



T/CECS G: 2025—×—×

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction Standardization

公路工程喷射玄武岩纤维混凝土应用技术  
规程

Technical Specification for the Application of Sprayed Basalt  
Fiber Reinforced Concrete in Highway Engineering

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

# 公路工程喷射玄武岩纤维混凝土应用技术 规程

Technical Specification for the Application of Sprayed Basalt Fiber  
Reinforced Concrete in Highway Engineering

T/CECS G: D×—×—×

主编单位：长安大学

发布机构：中国工程建设标准化协会

实施日期：2025年×月×日

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《关于印发<2024年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2025〕31号）的要求，由长安大学作为主编单位承担《公路工程喷射玄武岩纤维混凝土应用技术规程》（以下简称“本规程”）的制定工作。

编制组在总结近年来公路工程喷射玄武岩纤维混凝土科研成果和工程实践经验的基础上，经反复分析论证和广泛征求行业内专家意见，完成本规程的制定工作。

本规程分为7章，主要内容包括：1 总则、2 术语、3 原材料、4 喷射玄武岩纤维混凝土性能要求、5 喷射玄武岩纤维混凝土配合比设计、6 施工、7 质量控制。

请注意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。

本规程基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本规程提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本规程相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会归口管理，由长安大学负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见和建议，请函告本规程日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路8号；邮编：100088；电话：010-62079839；电子邮箱：shc@rioh.cn），或王旭昊（地址：陕西省西安市南二环中段长安大学；邮编：710064；电话：18292898823；电子邮箱：wangxh@chd.edu.cn），以便修订时研用。

**主 编 单 位：** × ×

**参 编 单 位：** × ×

**主 编：** × ×

**主要参编人员：** × ×

**主 审：** × ×

参与审查人员：× ×

参加人员：× ×

# 目 次

<b>1</b>	<b>总则</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>术语</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>原材料</b> .....	<b>2</b>
3.1	短切玄武岩纤维.....	2
3.2	胶凝材料.....	2
3.3	集料.....	3
3.4	外加剂与拌和水.....	4
<b>4</b>	<b>喷射玄武岩纤维混凝土性能要求</b> .....	<b>5</b>
4.1	拌合物工作性能.....	5
4.2	喷射玄武岩纤维混凝土力学性能.....	6
4.3	喷射玄武岩纤维混凝土长期性能.....	8
<b>5</b>	<b>喷射玄武岩纤维混凝土配合比设计</b> .....	<b>9</b>
5.1	配合比计算.....	9
5.2	配合比试喷与调整.....	11
<b>6</b>	<b>施工</b> .....	<b>12</b>
6.1	新拌玄武岩纤维混凝土材料准备.....	12
6.2	喷射准备.....	13
6.3	设备.....	14
6.4	喷射施工.....	15
6.5	养护要求.....	15
<b>7</b>	<b>质量控制</b> .....	<b>17</b>
7.1	原材料质量控制.....	17
7.2	施工过程质量控制.....	17
7.3	施工后质量监测.....	18
	<b>本规程用词用语说明</b> .....	<b>19</b>

# 1 总则

本章说明制定规范的目的、适用范围和一般规定。

**1.0.1** 为指导喷射玄武岩纤维混凝土在公路工程中的设计与施工,提高工程质量,制定本技术规程。

**1.0.2** 本规程适用于公路工程中隧道支护的喷射玄武岩纤维混凝土设计与施工,其他工程可参照执行。

**1.0.3** 本规程涉及到喷射混凝土材料、施工及检验等方面,除应符合本规范的规定外,尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

# 2 术语

本章主要对规范中所涉及的专业术语,从本标准角度赋予其含义,同时还分别给出相应的推荐性英文术语。

## **2.0.1 玄武岩纤维 basalt fiber**

由天然玄武岩矿石经过高温熔融、高速拉丝、表面处理等工艺制成的一种无机纤维材料,具有优异的力学性能、耐高温性、耐腐蚀性和抗老化能力,广泛应用于建筑、航空航天和复合材料领域。

