

工程建设团体标准

T/HCBA

T/HCBA×××-2022

高性能喷射混凝土应用技术规程

Technical specification for application of high performance
sprayed concrete

（征求意见稿）

2022-×-×-发布

2022-×-×-实施

湖南省建设科技与建筑节能协会 发布

前 言

为了满足高性能喷射混凝土应用的需要，在高性能喷射混凝土工程应用的设计、施工与验收规定等方面提供成套技术成果，结合湖南省工程实际系统解决高性能喷射混凝土工程中的技术问题，为高性能喷射混凝土工程在设计、施工与验收规定等方面提供依据，编制本规程。

规程编制组在编制研究过程中，以国家、行业和湖南省现行有关标准为依据，进行了必要的试验，总结了高性能喷射混凝土应用工程中的实践经验，借鉴了其它同类工程的经验和相关标准的条文，结合湖南省具体情况而编制。

规程内容包括总则、术语和符号、材料、设计、施工、质量检验与验收，共分 7 章 6 个附录，对高性能喷射混凝土工程应用中的材料性能、技术要求、设计与施工及验收等作了相应较系统的具体规定。

本规程由湖南人健宝固高新科技发展有限公司、长沙理工大学等单位组成规程编制组。

经规程编制组多次讨论，形成多稿，反复修改，现形成征求意见稿，请生产、设计、科研、管理、施工等单位和专家提出宝贵意见。

有关意见请发至

mgbyrh@163.com

万分感谢！

目 次

- 1 总则
- 2 术语和符号
 - 2.1 术语
 - 2.2 符号
- 3 材料
 - 3.1 胶凝材料
 - 3.2 矿物掺合料
 - 3.3 骨料
 - 3.4 外加剂
 - 3.5 水
 - 3.6 配合比
- 4 基本性能
 - 4.1 拌合物性能
 - 4.2 力学性能
 - 4.3 长期性能和耐久性能
- 5 设计
 - 5.1 一般规定
 - 5.2 隧道与地下工程高性能喷射混凝土设计
 - 5.3 边坡工程高性能喷射混凝土设计
 - 5.4 基坑工程高性能喷射混凝土设计
 - 5.5 加固工程高性能喷射混凝土设计
- 6 施工
 - 6.1 一般规定
 - 6.2 施工机具
 - 6.3 喷射前的准备工作
 - 6.4 制备与运输
 - 6.5 喷射作业
 - 6.6 钢筋网喷射混凝土施工
 - 6.7 养护
 - 6.8 冬期施工
 - 6.9 安全环保

7 质量检验与验收

7.1 质量检验与评定

7.2 工程质量验收

附录 A 高性能喷射混凝土试件的制作方法

附录 B 高性能喷射混凝土抗压强度试验

附录 C 高性能喷射混凝土粘结强度试验

附录 D 高性能喷射混凝土抗弯强度和残余抗弯强度试验

附录 E 高性能喷射混凝土能量吸收等级试验

附录 F 高性能喷射混凝土回弹率试验

本规程用词说明

引用标准名录

附：条文说明

1 总则

1.0.1 为促进和规范高性能喷射混凝土在工程中的应用，确保工程质量，规范其设计、施工和验收，做到安全适用、经济合理、技术先进，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于新建、改建、扩建与加固的建筑、公路、桥梁隧道、水利、井巷、采矿、地下工程以及边坡基坑等工程采用高性能喷射混凝土的材料选择、设计、施工和验收。

1.0.3 高性能喷射混凝土及其工程应用，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家、行业和湖南省现行相关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 高性能喷射混凝土 high performance sprayed concrete

以建设工程设计、施工和使用对混凝土性能特定要求为总体目标，将胶凝材料、骨料、水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将其送到喷头和速凝剂混合后，高速喷至受喷面所形成的一种具有优异的力学性能、耐久性能和长期性能的混凝土。简称HPSC。

2.1.2 喷射回弹率 rebound ratio of spraying

喷射时，喷嘴喷出未粘结在受喷面上的溅落拌合物与总喷出拌合物的质量百分比。

2.1.3 碱性速凝剂 alkali accelerator

总碱含量大于10.0%的速凝剂，以 Na_2O 当量计。

2.1.4 低碱速凝剂 low-alkali accelerator

总碱含量大于1.0%且不大于5.0%的速凝剂，以 Na_2O 当量计。

2.1.5 无碱速凝剂 alkali-free accelerator

总碱含量不大于1.0%的速凝剂，以 Na_2O 当量计。

2.1.6 速凝粘度调节剂 quick-setting viscosity regulator

掺入混凝土中能使混凝土迅速凝结硬化又能调节混凝土粘度的外加剂，其PH值 <7 ，总碱含量不大于0.5%，以 Na_2O 当量计。

2.2 符号

- f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；
- f_{ck} ——混凝土轴心抗拉强度设计值；
- $f_{cu,o}$ ——混凝土配制强度；
- $f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值；
- f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值；
- f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值；
- σ ——混凝土强度标准差。

3 材料

3.1 水泥

3.1.1 水泥品种与强度等级的选用应根据设计、施工要求、结构特点以及工程所处环境 and 应用条件确定。

3.1.2 高性能喷射混凝土宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的规定，并宜符合现行国家标准《高性能混凝土技术条件》GB/T 41054 的规定。当采用其他品种时，其性能指标应符合国家现行有关标准的规定。当有防腐、耐高温等要求时，可采用特种水泥。用于永久性结构高性能喷射混凝土的水泥强度等级不应低于 42.5 级。

3.1.3 水泥中不应含有影响高性能喷射混凝土长期性能和耐久性能的助剂或激发剂。

3.2 矿物掺合料

3.2.1 配制高性能喷射混凝土可采用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰、钢渣粉、粒化电炉磷渣粉、石灰石粉、天然火山灰质材料、复合掺合料等矿物掺合料，应符合下列规定：

1 粉煤灰的等级不应低于 II 级，烧失量不应大于 5%，其他性能应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 的规定；

2 粒化高炉矿渣粉的等级不应低于 S95，其他性能应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 的规定；

3 高性能喷射混凝土宜采用硅灰，硅灰应符合现行国家标准《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690 的规定；

4 钢渣粉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 的规定；

5 粒化电炉磷渣粉应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粒化电炉磷渣粉》GB/T 26751 的规定；

6 石灰石粉应符合现行国家标准《石灰石粉混凝土》GB/T 30190 的规定；

7 天然火山灰质材料应符合现行行业标准《水泥砂浆和混凝土用天然火山灰质材料》JG/T315 的规定；

8 复合掺合料应符合现行行业标准《混凝土用复合掺合料》JG/T 486 的规定；

9 当采用其他矿物掺合料时，其性能应符合现行国家标准《矿物掺合料

应用技术规范》GB/T51003 外，尚应通过试验验证，确定高性能喷射混凝土性能满足设计要求后方可使用。

3.2.2 对于高强高性能混凝土或有抗渗、抗冻、抗腐蚀、耐磨或有其他特殊要求的混凝土，不应采用低于 I 级的粉煤灰。

3.2.3 掺合料中不应含有影响混凝土长期性能和耐久性能的激发剂或其他助剂。

3.3 骨料

3.3.1 高性能喷射混凝土用粗骨料应符合下列规定：

- 1 选用连续级配的碎石或卵石，最大公称粒径不宜大于 10mm；
- 2 对于薄壳、形状复杂的结构及有特殊要求的工程，粗骨料的公称粒径不宜大于 8mm；
- 3 当掺入低碱速凝剂时，不得使用含有活性二氧化硅的骨料；
- 4 对有抗冻性能要求的高性能喷射混凝土，采用的碎石或卵石，应有足够的坚实性，用硫酸钠溶液法检验，试样经 5 次循环后，其重量损失不得超过 8%；
- 5 粗骨料的针、片状颗粒含量、含泥量及泥块含量，应符合表 3.3.1 的要求；
- 6 粗骨料应符合现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 的规定，并应符合现行行业标准《高性能混凝土用骨料》JG/T 568 的规定。

表 3.3.1 粗骨料的针、片状颗粒含量、含泥量及泥块含量

项目	针、片状颗粒含量		含泥量	泥块含量
	C40~C55	≥C60		
指标 (%)	≤5.0	≤4.0	≤0.5	0

3.3.2 高性能喷射混凝土用细骨料应符合下列规定：

- 1 选用硬质洁净的中粗砂，细度模数应为 2.6~3.0；
- 2 天然砂的含泥量不能大于 0.5%，泥块含量应为 0；
- 3 人工砂的石粉含量应符合表 3.3.2 的要求；

表 3.3.2 人工砂的石粉含量

项目		C40~C55	≥C60
石粉含量 (%)	MB < 1.4	≤5.0	≤3.0
	MB ≥ 1.4	≤2.0	≤1.5

4 细骨料应符合现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 的规定，并应符合现行行业标准《高性能混凝土用骨料》JG/T 568 的规定。

3.3.3 高性能喷射混凝土宜采用非碱活性骨料。当采用碱活性骨料时，除应采取抑制骨料碱活性措施外，还应采取预防危害的措施。预防混凝土碱骨料反应的技术措施应符合现行国家标准《预防混凝土碱骨料反应技术规范》GB/T50733 的规定。

3.3.4 高性能喷射混凝土用骨料的颗粒级配范围宜参照《喷射混凝土应用技术规程》JGJ/T372 和《高性能混凝土技术条件》GB/T 41054 的要求，应避免使用间断级配的骨料。

3.4 外加剂

3.4.1 高性能喷射混凝土用外加剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 和《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的规定，还应符合现行国家标准《高性能混凝土技术条件》GB/T 41054 的规定。

3.4.2 高性能喷射混凝土用速凝剂尚应满足下列规定：

1 高性能喷射混凝土不应采用碱性速凝剂，宜采用无碱速凝剂和速凝粘度调节剂，并与水泥应具有良好的适宜性；

2 低碱和无碱速凝剂掺量应通过试验确定，且不宜超过 9%。掺低碱和无碱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》JC 477 执行，掺无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《喷射混凝土应用技术规程》JGJ/T372 执行；

3 速凝粘度调节剂掺量应通过试验确定，且不宜超过 6%。掺（速凝粘度调节剂）的水泥净浆初凝时间不宜大于 10min，终凝时间不应大于 30min。掺速凝粘度调节剂的水泥净浆凝结时间试验方法应按现行行业标准《喷射混凝土应用技术规程》JGJ/T372 执行；

4 掺速凝剂的胶砂试件，与不掺速凝剂同水灰比试件的 28d 抗压强度比不应低于 90%；

5 速凝剂其他性能应符合现行行业标准《喷射混凝土用速凝剂》JC 477 的规定。

3.4.3 高性能喷射混凝土宜采用减水率不低于 25% 的高性能减水剂。

3.5 水

3.5.1 严禁使用海水拌合和养护混凝土。

3.5.2 混凝土拌合和养护用水的 PH 值不得低于 4.5，氯离子含量不得超过 1000mg/L，硫酸根离子含量不得超过 2000 mg/L，碱含量不得超过 1500 mg/L。

3.5.3 混凝土拌合和养护用水的其他性能尚应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。

3.6 配合比

3.6.1 高性能喷射混凝土应根据工程特点、施工工艺及环境因素，在综合考虑喷射混凝土配制强度、拌合物性能、力学性能和耐久性能要求的基础上，计算初始配合比，经试验室试配、试喷、调整得出满足喷射性能、强度、耐久性要求的配合比。

高性能喷射混凝土配合比应符合《高性能混凝土技术条件》GB/T41054 的要求，配合比计算除应符合本规程外，尚应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的有关规定。

3.6.2 高性能喷射混凝土应先进行试配，并根据试配结果进行混凝土试喷，试喷强度应满足其配制强度的要求。高性能喷射混凝土的配制强度应符合下列规定：

1 当混凝土的设计强度等级小于 C60 时，配制强度应按下式计算：

$$f_{cu,0} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad (3.6.2-1)$$

式中： $f_{cu,0}$ ——混凝土配制强度值（MPa）；

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值，这里取高性能喷射混凝土的设计强度等级值（MPa）；

σ ——混凝土强度标准差（MPa）；

2 当混凝土的设计强度等级不小于 C60 时，配制强度应按下式计算：

$$f_{cu,0} \geq 1.15f_{cu,k} \quad (3.6.2-2)$$

3 当混凝土的设计强度等级不小于 C80 时，配制强度应按下式计算：

$$f_{cu,0} \geq 1.10f_{cu,k} \quad (3.6.2-3)$$

4 混凝土强度标准差 σ 应按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 确定。

3.6.3 高性能喷射混凝土配合比应经试验确定，配合比设计应符合下列规定：

1 水胶比应考虑喷射工艺、速凝剂或速凝粘度调节剂对强度的影响，不

应大于 0.45，胶凝材料用量不应小于 $450\text{kg}/\text{m}^3$ ；

2 在无配制经验时，高性能喷射混凝土试配的水胶比宜符合《喷射混凝土应用技术规程》JGJ/T372 的规定；

3 外加剂和矿物掺合料的品种、掺量应通过试验确定，硅灰掺量不宜大于 10%。

3.6.4 高性能喷射混凝土试配应采用强制式搅拌机进行搅拌，并应符合现行行业标准《混凝土试验用搅拌机》JG 244 的规定，搅拌方法宜与施工采用的方法相同。

3.6.5 每盘混凝土试配的最小搅拌量每盘不应小于 20L。在计算配合比的基础上应进行试拌。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和施工要求，然后修正计算配合比，提出配合试拌比。

3.6.6 应采用三个不同的配合比进行试喷，其中一个为试配配合比，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 0.02，三个配合比均应满足高性能喷射混凝土施工要求。

高性能喷射混凝土设计配合比确定后，尚应采用该配合比进行不少于三盘混凝土的重复性试喷，每盘混凝土应至少成型一组试件，每组混凝土的抗压强度不应低于配制强度。

3.6.7 用本规程第 3.6.5 条及第 3.6.6 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。高性能喷射混凝土试喷的最小搅拌量每盘不应小于 100L。

