

ICS 91.100.40
CCS Q 13

TMAC

团 体 标 准

T/TMAC XXX-2022

隧道工程玄武岩纤维喷射混凝土
技术规范

Technical code for basalt fiber sprayed concrete for tunnel engineering

2022-XX-XX 发布

2022-XX-XX 实施

中国技术市场协会

发布

中国技术市场协会（TMAC）是科技领域内国家一级社团，以宣传和促进科技创新，推动科技成果转移转化，规范交易行为，维护技术市场运行秩序为使命。为满足市场需要，做大做强科技服务业，依据《中华人民共和国标准化法》《团体标准管理规定》，中国技术市场协会有序开展标准化工作。本团体成员和相关领域组织及个人，均可提出修订 TMAC 标准的建议并参与有关工作。

TMAC 标准按《中国技术市场协会团体标准管理办法》《中国技术市场协会团体标准工作程序》制定和管理。

TMAC 标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议多数专家、成员的同意，方可予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料反馈至中国技术市场协会，以便修订时参考。

本标准著作权归中国技术市场协会所有。除了用于国家法律或事先得到中国技术市场协会正式授权或许可外，不许以任何形式复制本标准。

第三方机构依据本标准开展认证、评价业务，须向中国技术市场协会提出申请并取得授权。

中国技术市场协会地址：北京市丰台区万丰路 68 号银座和谐广场 1101B

邮政编码：100036 电话：010-68270447 传真：010-68270453

网址：www.ctm.org.cn 电子信箱：136162004@qq.com

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 原材料要求	2
4.1 玄武岩纤维	2
4.2 水泥	3
4.3 矿物掺合料	3
4.4 粗骨料	3
4.5 细骨料	3
4.6 外加剂	4
4.7 拌合用水	4
5 设计要求	4
5.1 轴心抗压强度与轴心抗拉强度	4
5.2 弹性模量	4
5.3 粘结强度	4
5.4 抗渗等级	5
5.5 抗冻融循环等级	5
5.6 抗化学侵蚀	5
5.7 设计厚度	5
6 性能要求	5
6.1 拌合物性能	5
6.2 抗压强度性能	5
6.3 粘结强度性能	6
6.4 抗弯强度和抗拉强度性能	6
6.5 长期性能	7
6.6 耐久性能	7
7 配合比要求	7
7.1 一般规定	7
7.2 计算配制强度	8
7.3 计算配合比	8
7.4 试配试喷与调整确定	9
8 高强玄武岩纤维喷射混凝土	9
8.1 高强玄武岩纤维喷射混凝土原材料	9

8.2	高强玄武岩纤维喷射混凝土配合比	10
9	玄武岩纤维喷射混凝土施工	10
9.1	一般规定	10
9.2	喷射设备	10
9.3	准备工作	11
9.4	存储与制备	12
9.5	喷射施工	12
9.6	养护	13
10	安全与环保要求	13
10.1	安全要求	13
10.2	环保要求	14
11	质量检验	14
11.1	一般规定	14
11.2	检验频率	14
11.3	检验评定	15
12	质量验收	15
12.1	质量验收要求	15
12.2	质量验收文件	15

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。

请注意本文件中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。

本文件由北京好运达智创科技有限公司提出。

本文件由中国技术市场协会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

隧道工程玄武岩纤维喷射混凝土技术规范

1 范围

本文件规定了隧道工程玄武岩纤维喷射混凝土的术语和定义、原材料要求、设计要求、性能要求、配合比要求、高强玄武岩纤维喷射混凝土、玄武岩纤维喷射混凝土施工、安全与环保要求、质量检验、质量验收等。

本文件适用于公路工程、铁路工程、水利工程、市政工程、矿山工程等山区复杂地质围岩环境下的隧道衬砌喷射混凝土施工，以及对既有隧道的加固处理等施工工程。

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/T 1596—2017 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB/T 8076—2008 混凝土外加剂
- GB/T 17671—1999 水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）
- GB/T 18046—2017 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
- GB/T 27690—2011 砂浆和混凝土用硅灰
- GB/T 38111—2019 玄武岩纤维分类分级及代号
- GB 50010—2010 混凝土结构设计规范
- GB/T 50080—2016 普通混凝土拌合物性能试验方法标准
- GB/T 50082—2019 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准
- GB/T 50107—2010 混凝土强度检验评定标准
- GB 50119—2013 混凝土外加剂应用技术规范
- GB 50164—2011 混凝土质量控制标准
- GB/T 50476—2019 混凝土结构耐久性设计标准
- GB/T 51003—2014 矿物掺合料应用技术规范
- JGJ 52 普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准
- JGJ 55—2011 普通混凝土配合比设计规程
- JGJ 63—2006 混凝土用水标准
- JGJ/T 193—2009 混凝土耐久性检验评定标准
- JGJ/T 221—2010 纤维混凝土应用技术规程
- JGJ/T 372—2016 喷射混凝土应用技术规程

