

UDC

中华人民共和国行业标准



P

JGJ/T 372-2016  
备案号 J 2156-2016

---

# 喷射混凝土应用技术规程

Technical specification for application of sprayed concrete

2016-02-22 发布

2016-08-01 实施

---

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布



**中华人民共和国行业标准**

**喷射混凝土应用技术规程**

Technical specification for application of sprayed concrete

**JGJ/T 372 - 2016**

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 6 年 8 月 1 日

**中国建筑工业出版社**

**2016 北 京**

中华人民共和国行业标准  
**喷射混凝土应用技术规程**

Technical specification for application of sprayed concrete  
**JGJ/T 372 - 2016**

\*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京西郊百万庄）  
各地新华书店、建筑书店经销  
北京红光制版公司制版  
北京同文印刷有限责任公司印刷

\*

开本：850×1168 毫米 1/32 印张：3 $\frac{1}{8}$  字数：83 千字

2016 年 7 月第一版 2016 年 7 月第一次印刷

定价：16.00 元

统一书号：15112·26590

**版权所有 翻印必究**

如有印装质量问题，可寄本社退换

（邮政编码 100037）

本社网址：<http://www.cabp.com.cn>

网上书店：<http://www.china-building.com.cn>



# 中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

第 1051 号

---

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准 《喷射混凝土应用技术规程》的公告

现批准《喷射混凝土应用技术规程》为行业标准，编号为 JGJ/T 372-2016，自 2016 年 8 月 1 日起实施。

本规程由我部标准定额研究所组织中国建筑业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2016 年 2 月 22 日

# 前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发 2012 年工程建设标准规范制订、修订计划的通知》（建标〔2012〕5 号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本规程。

本规程的主要技术内容是：1 总则；2 术语和符号；3 材料；4 设计要求；5 喷射混凝土性能；6 喷射混凝土配合比；7 施工；8 安全环保措施；9 质量检验与验收。

本规程由住房和城乡建设部负责管理，由厦门市建筑科学研究院集团股份有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送至厦门市建筑科学研究院集团股份有限公司（地址：厦门市湖滨南路 62 号；邮编：361004）。

本 规 程 主 编 单 位：厦门市建筑科学研究院集团股份有限公司

厦门特房建设工程集团有限公司

本 规 程 参 编 单 位：贵州中建建筑科研设计院有限公司

中铁岩锋成都科技有限公司

厦门源昌城建集团有限公司

中联重科股份有限公司

中交一公局厦门工程有限公司

长安大学

重庆建工住宅建设有限公司

中国建筑科学研究院

辽宁省建设科学研究院

厦门天润锦龙建材有限公司

科之杰新材料集团有限公司

厦门市工程检测中心有限公司

本规程主要起草人员：林燕妮 桂苗苗 庄景峰 龚明子  
陈庆猛 罗朝廷 陈建勋 黄 斌  
刘小明 钟安鑫 杨克红 阳大福  
罗彦斌 张大利 罗庆志 张声军  
谢生华 徐仁崇 黄快忠 邓永新  
本规程主要审查人员：张仁瑜 程良奎 徐祯祥 王华牢  
吴 杰 王世杰 何振明 邓兴才  
倪 清

# 目 次

1	总则 .....	1
2	术语和符号 .....	2
2.1	术语 .....	2
2.2	符号 .....	2
3	材料 .....	4
3.1	胶凝材料 .....	4
3.2	骨料 .....	4
3.3	外加剂 .....	6
3.4	其他 .....	6
4	设计要求 .....	8
4.1	一般规定 .....	8
4.2	地下工程喷射混凝土设计 .....	9
4.3	边坡工程喷射混凝土设计 .....	9
4.4	基坑工程喷射混凝土设计 .....	10
4.5	加固工程喷射混凝土设计 .....	10
5	喷射混凝土性能 .....	12
5.1	拌合物性能 .....	12
5.2	力学性能 .....	12
5.3	长期性能和耐久性能 .....	14
6	喷射混凝土配合比 .....	15
6.1	一般规定 .....	15
6.2	配制强度的确定 .....	16
6.3	配合比计算 .....	16
6.4	配合比试配、试喷、调整与确定 .....	18
6.5	高强喷射混凝土 .....	19