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。

3.6.8 在配合比试喷的基础上，高性能喷射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》JGJ 55 的规定进行混凝土配合比调整和校正。

3.6.9 校正后的高性能喷射混凝土配合比，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。

3.6.10 高性能喷射混凝土设计配合比确定后，应进行生产适应性验证。

4 基本性能

4.1 拌合物性能

4.1.1 高性能喷射混凝土拌和物应具有良好的工作性能，并应满足设计、生产和施工的要求。拌和物性能的试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土拌和物性能试验方法标准》GB/T50080 的规定。

4.1.2 高性能喷射混凝土拌合物应具有良好的和易性，且坍落度、扩展度、坍落度经时损失和凝结时间等拌合物性能应满足施工要求。

高性能喷射混凝土拌合物坍落度应控制为 160mm~220mm，宜随拌随用，在运输过程中，不得雨淋、浸水及混入杂物。

4.1.3 引气型高性能喷射混凝土含气量宜控制为 5%~12%，非引气型高性能喷射混凝土含气量不宜大于 5%。

4.1.4 高性能喷射混凝土拌合物中水溶性氯离子最大含量应符合表 4.1.4 的规定。

表 4.1.4 高性能喷射混凝土拌合物中水溶性氯离子的最大含量

环境条件	水溶性氯离子最大含量		
	钢筋混凝土	预应力混凝土	素混凝土
干燥环境	0.30	0.06	1.00
潮湿但不含氯离子的环境	0.20		
潮湿且含氯离子的环境、盐渍土环境	0.10		
除冰盐等侵蚀性物质的腐蚀环境	0.06		

4.1.5 有预防混凝土碱骨料反应设计要求的工程，宜掺用适量粉煤灰或其他矿物掺合料，高性能喷射混凝土中总碱含量不应大于 3.0 kg/m^3 ；对于矿物掺合料碱含量，粉煤灰碱含量可取实测值的 1/6，粒化高炉矿渣粉碱含量可取实测值的 1/2。

4.2 力学性能

4.2.1 高性能喷射混凝土力学性能试件的制作应进行大板喷射取样，高性能喷射混凝土试件的制作方法应按本规程附录 A 执行。

4.2.2 高性能喷射混凝土工程应进行 28d 龄期抗压强度试验。有早期强度要求时，应根据设计龄期要求进行早期强度试验。高性能喷射混凝土的强度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确定，高性能喷射混凝土抗压强度的评定应按现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T

50107 执行。高性能喷射混凝土抗压强度试验方法应按本规程附录 B 执行。当设计的早期强度龄期小于 1d 或强度低于 5MPa 时，宜采用拉拔法或贯入法检测。

4.2.3 高性能喷射混凝土的粘结强度试验应按本规程附录 C 执行，且喷射混凝土与岩石及混凝土基底的最小粘结强度应符合表 4.2.3 的规定。

表 4.2.3 高性能喷射混凝土与岩石及混凝土基底的最小粘结强度(MPa)

粘结类型	与混凝土的最小粘结强度	与岩石的最小粘结强度
非结构作用	1.0	0.5
结构作用	2.0	1.6

4.2.4 特殊条件下高性能喷射混凝土应进行抗弯强度和抗拉强度试验，并根据设计要求进行高性能喷射混凝土弯曲韧性试验。高性能喷射混凝土的最小抗弯强度应符合表 4.2.4-1 的规定。高性能喷射混凝土的弯曲韧性可采用残余抗弯强度等级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高性能喷射混凝土的残余抗弯强度不应小于表 4.2.4-2 的规定；不同能量吸收等级下的能量吸收值不应小于表 4.2.4-3 的规定。高性能喷射混凝土抗拉强度试验应按现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 执行，抗弯强度和残余抗弯强度试验应按本规程附录 D 执行，能量吸收等级试验应按本规程附录 E 执行。

表 4.2.4-1 高性能喷射混凝土的最小抗弯强度(MPa)

抗压强度等级	C40	C45	C50	C55	≥C60
抗弯强度	4.4	4.6	4.7	4.8	≥4.9

表 4.2.4-2 不同变形等级和不同残余抗弯等级下的残余抗弯强度(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
—	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 4.2.4-3 不同能量吸收等级下的能量吸收值

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

4.3 长期性能和耐久性能

4.3.1 高性能喷射混凝土的收缩和徐变性能应符合设计要求。收缩和徐变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，试件的制作应进行大板喷射取样，制作方法应按本规程附录 A 执行。

4.3.2 高性能喷射混凝土耐久性能设计应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的规定。高性能喷射混凝土的抗冻、抗渗、抗硫酸盐侵蚀抗氯离子渗透和抗碳化等耐久性能等级划分应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB50164 和《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T193 的规定。试件应进行大板喷射取样，制作方法应按照本规程附录 A 执行。

4.3.3 高性能喷射混凝土的抗冻强度等级（快冻法）不应小于 F250；抗渗等级不应小于 P12；抗硫酸盐等级不应小于 KS120。其性能等级划分应符合表 4.3.3 的要求。

表 4.3.3 混凝土抗冻性能、抗水渗透性能和抗硫酸盐侵蚀性能等级划分

抗冻等级（快冻法）	抗冻标号（慢冻法）	抗渗等级	抗硫酸盐等级
F250、F300、F350、 F400、>F400	D150、D200、>D200	P12、>P12	KS1120、 KS1150、>KS1150

4.3.4 高性能喷射混凝土的抗氯离子渗透性能、抗碳化性能等其他性能应符合《高性能混凝土技术条件》GB/T41054 的相关规定。

5 设计要求

5.1 一般规定

5.1.1 高性能喷射混凝土的轴心抗压强度标准值 f_{ck} 、轴心抗压强度设计值 f_c 、轴心抗拉强度标准值 f_{tk} 和轴心抗拉强度设计值 f_t 均应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

5.1.2 高性能喷射混凝土的弹性模量可按表 5.1.2 进行取值。

表 5.1.2 高性能喷射混凝土的弹性模量($\times 10^4\text{N/mm}^2$)

混凝土等级	C40	C50	C60	C70	C80	$\geq\text{C90}$
弹性模量	3.15	3.28	3.39	3.48	3.55	≥ 3.60

5.1.3 用于永久性结构的高性能喷射混凝土应进行粘结强度试验，高性能喷射混凝土与岩石或混凝土基底间的最小粘结强度应符合本规程第 4.3.3 条的规定。

5.1.4 用于含有大范围黏土的剪切带、高塑性流变、高应力岩层或松动岩石区的高性能喷射混凝土应进行抗弯强度试验，高性能喷射混凝土的最小抗弯强度应符合本规程第 4.3.4 条的规定。

5.1.5 高性能喷射混凝土抗渗等级不应低于 P12，含水岩层中的高性能喷射混凝土抗渗等级应大于 P12；恶劣的暴露环境下高性能喷射混凝土宜使用防水喷射混凝土，高性能喷射混凝土的渗水高度最大值应小于 50mm，其平均值应小于 20mm。

5.1.6 处于冻融侵蚀环境的永久性高性能喷射混凝土工程，高性能喷射混凝土的抗冻融循环等级不应低于 F250。

5.1.7 处于受化学侵蚀环境的高性能喷射混凝土，应进行氯离子渗透试验或抗硫酸盐侵蚀试验，并应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的规定。

5.1.8 含水岩层中的高性能喷射混凝土设计厚度不应小于 80mm；钢筋网高性能喷射混凝土设计厚度不应小于 80mm，双层钢筋网高性能喷射混凝土设计厚度不应小于 150mm，且两层钢筋网之间的间距不应小于 60mm。

5.2 隧道与地下工程

5.2.1 隧道与地下工程用高性能喷射混凝土的 1d 龄期混凝土抗压强度不应低于 10MPa，最小粘结强度应符合本规程第 4.3.3 条的规定。

5.2.2 软弱围岩及浅埋隧道地下工程用高性能喷射混凝土的 3h 强度不应小

于 3MPa 且 1d 抗压强度应大于设计值的 40%。

5.2.3 隧道与地下工程高性能喷射混凝土设计厚度不应小于 50mm，且不宜超过 300mm；单层衬砌高性能喷射混凝土设计厚度不应小于 60mm。

5.2.4 钢筋网高性能喷射混凝土的钢筋保护层厚度不应小于 20mm，双层钢筋网高性能喷射混凝土的钢筋保护层厚度不应小于 25mm，钢架高性能喷射混凝土的钢筋保护层厚度不应小于 40mm。

5.2.5 处于塑性流变岩体、高应力挤压层的岩体、受采动影响或承受高速水流冲刷的地下工程，宜采用钢筋网高性能喷射混凝土。

5.3.6 地下管渠修复工程高性能喷射混凝土设计应符合下列规定：

- 1 当原有管道地基不满足要求时，应进行处理；
- 2 修复后管道的结构应满足受力要求；
- 3 修复后管道的过流能力应满足要求；
- 4 修复后管道应满足清疏技术对管道的要求。

5.3 边坡工程高性能喷射混凝土设计

5.3.1 边坡工程用高性能喷射混凝土设计应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB50330 的规定。对边坡和锚杆间的不稳定岩块，以及局部不稳定块体应采取加强支护的措施，并应验算喷层的抗冲切能力。

5.3.2 边坡工程宜采用钢筋网高性能喷射混凝土或喷射钢纤维混凝土。

5.3.3 边坡工程采用的高性能喷射混凝土设计强度等级不应低于 C40，1d 龄期的抗压强度不应低于 6MPa，其最小粘结强度应符合本规程第 4.3.3 条的规定。

5.3.4 边坡工程高性能喷射混凝土的设计厚度不应小于 50mm，含水岩层中的高性能喷射混凝土和钢筋网高性能喷射混凝土设计厚度不应小于 100mm。III、IV 类岩质边坡及土质边坡宜采用钢筋网高性能喷射混凝土，且设计厚度不宜小于 150mm。钢筋保护层厚度不应小于 40mm。

5.3.5 高性能喷射混凝土面层宜沿边坡纵向每 30m 的长度分段设置竖向伸缩缝，伸缩缝宽宜为 20mm~30mm。

5.4 基坑工程高性能喷射混凝土设计

5.4.1 基坑用高性能喷射混凝土设计应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规范》JGJ120 的规定。

5.4.2 基坑工程高性能喷混凝土强度等级不应低于 C40，3d 强度不应低于 15MPa。

5.4.3 基坑工程高性能喷射混凝土厚度宜为 70mm~150mm，且不应小于 50mm。钢筋网高性能喷射混凝土的钢筋保护层厚度不应小于 20mm，用于永久性基坑的高性能喷射混凝土钢筋保护层厚度不应小于 25mm。

5.5 加固工程高性能喷射混凝土设计

5.5.1 加固工程用高性能喷射混凝土设计应符合现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB50367 的规定，抗震加固用高性能喷射混凝土设计应符合现行行业标准《建筑抗震加固技术规程》JGJ116 的规定。

5.5.2 采用高性能喷射混凝土加固结构、构件时，应符合下列规定：

1 混凝土结构的加固设计，应采取有效措施，保证新增结构与原结构连接可靠，形成整体共同工作，并应避免对未加固部分、有关结构和构件以及地基基础造成不利影响；

2 高性能喷射混凝土加固设计和施工时，应优先采用卸荷加固方法；

3 高性能喷混凝土加固宜选用增大截面加固法或置换混凝土加固法；

4 结构加固用高性能喷射混凝土强度等级应比原加固结构、构件的混凝土强度提高 1~2 级，其设计强度等级不应低于 C40；采用置换混凝土加固法时，设计强度等级不应低于 C50；

5 高性能喷射混凝土最小粘结强度应符合本规程第 4.3.3 条的规定，其耐久性不应低于原加固结构、构件。

5.5.3 新增高性能喷射混凝土厚度，板不应小于 40mm，梁、柱不应小于 50mm。钢筋网高性能喷射混凝土的钢筋保护层厚度不应小于 20mm，双层钢筋网高性能喷射混凝土的钢筋保护层厚度不应小于 25mm。钢筋保护层厚度尚应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定。

5.5.4 采用置换混凝土加固法时，其非置换部分的原构件混凝土强度等级，现场检测结果不应低于该混凝土结构建造时规定的强度等级；置换长度应按混凝土强度和缺陷的检测及验算结果确定，对非全长置换的情况。其两端应分别延伸不小于 100mm 的长度。

5.5.5 采用高性能喷射混凝土板墙对砌体结构进行抗震加固时，应符合下列规定：

1 宜采用钢筋网喷射混凝土。高性能喷射混凝土板墙应采用呈梅花状布

置锚筋、穿墙筋与原有砌体结构连接。

2 高性能喷射混凝土板墙厚度宜为 50mm~100mm；采用双面板墙加固且总厚度不小于 140mm 时，其增强系数可按增设混凝土抗震加固法取值。

6 施工

6.1 一般规定

- 6.1.1 高性能喷射混凝土施工应按设计要求进行，并应编制喷射专项施工方案，配置相应的专业人员和仪器设备。
- 6.1.2 高性能喷射混凝土施工操作应选择熟悉喷射设备性能的专业人员或在其指导下进行，且高性能喷射混凝土施工前，应进行试喷，混凝土性能合格后方可进行喷射操作。
- 6.1.3 高性能喷射混凝土在喷射过程中严禁加水。
- 6.1.4 高性能喷射混凝土应在受喷面、配筋等质量验收符合要求后方可施工。
- 6.1.5 高性能喷射混凝土喷射作业时，应定期检查设备和电源线路是否正常；作业人员应穿戴安全帽、防尘用具等劳保用品。
- 6.1.6 高性能喷射混凝土的施工现场，应符合现行行业标准《建筑施工现场环境与卫生标准》JGJ146的规定。