## **2.0.2 短切玄武岩纤维 basalt fiber chopped strand**

由相应的玄武岩纤维基材为原料短切而成的长度小于 50mm,能均匀分布在水泥混凝土或砂浆中的无机矿物纤维。

## **2.0.3 短切玄武岩纤维掺量 content of basalt fiber chopped strand**

短切玄武岩纤维掺量是指短切玄武岩纤维在水泥混凝土或砂浆中所占的体积分数或质量分数。

## **2.0.4 喷射混凝土 sprayed concrete**

将水泥、集料和水按一定比例拌制的混合料装入喷射机,借助压缩空气,从喷嘴喷出至受喷面所形成的致密匀质的一种混凝土。

## **2.0.5 喷射回弹率 rebound rate of shotcrete**

在喷射混凝土施工过程中,未能粘附在受喷面上而反弹掉落的混凝土质量与喷射混凝土总量的比值,通常以百分比表示。

## **2.0.6 速凝剂 accelerator**

能使混凝土或水泥砂浆迅速凝结硬化的外加剂。

### 3 原材料

#### 3.1 短切玄武岩纤维

3.1.1 短切玄武岩纤维按其纤维类型可分为原丝（S）和有捻浸胶（T）。

3.1.2 短切玄武岩纤维的规格和尺寸应符合表 3.1 中的规定。

表3.1 短切玄武岩的规格和尺寸

纤维类型	公称长度/mm		公称直径/ $\mu\text{m}$
	用于水泥混凝土	用于砂浆	
原丝（S）	15-30	6-15	9-25
有捻浸胶（T）	6-50		200-800

注：经供需双方协商，可生产其他规格及尺寸的短切玄武岩纤维。

3.1.3 采用的短切玄武岩纤维性能指标应符合下列规定

短切玄武岩纤维若采用原丝（S）类型，其拉伸强度应不低于 1250MPa；弹性模量不低于 40GPa；单丝断裂强度保留率不低于 75%；若采用有捻浸胶（T）类型，其拉伸强度应不低于 800MPa；弹性模量不低于 45GPa。其中上述试验值的变异系数不得大于 15%。

3.1.4 短切玄武岩纤维的掺量推荐范围

短切玄武岩纤维若采用原丝（S）类型，其体积掺量推荐范围为 0-0.5%；若采用有捻浸胶（T）类型，其体积掺量推荐范围为 0-3%；若工程有特殊需要，其体积掺量可根据试验进行确定。

#### 3.2 胶凝材料

##### 3.2.1 水泥

水泥宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，水泥质量应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的有关规定。特殊工况下，可采用符合相关标准的特种水泥。

##### 3.2.2 矿物掺合料

粉煤灰的技术性能指标应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB1596 中的有关规定。粉煤灰级别应不低于 II 级，烧失量应小于 5%。

硅灰的技术性能指标应符合现行国家标准《电炉回收二氧化硅微粉》

GB/T21236 中的有关规定。同时其比表面积应不低于 15000m<sup>2</sup>/kg，二氧化硅含量应不低于 85%。

粒化高炉矿渣的技术性能指标应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 的相关规定。

天然火山灰材料技术性能指标应符合现行国家标准《用于水泥中火山灰质混合材料》GB/T 2847 的相关规定。其中二氧化硅与三氧化二铝的总含量不低于 60%；活性指数不低于 80%。

钢渣粉的技术性能指标应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》GB/T 20491，活性指数不低于 80%。

### 3.3 集料

#### 3.3.1 粗集料技术指标

粗集料应选用连续级配的碎石或卵石，最大公称粒径不宜大于 12mm；对于薄壳、形状复杂的结构及有特殊要求的工程，粗集料的最大公称粒径不宜大于 10mm；粗集料的针、片状颗粒含量、含泥量及泥块含量，应符合表 3.2 的要求，其他性能及试验方法应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ52 中的规定。

当使用再生粗集料时，还应符合国家标准《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177 中的相关规定。

表3.2 粗集料的针、片状颗粒含量、含泥量及泥块含量

项目	针、片颗粒含量		含泥量	泥块含量
	C20-C35	≥C40		
技术指标 (%)	≤12.0	≤8.0	≤1.0	≤0.5

#### 3.3.2 细集料技术指标

细集料宜选用 II 区砂，细度模数宜为 2.5-3.2。天然砂的含泥量和泥块含量应符合表 3.3 的要求；机制砂的石粉含量应符合表 3.4 的要求。细集料其他性能及试验方法应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ52。

表3.3 天然砂的含泥量和泥块含量

项目	含泥量	泥块含量

技术指标 (%)	≤3.0	≤1.0
----------	------	------

表3.4 机制砂的石粉含量

项目		≤20	C25-C35	≥C40
石粉含量 (%)	MB<1.4	≤15.0	≤10.0	≤5.0
	MB≥1.4	≤5.0	≤3.0	≤2.0

### 3.3.3 集料级配范围

喷射混凝土用集料的颗粒级配范围宜满足表 3.5 的要求。

表3.5 集料的级配范围

方孔筛筛孔边长 (mm)	累积筛余 (%)	最大公称粒径 (mm)	
		10	12
16.0		0	0
9.50		18-27	10-38
4.75		40-50	30-60
2.36		57-65	46-74
1.18		69-77	59-82
0.60		78-83	69-87
0.30		85-90	78-95
0.15		93-95	92-96

## 3.4 外加剂与拌和水

### 3.4.1 一般性规定

外加剂性能应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076、《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 及《喷射混凝土用速凝剂》GB-T 35159 的相关规定。