7 施工..... 20

7.1 一般规定 ..... 20

7.2 设备 ..... 20

7.3 喷射准备工作 ..... 21

7.4 喷射混凝土的制备与运输 ..... 23

7.5 喷射作业 ..... 24

7.6 养护 ..... 27

8 安全环保措施..... 28

8.1 安全技术 ..... 28

8.2 环保要求 ..... 28

9 质量检验与验收..... 30

9.1 质量检验与评定 ..... 30

9.2 工程质量验收 ..... 32

附录 A 掺无碱速凝剂的水泥净浆凝结时间试验 ..... 33

附录 B 喷射混凝土试件的制作方法 ..... 35

附录 C 喷射混凝土抗压强度试验 ..... 37

附录 D 喷射混凝土粘结强度试验 ..... 38

附录 E 喷射混凝土抗弯强度和残余抗弯强度等级试验 ..... 40

附录 F 喷射混凝土能量吸收等级试验 ..... 43

附录 G 喷射混凝土回弹率试验 ..... 46

本规程用词说明 ..... 47

引用标准名录 ..... 48

附：条文说明 ..... 51

# Contents

1	General Provisions .....	1
2	Terms and Symbols .....	2
2.1	Terms .....	2
2.2	Symbols .....	2
3	Materials .....	4
3.1	Cementitious Materials .....	4
3.2	Aggregate .....	4
3.3	Admixture .....	6
3.4	Others .....	6
4	Design Requirements .....	8
4.1	General Requirements .....	8
4.2	Sprayed Concrete Design of Underground Engineering .....	9
4.3	Sprayed Concrete Design of Slope Engineering .....	9
4.4	Sprayed Concrete Design of Foundation Pit Engineering .....	10
4.5	Sprayed Concrete Design of Strengthening Structures .....	10
5	Properties of Sprayed Concrete .....	12
5.1	Mixture Properties .....	12
5.2	Mechanical Properties .....	12
5.3	Long-term Properties and Durability .....	14
6	Mix Design of Sprayed Concrete .....	15
6.1	General Requirements .....	15
6.2	Determination of Design Strength .....	16
6.3	Calculation of Mix Design .....	16
6.4	Trial Mix, Preconstruction Spraying, Adjustment and Determination of Mix Design .....	18

6.5	High Strength Sprayed Concrete .....	19
7	Construction .....	20
7.1	General Requirements .....	20
7.2	Equipment .....	20
7.3	Preparatory of Spraying .....	21
7.4	Production and Transportation of Sprayed Concrete .....	23
7.5	Execution of Spraying .....	24
7.6	Curing .....	27
8	Safety and Environmental Protection .....	28
8.1	Security Control .....	28
8.2	Requirement of Environmental Protection .....	28
9	Quality Inspection and Acceptance .....	30
9.1	Quality Inspection and Evaluation .....	30
9.2	Quality Acceptance of Construction .....	32
Appendix A	Testing of Setting Time for Cement Paste Containing Alkali-free Accelerator .....	33
Appendix B	Fabrication Methods of Sprayed Concrete Specimen .....	35
Appendix C	Compressive Strength Testing of Sprayed Concrete .....	37
Appendix D	Bond Strength Testing of Sprayed Concrete .....	38
Appendix E	Testing of Flexural Strength and Residual Flexural Strength Class for Sprayed Concrete .....	40
Appendix F	Testing of Energy Absorption Class for Sprayed Concrete .....	43
Appendix G	Testing of Rebound Ratio for Sprayed Concrete .....	46

Explanation of Wording in This Specification ..... 47

List of Quoted Standards ..... 48

Addition: Explanation of Provisions ..... 51



# 1 总 则

**1.0.1** 为规范喷射混凝土在工程中的应用，做到安全适用、经济合理、技术先进，保证质量，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于喷射混凝土的材料选择、设计、配合比计算、施工及验收。

**1.0.3** 喷射混凝土的应用除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 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。