3 术语和定义

GB/T 38111—2019、JGJ/T 372—2016 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

玄武岩纤维 basalt fiber

以一种或多种火山岩为主要原料，高温熔融后经漏板拉丝制备而成的连续纤维。

[来源：GB/T 38111—2019，3.1]

3.2

喷射混凝土 sprayed concrete

将胶凝材料、骨料等按一定比例拌制的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，高速喷至受喷面所形成的一种混凝土。

[来源：JGJ/T 372—2016，2.1.1]

3.3

玄武岩纤维喷射混凝土 basalt fiber sprayed concrete

混凝土拌合物由水泥、矿物掺合料、骨料、玄武岩纤维、外加剂等组成的喷射混凝土。

4 原材料要求

4.1 玄武岩纤维

4.1.1 生产玄武岩纤维的原材料应为纯天然且无任何添加成分的玄武岩矿石。

4.1.2 玄武岩纤维外观色泽应均匀，表面无污染。

4.1.3 玄武岩纤维的规格尺寸应符合表 1 的规定。如经试验确定其他规格的玄武岩纤维更适用于实际工程后，也可以使用其他规格的玄武岩纤维。

表 1 玄武岩纤维的规格和尺寸

纤维类型	公称长度 (mm)	单丝公称直径 (μm)
原丝	15~30	9~25
加捻合股纱	6~50	7~13

4.1.4 玄武岩纤维的性能指标应符合表 2 的规定。

表 2 玄武岩纤维的性能指标

项目	性能指标
拉伸强度 (MPa)	≥ 1250
弹性模量 (GPa)	≥ 40
断裂伸长率 (%)	≤ 3.1
耐碱性能，单丝断裂强度保留率 (%)	≥ 75

4.2 水泥

4.2.1 玄武岩纤维喷射混凝土宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥进行配制。

4.2.2 当玄武岩纤维喷射混凝土用于永久性结构时，其水泥强度等级不应低于 42.5 级。

4.3 矿物掺合料

4.3.1 采用粉煤灰作为矿物掺合料时，粉煤灰应为 F 类，等级不应低于 II 级，烧失量不应大于 5%，其他性能应符合 GB/T 1596—2017 的规定。

4.3.2 采用硅灰作为矿物掺合料时，应符合 GB/T 27690—2011 的规定。

4.3.3 采用粒化高炉矿渣粉作为矿物掺合料时，等级不应低于 S95，其他性能应符合 GB/T 18046—2017 的规定。

4.3.4 采用其他矿物掺合料时，其性能除应符合 GB/T 51003—2014 的规定外，还应经由试验验证，确定玄武岩纤维喷射混凝土的性能满足设计要求后方可使用。

4.4 粗骨料

4.4.1 粗骨料应采用连续级配的碎石或卵石，最大公称粒径不宜大于 10mm。

4.4.2 粗骨料的针、片状颗粒含量、含泥量及泥块含量要求如表 3 所示。

表 3 粗骨料的针、片状颗粒含量、含泥量及泥块含量

项目	指标 (%)
针、片状颗粒含量 (C20~C35)	≤12.0
针、片状颗粒含量 (≥C40)	≤8.0
含泥量	≤1.0
泥块含量	≤0.5

4.4.3 当使用碱性速凝剂时，不应使用含有活性二氧化硅的骨料。

4.4.4 粗骨料其他性能及试验方法应符合 JGJ 52 的规定。

4.5 细骨料

4.5.1 细骨料宜选用 II 区中砂。

4.5.2 采用干拌法喷射时，细骨料的含水率不宜大于 6%。

4.5.3 天然砂的含泥量和泥块含量要求如表 4 所示。

表 4 天然砂的含泥量和泥块含量

项目	指标 (%)
含泥量	≤3.0
泥块含量	≤1.0

4.5.4 人工砂的石粉含量要求如表 5 所示。

表 5 人工砂的石粉含量

混凝土强度等级	石粉含量 (%)	
	MB<1.4 (合格)	MB≥1.4
≤C20	≤10.0	≤5.0
C25~C35	≤8.0	≤3.0
≥C40	≤5.0	≤2.0

4.5.5 细骨料其他性能及试验方法应符合 JGJ 52 的规定。

4.6 外加剂

4.6.1 玄武岩纤维喷射混凝土宜采用无碱或低碱速凝剂。

4.6.2 速凝剂掺量应通过试验确定，不宜超过 10%，使其与水泥具有良好的适应性。

4.6.3 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。

4.6.4 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%。

4.6.5 其他外加剂的性能应符合 GB8076—2008 和 GB 50119—2013 的规定。

4.7 拌合用水

混凝土拌合用水和养护用水应符合 JGJ 63—2006 的规定。

5 设计要求

5.1 轴心抗压强度与轴心抗拉强度

玄武岩纤维喷射混凝土的轴心抗压强度标准值与设计值、轴心抗拉强度标准值与设计值均应符合 GB 50010—2010 的规定。

5.2 弹性模量

玄武岩纤维喷射混凝土的弹性模量取值如表 6 所示。

表 6 玄武岩纤维喷射混凝土的弹性模量 (MPa)