### 3.4.2 速凝剂

喷射玄武岩纤维混凝土用速凝剂还应符合以下规定：

① 所用速凝剂应与水泥具有良好的适应性，速凝剂掺量应通过试验确定，且不宜超过 10%：

② 掺速凝剂的水泥净浆初凝时间不宜大于 3min，终凝时间不应大于 12min。

掺碱性速凝剂和低碱速凝剂的水泥净浆凝结时间试验方法应按现行行业标准《喷射混凝土用速凝剂》JC477 执行。

③ 掺速凝剂的胶砂试件，与不掺速凝剂试件的 28d 抗压强度比不应低于 90%。

④ 喷射混凝土宜采用无碱或低碱速凝剂。

### 3.4.3 减水剂

喷射玄武岩纤维混凝土用减水剂还应符合以下规定：

① 喷射混凝土中减水剂与速凝剂复配使用时，应通过试验验证其适应性，不得导致喷射混凝土初、终凝时间及早期强度出现不利变化。

② 喷射混凝土宜采用高效或高性能减水剂，其减水率不应低于 15%，并应满足拌合物工作性、泵送性和粘聚性要求；减水剂的种类及掺量应通过配合比试验确定。

③ 当使用高性能喷射玄武岩纤维混凝土时，宜优先选用聚羧酸系高性能减水剂；同时其减水率、坍落度经时保持率等技术性能指标应符合相关规定。

### 3.4.4 拌和水

喷射玄武岩纤维混凝土拌合用水和养护用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》GB JGJ63 的规定。

## 4 喷射玄武岩纤维混凝土性能要求

### 4.1 拌合物工作性能

#### 4.1.1 纤维均匀性

喷射混凝土中玄武岩纤维均匀性测试方法参照《水泥混凝土和砂浆用短切玄武岩纤维》GB/T 23265 中纤维分散性能的相关规定进行测试。若三批试验短切玄武岩纤维含量的算术平均值与理论计算值的相对误差小于 10%，则该组试件的分散性合格。

#### 4.1.2 坍落度

喷射玄武岩纤维混凝土拌合物坍落度测试方法参照《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T50080 进行，其拌合物坍落度应为 100mm-200mm，宜随拌随用，停放时间不得大于 30min，运输、存放过程中不得雨淋、浸水及混入杂物。

#### 4.1.3 回弹率

喷射玄武岩纤维混凝土回弹率测试方法参考《喷射混凝土应用技术规程》JGJ/T 372，回弹料质量与总喷出拌合物质量的百分比即为喷射回弹率。喷射混凝土施工过程中，水平喷射混凝土拌合物回弹率不宜大于 15%，竖直喷射混凝土拌合物回弹率不宜大于 25%。

#### 4.1.4 一次喷射厚度

混凝土喷射厚度大于 100mm 时，应采用分层喷射；加固工程喷射厚度大于 70mm 时，宜采用分层喷射，分层喷射时，第二次喷射应在第一次喷射的混凝土终凝后进行。间隔时间超过 1h 时，应采用高压水或压缩空气对混凝土喷层表面进行清洗处理。喷射混凝土沿水平方向喷射时一次喷射厚度宜为 80-150mm；垂直方向喷射时一次喷射厚度宜为 60-100mm。

## 4.2 喷射玄武岩纤维混凝土力学性能

### 4.2.1 取样方法

试件制作宜采用大板喷射取样，抗压、抗拉、抗弯、粘结强度及其他力学性能的试验方法应符合现行国家或行业标准，如《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T50081、《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T221 等。

① 取样宜在喷射作业正常、工况稳定时进行，可采用喷射到专用取样模具或试板上的方式取样；取样位置应避开回弹集中区域、施工接缝及明显异常部位。

② 取样应在正式喷射施工过程中进行，不得采用拌和机出料口或非喷射成型的混凝土取样；当施工条件或配合比发生调整时，应重新取样检测。

③ 取样数量和频率应满足相关规范及设计要求，同一配合比、同一施工条件下应按规定批次取样；当施工质量波动较大或发现异常时，应适当增加取样频率。

④ 喷射成型试样应在模具中一次喷射成型，避免分层或振捣；试样应及时编号、标识取样日期、施工部位、配合比及速凝剂掺量等信息。

⑤ 取样过程中及试样拆模后应进行外观检查，试样内不应出现明显纤维结团、局部富集或纤维取向异常现象；发现异常时应记录并作为质量评估依据。

### 4.2.2 抗压强度

喷射玄武岩纤维混凝土力学性能的检验应符合《混凝土强度检验评定标准》GB/T50107 的要求，并遵循《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 进

行抗压强度试验。

喷射玄武岩纤维混凝土 1d 龄期的抗压强度不应低于 8MPa；28d 龄期的抗压强度不应低于 20MPa。对于不同强度等级的喷射玄武岩纤维混凝土的设计强度应符合表 4.1 中的相关规定。