#### 2.1.2 喷射纤维混凝土 fibers reinforced sprayed concrete

混凝土拌合物由胶凝材料、骨料、纤维等组成的喷射混凝土。

#### 2.1.3 高强喷射混凝土 high strength sprayed concrete

强度等级不低于 C40 的喷射混凝土。

#### 2.1.4 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。

#### 2.1.5 碱性速凝剂 alkali accelerator

总碱含量大于 10.0% 的速凝剂，以  $\text{Na}_2\text{O}$  当量计。

#### 2.1.6 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  $\text{Na}_2\text{O}$  当量计。

#### 2.1.7 无碱速凝剂 alkali-free accelerator

总碱含量不大于 1.0% 的速凝剂，以  $\text{Na}_2\text{O}$  当量计。

### 2.2 符 号

$f_c$ ——混凝土轴心抗压强度设计值；

$f_b$ ——胶凝材料 28d 胶砂抗压强度；

$f_{ck}$ ——混凝土轴心抗压强度标准值；

$f_{\text{cu},0}$ ——混凝土配制强度值；

$f_{\text{cu},k}$ ——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；

$k_1$ ——混凝土密实度系数；

$k_2$ ——速凝剂强度影响系数；

$\alpha_a$ 、 $\alpha_b$ ——混凝土水胶比计算公式中的回归系数；

$\sigma$ ——混凝土强度标准差。

## 3 材 料

### 3.1 胶 凝 材 料

**3.1.1** 配制喷射混凝土宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，并应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的规定。当采用其他品种水泥时，其性能指标应符合国家现行有关标准的规定。用于永久性结构喷射混凝土的水泥强度等级不应低于 42.5 级。

**3.1.2** 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 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 当采用其他矿物掺合料时，其性能除应符合现行国家标准《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003 外，尚应通过试验验证，确定喷射混凝土性能满足设计要求后方可使用。

### 3.2 骨 料

**3.2.1** 粗骨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，粗骨料的最大公称粒径不宜大于 10mm；喷射钢纤维混凝土的粗骨料最大公称粒径不宜大于 10mm。当使用碱性速凝剂时，不得使用含有活性二氧化硅的骨料。粗骨料的针、片状颗粒含量、含泥量及泥块含量，应符合表 3.2.1 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》JGJ 52 中的规定。

表 3.2.1 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
	C20~C35	≥C40		
指标 (%)	≤12.0	≤8.0	≤1.0	≤0.5

3.2.2 细骨料宜选用Ⅱ区砂，细度模数宜为 2.5~3.2；干拌法喷射时，细骨料的含水率不宜大于 6%。天然砂的含泥量和泥块含量应符合表 3.2.2-1 的要求；人工砂的石粉含量应符合表 3.2.2-2 的要求。细骨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》JGJ 52 的规定。

表 3.2.2-1 天然砂的含泥量和泥块含量

项目	含泥量	泥块含量
指标 (%)	≤3.0	≤1.0

表 3.2.2-2 人工砂的石粉含量

项目		≤C20	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

3.2.3 喷射混凝土用骨料的颗粒级配范围宜满足表 3.2.3 的要求。

表 3.2.3 骨料的颗粒级配范围

累计筛余 (%) / 最大公称粒径 (mm) / 方孔筛筛孔边长 (mm)		10	12
16.00		0	0
9.50		18~27	10~38
4.75		40~50	30~60

续表 3.2.3

累计筛余 (%) 最大公称粒径 (mm) 方孔筛筛孔边长 (mm)	10	12
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

### 3.3 外加剂

#### 3.3.1 喷射混凝土用速凝剂应符合下列规定：

1 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》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本规程附录 A 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。

3.3.2 外加剂性能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。

### 3.4 其他

3.4.1 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》JGJ 63 的规定。

3.4.2 喷射混凝土用钢纤维和合成纤维应符合下列规定：

1 钢纤维的抗拉强度不宜低于  $600\text{N/mm}^2$ ，直径宜为  $0.30\text{mm}\sim 0.80\text{mm}$ ，长度宜为  $20\text{mm}\sim 35\text{mm}$ ，且不得大于拌合物输送管内径的 0.7 倍，长径比宜为  $30\sim 80$ ；

2 钢纤维不得有明显的锈蚀和油渍及其他妨碍钢纤维与水泥粘结的杂质；钢纤维内含有的因加工不良造成的粘连片、铁屑及杂质的总重量不应超过钢纤维重量的 1%；

3 合成纤维的抗拉强度不应低于  $270\text{N/mm}^2$ ，直径宜为  $10\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ ，长度宜为  $12\text{mm}\sim 25\text{mm}$ ；

4 纤维其他性能应符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的规定。



## 4 设计要求

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 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  $f_t$  应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

**4.1.2** 喷射混凝土的弹性模量可按表 4.1.2 进行取值。

表 4.1.2 喷射混凝土的弹性模量 (N/mm<sup>2</sup>)

