±8 h，90 d强度试验时间应为90 d±1 d。

B. 5 数据处理

B. 5. 1 抗压强度测定应按GB/T 17671规定执行。

B. 5. 2 抗压强度按公式B. 1计算：

$$f = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (B. 1)$$

式中：
f——1 d，28 d或90 d抗压强度，MPa；
F——1 d，28 d或90 d试体受压破坏荷载，N；
A——试体受压面积，mm²。

B. 5. 3 28 d抗压强度比按公式B. 2计算：

$$R_{28} = \frac{f_{t,28}}{f_{r,28}} \times 100 \dots\dots\dots (B. 2)$$

式中：
 R_{28} ——28 d抗压强度比，%；
 $f_{t,28}$ ——受检砂浆28 d抗压强度，MPa；
 $f_{r,28}$ ——基准砂浆28 d抗压强度，MPa。

B. 5. 4 90 d抗压强度保留率按公式B. 3计算：

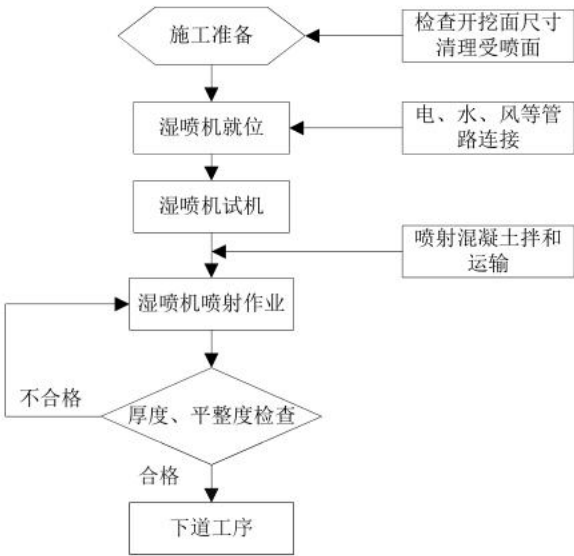
$$R_{r,90} = \frac{f_{t,90}}{f_{r,28}} \times 100 \dots\dots\dots (B. 3)$$

式中：
 $R_{r,90}$ ——90 d抗压强度保留率，%；
 $f_{t,90}$ ——受检砂浆90 d抗压强度，MPa；
 $f_{r,28}$ ——基准砂浆28 d抗压强度，MPa。

B. 5. 5 每组3个试件得到的6个抗压强度测定值的算术平均值作为试验结果。如6个测定值中有1个超出6个平均值的±10 %，应剔除这一测定值，则将剩余5个测定值的平均数作为试验结果；如果5个测定值中仍有超过它们平均数±10 %的，则此组试验结果按作废处理。

附 录 C
(资料性)
公路隧道湿喷水泥混凝土施工工艺流程图

公路隧道湿喷水泥混凝土施工工艺流程见图C. 1。



图C. 1 公路隧道湿喷水泥混凝土施工工艺流程图