表4.1 喷射玄武岩纤维混凝土的设计强度值

设计强度 (MPa) 强度类型	C20	C25	C30	C35	C40
轴心抗压强度	9.6	11.9	14.3	16.7	19.1
轴心抗拉强度	1.1	1.27	1.43	1.57	1.71

#### 4.2.3 喷射玄武岩纤维混凝土与岩石或混凝土粘结强度

喷射玄武岩纤维混凝土与岩石或混凝土基底间的最小粘结强度应符合表 4.2 中的规定，粘结强度试验方法参照《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T-221。

表4.2 喷射混凝土与岩石或混凝土基底间的最小粘结强度

粘结类型	与岩石的最小粘结强度 (MPa)	与混凝土的最小粘结强度 (MPa)
结构作用型	0.8	1.0
防护作用型	0.2	0.5

注：上表中粘结强度系三个实验龄期为 28d 的平均值，其中粘结强度较低的不得低于表中要求值的 75%。

#### 4.2.4 抗弯强度

喷射玄武岩纤维混凝土用于含有大范围的剪切带、高塑形流变或高应力岩层时，其最小抗弯强度应不低于表 4.3 中的规定。喷射玄武岩纤维混凝土抗弯强度测试方法参考《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T-221。

表4.3 喷射玄武岩纤维混凝土的最小抗弯强度

抗压强度等级	C25	C30	C35	C40	C45
抗弯强度 (MPa)	3.5	3.8	4.2	4.4	4.6

喷射混凝土的弯曲韧性可采用残余抗弯强度等级表示，不同变形等级和不同残余抗弯强度等级下喷射混凝土的残余抗弯强度不应小于表 4.4 的规定。

表4.4 不同变形等级和不同残余抗弯等级下的残余抗弯强度

变形等级	梁的挠度 (mm)	残余抗弯强度(MPa)			
		等级 1	等级 2	等级 3	等级 4
—	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5
低	1.0	1.3	2.3	3.3	4.3
普通	2.0	1.0	2.1	3.0	4.0
高	4.0	0.5	1.5	2.5	3.5

### 4.3 喷射玄武岩纤维混凝土长期性能

#### 4.3.1 收缩性能

喷射玄武岩纤维混凝土的收缩性能需符合设计要求，其收缩试验方法按照国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T50082 进行。

#### 4.3.2 抗渗性能

喷射玄武岩纤维混凝土的抗渗等级不应小于 P6，当设计有特殊要求时，可通过调整材料的配合比，或掺加外加剂、掺合料配制出高于 P6 的喷射混凝土。

喷射玄武岩纤维混凝土设计抗渗性能时，宜考虑喷射玄武岩纤维混凝土抗渗性能提高系数，抗渗性能试验应依据《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》JTGE30 执行，抗渗性能提高系数按下式（2）计算：

$$\varphi = \frac{D_{m1}}{D_{m0}} \quad (2)$$

式中：

$\varphi$ ——喷射玄武岩纤维混凝土的抗渗性能提高系数；

$D_{m0}$ ——喷射玄武岩纤维混凝土的渗水高度，单位 mm；

$D_{m1}$ ——基准水泥混凝土的渗水高度，单位 mm。

表4.5 喷射玄武岩纤维混凝土抗渗性能提高系数

抗渗性能提高系数	BF20-BF40	BF45-BF55
$\varphi$	1.1	1.2

#### 4.3.3 抗冻性能

喷射玄武岩纤维混凝土的抗冻性能需符合设计要求，并依据《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 进行测试。

喷射玄武岩纤维混凝土抗冻融性能提高折算应按式（3）计算：

$$\beta = \frac{2m_{n1} - m_{n0}}{m_{n1}} \quad (3)$$

式中：

$\beta$ ——喷射玄武岩纤维混凝土的抗冻融性能提高系数；

$m_{n0}$ ——喷射玄武岩纤维混凝土的质量损失，单位 g；

$m_{n1}$ ——基准水泥混凝土的质量损失，单位 g。

表4.6 喷射玄武岩纤维混凝土抗冻融性能提高系数

抗冻融性能提高系数	BF20-BF45	BF50-BF55
$\beta$	1.03	1.05

#### 4.3.4 其他耐久性能

徐变性能和抗硫酸盐侵蚀性能应符合设计要求。徐变试验和抗硫酸盐侵蚀试验方法应按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 执行，试件应采用大板喷射取样方式制备，其制作方法应符合《喷射混凝土应用技术规程》JGJ/T 372 中有关规定。

上述耐久性指标的测试均需按照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 进行，同时纤维混凝土的耐久性检验应符合行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T193 中的相关规定，以确保其在复杂环境下的长期使用性能。