强度等级	C20	C25	C30	C35	C40
弹性模量	$2.3 \times 10^4$	$2.6 \times 10^4$	$2.8 \times 10^4$	$3.0 \times 10^4$	$3.15 \times 10^4$

**4.1.3** 用于永久性结构的喷射混凝土应进行粘结强度试验，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 5.2.3 条的规定。

**4.1.4** 喷射钢纤维混凝土以及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喷射混凝土应进行抗弯强度试验，喷射混凝土的最小抗弯强度应符合本规程第 5.2.4 条的规定。

**4.1.5** 喷射混凝土抗渗等级不应低于 P6，含水岩层中的喷射混凝土抗渗等级不应低于 P8；恶劣的暴露环境下喷射混凝土宜使用防水喷射混凝土，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。

**4.1.6** 处于冻融侵蚀环境的永久性喷射混凝土工程，喷射混凝土的抗冻融循环等级不应低于 F200。

**4.1.7** 处于受化学侵蚀环境的喷射混凝土，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。



**4.1.8** 含水岩层中的喷射混凝土设计厚度不应小于 80mm；钢筋网喷射混凝土设计厚度不应小于 80mm，双层钢筋网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。

## **4.2 地下工程喷射混凝土设计**

**4.2.1** 地下工程用喷射混凝土的设计强度等级不应低于 C25，喷射混凝土的 1d 龄期混凝土抗压强度不应低于 8MPa，最小粘结强度应符合本规程第 5.2.3 条的规定。

**4.2.2** 软弱围岩及浅埋隧道地下工程用喷射混凝土的 3h 强度不应小于 2MPa 且 1d 抗压强度应大于设计值的 40%。

**4.2.3** 喷射混凝土设计厚度不应小于 50mm，且不宜超过 300mm；单层衬砌喷射混凝土设计厚度不应小于 60mm。

**4.2.4** 钢筋网喷射混凝土的钢筋保护层厚度不应小于 20mm，双层钢筋网喷射混凝土的钢筋保护层厚度不应小于 25mm，钢架喷射混凝土的钢筋保护层厚度不应小于 40mm。

**4.2.5** 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，宜采用喷射钢纤维混凝土。

## **4.3 边坡工程喷射混凝土设计**

**4.3.1** 边坡工程用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》GB 50330 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。

**4.3.2** 边坡工程宜采用钢筋网喷射混凝土或喷射钢纤维混凝土。

**4.3.3** 边坡工程采用的喷射混凝土设计强度等级不应低于 C20，1d 龄期的抗压强度不应低于 5MPa，其最小粘结强度应符合本规程第 5.2.3 条的规定。

**4.3.4** 边坡工程喷射混凝土的设计厚度不应小于 50mm，含水岩层中的喷射混凝土和钢筋网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 25mm。

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

#### **4.4 基坑工程喷射混凝土设计**

**4.4.1** 基坑工程用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》JGJ 120 的规定。

**4.4.2** 基坑工程用喷射混凝土强度等级不应低于 C20，3d 强度不应低于 12MPa。

**4.4.3** 喷射混凝土厚度宜为 80mm~150mm，且不应小于 50mm。钢筋网喷射混凝土的钢筋保护层厚度不应小于 20mm，用于永久性基坑的喷射混凝土钢筋保护层厚度不应小于 25mm。

#### **4.5 加固工程喷射混凝土设计**

**4.5.1** 加固工程用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》GB 50367 的规定，抗震加固用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》JGJ 116 的规定。

**4.5.2** 采用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 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 喷射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一级，且设计强度等级不应低于 C20；采用置

换混凝土加固法时，设计强度等级不应低于 C25；

**5** 喷射混凝土最小粘结强度应符合本规程第 5.2.3 条的规定，其耐久性不应低于原加固结构、构件。

**4.5.3** 新增喷射混凝土厚度，板不应小于 40mm，梁、柱不应小于 50mm。钢筋网喷射混凝土的钢筋保护层厚度不应小于 20mm，双层钢筋网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》GB 50010 的规定。

**4.5.4** 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。

**4.5.5** 采用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。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** 喷射混凝土板墙厚度宜为 60mm~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。