强度等级	弹性模量
C20	2.3
C25	2.6
C30	2.8
C35	3.0
C40	3.15

5.3 粘结强度

5.3.1 玄武岩纤维喷射混凝土用于永久性结构时，应进行粘结强度试验。

5.3.2 玄武岩纤维喷射混凝土与岩石及混凝土的最小粘结强度取值如表 7 所示。

表 7 玄武岩纤维喷射混凝土与岩石及混凝土的最小粘结强度 (MPa)

粘结类型	与岩石的最小粘结强度	与混凝土的最小粘结强度
结构作用	0.8	1.0
非结构作用	0.2	0.5

5.4 抗渗等级

玄武岩纤维喷射混凝土的抗渗等级不应低于 P6，含水岩层或恶劣的暴露环境中的玄武岩纤维喷射混凝土抗渗等级不应低于 P8。

5.5 抗冻融循环等级

处于冻融侵蚀环境下的永久性玄武岩纤维喷射混凝土工程，其抗冻融循环等级不应低于 F200。

5.6 抗化学侵蚀

处于化学侵蚀环境下的永久性玄武岩纤维喷射混凝土工程，应进行氯离子渗透试验或抗硫酸盐侵蚀试验，并应符合 GB/T 50476—2019 的规定。

5.7 设计厚度

5.7.1 玄武岩纤维喷射混凝土的设计厚度不应小于 50mm，且不宜超过 300mm。

5.7.2 单层衬砌玄武岩纤维喷射混凝土的设计厚度不应小于 60mm。

6 性能要求

6.1 拌合物性能

6.1.1 玄武岩纤维喷射混凝土应具有良好的和易性，不得出现离析、泌水或纤维结团现象，并应满足工程设计和施工要求。

6.1.2 湿拌法玄武岩纤维喷射混凝土的拌合物坍落度应控制在 80mm~200mm 范围内。

6.1.3 玄武岩纤维喷射混凝土拌合物中的水溶性氯离子的含量应符合 JGJ/T 221—2010 的规定。

6.1.4 有预防混凝土碱骨料反应设计要求的工程，玄武岩纤维喷射混凝土中的总碱含量不应大于 3kg/m³。

6.1.5 拌合物性能的试验方法应符合 GB/T 50080—2016 的规定。

6.2 抗压强度性能

6.2.1 玄武岩纤维喷射混凝土工程应进行 28d 龄期的抗压强度试验。

6.2.2 若有早期强度要求时，应根据设计龄期进行早期强度试验。当早期强度设计龄期小于 1d 或强度低于 5MPa 时，宜采用拉拔法或贯入法检测。

6.2.3 对于抗压强度的等级应按立方体抗压强度标准值或圆柱体抗压强度标准值来确定。

6.2.4 抗压强度的评定应按照 GB/T 50107—2010 的规定执行。

6.2.5 抗压强度试验方法应按照 JGJ/T 372—2016 中附录 C 的方法进行。

6.3 粘结强度性能

玄武岩纤维喷射混凝土的粘结强度试验应按照 JGJ/T 372—2016 中附录 D 的方法进行。

6.4 抗弯强度和抗拉强度性能

6.4.1 玄武岩纤维喷射混凝土应进行抗弯强度和抗拉强度试验，最小抗弯强度取值如表 8 所示。

表 8 最小抗弯强度 (MPa)

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

6.4.2 玄武岩纤维喷射混凝土应根据设计要求进行混凝土弯曲韧性试验，弯曲韧性可采用残余抗弯强度或能量吸收等级表示。不同变形等级和不同残余抗弯强度等级下的残余抗弯强度不应小于表 9 所示的取值；不同能量吸收等级下的能量吸收值不应小于表 10 所示的取值。

表 9 残余抗弯强度 (MPa)

变形等级	梁的挠度 (mm)	残余抗弯强度			
		等级 1	等级 2	等级 3	等级 4
一	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

表 10 能量吸收值

能量吸收等级	试件中心点挠度为 25mm 的能量吸收值 (J)
E500	500
E700	700
E1000	1000

6.4.3 玄武岩纤维喷射混凝土的抗拉强度试验应按照 JGJ/T 221—2010 的规定进行；抗弯强度和残余抗弯强度试验应按照 JGJ/T 372—2016 中附录 E 的方法进行；能量吸收等级试验应按照 JGJ/T 372—2016 中附录 F 的方法进行。