## 5 喷射玄武岩纤维混凝土配合比设计

### 5.1 配合比计算

5.1.1 混合料配合比设计应符合下列规定：

- ① 胶凝材料总量不宜小于 400kg/m<sup>2</sup>；
- ② 矿物外掺量总量不宜大于胶凝材料总量的 40%；
- ③ 胶凝材料与集料比宜为 1：4.0-1：4.5；
- ④ 砂率宜为 50%-60%；
- ⑤ 需掺加硅粉的混合料，硅粉的掺量宜为硅酸盐水泥重量的 5%-10%。

5.1.2 喷射玄武岩纤维混凝土的水胶比应符合《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》JTG/TB07-01 的规定。水胶比不宜大于 0.55，用于有侵蚀介质的地层时，水胶比不得大于 0.45；混合料的塌落度不宜小于 10cm。

**5.1.3** 喷射玄武岩纤维混凝土中纤维添加方法通常包括纤维体积率法、纤维代骨料法、纤维代替细骨料法和二次合成法，可根据实际工程进行确定。

**5.1.4** 喷射玄武岩纤维混凝土配合比应使用三种水平的纤维掺量按下列规定进行试配：

① 按假定质量法确定喷射玄武岩纤维混凝土配合比材料用量时，按式(4)、式(5)和式(6)计算。

$$m_{c0} + m_{a0} + m_{w0} + m_{s0} + m_{g0} = (1 - \rho_f)m_{cp} \quad (4)$$

$$\beta_s = \frac{m_{s0}}{m_{s0} + m_{g0} + m_{f0}} \quad (5)$$

$$m_{f0} = 2600\rho_f \quad (6)$$

式中：

$m_{c0}$ 、 $m_{a0}$ 、 $m_{w0}$ 、 $m_{s0}$ 、 $m_{g0}$ ——分别为  $1\text{m}^3$  喷射玄武岩纤维混凝土所用水泥、矿物掺合料、水、砂、石和玄武岩纤维的质量，单位为 kg；

$m_{cp}$ —— $1\text{m}^3$  新拌喷射玄武岩纤维混凝土的假定质量，单位为 kg；

$\rho_f$ ——玄武岩短切纤维体积率；

$\beta_s$ ——新拌喷射玄武岩纤维混凝土的砂率。

② 按体积法确定喷射玄武岩纤维混凝土配合比材料用量时，按式(5)、式(6)和式(7)计算。

$$\frac{m_{c0}}{\rho_c} + \frac{m_{a0}}{\rho_a} + \frac{m_{w0}}{\rho_w} + \frac{m_{s0}}{\rho_s} + \frac{m_{g0}}{\rho_g} + \rho_f + 0.01\alpha = 1 \quad (7)$$

式中：

$\rho_c$ 、 $\rho_a$ 、 $\rho_w$ 、 $\rho_s$ 、 $\rho_g$ ——分别为水泥密度、矿物掺和料密度、水密度、河砂的表观密度、碎石的表观密度，单位为  $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$\alpha$ ——喷射玄武岩纤维混凝土的含气量百分数，单位为%。

**5.1.5** 喷射玄武岩纤维混凝土的配合比应经试配后方可在实际工程中应用，试配时应使用实际工程使用的原材料，喷射玄武岩纤维混凝土进行试验验证后，方可确定。

**5.1.6** 喷射玄武岩纤维混凝土配置强度按《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50 的规定进行确定。

**5.1.7** 喷射玄武岩纤维混凝土的配置强度应符合下列规定：

① 当设计强度等级小于 BF50 时，配置强度应符合式（8）。

$$f_{cu, 0} \geq f_{cu, k} + 1.645\sigma \quad (8)$$

式中：

$f_{cu, 0}$ ——喷射玄武岩纤维混凝土的配置强度，单位为 MPa；

$f_{cu, k}$ ——喷射玄武岩纤维混凝土立方体抗压强度标准值，这里取喷射混凝土的设计强度等级值，单位为 MPa；

$\sigma$ ——喷射玄武岩纤维混凝土强度标准差，取值为 5.0MPa。

② 当设计强度等级大于或等级 BP50 时，设计方法可参照《普通混凝土设计规程》JGJ55

**5.1.8** 采用工程中实际使用的原材料和搅拌方法，通过适当调整混凝土外加剂用量或砂率，调配出坍落度、含气量、泌水率符合要求的混凝土配合比，该配合比作为基准配合比。

**5.1.9** 根据不同配合比的混凝土拌合物性能、抗压强度、抗裂性及耐久性能试验结果，按照工作性能力学特性、耐久性要求且经济合理的原则，从不同配合比中选择一个最合适的配合比作为试配配合比。

**5.1.10** 对于纤维体积率为 0.04%-0.20%的喷射玄武岩纤维混凝土，可按计算配合比进行试配和调整：当纤维体积率大于 0.20%时，可适当提高外加剂用量或胶凝材料用量，但水胶比不得降低。

## 5.2 配合比试喷与调整

**5.2.1** 喷射玄武岩纤维混凝土试配应采用强制式搅拌机进行搅拌，搅拌方法宜与施工采用的方法相同，应配备纤维专用计量和投料设备；宜先将纤维和粗、细集料投入搅拌机干拌 30s-60s，然后再加水泥、矿物掺合料、水和外加剂搅拌 90s-120s，纤维体积率较高时，宜取搅拌时间范围的上限。