6.2 施工机具

- 6.2.1 喷射设备应参考工程特点、基底条件、混凝土配合比以及喷射方量等施工条件进行选择。
- 6.2.2 喷射混凝土喷射机的性能应符合下列规定：
- 1 密封性能良好，输料连续均匀；
 - 2 生产能力（拌合物）宜大于 $5\text{m}^3/\text{h}$ ，允许输送骨料的粒径不宜大于 10mm ；
 - 3 混凝土输料距离，水平不宜小于 20m ，竖向不宜小于 10m ；
 - 4 机旁粉尘小于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。
- 6.2.3 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 $9\text{m}^3/\text{min}$ ，泵送式喷射设备用空气压缩机的供风量不应小于 $4\text{m}^3/\text{min}$ ；
 - 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 。
- 6.2.4 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

径骨料的要求，并应具有良好的耐磨性能。

6.2.5 搅拌机应选用与混凝土喷射机生产能力相匹配、密封性能好、粉尘小的强制式搅拌机。

6.3 喷射前的准备工作

6.3.1 喷射作业现场，应做好下列准备工作：

- 1 拆除作业面的障碍物、清除开挖面的浮石和墙脚的岩渣、堆积物；
- 2 用高压风水冲洗受喷面，对遇水易潮解、泥化的岩层，则用风压扫清岩面；
- 3 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；
- 4 埋设控制高性能喷射混凝土厚度的标志（厚度控制钉，喷射线），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；
- 5 喷射作业区应有良好的通风和足够的光线，确保喷射机司机与喷射手能直接联系，沟通顺畅；
- 6 喷射作业前，应对机械设备、风、水管路，塑料管路和电缆线路等进行全面检查及试运转。

6.3.2 受喷面有滴水、淋水时，喷射前应按下列方法做好治水工作。

- 1 有明显出水点时，可埋设导管排水；
- 2 导水效果不好的含水岩层，可设盲沟排水；
- 3 竖井井壁淋水，可设截水圈排水。

6.3.3 地下工程，施工前准备工作应符合下列规定：

- 1 泥、砂质岩面应挂设钢筋网，并用锚钉或钢架固定。
- 2 基底出现渗水时，应设置导管或排水过滤材料等辅助措施进行排水处理。

6.3.4 边坡工程和基坑工程，施工前准备工作应符合下列规定：

- 1 新开挖的岩石边坡和基坑应选择合适的开挖方式，以减少对坡面的损伤及获得平整的喷射面；
- 2 自然边坡应将基岩面整平，并将表面浮石、浮渣等覆盖物清除干净；
- 3 土层边坡和基坑，喷射前应清除坡面浮土、杂草等松散物并将坡面压实；

- 4 应按设计要求做好边坡的排水沟和泄水孔；
- 5 应埋设控制喷射混凝土厚度的标志，并铺设钢筋网或土工格栅；
- 6 边坡和基坑表面喷射前应保持湿润。

6.3.5 隧道内衬工程与地下管渠工程，施工前准备工作应符合下列规定：

- 1 应清除开挖面的浮石、碎石和黏土以及墙角岩渣、堆积物等；
- 2 泥、砂质岩面应挂设钢筋网、并用锚钉或钢架等加固措施进行固定；
- 3 基底出现渗水时，应设置导管或排水过滤材料等辅助措施进行排水；
- 4 清除松动的危石。

6.3.6 加固工程，施工前准备工作应符合下列规定：

1 应清除待喷面表面的装饰层。对于混凝土结构，尚应对原结构层进行凿毛处理，用钢丝刷等工具清除原构件混凝土表面松动的骨料、砂砾、浮渣和粉尘，并用压缩空气和水交替清洗干净；对于砌体结构，尚应对受侵蚀砌体或疏松灰缝进行处理，灰缝处理深度宜为 10mm；

2 混凝土碳化深度超出规定时，应清除混凝土深度至第一层钢筋下至少 20mm，且原混凝土的清除总深度不小于 50mm；

3 混凝土的氯离子含量超过限值时，应清除混凝土至第一层钢筋下至少 30mm 深度，且氯离子含量合格的混凝土面至原混凝土表面不小于 100mm；

4 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，应清除混凝土深度至第一层钢筋下至少 20mm；

5 钢筋表面出现锈蚀现象时，钢筋表面应进行除锈；当钢筋锈蚀造成的截面面积削弱达原截面的 1/12 以上时，应按设计要求处理；

6 采用置换混凝土加固法时，清除被置换的混凝土应在达到缺陷边缘后，再向边缘外延伸清除一段，其长度不应小于 50mm；对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；

7 结构表面有渗、漏水时，应事先做好治防水工作；

8 基底应进行预湿处理至饱和面干。

6.3.7 异形结构工程施工的模板及其支架应符合下列规定：

1 应保证异形结构形状、尺寸和相互位置的正确性；

2 应具有足够的强度、刚度和稳定性，能可靠地承受高性能喷射混凝土的重量及施工过程中所产生的荷载；

3 模板接缝应严密，不得漏浆。

6.4 储存与制备

6.4.1 原材料储存与运输应符合下列规定：

- 1 水泥应按不同厂家、不同品种和强度等级分批储存，并应防止受潮和污染；
- 2 矿物掺和料存储时，应分类存放，不得混杂堆放，并应防止受潮和污染；
- 3 骨料堆场应有遮雨设施，不同品种、规格的骨料应分别堆放，堆料仓应设有分隔区域；
- 4 外加剂应按不同的供货单位、品种和牌号进行标识，单独存放，不得污染。粉状外加剂应防止受潮结块，液体外加剂应存储在密封容器中，并应防晒和防冻，使用前应搅拌均匀。

6.4.2 原材料计量宜采用电子计量设备。原材料计量应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB50164 的规定。每盘混凝土原材料计量允许偏差应符合表 6.4.2 的规定，原材料计量偏差应每班检查 1 次。

表 6.4.2 每盘混凝土原材料计量允许偏差（%）

原材料种类	胶凝材料	骨料	水	外加剂	纤维
每盘计量允许偏差	±1	±2	±0.5	±0.5	±1

6.4.3 搅拌前，应对现场骨料进行含水率测试，并根据骨料含水率的变化调整用水量和骨料用量。当骨料含水率有显著变化时，应增加测定次数。

6.4.4 高性能喷射混凝土拌合物宜采用集中强制式搅拌机拌制，容量规格不应小于 0.5m³，宜按材料特性分批加入搅拌，干料搅拌时间不宜少于 180s，加水 and 外加剂后的搅拌时间不宜小于 360s。

6.5 喷射作业

6.5.1 高性能喷射混凝土施工作业应符合下列规定：

- 1 喷射作业应分段分片分区依次进行，喷射顺序应自下而上，先填平凹陷处；
- 2 分层喷射时，后一层喷射应在前一层混凝土终凝后进行，若终凝 1h 后再进行喷射时，应先用风水清洗喷层表面；
- 3 混凝土喷射厚度大于 100mm 时，宜采用分层喷射，一次喷射厚度不宜超过 40mm~60mm，或者以不小于粗骨料粒径 2 倍为宜；
- 4 喷射作业时，喷嘴指向应与受喷面保持 80°~90° 夹角，边墙采用水平

喷射，拱部采用竖直喷射；

5 采用人工喷射作业时，喷嘴与受喷面的距离宜为 0.6m~1.0m；采用机械式喷射作业时，喷嘴与受喷面的距离宜为 1.0m~1.5m；

6 喷射混凝土的喷射作业区宜为 5°C~35°C，喷射混凝土拌合物温度宜为 10°C~30°C，当水分蒸发速率过快时，宜在施工工作面采取挡风、遮阳、浇水、降温等措施。

6.5.2 隧道内衬工程与地下管渠工程施工应符合下列规定：

1 喷射混凝土施工顺序应与开挖顺序相适应；

2 采用钻爆法施工，喷射混凝土紧跟开挖工作面施工时，混凝土终凝到下一循环爆破的间隔时间不应小于 3h；

3 喷射混凝土设计厚度变化处，厚度较大部位应向厚度较小部位延伸 2m~3m。

6.5.3 边坡工程和基坑工程喷射混凝土施工应符合下列规定：

1 喷射较平缓的坡面时，应防止喷射混凝土回弹物积于坡面产生夹层；

2 严禁在冻土和松散土面上直接喷射混凝土。

6.5.4 加固工程喷射混凝土施工应符合下列规定：

1 钢筋搭接、安装及焊接应符合现行行业标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ18 的有关规定；

2 模板内表面应光滑平整，尺寸应符合设计要求；

3 梁、柱结构可用模板露出结构面的宽度作为控制混凝土厚度的标志；

4 宜采用涂刷界面剂或栽插锚固筋的方法增加新旧混凝土界面的粘结；

5 模板支设牢固，喷射混凝土施工作业时不得松动；

6 喷射作业中可用针探法随时检测厚度，厚度不够应及时补喷。

6.5.5 高性能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 8%，竖直喷射混凝土拌合物回弹率不宜大于 15%。喷射时产生的回弹物料，严禁重新掺入喷射拌合物中。喷射混凝土的喷射回弹率的试验方法应按本规程附录 F 执行。

6.5.6 异形结构工程喷射混凝土施工应符合下列规定：

1 筒形薄壳，喷射作业应沿长度方向自拱脚向拱顶对称进行；

2 球形薄壳，喷射作业应自壳体底部向壳顶呈螺旋状绕壳体进行；

3 扁壳结构，喷射作业应从四角开始对称地向壳顶进行；

4 多跨连续薄壳，可自中央跨开始或自两边跨向中央对称逐跨喷射，每

跨按单跨程序施工；

5 喷射作业中可用针探法随时进行检测，厚度不够应及时补喷。

6.5.7 加固工程、异形结构工程及对表面有要求的高性能喷射混凝土工程，高性能喷射混凝土的表面修整应符合下列规定：

1 高性能喷射混凝土表面的修整应在混凝土初凝以后进行，且不得影响混凝土的内部结构及其与结构面的粘结；

2 可采用人工或者机械进行表面修整，将模板或基线以外多余的材料清除，必要时可再进行喷砂浆找平。

6.6 钢筋网喷射混凝土施工

6.6.1 高性能喷射混凝土中钢筋网的铺设要遵守下列规定：

1 钢筋使用前应清除污锈；

2 钢筋网宜在岩面喷射一层混凝土后铺设，钢筋与壁面的间隙，宜为30mm；

3 采用双层钢筋网时，第二层钢筋网应在第一层钢筋网被混凝土覆盖后铺设；

4 钢筋网应与锚杆或其它锚定装置联结牢固，喷射时钢筋不得晃动。

6.6.2 开始喷射时，应减小喷头至受喷面的距离，并调整喷射角度，以保证钢筋与壁面之间混凝土的密实性，钢筋保护层厚度不得小于2cm。

6.6.3 喷射中当有脱落的岩块或混凝土被钢筋网架住时，应及时清除后再喷射。

6.7 养护

6.7.1 对采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥配制的混凝土，其养护时间不得少于7d，对掺有外加剂或有抗渗要求的混凝土不得少于14d。

6.7.2 混凝土喷射后，12h内宜覆盖、应洒水，直至规定的养护时间。操作时，不得使混凝土受到污染和损伤。

6.7.3 混凝土喷射初凝后，宜马上洒水养护，混凝土的其它洒水养护时间应符合表6.6.3的规定。洒水次数应以混凝土表面保持湿润状态为度。

表 6.7.3 混凝土的养护时间 (d)

水 泥 品 种	相对湿度
---------	------

	<60% (干燥环境)	≥60%~90% (较湿环境和潮湿环境)
硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥	14	7
矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥	21	14

6.7.4 高性能喷射混凝土地下工程处于相对湿度在 95% 以上的环境中时，可不进行洒水养护。

6.8 冬季施工

6.8.1 冬季施工时应有保温措施，且不得在结冰的待喷面上直接进行喷射。

6.8.2 当冬季温度低于 5℃ 时，应停止喷射作业，不对已喷射混凝土进行喷水养护，应采取保湿养护。

6.8.3 与喷射机械相关的水箱、水管等水路，应做保温或加热处理。

6.8.4 完成喷射作业后应及时排空各设备、水管内的残留水。

6.9 安全环保

6.9.1 高性能喷射混凝土施工前，应根据工程场地条件、周边环境、与工程相关的资源供应情况、施工技术、施工工艺、材料、设备等编制高性能喷射混凝土施工安全专项方案。

6.9.2 高性能喷射混凝土施工前，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。

6.9.3 高性能喷射混凝土施工用工作台架应牢固可靠，并应设置安全栏杆。

6.9.4 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。

6.9.5 高性能喷射混凝土施工作业中，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。

6.9.6 非施工作业人员不得进入正进行高性能喷射混凝土施工的作业区。施工作业时，喷头前方严禁站人。

6.9.7 高性能喷射混凝土施工作业时，工作人员必须佩戴安全帽、个体防尘用具等劳保用品。

6.9.8 在施工期间，瓦斯隧道应实施连续通风，防止瓦斯积聚。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。

6.9.9 高性能喷射混凝土应设法减少回弹，宜将回弹物料回收利用。

6.9.10 高性能喷射混凝土作业区的粉尘浓度不应大于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ ，施工时宜采用下列措施减小粉尘浓度：

- 1 在粉尘浓度较高地段设置除尘水幕；
- 2 加强作业区的局部通风；
- 3 在喷射设备或混合料搅拌处设置集尘器或除尘器。

6.9.11 施工区域位于居民区时，现场搅拌机、空压机等均应采取降噪措施，以降低机器噪声对周围环境的影响。

7 质量检验与验收

7.1 质量检验与评定

7.1.1 高性能喷射混凝土原材料进场时，应按规定批次查验型式检验报告、出厂检验报告或合格证等质量证明文件，外加剂产品和纤维尚应提供使用说明书。

7.1.2 原材料进场后，应进行进场检验，合格后方可使用，检验项目与批次应符合本规程第3章及现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB50164的规定。

7.1.3 不同工程类别中高性能喷射混凝土性能的质量检验项目应符合表7.1.3的规定，并应满足设计要求。

表 7.1.3 高性能喷射混凝土性能的质量检验项目

用途	拌合物性能	厚度	抗压强度	早期强度	粘结强度	抗拉强度	抗弯强度	弯曲韧性	抗渗性	抗冻性	抗化学侵蚀
地下工程	●	●	●	●	●	▲	▲	▲	▲	▲	▲
边坡工程	●	●	●	●	●	▲	▲	▲	▲	▲	▲
基坑工程	●	●	●	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
加固工程	●	●	●	▲	●	▲	▲	▲	▲	▲	▲