6.5 长期性能

6.5.1 玄武岩纤维喷射混凝土的收缩和徐变性能应符合设计要求并应进行相应试验，试验应按照 GB/T 50082—2019 规定的方法进行。

6.5.2 测试长期性能的玄武岩纤维喷射混凝土试件应采用大板喷射取样制作，制作方法应按照 JGJ/T 372—2016 中附录 B 的方法进行。

6.6 耐久性能

6.6.1 玄武岩纤维喷射混凝土的抗冻、抗渗、抗氯离子渗透及抗硫酸盐侵蚀等耐久性能应符合设计要求并应进行相应试验，试验应按照 GB/T 50082—2019 规定的方法进行。

6.6.2 测试耐久性能的玄武岩纤维喷射混凝土试件应采用大板喷射取样制作，制作方法应按照 JGJ/T 372—2016 中附录 B 的方法进行。

7 配合比要求

7.1 一般规定

7.1.1 玄武岩纤维喷射混凝土的配合比应先通过初始计算，再经试验最终得出。

7.1.2 初始配合比应根据施工工艺、工程特点及环境因素，在综合考虑混凝土的配制强度、拌合物性能、抗压强度、粘结强度、抗弯强度、抗拉强度、长期性能、耐久性能的基础上得出。

7.1.3 最终配合比应根据试验室的试配试喷和优化调整，得出满足喷射性能、强度与耐久性要求的实际配合比。

7.1.4 玄武岩纤维喷射混凝土的水泥用量不应小于 $300\text{kg}/\text{m}^3$ ，最小胶凝材料用量不宜小于 $400\text{kg}/\text{m}^3$ 。

7.1.5 矿物掺合料的掺量应通过试验确定，有早期强度要求时应进行早期强度试验。

7.1.6 采用硅酸盐或普通硅酸盐水泥时，矿物掺合料的最大掺量取值宜符合如表 11 所示的规定。

表 11 矿物掺合料的最大掺量

矿物掺合料	最大掺量 (%)	
	硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥
粉煤灰	30	20
硅灰	12	10
粒化高炉矿渣粉	30	20
复掺	50	40

7.1.7 采用其他通用硅酸盐水泥时，宜将水泥混合材掺量的 20% 以上的混合材计入矿物掺合料。

7.1.8 在混合使用两种或两种以上矿物掺合料时，矿物掺合料的总掺量应符合表 11 中复掺的规定，且各组分的掺量不超过单掺时的最大掺量。

7.2 计算配制强度

7.2.1 对于玄武岩纤维喷射混凝土应先进行试配，试配后再根据试配结果进行试喷，以验证其强度是否符合实际需求。

7.2.2 试喷强度应符合其配制强度的要求，配制强度按式（1）计算：

$$f_{cu,0} \geq f_{cu,k} + 1.645\delta \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$f_{cu,0}$ ——混凝土配制强度值，单位为 MPa；

$f_{cu,k}$ ——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；

δ ——混凝土强度标准差，单位为 MPa。

7.2.3 玄武岩纤维喷射混凝土强度标准差 δ 应符合 JGJ 55—2011 的规定。

7.3 计算配合比

7.3.1 试配玄武岩纤维喷射混凝土的水胶比时，应考虑喷射工艺和速凝剂等对强度产生的影响。

7.3.2 玄武岩纤维喷射混凝土的水胶比按式（2）计算：

$$\frac{W}{B} = \frac{\alpha_a f_b}{f_{cu,0} k_1 k_2 + \alpha_a \alpha_b f_b} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$\frac{W}{B}$ ——混凝土的水胶比；