**5.2.2** 在计算配合比的基础上应进行试拌，试拌的最小搅拌量每盘不应小于 20L。计算水胶比宜保持不变，并应通过调整配合比其他参数使混凝土拌合物性能符合设计及施工要求，然后修正计算配合比，提出试配配合比。

**5.2.3** 应采用三个不同的配合比，其中一个为本规程第 5.2.2 条确定的试配配合

比，另外两个配合比的水胶比宜较试配配合比分别增加和减少 0.05，用水量应与试配配合比相同，砂率可分别增加和减少 1%，三个配合比均应满足喷射混凝土施工要求。

**5.2.4** 用本规程第 5.2.2 条及第 5.2.3 条确定的三个配合比进行试喷，不能满足喷射施工要求的配合比应进行配合比优化，其水胶比应保持不变。喷射混凝土试喷的最小搅拌量每盘不应小于 100L。

**5.2.5** 对试喷满足喷射施工要求的三个配合比应进行大板喷射取样和试件加工。

**5.2.6** 在配合比试喷的基础上，喷射玄武岩纤维混凝土配合比应按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ55 的规定进行混凝土配合比调整和校正。

**5.2.7** 校正后的喷射玄武岩纤维混凝土配合比，应在满足混凝土施工要求和混凝土试喷强度的基础上，对耐久性有设计要求的混凝土进行相关耐久性试验验证，符合要求的，可确定为设计配合比。

**5.2.8** 喷射玄武岩纤维混凝土配合比校正系数应按式（9）计算。

$$\sigma = \frac{\rho_{c, t}}{\rho_{c, c}} \quad (9)$$

式中：

$\sigma$ ——喷射玄武岩纤维混凝土配合比校正系数；

$\rho_{c, t}$ ——喷射玄武岩纤维混凝土拌合物的表观密度实测值，单位为  $\text{kg/m}^3$ ；

$\rho_{c, c}$ ——喷射玄武岩纤维混凝土拌合物的表观密度计算值，单位为  $\text{kg/m}^3$ 。

**5.2.9** 调整后的配合比中每项原材料用量均应乘以校正系数 $\sigma$ 。校正后的喷射玄武岩纤维混凝土配合比，应在满足拌合物性能要求和试配强度的基础上，对设计提出的混凝土耐久性项目进行检验和评定，符合要求的，可确定为设计配合比。

**5.2.10** 喷射玄武岩纤维混凝土设计配合比确定后，应进行生产适应性验证。

## 6 施工

### 6.1 新拌玄武岩纤维混凝土材料准备

6.1.1 玄武岩纤维应采用分次、均匀投料方式加入拌合物中，严禁一次性集中投加；纤维投料时间宜控制在拌合中后期，并确保投料过程中拌合设备连续运转。

6.1.2 拌合宜遵循“骨料与部分拌合水先行-形成均匀砂浆-再加入纤维-最后调整用水和外加剂”的顺序，以利用骨料对纤维的分散作用，减少纤维相互缠结。

6.1.3 加入纤维后应适当延长拌合时间，拌合至纤维在混凝土中分布均匀、无明显纤维团聚现象方可出料；拌合时间不足或出现可见纤维结团时应重新拌合。

6.1.4 每盘拌合物出料前应进行目视检查，拌合物中不应出现明显纤维团、纤维球或局部富集现象；不符合要求的拌合物不得进入喷射工序。

6.1.5 速凝剂应采用专用计量装置进行连续、稳定投加，其计量系统应与喷射混凝土供料量联动，确保速凝剂掺量随喷射量变化同步调整，严禁人工随意加减。

6.1.6 速凝剂宜在靠近喷嘴处加入混凝土料流中，并应通过专用混合装置或混合段与拌合物充分混合，避免在输送管道中提前反应或局部富集。

6.1.7 速凝剂加入后，应保证料流具有足够的混合时间和混合强度，使速凝剂在混凝土中分布均匀，不得出现局部瞬凝、结块或凝结差异明显的现象。

## 6.2 喷射准备

### 6.2.1 作业区准备

① 喷射玄武岩纤维混凝土施工前，应检查和处理喷射混凝土作业区的危石和其他危险物件。施工机具应布置于安全地带，严禁放置在危石地段或不坚实的地面及可能坍塌的边坡上。

② 采用人工喷射，当水平喷射的高度超过 1.5m，或竖向喷射的高度超过 3m 时，应搭设工作台架，工作台架外缘应设有栏杆。

③ 喷射设备、水箱、风管等设备应进行密封性能和耐压试验，合格后方可使用。

④ 喷射玄武岩纤维混凝土施工作业中，应检查出料弯头输料管和管路接头等有无磨薄、击穿或松脱现象。喷射作业面转移时，输料软管不得随地拖拉和折弯，供风、供水系统应随之移动。