注：1) ●必检；▲可选；2) 隧道内衬工程与地下管渠工程统属地下工程。

7.1.4 高性能喷射混凝土性能检验频率应符合下列规定：

1 高性能喷射混凝土的黏聚性、坍落度的取样检验频率与强度检验相同。

2 对于有抗冻要求的高性能喷射混凝土，应检验拌合物含气量，每工作台面应至少检验1次。

3 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。

4 喷层厚度检验频率应符合下列规定：

1) 对于地下工程、边坡工程和基坑工程，结构性喷层为每50m²/个，防护性喷层为200m²/个，隧道的检查应从拱顶起；

2) 对于加固工程，喷层的检查点应根据不同构件的喷射面确定，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。

5 混凝土抗压强度取样检验频率应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T50107中的有关规定。

7.1.5 高性能喷射混凝土厚度检验评定应符合下列规定：

- 1 高性能喷射混凝土厚度应采用钻孔法检验；
- 2 喷层厚度应符合下列规定：
 - 1) 检验孔处喷层厚度的平均值不应小于设计厚度；
 - 2) 对于地下工程、边坡工程和基坑工程，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%；
 - 3) 对于加固工程，喷层的厚度的允许偏差值应为-5mm~+8mm。

7.1.6 高性能喷射混凝土性能检验评定应符合下列规定：

- 1 混凝土抗压强度的检验评定应符合下列规定：
 - 1) 抗压强度的评定应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T50107 的规定；
 - 2) 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。
- 2 对设计有要求的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。
- 3 耐久性能的检验评定应符合现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T193 的规定。
- 4 高性能喷射混凝土力学性能、长期性能和耐久性能应满足设计要求及符合本规程第 4.2 节和 4.3 节的规定。

7.2 工程质量验收

7.2.1 高性能喷射混凝土工程的质量验收应符合表 7.2.1 的规定。

表 7.2.1 高性能喷射混凝土工程的质量验收

项目	检查项目	允许偏差或允许值
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	满足本规程 4.2 条规定
	抗剪强度	满足本规程 4.2 条规定
	厚度	满足本规程 7.1.5 条规定
一般项目	表面质量	密实、无裂缝、无脱落、无漏喷、无露筋、无空鼓和无渗漏水
	回弹率	水平不大于 8%，竖直不大于 15%

7.2.2 高性能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。喷射混凝土工程质量验收应提交下列文件：

- 1 施工图设计文件及施工方案；
- 2 材料的质量合格证明及进场复验报告；
- 3 喷射混凝土性能及厚度检测记录与报告；
- 4 喷射混凝土工程施工记录；
- 5 隐蔽工程验收记录；
- 6 其它必要的文件和记录。

附录 A 高性能喷射混凝土试件的制作方法

A.0.1 试件制作应使用下列仪器：

- 1 搅拌机；
- 2 喷射设备；
- 3 模具；
- 4 机械秤或电子秤；
- 5 铲子、抹刀、橡胶手套等其他辅助工具。

A.0.2 高性能喷射混凝土性能试验的试件，除用于抗渗试验的混凝土试件可直接喷模成型外，其余试验的混凝土试件应从施工现场喷射的喷射混凝土大板上切割或钻芯法制取，模具的最小尺寸不应小于 450mm×450mm×120mm，模具长侧边为敞开状。钢模具的厚度不宜小于 4mm，胶合板模具的厚度不宜小于 18mm。

A.0.3 高性能喷射混凝土试件的制作应符合下列步骤：

1 将模具以与水平约 80°夹角置于墙角或固定于墙面，模具长侧边敞开一侧朝下。

2 喷嘴与模具面的距离宜按本规程 6.5.1 进行选择。先在模具外的边墙上喷射，待喷射稳定后，将喷头移至模具位置，由下至上逐层将模具喷满混凝土。模具上方或周边有模具需要进行喷射时，应进行遮盖，防止回弹物溅落在喷射混凝土大板上。

3 喷射后，高性能喷射混凝土试件 18h 内不得移动，并应进行洒水养护或覆盖养护。采用贯入法进行早期强度测试时，应在高性能喷射混凝土终凝前用抹刀刮平混凝土表面；进行 1d 早期强度测试时，试件宜在龄期前 2h 加工。

4 养护 1d 后脱模。将混凝土大板移至试验室，标准养护 7d 后，根据需要的试件尺寸进行切割或钻芯。高性能喷射混凝土大板周边 120mm 范围内的混凝土不得制作试件。

A.0.4 应将加工后的试件在标准条件下养护至所需龄期进行混凝土力学性能、长期性能和耐久性能试验。

附录 B 高性能喷射混凝土抗压强度试验

B.0.1 试验应使用下列仪器：

- 1 压力试验机，测量精度为 $\pm 1\%$ ；
- 2 切割机；
- 3 钻芯机；
- 4 磨平机。

B.0.2 试件应在高性能喷射混凝土大板上切割或钻芯取得，试件的制作方法应按本规程附录 A 执行。

B.0.3 高性能喷射混凝土 1d 早期强度试验，试件宜在到达龄期前 2h 加工。28d 抗压强度应在标准条件下养护 7d 后进行试件加工。

B.0.4 高性能喷射混凝土抗压强度的同组试件应在同一大板上切割或钻芯制取。切割法制备的试件应为边长 100mm 的立方体；钻芯法制备的试件应为直径和高度均为 100mm 的圆柱体，试件端面应在磨平机上磨平。有缺陷的试件应舍弃。

B.0.5 抗压强度试验应符合下列规定：

1 立方体试件尺寸的允许差值：边长不应大于 $\pm 1\text{mm}$ ，直角不应大于 2° ；圆柱体试件尺寸的允许差值：端面不平整度为每 100mm 长度不应大于 0.05mm，垂直度不应大于 2° ；

2 8d 试验方法应按现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 中抗压强度试验执行，测得值即为高性能喷射混凝土试件的抗压强度；

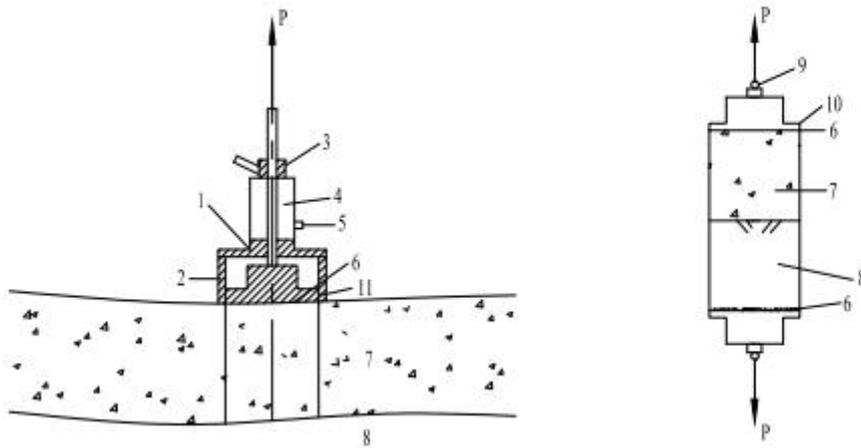
3 加载方向应与大板喷射成型方向垂直。

附录 C 高性能喷射混凝土粘结强度试验

C.0.1 试验应使用下列仪器：

- 1 钻芯机；
- 2 拉力试验机，测量精度为 $\pm 1\%$ ；
- 3 混凝土拉拔仪；
- 4 千斤顶；
- 5 混凝土拉拔仪配套支撑装置、基座、托架等；
- 6 样直接轴拉试验配套支架、接头等。

C.0.2 喷射混凝土与岩石或硬化混凝土的粘结强度试验(图 C.0.2)应采用现场钻芯拉拔试验或对钻取的芯样进行直接轴拉试验。



(a) 钻芯拉拔试验

(b) 芯样直接抽拉试验

1—基座；2—支撑装置；3—螺母；4—千斤顶；5—泵；6—胶粘剂；7—高性能喷射混凝土；8—基层；9—接头；10—支架；11—夹具

图 C.0.2 高性能喷射混凝土粘结强度试验示意图

C.0.3 高性能喷射混凝土现场钻芯拉拔试验应符合下列规定：

1 钻芯拉拔法应在现场结构上直接钻芯拉拔，每个测区应钻芯 3 处，钻芯到结构边缘距离不应小于 150mm；

2 钻芯试件的直径可取 50mm~60mm，钻芯深入基层的深度不应小于 20mm。

C.0.4 高性能喷射混凝土芯样直接轴拉试验应符合下列规定：

1 芯样直接轴拉试验试件应提前 3d 进行钻芯，并同条件养护至规定龄期；

2 芯件的直径可取 50mm~60mm，试件的高度不应小于 2 倍的直径，任一试件表面至粘结面的距离不应小于 0.5 倍的直径。

C.0.5 进行钻芯拉拔试验和芯样直接轴拉试验的加荷速率应为 1.3MPa/min~3.0MPa/min，加荷时应确保试件轴向受拉。

C.0.6 试验中试件破坏面在高性能喷射混凝土与受喷面的结合处时，试验结果有效；破坏面在混凝土内部或为拉伸夹具与胶粘剂之间的界面时，试验结果无效。

C.0.7 高性能喷射混凝土粘结强度应符合下列规定：

1 高性能喷射混凝土粘结强度应按下式计算：

$$f_s = \frac{F_{\max}}{A} \quad (\text{C.0.7})$$

式中： f_s ——高性能喷射混凝土粘结强度(MPa)；

F——试验最大荷载(N)；

A——粘结面的面积(mm²)。

2 高性能喷射混凝土粘结强度值应为三个试件测值的算术平均值，其中三个试件的最小值不得低于本规程表 4.2.3 要求值的 75%。三个计算值中的最大值或最小值与中间测量值之差大于中间值的 15%时，取中间值作为该组试件的试验值；二者与中间值之差均大于中间值的 15%时，该组试件的试验结果无效。

C.0.8 高性能喷射混凝土粘结强度试验报告应包含试件编号、试件尺寸、养护条件、试验龄期、加荷速率、最大荷载、计算的粘结强度以及对试件破坏形式的描述。

附录 D 高性能喷射混凝土抗弯强度和残余抗弯强度等级试验

D.0.1 试验应使用下列仪器：

1 液压伺服万能试验机，测量精度不应低于 1.0%，并应采用等速位移控制；

2 挠度测量位移传感器，包括电阻位移计或 LVDT 位移计及配套的电测信号放大仪器，测量精度不应低于 0.01mm；

3 荷载测量传感器，量程应与试验要求的量程相匹配，测量精度不应低于 0.1kN；

4 数据采集系统，数据采集应可连续自动完成，可通过模数转换器与计算机连接，采集频率可根据具体的试验要求确定；

5 其他：钢直尺、游标卡尺等。

D.0.2 试件应为从高性能喷射混凝土大板上切割 75mm×125mm×600mm 的小梁，每组试验应至少制备 3 个试件。切割后的试件应立即置于水中养护不少于 3d。

D.0.3 试验应在高性能喷射混凝土试件标准养护至 28d 进行，试件表面应保持湿润，加载方向应垂直于高性能喷射混凝土小梁试件上表面，试验的跨度为 450mm(图 D.0.3)。

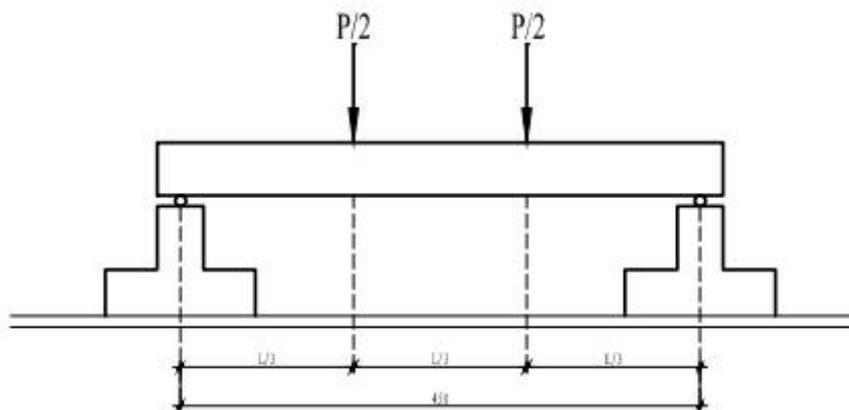
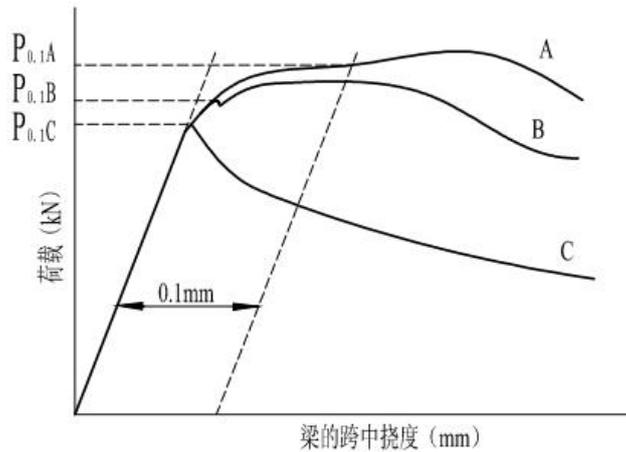


图 D.0.3 高性能喷射混凝土小梁加载受力方式

D.0.4 试验加载过程中，应对梁的跨中挠度进行测定。梁的挠度达 0.5mm 前，梁跨中变形速度应控制为(0.25±0.05)mm/min。梁的挠度达 0.5mm 后，梁跨中变形速度可增至 1.0mm/min。应连续记录梁跨中的荷载-挠度曲线(图 D.0.4)。试件在受拉面跨度三分点以外断裂时，该试件试验结果无效。