α_a 、 α_b ——回归系数，应符合 JGJ 55—2011 的规定；

k_1 ——混凝土密实度系数；

k_2 ——速凝剂强度影响系数；

f_b ——胶凝材料 28d 胶砂抗压强度，单位为 MPa。

7.3.3 胶凝材料 28d 胶砂抗压强度应按照 GB/T 17671—1999 规定的试验方法实测得到，也可按照 JGJ 55—2011 的规定来确定。

7.3.4 玄武岩纤维喷射混凝土的密实度系数 k_1 取值如表 12 所示。

表 12 密实度系数

喷射工艺	湿拌法	干拌法
密实度系数	1.05~1.25	1.20~1.45

7.3.5 玄武岩纤维喷射混凝土的速凝剂强度影响系数 k_2 取值如表 13 所示。

表 13 速凝剂强度影响系数

速凝剂	不掺速凝剂	无碱速凝剂	低碱速凝剂	碱性速凝剂
强度影响系数	1.00	1.00~1.10	1.05~1.25	1.25~1.40

- 7.3.6 玄武岩纤维喷射混凝土的水胶比还应根据混凝土结构暴露的环境类别得到水胶比限制要求。
- 7.3.7 有早期强度要求时，应根据早期强度指标进行试验，确定水胶比。
- 7.3.8 干拌法玄武岩纤维喷射混凝土的表观密度可取 $2200\text{kg/m}^3\sim 2300\text{kg/m}^3$ ，湿拌法玄武岩纤维喷射混凝土的表观密度不应低于 2300kg/m^3 。
- 7.3.9 玄武岩纤维喷射混凝土可选择适宜的减水剂，用水量宜为 $180\text{kg/m}^3\sim 220\text{kg/m}^3$ ；砂率宜在 45%~60%之间。
- 7.3.10 玄武岩纤维喷射混凝土中的纤维掺量应以体积率表示，并根据弯曲韧性指标确定。
- 7.3.11 当无明确弯曲韧性要求时，玄武岩纤维掺量宜在 0.05%~0.30%之间取值，并经试配确定。
- 7.3.12 玄武岩纤维喷射混凝土的配合比计算除应符合本规范外，还应符合 JGJ 55—2011 的有关规定。

7.4 试配试喷与调整确定

- 7.4.1 玄武岩纤维喷射混凝土应通过计算配合比进行试拌，采用强制式搅拌机进行搅拌，每盘试拌的最小搅拌量为 20L。
- 7.4.2 在计算水胶比时，宜保持不变，通过调整配合比的其他参数，使玄武岩纤维喷射混凝土拌合物的性能达到设计及施工要求。
- 7.4.3 通过不断修正优化计算配合比，得到试配配合比。
- 7.4.4 玄武岩纤维喷射混凝土应采用三种不同的配合比，一种为试配配合比，其余两种配合比的水胶比分别比试配配合比增加和减少 0.05，砂率分别增加和减少 1%，用水量同试配配合比相同。
- 7.4.5 利用三种配合比进行试喷，试喷的单盘最小搅拌量不应小于 100L。
- 7.4.6 应对试喷不能达到施工要求的配合比进行调整优化，调整优化时水胶比保持不变。
- 7.4.7 对试喷达到施工要求的三种配合比，分别进行大板喷射取样和试件加工。
- 7.4.8 在配合比试喷的基础上，还应按照 JGJ 55—2011 的规定对混凝土配合比进行调整和校正。
- 7.4.9 对校正后的玄武岩纤维喷射混凝土配合比经试喷达到要求后，还应对有耐久性设计要求的混凝土进行相关耐久性试验验证，符合要求的，可确定为最终实际配合比。
- 7.4.10 玄武岩纤维喷射混凝土配合比确定后，应进行生产适应性验证。

8 高强玄武岩纤维喷射混凝土

8.1 高强玄武岩纤维喷射混凝土原材料

- 8.1.1 高强玄武岩纤维喷射混凝土的水泥应选用硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥，并掺加适量的硅灰矿物掺合料。
- 8.1.2 粗骨料采用连续级配，其最大公称粒径不大于 12mm，针片状颗粒含量不大于 5.0%，含泥量不大于 0.5%，泥块含量不大于 0.2%。

- 8.1.3 细骨料细度模数为 2.4~2.8，含泥量不应大于 2.0%，泥块含量不应大于 0.5%。
- 8.1.4 减水剂采用减水率不低于 25%的高性能减水剂；速凝剂采用液态无碱速凝剂。

8.2 高强玄武岩纤维喷射混凝土配合比

- 8.2.1 高强玄武岩纤维喷射混凝土的配合比应通过试验进行验证并确定。
- 8.2.2 高强玄武岩纤维喷射混凝土的水胶比不应大于 0.45，胶凝材料用量不应小于 450kg/m³。
- 8.2.3 应通过试验来确定矿物掺合料及外加剂的品种与掺量，硅灰的掺量不宜超过 10%。
- 8.2.4 配合比试喷应采用三种不同的配合比，其中一种为试配配合比，其余两种配合比的水胶比分别比试配配合比增加和减少 0.02。
- 8.2.5 配合比确定后，应采用该配合比进行不少于三次试喷，且混凝土的抗压强度不应低于配置强度。

9 玄武岩纤维喷射混凝土施工

9.1 一般规定

- 9.1.1 玄武岩纤维喷射混凝土应按设计要求进行施工，在施工前应编制相应施工方案。
- 9.1.2 玄武岩纤维喷射混凝土施工操作应配置专业的仪器设备，在施工前应熟悉设备性能并进行试喷，混凝土性能满足使用要求后方可进行施工。
- 9.1.3 玄武岩纤维喷射混凝土应在受喷面、配筋等质量验收合格后方可进行施工。
- 9.1.4 隧道断面较大时，应采用湿拌法进行喷射施工。
- 9.1.5 在运输及喷射过程中，严禁向采用湿拌法的玄武岩纤维喷射混凝土中加水。
- 9.1.6 对于 C30 及以上强度等级的喷射混凝土不宜采用干拌法进行喷射施工。