⑤ 应确保喷射设备司机与喷射手之间的联系畅通。

⑥ 喷射作业区应有良好的通风和足够的光线。

⑦ 非施工作业人员不得进入正进行喷射混凝土施工的作业区。施工作业

时，喷头前方严禁站人。

⑧ 喷射玄武岩纤维混凝土施工作业时，工作人员必须佩戴安全帽、个体防尘用具等劳保用品。

### 6.2.2 喷射面清理

① 喷射作业现场应做好下列准备工作：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；埋设控制喷射混凝土厚度的标志(厚度控制钉、喷射线)；应埋设控制喷射混凝土厚度的标志，其纵横间距宜为 1.0m-1.5m。当设有锚杆时，可用锚杆露出岩面的长度作为控制喷层厚度的标志。

② 受喷面有滴水淋水时喷射前应按下列方法做好治水工作：有明显出水点时可埋设导管排水；导水效果不好的含水岩层可设盲沟排水；竖井淋帮水可设截水圈排水；喷射时宜备有液态速凝剂并应检查速凝剂的泵送及计量装置性能。

## 6.3 设备

### 6.3.1 喷射设备

① 喷射混凝土机的性能应符合下列要求：密封性能应良好，输料应连续均匀；生产率应大于 5m<sup>3</sup>/h，允许集料最大粒径应为 15mm；混凝土输料距离水平不应小于 30m，垂直不应小于 20m；机旁粉尘应小于 10mg/m<sup>3</sup>。

② 输料管工作时的承压能力应大于 0.8MPa，管径应满足输送设计最大粒径集料的要求，并应具有良好的耐磨性能。

### 6.3.2 空气压缩机

空气压缩机的选择除应满足喷射设备工作风压和耗风量的要求外，尚应符合下列规定：

① 转子式喷射设备用空气压缩机的供风量不应小于 9m<sup>3</sup>/min，泵送式喷射设备用空气压缩机的供风量不应小于 4m<sup>3</sup>/min；风送型湿拌混凝土机的供风量不应小于 12m<sup>3</sup>/min；空气压缩机应具有完善的油水分离系统，压缩空气出口温度不应大于 40℃。

② 应能提供稳定的风压，其波动值不应大于 0.01MPa，风压不宜小于 0.6MPa；

③ 空气压缩机至喷射设备的送风管工作时的承压能力不应小于 0.8MPa。

## 6.4 喷射施工

### 6.4.1 喷射施工区域

① 喷射玄武岩纤维混凝土的喷射作业区温度宜为 5℃-35℃，喷射混凝土拌合物温度宜为 10℃-30℃。喷射作业宜避开高温时段，当水分蒸发速率过快时，宜在施工作业面采取挡风、遮阳、浇水降温等措施。冬期施工时，应有保温措施，且不得在结冰的待喷面上进行直接喷射。

② 遇到大风、气温达到冬期施工温度或雨水会冲刷新喷混凝土情况时，应采取遮挡、防寒等措施，可继续喷射。

③ 对有较大蜂窝、低凹处和裂缝的结构，应先进行处理符合要求后，再进行正常喷射。

### 6.4.2 喷射工序

① 喷射作业应分片、分段，自下而上的顺序，每段长度不宜大于 6m。

② 喷射作业时，喷嘴指向与受喷面应保持 90°夹角，当采用人工喷射时喷嘴与喷射面的距离宜为 1.0-1.5m；当采用机械式喷射时喷嘴与喷射面的距离宜为 1.0-2.0m

③ 玄武岩喷射厚度指标应符合本规程 4.1.4 中相关规定。

④ 喷射时产生的回弹物料，严禁重新掺入喷射拌合物中。

⑤ 喷射玄武岩纤维混凝土表面宜再喷射一层保护层，其强度等级不应低于喷射玄武岩纤维混凝土的强度等级。

③ 在喷射过程中，应对分层、蜂窝、疏松、空隙或砂囊等缺陷作铲除和修复处理。

### 6.4.3 喷射间隔

喷射玄武岩纤维混凝土混合料拌制后，当环境温度为 5-30℃时，喷射前混合料最长停放时间不宜超过 120min；当环境温度为>30℃时，喷射前混合料最长停放时间不宜超过 60min。