## 5 喷射混凝土性能

### 5.1 拌合物性能

**5.1.1** 喷射混凝土应具有良好的黏聚性，并应满足工程设计和施工要求。

**5.1.2** 湿拌法喷射混凝土拌合物坍落度应为 80mm~200mm。

**5.1.3** 引气型湿拌法喷射混凝土喷射前，应测试混凝土拌合物含气量，含气量宜为 5%~12%。

**5.1.4** 喷射混凝土拌合物中水溶性氯离子含量应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定；喷射纤维混凝土拌合物中水溶性氯离子含量应符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的规定。

**5.1.5** 有预防混凝土碱骨料反应设计要求的工程，喷射混凝土中总碱含量不应大于  $3.0\text{kg/m}^3$ 。

### 5.2 力学性能

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

**5.2.2** 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。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，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。喷射混凝土抗压强度试验方法应按本规程附录 C 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。

**5.2.3** 喷射混凝土的粘结强度试验应按本规程附录 D 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 5.2.3



的规定。

表 5.2.3 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	0.5	0.2
结构作用	1.0	0.8

5.2.4 喷射钢纤维混凝土及特殊条件下喷射混凝土应进行抗弯强度和抗拉强度试验，并应根据设计要求进行喷射混凝土弯曲韧性试验。喷射混凝土的最小抗弯强度应符合表 5.2.4-1 的规定。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喷射混凝土的残余抗弯强度不应小于表 5.2.4-2 的规定；不同能量吸收等级下的能量吸收值不应小于表 5.2.4-3 的规定。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 E 执行，能量吸收等级试验应按本规程附录 F 执行。

表 5.2.4-1 喷射混凝土的最小抗弯强度（MPa）

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

表 5.2.4-2 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 5.2.4-3 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

5.3 长期性能和耐久性能

5.3.1 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 B 执行。

5.3.2 喷射混凝土的抗冻、抗渗、抗氯离子渗透、抗硫酸盐侵蚀等耐久性能应符合设计要求。耐久性能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 B 执行。

## 6 喷射混凝土配合比

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 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。

**6.1.2** 喷射混凝土的水泥用量不应小于  $300\text{kg}/\text{m}^3$ ，最小胶凝材料用量应符合表 6.1.2 的规定。喷射钢纤维混凝土的胶凝材料用量不宜小于  $400\text{kg}/\text{m}^3$ 。

表 6.1.2 喷射混凝土的最小胶凝材料用量

最大水胶比	最小胶凝材料用量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
0.60	360
0.55	380
$\leq 0.50$	400

**6.1.3** 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。采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥时，矿物掺合料最大掺量宜符合表 6.1.3 的规定。

表 6.1.3 喷射混凝土的矿物掺合料最大掺量

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
粒化高炉矿渣粉	30	20
硅灰	12	10
复掺	50	40

注：1 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。

2 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中复掺的规定，且各组分的掺量不宜超过单掺时的最大掺量。

## 6.2 配制强度的确定

**6.2.1** 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。喷射混凝土的配制强度应符合下列规定：

1 喷射混凝土的配制强度宜按下式计算：

$$f_{cu,0} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad (6.2.1)$$

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，这里取喷射混凝土的设计强度等级值（MPa）；

$\sigma$ ——混凝土强度标准差（MPa）。

2 喷射混凝土强度标准差  $\sigma$  应按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 确定。

## 6.3 配合比计算

**6.3.1** 喷射混凝土试配的水胶比应考虑喷射工艺、速凝剂对强度的影响。在无配制经验时，喷射混凝土试配的水胶比应符合下列规定：

1 喷射混凝土的水胶比宜按下式计算：

$$W/B = \frac{\alpha_a f_b}{f_{cu,0} k_1 k_2 + \alpha_a \alpha_b f_b} \quad (6.3.1)$$

式中： $W/B$ ——混凝土水胶比；

$\alpha_a$ 、 $\alpha_b$ ——回归系数，按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 确定；

$k_1$ ——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（MPa），可实测，试验方法应按现行国家标准《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》GB/T 17671 执行；也可按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》