9.2 喷射设备

- 9.2.1 应根据工程条件、施工量、混凝土配合比等实际因素选择适合的喷射设备。
- 9.2.2 湿拌法喷射设备应达到下列要求：
 - a) 生产能力大于 5m³/h，允许输送骨料的粒径不大于 15mm；
 - b) 水平输料距离不小于 30m，纵向输料距离不小于 20m；
 - c) 具有连续均匀的输料能力与良好的密封性。
- 9.2.3 干拌法喷射设备应达到下列要求：
 - a) 生产能力大于 3m³/h，允许输送骨料的粒径不大于 20mm；
 - b) 水平输料距离不小于 100m，纵向输料距离不小于 20m；
 - c) 具有连续均匀的输料能力与良好的密封性。
- 9.2.4 选择空气压缩机时，除应满足喷射设备工作风压和耗风量的要求外，还应达到下列要求：
 - a) 转子式喷射设备用空气压缩机的供风量不应小于 9 m³/min；
 - b) 泵送式喷射设备用空气压缩机的供风量不应小于 4 m³/min；
 - c) 能提供稳定的风压，其波动值不大于 0.01MPa，风压不小于 0.6MPa；
 - d) 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。

9.2.5 对于干拌法玄武岩纤维喷射混凝土施工供水设施喷头的水压应控制在 0.15MPa~0.20MPa 之间。

9.2.6 输料管工作时的承压能力应大于 0.8MPa，管径应符合最大粒径骨料顺利通过的要求，并具备较好的耐磨性能。

9.3 准备工作

9.3.1 施工现场

玄武岩纤维喷射混凝土施工现场的准备工作应达到以下要求：

a) 当采用人工喷射的水平喷射高度超过 1.5m 或竖向喷射高度超过 3m 时，应搭设带有栏杆的工作台架；

b) 喷射设备操作人员与司机之间应保持顺畅的联络沟通；

c) 应拆除玄武岩纤维喷射混凝土施工区域内的一切障碍物；

d) 应埋设测量混凝土喷层厚度的标志，其纵横间距宜为 1.0m~1.5m；

e) 喷射作业区域应具备良好的通风条件和光线条件。

9.3.2 地下工程

地下工程施工准备工作应达到以下要求：

a) 应清理开挖面的碎石、岩渣、黏土等杂物；

b) 采用压缩空气或高压水方式冲洗喷射面；

c) 对遇水易受侵蚀与破坏的喷射面，应采用压缩空气方式进行清理；

d) 对于泥、砂质岩面应采用挂设钢筋网，外加利用锚钉或钢架的形式进行固定；

e) 当基底出现渗水时，应通过设置导管或排水过滤材料等辅助措施进行排水处理。

9.3.3 加固工程

加固工程施工准备工作应达到以下要求：

a) 对于结构表面有渗水、漏水现象时，应提前做好防水处理工作；

b) 对于基底应进行预湿处理，达到饱和面干；

c) 对于混凝土结构的待喷面表面，应进行凿毛处理，并清理掉混凝土表面的砂石、残渣和粉尘，然后用压缩空气和高压水清洗干净；

d) 对于砌体结构的待喷面表面，应对受侵蚀破坏的砌体或疏松灰缝进行处理，灰缝处理深度宜为 10mm；

e) 混凝土碳化深度超出规定时，应清理混凝土碳化到首层钢筋下至少 20mm 深度，且清理总深度不少于 50mm；

f) 混凝土的氯离子含量超过限值时，应清理混凝土到首层钢筋下至少 30mm 深度，且氯离子含量合格的混凝土面到原混凝土表面不小于 100mm；

g) 加固部位的钢筋松脱或突出混凝土表面达钢筋直径 1/2 时，应清理混凝土到首层钢筋下至少 20mm 深度；

h) 应对钢筋表面出现锈蚀的情况进行除锈处理，当钢筋锈蚀面积达原截面的 1/12 以上时，应按设计要求进行处理；

i) 采用置换混凝土加固法时，应在达到清理被置换的混凝土缺陷边缘后，再向外多延

伸一段，其长度不应小于 50mm；

j) 对被置换的混凝土缺陷范围较小的构件，应从缺陷中心向四周扩展，其长度和宽度均不应小于 200mm。

9.3.4 异型结构工程

对于异形结构工程施工的模板及支架应达到以下要求：

- a) 应保证异形结构的形状、尺寸和相对位置的准确性；
- b) 模板的接缝应保证严密，不得出现漏浆现象；
- c) 支架应具有足够的牢固性和稳定性，能安全承受喷射混凝土的重量及施工过程中产生的荷载。