1—曲线 A 中出现突然上升段，曲线无效；2—曲线 B 为有效曲线；3—曲线 C 中出现突然下降段，曲线无效

图 E.0.4 荷载-挠度曲线

D.0.5 试验装置的支座与加荷点处均应设置半径为 10mm~20mm 的圆棒，跨中挠度达 4.0mm 时，试验即可结束。

D.0.6 高性能喷射混凝土试件的抗弯强度应按下列方法确定：

1 将荷载-挠度曲线的线性部分平行移动 0.1mm 挠度值，平移 0.1mm 挠度值范围内的荷载-挠度曲线上最初峰值点的纵坐标为试件峰值荷载($P_{0.1}$)。

2 据峰值荷载按下式计算高性能喷射混凝土抗弯强度：

$$f_c = \frac{P_{0.1}L}{bd^2} \quad (\text{D.0.6})$$

式中： f_c ——高性能喷射混凝土抗弯强度值(MPa)，精确至 0.1MPa；

$P_{0.1}$ ——试件峰值荷载(kN)；

L ——梁试件支座间的跨距(450mm)；

b ——梁宽(125mm)；

d ——梁高(75mm)。

3 高性能喷射混凝土的抗弯强度应为三个试件计算值的算术平均值。三个计算值中的最大值或最小值与中间测量值之差大于中间值的 15%时，取中间值作为该组试件的试验值；二者与中间值之差均大于中间值的 15%时，该组试件的试验结果无效。

D.0.7 高性能喷射混凝土试件的残余抗弯强度等级应按下列方法确定：

1 按高性能喷射混凝土围岩等级和工程要求，对高性能喷射混凝土有不同的变形限制要求，变形限制要求可用高性能喷射混凝土变形等级表示；

2 根据本规程表 4.2.4-2 确定不同变形等级下进行试验对应的挠度值，按本规程第 D.0.4~D.0.7 条的步骤操作，加载至规定的挠度值，并测定该挠度值下的残余抗弯强度；

3 喷射混凝土的残余抗弯强度等级为：至少 2 个试件的残余抗弯强度不小于该等级要求的残余抗弯强度，且第 3 个试件不小于低一级要求的残余抗弯强度。

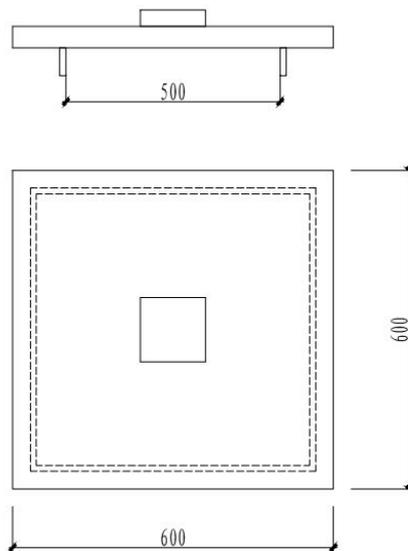
附录 E 高性能喷射混凝土能量吸收等级试验

E.0.1 试验应使用下列仪器：

- 1 伺服万能试验机，也可采用承力架液压千斤顶系统加压，测量精度不应低于 1.0%，并采用等速位移控制；
- 2 位移传感器，量程不应小于 30mm，精度不应低于 0.01mm；
- 3 荷载传感器，量程不应小于破坏荷载 120%，测量精度不应低于 1.0%；
- 4 数据采集系统，应能进行实时采集荷载与挠度的数据，采集频率不应低于 1kHz；
- 5 钢制加载垫块，边长 100mm 的正方形；
- 6 试件支座，内边边长 500mm 的正方形钢框，钢框的对角误差不应大于 0.5mm，其刚度应确保加载过程中不产生形变；
- 7 钢直尺、游标卡尺、水平仪等其他辅助量具和仪表。

E.0.2 试验应按下列步骤进行：

- 1 试件的尺寸为 600mm×600mm×100mm(图 E.0.2)试件的尺寸误差不应大于±2mm，试件的不平度不宜大于 0.5mm/600mm，当不满足要求时宜用水泥砂浆修正使之满足要求；切割后的试件应立即置于水中养护不少于 3d；



E.0.2 四边简支板的加载方式(mm)

- 2 试验应在试件标准养护至 28d 进行，试验过程中应保持表面湿润；
- 3 将钢框平放在试验台上，并调整其水平度，然后将试件置于支座上，使其水平形成简支，试件的喷射面应朝下；
- 4 加载垫块对试件中心进行加载，加载方向应与试件喷射方向相反；

5 启动试验机，采用等速位移控制，控制速率为 1.5mm/min，试验进行至试件中心点处挠度为 25mm 时止。

E.0.3 试验结果处理应符合下列规定：

1 根据试验，可得到“荷载-挠度”曲线(图 E.0.3-1)，试件吸收的能量为“荷载-挠度”曲线中挠度从 0mm 至 25mm 所覆盖的面积；

2 根据“荷载-挠度”曲线用数值积分法获得试件的“能量-挠度”曲线(图 E.0.3-2)；

3 “能量-挠度”曲线中，试件中心点挠度为 25mm 时，对应的值为试件能量吸收值，单位符号为 J。

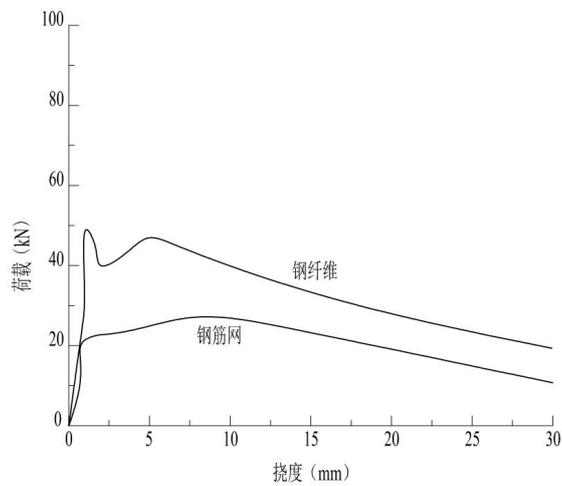


图 E.0.3-1 “荷载-挠度”曲线

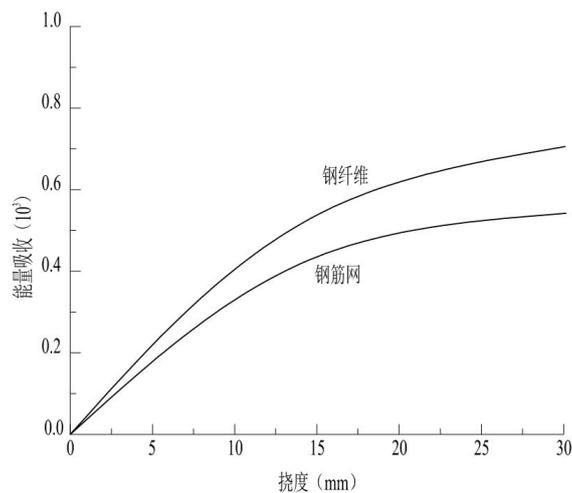


图 E.0.3-2 “能量-挠度”曲线

E.0.4 喷射混凝土能量吸收等级试验报告应包含试验仪器的型号、试件编号、试件尺寸、养护条件、试验龄期、“能量-挠度”曲线、第一次开裂荷载、最大荷载、试件中心点挠度为 25mm 时的能量吸收值。

附录 F 高性能喷射混凝土回弹率试验

F.0.1 高性能喷射混凝土回弹率试验应使用下列仪器：

- 1 搅拌机，容积大于 1m^3 ；
- 2 喷射设备；
- 3 塑料膜，面积为 $40\text{m}^2\sim 50\text{m}^2$ ；
- 4 机械秤或电子秤，量程 $500\text{kg}\sim 3000\text{kg}$ ，分度值 $200\text{g}\sim 1000\text{g}$ 。

F.0.2 试验应按下列步骤进行：

- 1 用塑料膜在待喷面下方地面覆盖 $40\text{m}^2\sim 50\text{m}^2$ 的区域。
- 2 拌制不少于 1m^3 混凝土拌合物，送入喷射设备，待喷射出料稳定后开始进行测试。喷嘴应与受喷面保持 90° 夹角，喷嘴与喷射面的距离宜按本规程表 6.5.1-5 进行选择。喷射总厚度为 $80\text{mm}\sim 120\text{mm}$ ，分两层喷射，每层厚度为 $40\text{mm}\sim 60\text{mm}$ 。喷射过程需保证连续不中断，料斗里混凝土在测试开始和结束时需保持均匀一致。
- 3 喷射结束后，从塑料膜上收集回弹料，并进行称重。
- 4 回弹料与总喷出拌合物的质量百分比即为喷射回弹率。总喷出拌合物应扣除喷射稳定前喷射量。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均这样做的：

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：

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，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
- 《建设用砂》 GB/T 14684
- 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T 1596
- 《混凝土外加剂》 GB 8076
- 《建设用卵石、碎石》 GB/T 14685
- 《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》 GB/T 18046
- 《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》 GB/T 20491
- 《用于水泥和混凝土中的粒化电炉磷渣粉》 GB/T 26751
- 《砂浆和混凝土用硅灰》 GB/T 27690
- 《石灰石粉混凝土》 GB/T 30190
- 《高性能混凝土技术条件》 GB/T 41054
- 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 《普通混凝土拌和物性能试验方法标准》 GB/T50080
- 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》 GB/T 50082
- 《混凝土强度检验评定标准》 GB/T 50107
- 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB 50119
- 《混凝土质量控制标准》 GB50164
- 《建筑边坡工程技术规范》 GB50330
- 《混凝土结构加固设计规范》 GB50367
- 《混凝土结构耐久性设计规范》 GB/T 50476
- 《预防混凝土碱骨料反应技术规范》 GB/T50733
- 《矿物掺合料应用技术规范》 GB/T51003
- 《喷射混凝土用速凝剂》 JC 477
- 《混凝土试验用搅拌机》 JG 244
- 《水泥砂浆和混凝土用天然火山灰质材料》 JG/T315
- 《混凝土用复合掺合料》 JG/T 486
- 《高性能混凝土用骨料》 JG/T 568
- 《混凝土用水标准》 JGJ 63
- 《普通混凝土配合比设计规程》 JGJ 55
- 《建筑抗震加固技术规程》 JGJ116
- 《建筑基坑支护技术规范》 JGJ120

《建筑施工现场环境与卫生标准》 JGJ146

《混凝土耐久性检验评定标准》 JGJ/T193

《纤维混凝土应用技术规程》 JGJ/T 221

《喷射混凝土应用技术规程》 JGJ/T372

湖南省建设科技与建筑节能协会工程建设团体标准

高性能喷射混凝土应用技术规程

Technical specification for application of high performance sprayed concrete

T/HCBA×××-2022

条文说明

1 总则

1.0.1 高性能喷射混凝土技术在我国隧道和地下工程的内衬、混凝土结构和砌体结构的加固、地下管渠的修复加固等方面得到了广泛应用，在技术上有许多新的发展，也取得了良好的技术经济效果。

但目前相关标准中，高性能喷射混凝土仅作为其中的一小部分，且没有专门的高性能喷射混凝土应用技术的行业标准或国家标准指导喷射混凝土的生产与应用，我省高性能喷射混凝土技术居世界先进水平。本规程为高性能喷射混凝土技术的应用在材料、设计、施工与验收规定等方面提供成套技术成果，结合湖南省该技术推广过程中的应用问题，为规范、引导我省高性能喷射混凝土技术在建筑应用的良性发展奠定基础，对推动我省新材料、新工艺、新技术、新设备的发展，具有广阔的工程应用前景及重要的工程意义。

湖南人健宝固高新科技发展有限公司和中南大学、长沙理工大学、湖南交通职业技术学院、湖南腾达岩土工程技术有限公司等单位开展了高性能喷射混凝土材料开发、工程应用和实践的工作，在全国各地完成了大量高性能喷射混凝土应用工程，而目前我国还没有一部专门针对高性能喷射混凝土工程应用的国家、行业或地方技术规程。因此，结合我国我省目前高性能喷射混凝土工程的现状，本规程制定旨在规范高性能喷射混凝土技术的应用，确保高性能喷射混凝土工程质量，使其在设计、施工上有章可循。

1.0.2 高性能喷射混凝土适用面很广，本条列出了一些，但不限于此。高性能喷射混凝土具有加快施工进度、强度增长快、施工不受场地条件限制等特点，在地下工程、边坡与基坑工程、修复加固工程等领域被大规模应用。

本条明确了高性能喷射混凝土质量控制的主要环节。由于高性能喷射混凝土的质量受原材料、配合比、喷射工艺、喷射设备及施工操作人员等多方面因素影响，故本规程对其生产和应用所涉及各环节作出规定

喷射混凝土喷射工艺分为湿喷法和干喷法，干喷法回弹率大污染严重，且我国干喷法喷射混凝土施工技术水平相对较低，本规程只包括采用湿喷法时的高性能喷射混凝土。

1.0.3 本条规定了本规程与其他标准、规程的关系。高性能喷射混凝土的应用涉及不同的工程类别以及相关的国家标准或行业标准。在工程应用中，本规程作出规定的，按本规程执行，未作出规定的，按国家、行业和湖南省现行相关标准执行。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 本条主要根据 EFNARC 标准《European Specification for Sprayed Concrete》、行业标准《高性能混凝土评价标准》JGJ/T 385-2015、行业标准《喷射混凝土应用技术规程》JGJ / T 372-2016 和高性能混凝土以及喷射混凝土工艺特点对高性能喷射混凝土进行定义。高性能喷射混凝土是采用喷射工艺的高性能混凝土，根据《高性能混凝土技术条件》GB/T41054-2021，可确定高性能喷射混凝土的基本要求。高性能不只局限于强度性能指标，但本规程只包括强度 40MPa 以上的高性能喷射混凝土。