## 6.5 养护要求

### 6.5.1 养护时间

① 宜采用喷水养护；喷水养护应在喷射混凝土终凝后 2h 进行。

② 当采用自然养护时，用普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥配制的喷射玄武岩

纤维混凝土的养护时间不应少于 7d；用矿渣水泥、粉煤灰水泥或复合水泥配制的喷射玄武岩纤维混凝土的养护时间不应少于 14d。

### 6.5.2 养护环境

① 喷射玄武岩纤维混凝土地下工程处于相对湿度在 95%以上的环境中时，可不进行养护。

② 最短养护时间应满足表 6.1 的规定，当实测强度大于设计强度的 80%时，可停止养护。

表6.1 不同气温条件下最短养护时间要求

养护期间日平均气温(°C)	喷射玄武岩纤维混凝土养护时间(d)
5-9	24
10-19	21
20-29	14
30-35	10

### 6.5.3 特殊施工环境养护

① 喷射玄武岩纤维混凝土冬期施工应符合下列规定：日均温度低于 5°C时，不得采用喷水养护；喷射玄武岩纤维混凝土受冻前强度不得低于 6MPa，且用普通硅酸盐水泥制备的喷射玄武岩纤维混凝土强度不得低于设计强度的 40%；混凝土强度达到设计强度等级标准值 50%时，方可拆除养护措施。

② 喷射玄武岩纤维混凝土强度在下列情况时不得受冻：普通硅酸盐水泥配制的喷射玄武岩纤维混凝土低于设计强度的 30%时；矿渣水泥配制的喷射玄武岩纤维混凝土低于设计强度的 40%时。

③ 不得在冻结面上喷射玄武岩纤维混凝土，也不宜在受喷面温度低于 2°C 时喷射玄武岩纤维混凝土。

④ 喷射玄武岩纤维混凝土冬期施工的防寒保护可用毯子或在封闭的帐篷内加温等措施。

## 7 质量控制

### 7.1 原材料质量控制

- 7.1.1 水泥品种、强度等级及性能指标应符合现行国家标准要求，不得使用受潮结块或超过保质期的水泥；矿物掺合料应与水泥和速凝剂具有良好相容性，使用前应进行必要的相容性试验。
- 7.1.2 细、粗骨料应洁净、坚硬、级配连续，不得含有影响喷射性能和界面黏结性能的杂质；骨料含水率应稳定控制，并在配合比设计中予以修正。
- 7.1.3 玄武岩纤维应采用适用于水泥基材料的短切纤维，其长度、直径及表面处理方式应满足设计要求；纤维应分批检验，不得出现明显结团、受潮或污染现象。
- 7.1.4 减水剂和速凝剂应选用性能稳定、与水泥体系相容性良好的产品；速凝剂应进行掺量、凝结时间及强度影响的验证试验，严禁不同类型速凝剂混合使用。

### 7.2 施工过程质量控制

- 7.2.1 喷射混凝土应严格按照经验证的配合比施工，所有原材料均应采用计量设备准确计量；玄武岩纤维和速凝剂的掺量不得随意调整。
- 7.2.2 拌合过程中玄武岩纤维应分次、均匀投加，并在拌合设备连续运转条件下完成；纤维加入后应保证足够拌合时间，使纤维分布均匀、无明显结团现象。
- 7.2.3 速凝剂应采用专用计量与输送系统，在靠近喷嘴处连续、稳定加入，并与混凝土料流充分混合；施工过程中应保持速凝剂掺量稳定，避免局部瞬凝或凝结不均。
- 7.2.4 喷射时应控制喷嘴与受喷面的距离和角度，保持喷射过程连续稳定；喷射混凝土应密实、均匀，不得出现明显回弹集中、离析或纤维外露严重现象。
- 7.2.5 施工过程中应随时检查拌合物工作性、喷射面外观和凝结情况，发现异常应及时调整工艺参数并记录。

### 7.3 施工后质量监测

- 7.3.1 喷射混凝土成型后，表面应密实、平整，不得出现明显蜂窝、空鼓、分层或纤维团聚外露现象
- 7.3.2 喷射混凝土终凝后应及时进行养护，养护方式和时间应满足设计及规范要求，防止早期失水导致强度和耐久性下降。
- 7.3.3 应按规定制作或取样检测抗压强度、抗折强度等力学性能指标，必要时开展粘结性能和耐久性试验，检测结果应满足设计要求。
- 7.3.4 施工完成后应对原材料合格证明、配合比、施工记录、检测报告等资料进行系统整理，作为质量验收和后续追溯的重要依据。

## 本规程用词用语说明

1 本规程执行严格程度的用词，采用下列写法：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词，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用词，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用词，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用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关强制性标准的规定”。

2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》（×××）的有关规定”。

3) 当引用本标准中的其他规定时，表述为“应符合本规程第×章的有关规定”、“应符合本规程第×.×节的有关规定”、“应符合本规程第×.×.×条的有关规定”或“应按本规程第×.×.×条的有关规定执行”。