9.4 存储与制备

9.4.1 玄武岩纤维喷射混凝土原材料的存储应达到以下要求：

- a) 玄武岩纤维应按不同厂家、规格和等级分批存储，并防止受潮和污染；
- b) 水泥应按不同厂家、品种和强度等级分批存放，并防止受潮和污染；
- c) 矿物掺合料应按不同种类分开存放，不得混杂，应有明显标记，并防止受潮和污染；
- d) 骨料应按不同品种、规格分别堆放，堆料仓应设有分隔区域，并具有遮雨设施；
- e) 外加剂应按不同厂家、品种和牌号进行标识，单独存放，防止污染；
- f) 粉状外加剂应防止受潮结块，液体外加剂应密封严实，并注意遮阳和防冻。

9.4.2 原材料的计量应符合以下要求：

- a) 宜采用电子计量设备进行原材料的计量；
- b) 原材料计量应符合 GB 50164—2011 的规定；
- c) 每盘混凝土原材料计量允许偏差应符合如表 14 所示的规定。

表 14 每盘混凝土原材料计量允许偏差 (%)

原材料种类	玄武岩纤维	胶凝材料	骨料	外加剂	拌合用水
每盘计量允许偏差	±1	±2	±3	±1	±1

9.4.3 玄武岩纤维喷射混凝土搅拌前，应对骨料进行含水率测试，并根据骨料含水率情况对用水量和骨料用量进行调整。当骨料含水率有显著变化时，应增加测试的次数。

9.4.4 玄武岩纤维喷射混凝土拌合物的搅拌方式和搅拌时间应符合 JGJ/T 221—2010 的规定。

9.4.5 拌合物中玄武岩纤维应分布均匀，不得出现结团现象。

9.4.6 除附属结构外，玄武岩纤维喷射混凝土不得采用干拌法。

9.4.7 玄武岩纤维喷射混凝土拌合物拌制后至喷射的最长时间间隔不应大于 120min。

9.5 喷射施工

9.5.1 玄武岩纤维喷射混凝土施工环境温度宜位于 5℃~35℃之间，宜避开高温和寒冷时段作业。

- 9.5.2 若无法避开高温和寒冷时段作业，当高温水分蒸发较快时，应在施工区域采取挡风、遮阳等措施；在寒冷环境下施工时，应采取防寒保温措施，且不得在结冰的待喷面上进行喷射作业。
- 9.5.3 遇到大风或可能被雨水冲刷情况时，应采取必要的遮挡措施，处置得当后可继续喷射。
- 9.5.4 混凝土拌合物的温度宜为 10℃~30℃。
- 9.5.5 喷射施工应分片、分段进行，每段长度不大于 6m，并按照自下而上的顺序喷射。
- 9.5.6 对待喷面有较大凹陷、裂缝的结构，应先进行处理，再进行喷射作业。
- 9.5.7 喷射时，喷嘴应保持与受喷面成垂直角度喷射，喷射距离应符合如表 15 所示的规定。

表 15 喷嘴与受喷面的喷射距离

喷射方式	距离 (m)
人工喷射	1.0~1.5
机械式喷射	1.0~2.0

- 9.5.8 喷射厚度大于 100mm 时，应采取分层喷射的方法。一次水平喷射的厚度不应大于 80mm；一次竖直喷射的厚度不应大于 60mm。
- 9.5.9 分层喷射时，两次喷射的间隔时间应大于 1h，第二次喷射应在第一次喷射的混凝土终凝后进行，并应采用压缩空气或高压水对喷层表面进行清洗处理。
- 9.5.10 喷射施工中，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%。喷射时产生的回弹物料，不得重新掺入喷射拌合物中。
- 9.5.11 玄武岩纤维喷射混凝土表面宜再喷射一层素混凝土保护层，其强度等级不应低于玄武岩纤维喷射混凝土的强度等级。

9.6 养护

- 9.6.1 玄武岩纤维喷射混凝土终凝后应及时进行不少于 7d 的保湿养护，重要工程的养护时间不少于 14d。
- 9.6.2 若玄武岩纤维喷射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。
- 9.6.3 在日均温度低于 5℃ 环境下施工的玄武岩纤维喷射混凝土，不得采用喷水养护。
- 9.6.4 对于采取保温措施的玄武岩纤维喷射混凝土，其强度达到设计强度 50% 等级值时，才能停止养护措施。
- 9.6.5 停止养护措施前，喷射混凝土的强度不得低于 6MPa，且用普通硅酸盐水泥制备的玄武岩纤维喷射混凝土强度不得低于设计强度的 40%。