2.1.2 本条根据 EFNARC 标准《European Specification for Sprayed Concrete》对喷射混凝土回弹率进行定义。

2.1.3、2.1.4、2.1.5

根据欧洲 EN14487-1-2005《Sprayed Concrete-part 1: Definitions, Specification and Conformity》对无碱速凝剂进行定义，并参考国内外文献按总碱含量的高低进行分类定义碱性速凝剂和低碱速凝剂。

2.2 符号

3 材料

3.1 水泥

3.1.2 本条对高性能喷射混凝土用水泥品种和强度进行了规定。推荐优先使用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥含有较多 C_3A 和 C_3S ，凝结时间较快，与速凝剂的适应性较好。当存在含硫酸盐地下水时，应采用 C_3A 含量较低的抗硫酸盐水泥。当有防火和防腐蚀等其他特殊要求时，可采用特种水泥。针对有耐久性要求的工程限制其水泥强度等级不应低于 42.5 级。

盐冻融环境下的高性能喷射混凝土，不宜采用含石灰石粉的水泥；有预防混凝土碱-骨料反应要求的高性能喷射混凝土宜采用碱含量低于 0.6% 的水泥；化学腐蚀环境下的高性能喷射混凝土，宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥同时复合使用优质的矿物掺合料，其中低温硫酸盐腐蚀环境下不宜采用含石灰石粉的水泥或掺合料。

当有防火和防腐蚀等其他特殊要求时，可采用特种水泥。

由于高性能喷射混凝土强度受到原材料和喷射作业的影响，强度波动较大，为更好的保证高性能喷射混凝土的质量，用于永久性结构时水泥强度等级不应低于 42.5 级。

3.2 矿物掺合料

3.2.1 高性能喷射混凝土可掺入粉煤灰、磨细矿渣粉、硅灰等矿物掺合料，并应符合相关矿物掺合料技术规范和相关标准的要求。不同的矿物掺合料对喷射混凝土工作性、力学性能和耐久性所产生的作用不相同，应根据混凝土所处环境、设计要求、施工工艺等因素，经试验确定矿物掺合料种类及掺量。

由于粉煤灰质量波动大，且对早期强度影响较大，高强喷射混凝土不宜使用粉煤灰，尤其是 II 级粉煤灰不应使用。

3.3 骨料

3.3.1 在满足高性能喷射混凝土性能的前提下，可根据经济、优质、就地取材的原则选择粗骨料来制备高性能喷射混凝土。粗骨料的粒径对喷射混凝土拌合物工作性和回弹影响较大，为了减少回弹和防止管道堵塞，粗骨料最大尺寸一般多采用 10mm~15mm。根据国内外标准及实际工程，最大公称粒径不宜大于 12mm。美国 ACI506R《Guide to Shotcrete》中规定喷射混凝土

用骨料粒径不宜大于 12mm，对于薄壳、形状复杂的结构及有特殊要求的工程，粗骨料的公称粒径不宜大于 10mm。当喷射混凝土中掺入速凝剂时，不得使用含有活性二氧化硅的石材作为粗骨料，以避免碱骨料反应而使喷射混凝土开裂破坏。对于高性能喷射混凝土，其骨料粒径趋小，根据工程实践，本规程取值更小。

粗骨料的尺寸、粒形和级配对喷射混凝土拌合物和易性影响很大，尤其是采用扁平及细长状粗骨料时，对喷射混凝土的黏聚性和包裹性影响更加明显。EFNARC《European Specification for Sprayed Concrete》指出：骨料粒形会影响喷射混凝土的喷射性和回弹率。实际工程应用中，粗骨料的针、片状含量通常控制在 10% 以内，其指标小于《高性能混凝土用骨料》JG/T568-2019 中的规定，本规程按《高性能混凝土用骨料》JG/T568-2019 相关要求严格取值。

骨料含泥量、泥块含量等性能指标对喷射混凝土性能也有较大影响，尤其是泥块含量，本规程按《高性能混凝土用骨料》JG/T568-2019 相关要求严格取值。

3.3.2 高性能喷射混凝土所用细骨料宜选用 II 区砂。高性能喷射混凝土用细骨料可为天然砂、人工砂，砂的细度模数过细会导致高性能喷射混凝土产生过大的收缩，细度模数过大对高性能喷射混凝土的和易性和喷射效果产生影响。

天然砂的含泥量和泥块含量对喷射混凝土的施工性及强度产生不利影响，本条按照《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 中含泥量和泥块含量要求从严取值。人工砂中的石粉能改善喷射混凝土的工作性，降低喷射混凝土胶凝材料的用量。但过量的石粉会导致喷射混凝土过黏，工作性变差。大量试验证明，为降低石粉含量对喷射混凝土性能的不利影响，根据混凝土的不同强度等级对石粉含量进行限制。本规程按《喷射混凝土应用技术规程》JGJ/T 372-2016 相关要求偏严格取值。

3.3.4 骨料级配对高性能喷射混凝土的施工性、通过管道的流动性、对受喷面的粘附、回弹率以及最终混凝土的表观密度和经济性都有重要的影响。为获得最大的表观密度，应避免使用间断级配的骨料。

3.4 外加剂

3.4.1 为了使喷射混凝土拌合物获得良好的黏聚性和施工性，喷射混凝土中

可掺入减水剂、增稠剂等外加剂。外加剂掺量应通过试验确定，且其性能应符合国家现行相关标准的规定。掺入的外加剂之间应具有良好的适应性，尤其是减水剂与速凝剂的适应性。当掺入速凝剂时宜选择无缓凝效果的减水剂，如减水剂具有缓凝效果，应考虑减水剂对速凝剂的影响。

3.4.2 为加速喷射混凝土的凝结、硬化，提高早期强度和减少喷射混凝土施工过程中的回弹，一般在喷射混凝土中加入速凝剂。但速凝剂掺量过大，会影响喷射混凝土的喷射效果及后期强度，因此速凝剂的掺量不宜超过 9%，以便降低速凝剂对混凝土强度的影响。

3.5 水

3.5.1 根据相关规定，严禁使用海水拌和混凝土，高性能喷射混凝土拌和用水和养护用水与普通混凝土一样，应满足现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的有关规定。

3.5.2 本条对混凝土的拌合水的相对应的离子含量进行严格规定。

3.6 配合比

3.6.1 本条文规定了高性能喷射混凝土配合比设计的基本要求。

《高性能混凝土技术条件》GB/T41054-2021 对高性能混凝土的浆体比、矿物掺合料最大参量、水胶比等配合比参数做了相应规定，这些要求同样适用于高性能喷射混凝土。

3.6.2 高性能喷射混凝土强度的确定应经过试配和试喷两个步骤。高性能喷射混凝土试配对试喷具有指导性，试配所得的强度是配制高性能喷射混凝土的过程强度。高性能喷射混凝土配制强度应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 配制强度要求。

混凝土配制强度对生产施工的混凝土强度应具有充分的保证率。对于强度等级不小于 C80 的高性能混凝土，传统的计算公式已经不能满足要求，采用公式（3.6.2-3），这个公式参考山西省工程建设地方标准标准《高性能混凝土配合比设计规程》DBJ04/T338-2017。

3.6.3 高性能喷射混凝土水胶比除受设计强度等级影响外，还受混凝土喷射工艺及喷射密实性、速凝剂种类和掺量、环境温度及养护系数等众多因素影响。与普通混凝土相比，高性能喷射混凝土试配时的水胶比需要考虑喷射工艺造成混凝土密实度以及速凝剂对强度的影响。

3.6.6 高性能喷射混凝土的配合比试配过程与普通混凝土相同，条文第 3.6.4~3.6.6 条根据现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 制定。

高性能喷射混凝土的配合比范围较窄，因而相应减小配合比变化范围，两个配合比的水胶比宜较试配配合比分别增加和减少 0.02。

高性能喷射混凝土离散性大于普通喷射混凝土，所以每种配合比应试喷不少于三次。

3.6.7 喷射混凝土配合比设计包括试配、试喷、调整等过程。前一部分是根据喷射混凝土的性能要求计算得出配合比，后一部分以计算配合比为前提，通过试喷、调整和验证确定设计配合比。根据试喷过程中喷射混凝土的回弹率及混凝土质量进行喷射混凝土配合比优化。为保证喷射混凝土的力学和耐久性，试喷的主要原则是在水胶比保持不变条件下优化配合比。

3.6.8 配合比试喷中的喷射混凝土强度试验主要为调整水胶比，确定合理的水胶比，进而调整配合比各参数，为获得合理的强度提供依据。

3.6.9 喷射混凝土设计配合比除应符合喷射混凝土的施工要求和强度外，对设计提出的喷射混凝土耐久性进行试验验证，也是喷射混凝土配合比设计重要的部分。

3.6.10 采用设计配合比进行试生产并对配合比进行相应调整是确定施工配合比不可缺少的环节。

4 基本性能

4.1 拌合物性能

4.1.1 高性能喷射混凝土拌合物的工作性能有流动性、粘聚性、一次喷射最大厚度以及回弹率等性能，在此用工作性能表示，拌合物试验方法统一为国家标准。

4.1.2 高性能喷射混凝土的合适坍落度与其材料的组成与种类有关，不同的掺和料与外加剂比例会对工作性能有不同的影响，同为 50MPa 的高性能喷射混凝土拌合物，它们获得各自合适工作性能的坍落度完全不一样。

随着技术的发展，目前的湿喷法高性能喷射混凝土的技术已与普通混凝土接近，高性能喷射混凝土可通过喷射前的工作性和表观密度对高性能喷射混凝土质量进行控制。随着减水剂的应用，湖南人健宝固高新科技发展有限公司和长沙理工大学等单位的试验表明，高性能喷射混凝土坍落度已逐渐扩大至 160mm~220，并获得良好的表观密度。高性能喷射混凝土坍落度过小，易造成较大的回弹率；当坍落度大于 220mm，易造成较大的跌浆。

高性能喷射混凝土拌合物中掺有较多外加剂以及矿物掺和料，水的比例对它们的活化反应有较大的影响，水的增加会严重影响混凝土硬化后的性能，杂物会造成混凝土局部缺陷。

4.1.3 参照美国 ASTM C1141 《Standard Specification for Admixtures for Shotcrete》的规定，掺入外加剂的喷射混凝土，非引气型喷射混凝土含气量不宜大于 5%，引气型喷射混凝土含气量宜控制在 5%~12%之间。高性能喷射混凝土一般都会加入引气剂，常用的聚羧酸减水剂即为引气型，但不排除特种高性能喷射混凝土的存在。

4.1.4 《混凝土质量控制标准》GB50164 按环境条件分别对钢筋混凝土、预应力混凝土及素混凝土中的水溶性氯离子最大含量作出规定。

4.1.5 《预防混凝土碱骨料反应技术规范》GB/T 50733-2011 针对预防混凝土碱骨料反应设计要求的工程，高性能喷射混凝土中最大总碱含量的要求与普通混凝土相同，粉煤灰、矿渣等为高性能喷射混凝土常用掺和料，故列出计算要求。

4.2 力学性能

4.2.1 为保证高性能喷射混凝土试件的性能与实际工程中高性能喷射混凝土性能接近，制备混凝土力学性能的试件，除抗渗试件的切割不便可直接喷模

外，其他试件需在施工现场进行大板喷射，并在喷射大板上切割或钻芯获得，严禁直接装模。

大板喷射试验取样能够更好的模拟高性能喷射混凝土工作时的状态，同时对于一次喷射厚度与回弹率也有更好的反馈。

4.2.2 高性能喷射混凝土抗压强度除应进行 28d 强度测试，必要时应额外测试 3d 和 7d 强度。有早期强度要求时，高性能喷射混凝土应进行早期强度测试。1d 早期强度试件可直接通过切割或钻芯取得，但特殊及重大工程对早期强度的要求更为严格，欧美和日本等国规定高性能喷射混凝土的早期强度除 1d 强度外，尚应测试 3h 和 8h 强度，此时高性能喷射混凝土无法进行切割或钻芯，需采用贯入法检测。

针对于混凝土的强度评定标准严格按照《混凝土强度检验评定标准》GB/T 150107。

4.2.3 粘结强度是保证高性能喷射混凝土与受喷面共同承担和传递受力的基础。本条主要依据《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB50086-2001 来进行粘结强度的设置。

粘结强度保证高性能喷射混凝土与受喷面共同承担和传递受力的基础。德国规定用于隧道、洞室等地下工程喷射混凝土粘结强度 6 个试件的平均值在 15MPa 以上，日本要求最小值不得低于 1.0MPa。本规程根据 EFNARC 《European Specification for Sprayed Concrete》，对高性能喷射混凝土粘结强度测试方法，及高性能喷射混凝土与岩石和混凝土基底的粘结强度进行了规定。

4.2.4 抗弯强度对于高性能喷射混凝土而言十分重要，同时也是检测是否为高性能喷射混凝土的一个重要依据。

抗弯强度决定了高性能喷射混凝土横截面的首次发生断裂的负荷，韧性决定负荷重新分布和断裂发展期间能量吸收的特性。在较大的含黏土的剪切带、松动岩石区和易产生高应力的岩石区等特殊情况下，高性能喷射混凝土的韧性和抗弯强度极为重要。

目前，欧美国家对高性能喷射混凝土的弯曲韧性测试方法可分为梁试件弯折试验和板试件弯曲试验。梁试件弯折试验常用来测定混凝土的极限强度、极限应变以及残余抗弯强度等级等。板试件弯曲试验需直接制作板试件来研究高性能喷射混凝土的能量吸收等级。与梁试件相比，板弯曲试验更适合于网状强化钢筋的测试，平板测试时减少离散性，符合高性能喷射混凝土的实

际工作形式，能更客观全面、确切地反映高性能喷射混凝土的实际工作性能。

4.3 长期性能和耐久性能

4.3.1 本条文明确了高性能喷射混凝土长期性能的参数及试件成型方法。同时也强调现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 等规定同样适用于高性能喷射混凝土。