10 安全与环保要求

10.1 安全要求

- 10.1.1 玄武岩纤维喷射混凝土施工前，应编制喷射施工安全方案。

- 10.1.2 喷射施工前应检查施工区环境的安全性，排除危石、坍塌等不安全因素。
- 10.1.3 应提前对喷射设备及水箱、风管等设备进行密封性能和耐压试验，合格后才可使用。
- 10.1.4 喷射施工工作台架应保证牢固，并应设置安全栏杆。
- 10.1.5 喷射施工中，工作人员必须正确佩戴安全帽及穿戴个体防尘和防护用具。
- 10.1.6 喷射施工中，严禁在喷头前方站人或穿行，非施工人员不得随意进入施工区域。
- 10.1.7 在喷射施工中，应注意检查输料管、出料弯头、管路接头等有无泄露、磨损、松动等现象。
- 10.1.8 转移喷射区域时，不得随意拖拉、折弯输料管，以免损坏，并应同步移动供风和供水系统。
- 10.1.9 喷射玄武岩纤维混凝土施工时，应采取必要措施防止纤维等回弹物飞溅并扎伤人员。
- 10.1.10 在瓦斯隧道施工期间，应保证连续通风，防止瓦斯积聚酿成事故。
- 10.1.11 在高瓦斯区和瓦斯突出区，必须使用防爆型电气设备和作业机械保证安全。

10.2 环保要求

- 10.2.1 在粉尘浓度较高的区域进行玄武岩纤维喷射混凝土施工时，应通过加强通风，设置集尘器、除尘器、除尘水幕等方法来降低粉尘浓度。
- 10.2.2 玄武岩纤维喷射混凝土作业区的粉尘浓度应控制在 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。

11 质量检验

11.1 一般规定

- 11.1.1 玄武岩纤维喷射混凝土原材料进场时，应检查各原材料出厂检验报告、合格证等质量证明文件，玄武岩纤维和外加剂产品还应提供使用说明书。
- 11.1.2 原材料进场后，应根据本规范第4章及 GB 50164—2011 的规定，对检验项目与批次进行进场检验，合格后方可使用。
- 11.1.3 应对玄武岩纤维喷射混凝土的拌合物性能、抗压强度、粘结强度、厚度等项目进行质量检验。
- 11.1.4 对于有早期强度要求的工程，还应检测早期强度。

11.2 检验频率

- 11.2.1 玄武岩纤维喷射混凝土的黏聚性、坍落度的取样检验频率应与强度检验相同。
- 11.2.2 对于有抗冻要求的玄武岩纤维喷射混凝土，应检验拌合物的含气量，每工作台班应至少检验1次。
- 11.2.3 对于同一工程、同一配合比混凝土的水溶性氯离子含量应至少检验1次。
- 11.2.4 喷层厚度的检验频率宜为每 50m^2 /个，最多不应超过 200m^2 /个，隧道的检查应从拱顶起。
- 11.2.5 对于加固工程和异形结构工程，应根据不同构件的喷射面确定喷层厚度的检查点，检查点间距不得大于 2m ，单个构件每一面的检查点不宜少于3个。
- 11.2.6 混凝土抗压强度取样检验频率应符合 GB/T 50107—2010 的有关规定。

11.3 检验评定

11.3.1 玄武岩纤维喷射混凝土抗压强度、粘结强度、抗弯强度、抗拉强度、长期性能和耐久性能应满足设计要求及符合本规范第 6.2~6.6 节的规定。

11.3.2 玄武岩纤维喷射混凝土耐久性能的检验评定还应符合 JGJ/T 193—2009 的规定。

11.3.3 硬化后的玄武岩纤维喷射混凝土抗压强度的检验评定应符合 GB/T 50107—2010 的规定。

11.3.4 当试件的抗压强度存在争议时，可在工程实体上钻取混凝土芯样进行强度评定。

11.3.5 对设计有其他力学性能检验评定应符合国家现行相关标准规定和工程要求。

11.3.6 玄武岩纤维喷射混凝土厚度应采用钻孔法检验，检验孔处喷层厚度的平均值不应小于设计厚度。

11.3.7 80%喷层的检验孔处喷层厚度不应小于设计厚度，最小值不应小于设计厚度的 60%。

11.3.8 对于加固工程和异形结构工程，喷层厚度的允许偏差值应为-5mm~8mm。

12 质量验收

12.1 质量验收要求

玄武岩纤维喷射混凝土工程质量验收要求应符合如表 16 所示的规定。

表 16 工程质量验收要求

项目	检查内容	验收要求
主控项目	拌合物性能	达到设计要求
	抗压强度	达到设计要求
	粘结强度	达到本规范第 5.3 条的要求
	喷射厚度	达到设计要求
一般项目	表面质量	无漏喷、无裂缝、无脱落、无露筋、无空鼓、无渗水、无漏水

12.2 质量验收文件

12.2.1 玄武岩纤维喷射混凝土工程验收应按设计要求和质量合格条件进行分项工程验收。

12.2.2 玄武岩纤维喷射混凝土工程质量验收文件包括但不限于：

- a) 喷射施工方案；
- b) 施工图设计文件；
- c) 原材料出厂检验报告或质量合格证；
- d) 原材料进场复验报告；
- e) 喷射混凝土性能检测报告；
- f) 喷射混凝土厚度检测记录与报告；
- g) 喷射混凝土工程施工记录；
- h) 隐蔽工程验收记录；

- i) 其他必要的文件和记录。
-