4.3.2 本条文规定了高性能喷射混凝土耐久性能的参数及试件成型方法，高性能喷射混凝土的主要耐久性项目与普通混凝土相同。

高性能喷射混凝土的抗渗、抗冻、抗氯离子渗透、抗硫酸盐侵蚀等耐久性的试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的规定，试件的制作应进行大板喷射取样。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.2 由于高性能喷射混凝土胶凝材料偏多，骨料较少，高性能喷射混凝土的弹性模量比同强度的普通混凝土低。与普通混凝土一样，高性能喷射混凝土的弹性模量与混凝土的强度、表观密度、骨料、试件的干燥状态有关。混凝土的强度越高，表观密度越大，骨料的弹性模量越大，高性能喷射混凝土的弹性模量越高。轻骨料高性能喷射混凝土的弹性模量只有相同强度等级喷射混凝土弹性模量的 50%~80%。轻骨料高性能喷射混凝土的弹性模量的取值应符合《轻骨料混凝土技术规程》JGJ 51 的规定。潮湿状态的高性能喷射混凝土弹性模量比干燥状态的高。纤维喷射混凝土的弹性模量的取值应符合《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的规定。

5.1.3 高性能喷射混凝土的粘结强度是高性能喷射混凝土的一个重要性能指标。高性能喷射混凝土与受喷面（岩石或混凝土）共同作用，有效承担和传递受力，充分发挥支护作用及保证修补加固效果，其与受喷面间的粘结强度是质量控制的关键之一。在以往的工程中，由于对粘结强度不够重视，喷射混凝土常出现空鼓、脱壳等质量问题，因此，对用于永久性结构的高性能喷射混凝土，需足够重视其与基底的粘结强度。

5.1.4 对于喷射钢纤维混凝土、大变形和不稳定等特殊条件下的喷射混凝土，为保证喷射混凝土具有良好的基底稳定性能力，需对抗弯强度进行要求。国内外的试验资料表明，与不掺钢纤维的喷射混凝土相比，喷射钢纤维混凝土的抗拉强度约提高 30%~60%，抗弯强度约提高 30%~90%。大变形和不稳定等特殊条件下的喷射混凝土，如不掺入钢纤维需要采取其他方法，获得较高的抗弯强度。

5.1.5 高性能喷射混凝土抗渗性对材料的抗冻性及抵抗腐蚀离子的入侵起着重要的影响，尤其对水工及地下工程，抗渗性是保证混凝土质量、耐久性及建筑寿命的基础。由于高性能喷射混凝土的胶凝材料用量大，水胶比较小，砂率高，并采用尺寸较小的骨料，有利于在骨料周边形成良好质量的砂浆包裹层。因而国内外一般认为，高性能喷射混凝土具有较高的抗渗性。国内一些喷射混凝土实际工程的抗渗等级均在 P6 以上。

5.1.6 处于受冻融侵蚀的永久性高性能喷射混凝土与普通混凝土一样需要对抗冻融循环能力进行要求。中冶建筑研究总院对普通硅酸盐水泥配制的喷射混凝土进行的抗冻性试验表明，在经过 200 次冻融循环后，试件的强度和

质量损失变化不大，强度降低率最大为 11%。日本对胶凝材料 $360\text{kg}/\text{m}^3 \sim 430\text{kg}/\text{m}^3$ 用量的喷射混凝土进行试验，喷射混凝土试件经 300 次快速冻融循环后满足喷射混凝土的抗冻耐久性指数大于 60%。美国进行的冻融试验也表明，80% 的试件经 300 次冻融循环后，没有明显的膨胀，也没有质量损失和弹性模量的减小。

5.1.7 对长期处于盐类侵蚀环境中的高性能喷射混凝土，为了提高混凝土耐久性及保证喷射混凝土工程后期质量，应进行氯离子渗透试验或抗硫酸盐侵蚀试验。在配合比设计阶段，可采用低热水泥、大掺量矿物掺合料及低水胶比等措施，减少混凝土的收缩及改善混凝土内部孔隙结构，增加高性能喷射混凝土密实度，从而提高混凝土耐侵蚀的性能。

5.1.8 高性能喷射混凝土厚度过薄无法产生足够的强度，且容易引起收缩开裂。因而需要限制高性能喷射混凝土的厚度，需对高性能喷射混凝土的最小设计厚度进行规定。

5.2 隧道与地下工程

5.2.1 高性能喷射混凝土在地下工程中多起结构性支护作用，对高性能喷射混凝土早期强度和 28d 强度要求较高。目前，国外地下工程支护结构喷射混凝土的设计基准强度多采用与衬砌混凝土同等龄期 28d 的抗压强度。德国规定二次衬砌和喷射混凝土均采用 B25，澳大利亚“喷射混凝土指南”中规定隧道初期支护的喷射混凝土最小强度等级是 SpB25，而作为单层衬砌的强度等级不小于 SpB30。从我国目前的技术水平和条件看，喷射混凝土作为结构初期支护的强度等级设定在 C25，作为永久性支护的强度等级设定在与衬砌混凝土同等强度是比较合适的。由于高性能喷射混凝土在开挖后迅速施工，需要保持围岩稳定，因此确保有效率的作业，附着的高性能喷射混凝土不因自重而剥落、同时能够承受爆破和振动荷载的早期强度是非常重要的。初期强度的设定值应与 28d 设计强度相统一，因地下工程功能、断面形状等条件、荷载条件及设计方法而异，早期强度一般取 1d 的强度为标准，如有特殊要求，也可设定 3h 及 8h 的强度值。

5.2.2 软弱围岩及浅埋隧道，围岩和基体的稳定性差，需要快速获得额外的支撑，高性能喷射混凝土早期强度至关重要，早龄期强度要求更加严格。

5.2.3 挪威标准指出高性能喷射混凝土厚度设计需大于 60mm，才能获得良好的力学与耐久性能。喷射混凝土厚度过大，对新喷射混凝土的稳定性不利。

根据工程调研，目前地下工程喷射混凝土的厚度一般不超过 300mm。

5.2.4 为保证钢筋网高性能喷射混凝土的钢筋耐久性，本条文对钢筋高性能喷射混凝土的钢筋保护层厚度进行规定。

5.2.5 对变形大、产生应力大或应力集中、稳定性差的隧道，支护混凝土需要具有良好的抗变形、抗弯曲性能，需使用钢筋网高性能喷射混凝土。

5.3.6 本条规定了地下管渠修复工程高性能喷射混凝土设计原则，原有管道地基不满足要求主要是指管道地基失稳或发生不均匀沉降的情况。

5.3 边坡工程高性能喷射混凝土设计

5.3.2 边坡的面积较大，为防止高性能喷射混凝土收缩开裂，保证高性能喷射混凝土提供足够的抗弯和变形能力，边坡工程宜采用钢筋网高性能喷射混凝土。

5.3.3 边坡工程中高性能喷射混凝土应重视早期强度，使高性能喷射混凝土能快速的起到支护作用，保持边坡土体的稳定，通常规定 1d 龄期的抗压强度不应低于 6MPa

5.3.5 边坡工程面积较大，为防止喷射混凝土的整体收缩开裂。喷射混凝土宜沿边坡设置竖向伸缩缝。

5.4 基坑工程高性能喷射混凝土设计

5.4.1~5.4.3

本节条文根据现行行业标准《建筑基坑支护技术规范》JGJ 120 对基坑工程喷射混凝土设计要求进行了规定。

5.5 加固工程高性能喷射混凝土设计

5.5.1、5.5.2

对以喷射混凝土工法用结构构件增大截面法加固的设计，提出了应遵循的原则。其中，考虑到结构二次受力的特点、实际荷载作用的位置、结构自重增大带来的次要影响等因素。

当采用高性能喷射混凝土进行建筑结构构件加固时，应符合现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 的规定。高性能喷射混凝土修复加固结构，采用结构构件增大截面加固法或置换混凝土加固法，并需考虑到结构二次受力的特点、实际荷载作用的位置、结构自重增大带来的次要影响等

因素。为提高原结构构件的力学和耐久性能，高性能喷射混凝土需具有足够的强度以起到加固作用，本条规定了结构加固常用的混凝土强度等级，强度等级不应低于 C40。为保证修复加固的效果，高性能喷射混凝土的强度应高于被加固结构混凝土的强度，且其强度应较原结构提高至少一个强度等级。高性能喷射混凝土与基底需具有足够的粘结强度，来保证两者之间的整体工作。

5.5.3 为保证高性能喷射混凝土与原结构、构件之间的加固效果，保证新混凝土具有足够的力学和耐久性，根据现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 对新增高性能喷射混凝土厚度或置换混凝土的厚度进行了规定。

5.5.4 该方法适用于承重构件受压区混凝土强度偏低或有严重缺陷的局部加固，在柱、墙等混凝土构件加固中应用广泛。在运用时需要注意强度等级等问题。

5.5.5 对砖砌体墙抗震加固时，为保证高性能喷射混凝土夹板墙与原墙体、楼板等构件的可靠连接应采用配筋构造措施。本条文参照现行行业标准《建筑抗震加固技术规程》JGJ 116 进行了规定。

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 高性能喷射混凝土施工操作应该按工程要求编制专项施工方案，并且由专业人士与仪器设备进行施工。施工前编制高性能喷射混凝土专项施工方案，包括：施工前的准备工作，设备进场和安置，混凝土制备和运输，配置相应的专业人员，现场的喷射作业安排和混凝土养护等。

6.1.2 高性能喷射混凝土的质量受喷射手的影响很大，喷射施工操作应选择具有丰富经验的喷射手。在高性能喷射混凝土施工前，应对施工人员进行培训，且喷射手进行试喷混凝土性能合格后方可进行高性能喷射混凝土施工。合格的喷射手是保证高性能喷射混凝土施工质量的前提。

6.1.3 在喷射过程中加水会直接影响高性能喷射混凝土的水胶比，将无法控制高性能喷射混凝土的施工及后期性能。

6.1.4 为保证喷射混凝土的质量，应保证其前一套工序已完成及验收合格后，才可进行喷射混凝土施工。

6.1.5 高性能喷射混凝土在施工过程中使用的喷射设备具有一定的压力设施，且在施工过程中会产生粉尘，为保证作业人员的安全，应定期检查设备电源，佩戴防尘用具等安全用品。

6.2 施工机具

6.2.1 为了保证高性能喷射混凝土质量，减少施工中的回弹率和粉尘浓度，提高作业效率，喷射设备的选择应参考工程尺寸和结构、基底条件、混凝土配合比和喷射数量等施工条件，选择可获得良好施工性和经济性的喷射设备。

6.2.2 本条文对高性能喷射设备的性能进行了规定。为保证喷射混凝土的质量，减少施工中的回弹率和粉尘，提高作业效率，对喷射设备的生产能力，允许输送骨料的最大粒径，水平输料距离和竖向输料距离进行规定。

6.2.3 高性能喷射混凝土施工应当配置专用的空气压缩机，压缩机的排风量决定了喷射设备的输送能力，因而稳定的风压和足够的风量，是喷射作业顺利进行和混凝土密实的保证。

6.2.4 高性能喷射混凝土施工中，输送混合料的塑料管管壁经受骨料的反复磨损和压力，为了保证施工的安全并满足正常的施工要求，需要对输料管的承压能力进行规定，其管径应满足输送设计最大粒径骨径的要求。

6.3 喷射前的准备工作

6.3.1 将喷射混凝土施工作业区的障碍物进行清除，无法清除时应采取措施对障碍物进行遮挡，以保证正常的施工。作业面若有浮石等杂物，在喷射混凝土时会造成局部缺陷，影响整体强度，墙角的杂石可能导致喷层失脚的情况，产生严重不良后果；对易潮解的岩层，不应用水清洗。

采用人工喷射时，当喷射面与喷射手具有一定的距离时，为保证喷嘴与喷射面的距离在 0.5m~1.5m 之间，应搭设工作台架。工作台架应塔设牢固，并配有安全栏杆，其宽度宜为 2.0m 左右，距作业面的距离宜为 0.5m~1.5m，以保证喷射作业方便灵活和安全。

喷层厚度是评价喷射混凝土工程质量的主要项目之一。实际工程中，经常发生因喷层过薄而引起混凝土开裂，离鼓和剥落现象或是过喷造成材料浪费。因此，施工中必须控制好喷层厚度。一般可利用外露于喷射面的锚杆尾端，或埋设标桩等方法来控制喷射混凝土厚度，也可在施工中随时检查喷层厚度，以防止距离参照物太远而出现区域厚度差距，造成平整度起伏。

当喷射司机和喷射手不能直接联系，为保证两人之间正常的沟通操作，需配备联络设备；喷射作业前检查，可防止作业中途发生意外。

6.3.2 对于受喷面存在少量持续出水的情况，应根据具体情况采取相应的排水措施，持续不断的水流会对高性能喷射混凝土粘聚性以及强度产生不利影响。

6.3.3 当地下水集中，应该采用在出水点埋导水管或导水槽的方法，将水引离岩面，然后再喷射混凝土。

6.3.4 边坡工程与基坑工程中，高性能喷射混凝土主要应用于挡土墙的构造保护，区别在于一个挡地上土，一个挡地下土，故放在一起陈述。采用合适的开挖方式获得较为平整的喷射面可以节约喷射料；自然边坡与土层边坡应当考虑喷射面不够密实的情况，应当将其压实以便于高性能喷射混凝土与土层表面能紧密接触，粘结牢固；高性能喷射混凝土只能在边坡表面形成具有一定强度与防水的整体刚性面层，但无法疏导边坡内部水系，以及防止雨水浸入边坡，影响高性能喷射混凝土施工的顺利进行；土工格栅与钢筋网可以增强局部土体的整体性，减少混凝土面层承受的土压力；喷射面层内部的毛细孔干燥，吸水性能大于新喷高性能混凝土，会造成新喷高性能混凝土水分流失，无法正常凝固。

6.3.5 隧道内衬工程与地下管渠工程从施工角度上都属地下用喷射混凝土对

围岩加固承重，施工条件类似，故一并陈述。泥、砂等软性岩面应当跟土层一样采用钢筋网等措施进行固定，增强整体性；大块但松动的危石，在产生振动的情况下会对高性能混凝土结构造成损伤，应在施工前清除。

6.3.6 清除加固工程表面污物和其他装饰层，指的是对已有旧建筑物表面的处理，这些建筑物，在长期使用中，表面会粘有灰尘等污物，如不加清除，会严重影响新旧混凝土的粘结，降低新旧混凝土的整体受力性能；当建筑物表面有抹灰层时，在加固之前也必须彻底铲除，对混凝土表面尚应进行凿毛处理，增加喷射混凝土与原结构面的粘结强度；

参照标准 EFNARC 《European Specification for Sprayed Concrete》，混凝土发生碳化、氯离子超标和钢筋发生松脱情况下，对混凝土表面进行清除，减小已受侵蚀和污染的混凝土对新喷射混凝土以及两者之间黏结性的影响；

被加固的结构物表面有渗漏水，会影响喷射质量。渗漏严重时，混凝土会被冲刷掉。因此，凡有渗漏水的结构，在喷射混凝土施工之前均要做好防水处理。严重渗漏部位可埋设导水管或截水槽等将水引出。渗漏轻微的用掺有速凝剂的混凝土喷射可取得较好的效果。

6.3.7 对于异形结构工程，高性能喷射混凝土需直接喷射至模板上，模板需具有足够的强度和刚度，能可靠地承受高性能喷射混凝土的重量及施工过程中产生的荷载，且模板的形状和尺寸需与异形结构相同。

6.4 储存与制备

6.4.1 高性能混凝土可以由不同的材料组成达到相同的强度指标，各种原材料混掺会影响各自的材料组成配合比，造成质量隐患；高性能混凝土中的外加剂、水泥等都会与水发生反应，若被雨水淋湿或者受潮，可能发生预水化，影响混凝土的速凝效果与后期强度；外加剂应单独存放，防潮、防晒、防冻，使用前应搅拌均匀。

6.4.2 高性能喷射混凝土比普通混凝土的材料组成更为多样，材料之间互相影响的配比更为细致，故在普通混凝土的计量偏差上减半，参照福建省工程建设地方标准《福建省湿喷法喷射混凝土应用技术规程》DBJ/T13-249-2016，而外加剂添加量也是以 0.5%左右甚至更少的量进行变动，普通混凝土的允许偏差对高性能混凝土来说过大。

6.4.3 理论配合比在设计时用的骨料为饱和面干状态的砂石，但施工配合比要考虑到实际工程中砂石含水状态，所以需要现场测定。

6.4.4 GB 50164 中提及高性能混凝土宜适当延长搅拌时间，并未提及分批加入的材料特性，依据高性能喷射混凝土的材料组成机理而言，应当分批加入材料，并规定各自批次的最少搅拌时间。

采用集中强制式搅拌方式生产有利于控制高性能喷射混凝土质量的稳定性。为了保证混凝土的匀质性，特别是加入速凝剂的混合料，均匀拌和尤为重要。因而，需对高性能喷射混凝土及混合料搅拌时间做出规定。

6.5 喷射作业

6.5.1

1 按区域喷射利于控制喷层厚度，由下至上喷射可以使下部混凝土对新喷混凝土进行支撑，且上部混凝土的小幅度回流能填充喷射盲区，先平凹陷处是为了防止此处喷浆厚度过大造成离层。

2 终凝后进行喷射是为了获得具有一定强度的受喷面，喷射间隔时间过长，在混凝土表面可能粘有回弹料等污染物影响两层混凝土之间的粘结力，所以宜用风水清洗。

为减少第二层喷射混凝土对第一层喷射混凝土产生影响，第二次喷射应在第一次终凝后再进行。且为增加两层混凝土之间的粘聚性，间隔时间超过 1h 后，应对表面进行湿润或用压缩空气清扫待喷面。

3 一次喷射的厚度不小于粗骨料粒径的 2 倍，才能形成可以嵌入粗骨料的塑形层，但过大的一次喷射厚度由于重力与粘结力的关系会造成密实度不足的情况，当分层喷射时，一次喷射厚度不宜超过 40mm~60mm，或者以不小于粗骨料粒径 2 倍为参考，喷射总厚度以不小于 100mm 为宜，高性能喷射混凝土为了获得更高的强度，骨料一般更为细致，所以一次喷射厚度应略小于普通喷射混凝土。

当喷射混凝土厚度过大，为保证混凝土的稳定性，防止混凝土掉落，应采用分层喷射。一次喷射的厚度受到喷射工艺、喷射方向是否掺速凝剂等因素的影响，应根据实际情况确定一次喷射厚度。

4 喷嘴与受喷面保持垂直，此时的部分回弹物能被喷射料抵消回弹能量，利于嵌入混凝土中，且可以减少切变力产生的波浪状平整度影响，但考虑到钢筋的影响，可以适当倾斜 10°左右。

5 喷射距离以混凝土最小回弹率和最高强度确定，一般以能看清楚喷射情况，束料集中回弹最小为宜，0.5m~2m 之间，粗骨料易嵌入塑性砂浆层中，

喷射冲击力适宜，表现为一次喷射厚度大，回弹率低和粉尘浓度小。

6 高性能喷射混凝土工作时温度低于 5 度，夜间混凝土内水易结冰，高于 35 度会造成水分蒸发速率过快，失水严重，影响后期强度。

6.5.2 施工顺序与开挖顺序相适应，利于施工效率，并且可以减少围岩暴露时间，保持稳定；喷射混凝土支护能承受岩石爆破荷载而不破坏的时间，经多次现场试验为终凝后 3h；厚度较大部位的支护向厚度较小部位延伸一段长度，以保证不同稳定的围岩交接处压力的传递。

6.5.3 在平缓坡面上进行施工作业时，回弹料无法自动堆积在坡脚，容易聚集成影响整体性的缺陷夹层；高性能喷射混凝土喷在冻土上，产生的温度会导致冻土变形，产生预期外的应力，可能导致混凝土结构破坏，且冻土解冻后会在混凝土层背面形成疏松层，造成不良后果。

6.5.4 建筑物用喷射混凝土加固的厚度通常较薄，一般在 30mm~60mm 范围内，为了能较准确地控制喷射混凝土的厚度，一般可采用外露于构件表面的模板宽度作为控制混凝土厚度的标志；

加固结构新旧界面的粘结强度是喷射混凝土与旧界面共同受力的基础，从提高加固构件新旧部分共同工作的角度，对新旧材料结合面上采取的措施作出了规定，以保证修复加固的效果；

第 5 款要求模板支设应牢固可靠，以避免在喷射混凝土施工中，由于模板支设不牢，在喷射混凝土的冲击下晃动，影响喷射作业的顺利进行和加固质量。

6.5.5 为控制高性能喷射混凝土质量的稳定性，使喷射后混凝土配合比尽量接近喷射前混凝土配合比，需严格控制喷射回弹率。本条文对高性能喷射混凝土施工过程中的回弹率进行了规定。施工中，应定期统计高性能喷射混凝土的回弹率，对高性能喷射混凝土的质量控制和经济性都具有重要的作用。

6.5.6

1~4 根据薄壳结构的不同形状，规定其不同的施工作业顺序是为了保证施工荷载的均匀性，不使模板发生异常变形。但无论哪种形状的壳体，均应自下而上，即从壳体底部向顶部推进，采用这种喷射作业顺序可以避免由于施工作业人员对已绑扎好的钢筋网的损坏。同时在施工中应特别注意做好回弹物的清理工作。

5 薄壳结构的厚度一般都是变化的，在喷射作业中控制好壳体不同部位的厚度十分重要，本条款规定控制喷射混凝土厚度的方法，为能较准确地控

制好喷射混凝土的厚度，用针探法随时检查喷射混凝土的厚度更方便。

6.5.7 本条文对加固工程等对表面有要求的高性能喷射混凝土修整进行了规定。高性能喷射混凝土表面应在高性能喷射混凝土初凝后进行，若在喷射后马上进行修整会破坏混凝土的内部结构及其与原结构的粘结，而当时间过长，混凝土达到终凝后再进行修整，则会给修整工作造成困难，又会破坏混凝土的强度。

6.6 钢筋网喷射混凝土施工

6.6.1 钢筋表面的污锈会影响高性能喷射混凝土与钢筋之间的握裹力；在钢筋网铺设前，应先喷射一层混凝土，利于找平和钢筋的铺设均匀；考虑到钢筋背面难以喷射密实易形成空洞，钢筋与壁面之间宜留有 30mm 的间隙；若双层钢筋网都铺设好后再施工，纵横交错的钢筋网阻挡物料进入，在钢筋背面易形成大量空隙；钢筋的扰动会影响刚喷射混凝土的内部结构，使其离鼓甚至大面积脱落。

6.6.2 开始向钢筋网喷射时，使喷头靠近受喷面一点可以提高混凝土料流的冲击力，以保证钢筋被混凝土完全包裹和喷层的密实性。

6.6.3 高性能喷射混凝土在喷射钢筋网前，应当清除钢筋网中的杂物、石块，避免留下混凝土局部缺陷。

6.7 养护

6.7.1 高性能喷射混凝土中由于砂率较高，水泥用量较大以及掺有速凝剂，其收缩变形要比现浇混凝土大。因此，高性能喷射混凝土施工后，应对其保持较长时间的喷水养护。

养护的目的是保证高性能喷射混凝土强度的正常增长和减小收缩开裂。因为高性能喷射混凝土厚度较小，水分更易丧失，当所需水化水不能得到及时补充时，将使混凝土强度不能正常增长，收缩变形大为增加。因此，高性能喷射混凝土施工后必须加强养护。一般情况下湿养护的时间不能少于 7d，重要工程不能少于 14d。

6.7.3 高性能喷射混凝土一般掺有外加聚合物，此条文对高性能喷射混凝土的洒水养护时间进行了规定。

7.6.3 本条文规定了高性能喷射混凝土不需进行养护的情况。

6.8 冬季施工

6.8.4 高性能喷射混凝土喷射上去释放能量以及水化热等放热会让冰化水渗入混凝土中，影响强度；气温低于 5 度时，混凝土水化反应缓慢，强度上升很慢，若继续喷水养护，混凝土温度更低，不利于强度发展，且冬季气温低于五度，那么夜间气温可能低至零下；防止结冰，影响泵送堵管。裂缝控制措施，{15 分钟，初凝，马上}洒水、施工缝等很重要

6.9 安全环保

6.9.1 高性能喷射混凝土施工前应根据具体工程情况，进行设计安排，能有效减少工程事故发生。

6.9.2 经验表明，由于危石清除不彻底而发生工伤事故的情况时有发生，因此，在施工前认真检查和处理作业区内的危石特别重要的。

施工前认真检查和处理作业区（顶板、两边和工作面）的危石特别重要。由于危石未能全面清除，设备工具被砸坏，工伤事故屡见不鲜，故本条文作了明确规定。

6.9.3 工作台架应牢固可靠具备合格的承载力与安全性，设置安全栏杆以防工人不慎踏空坠落。

6.9.4 喷射设备、水箱、风管和注浆罐等都属于承受压力的设备，使用前需做承压试验，防止发生崩裂事故。

此条文保证高性能喷射混凝土具有稳定足够的压力喷射，且防止设备压力异常发生爆炸。

6.9.5 因高性能喷射混凝土输料管长度较长，在施工过程中应及时注意输料管状态，以防止局部堵塞，造成压力过大软管断裂，喷料四处乱泄危害周边人员安全的情况。

出料弯头和输料管磨穿及管路连接处的松脱现象也时有发生，如不及时检查更换，十分危险。在喷射过程中，输料软管拖拉或折弯易出现堵管或是脉冲；为保证不影响喷射质量，喷射作业面转移时，供风和供水系统需要同步的转移。

6.9.6 高性能喷射混凝土在喷射时具有一定的压力，且原料中的砂石及纤维在压力喷射下若不慎对人，会造成伤害。

6.9.8 此条文对瓦斯隧道施工作业进行了规定。

6.9.9 减少回弹，能节约材料，保护环境。

对未污染的高性能喷射混凝土的回弹料应回收利用，但其对高性能喷射混凝土的施工性能有较大影响，因而严禁将回弹物渗入高性能喷射混凝土拌合料中。

6.9.10 作业区粉尘会对施工视野产生影响，且吸入粉尘会危害作业人员健康，喷射混凝土作业区应具有良好的通风和有效地降低粉尘量的措施。依据国内外容许的最高粉尘浓度限制，此条文对作业区粉尘浓度做出一定规定，并提出了相关降尘措施。

6.9.11 施工区域位于居民区时，需采取降噪措施，如：使用低噪声的施工工具，搅拌站、空压机、焊接棚等噪声较大处设置隔声屏，并加大施工现场管理制度，合理安排施工时间，严格控制夜间施工等，使得施工噪声不超过所在地区的环境噪声标准，降低施工噪声对周围环境的影响。

7 质量检验与验收

7.1 质量检验与评定

7.1.3 本条文对不同工程中高性能喷射混凝土的质量检验项目要求进行规定。不同工程对喷射混凝土的性能要求不同，目前国内大多标准对喷射混凝土的性能要求仅为强度，为保证喷射混凝土的质量，本规程参考日本土木学会编制的《喷射试验方法标准》JSCE-F565-2005 的基础上制定表 7.1.3 的性能要求，其中必检项目为相应工程用喷射混凝土必须检验项目，可检项目根据不同工程的设计要求进行选择。

7.1.4 本条文对高性能喷射混凝土拌合物检验项目和检验地点、高性能喷射混凝土厚度及强度检验频次进行了规定。

7.1.5 本条文对不同工程高性能喷射混凝土厚度的检测方法和质量评定要求进行规定。

7.1.6 本条文规定了高性能喷射混凝土性能进行检验的依据，以及混凝土抗压强度质量评定方法进行了规定。喷射混凝土力学性能和耐久性能均应符合设计要求。

7.2 工程质量验收

7.2.2 本条规定了在工程验收时应提供的 6 个方面的资料。一方面通过这些资料可以较为全面分析、了解施工过程中的工程质量的情况，并对其做出相应评价，另一方面这些资料作为技术档案，以备在工程中一旦出现问题，可从有关资料中查找原因，提出处理措施。