JGJ 55 确定。

2 喷射混凝土密实度系数  $k_1$  可按表 6.3.1-1 进行取值。

表 6.3.1-1 喷射混凝土密实度系数  $k_1$  取值

喷射工艺	湿拌法工艺	干拌法工艺
喷射混凝土密实度系数	1.05~1.25	1.20~1.45

3 喷射混凝土速凝剂强度影响系数  $k_2$  宜按表 6.3.1-2 进行取值。

表 6.3.1-2 速凝剂强度影响系数  $k_2$  取值

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

6.3.2 喷射混凝土的水胶比除应按本规程第 6.3.1 条计算外，还应通过下列方法确定，并应以水胶比的最小值为确定值。

1 根据喷射混凝土结构暴露的环境类别得到水胶比限制要求；

2 有早期强度要求时，应根据早期强度指标进行试验得到水胶比。

6.3.3 干拌法喷射混凝土的表观密度可取  $2200\text{kg/m}^3 \sim 2300\text{kg/m}^3$ ，湿拌法喷射混凝土的表观密度不应低于  $2300\text{kg/m}^3$ 。

6.3.4 喷射混凝土设计可选择适宜的减水剂，用水量宜为  $180\text{kg/m}^3 \sim 220\text{kg/m}^3$ 。

6.3.5 喷射混凝土砂率宜为 45%~60%。

6.3.6 喷射钢纤维混凝土中钢纤维掺量宜根据弯曲韧性指标确定，钢纤维的最小掺量可根据钢纤维的长径比按表 6.3.6 选取，并应经试配确定。

表 6.3.6 喷射钢纤维混凝土中钢纤维的最小掺量

钢纤维长径比	40	45	50	55	60	65	70	75	80
最小含量 ( $\text{kg/m}^3$ )	65	50	40	35	30	25	25	25	25
最小体积率 (%)	0.83	0.64	0.51	0.45	0.38	0.32	0.25	0.25	0.25

**6.3.7** 喷射混凝土的配合比计算应符合本规程外，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。

## **6.4 配合比试配、试喷、调整与确定**

**6.4.1** 喷射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。

**6.4.2** 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。

**6.4.3** 应采用三个不同的配合比，其中一个为本规程第 6.4.2 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。

**6.4.4** 用本规程第 6.4.2 条及第 6.4.3 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。

**6.4.5** 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。

**6.4.6** 在配合比试喷的基础上，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。

**6.4.7** 校正后的喷射混凝土配合比，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。

**6.4.8** 喷射混凝土设计配合比确定后，应进行生产适应性验证。

## 6.5 高强喷射混凝土

6.5.1 高强喷射混凝土原材料应符合下列规定：

- 1 水泥应选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥；
- 2 粗骨料宜采用连续级配，其最大公称粒径不宜大于12mm，针片状颗粒含量不宜大于5.0%，含泥量不应大于0.5%，泥块含量不应大于0.2%；
- 3 细骨料细度模数宜为2.6~3.0，含泥量不应大于2.0%，泥块含量不应大于0.5%；
- 4 宜采用减水率不低于25%的高性能减水剂；
- 5 宜采用液态无碱速凝剂；
- 6 宜掺用硅灰。

6.5.2 高强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 水胶比不应大于0.45，胶凝材料用量不应小于 $450\text{kg}/\text{m}^3$ ；
- 2 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%。

6.5.3 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。

6.5.4 高强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。

## 7 施 工

### 7.1 一 般 规 定

7.1.1 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。

7.1.2 喷射施工操作应选择熟悉喷射设备性能的喷射工或在其指导下进行，且喷射混凝土施工前，喷射工应进行试喷，混凝土性能合格后方可进行喷射操作。

7.1.3 大断面隧道、大型洞室应采用湿拌法喷射施工，C30 及以上强度等级喷射混凝土不宜采用干拌法喷射施工。

7.1.4 湿拌法喷射混凝土在运输及喷射过程中严禁加水。

7.1.5 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。

### 7.2 设 备

7.2.1 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。

7.2.2 湿拌法喷射设备的性能应符合下列规定：

- 1 应具有良好的密封性和连续均匀输料能力；
- 2 生产能力宜大于  $5\text{m}^3/\text{h}$ ，允许输送骨料的粒径不宜大于  $15\text{mm}$ ；
- 3 水平输料距离不宜小于  $30\text{m}$ ，竖向输料距离不宜小于  $20\text{m}$ 。

7.2.3 干拌法喷射设备的性能应符合下列规定：

- 1 具有良好的密封性和连续均匀输料能力；
- 2 生产能力宜大于  $3\text{m}^3/\text{h}$ ，允许输送骨料的粒径不宜大于  $20\text{mm}$ ；

3 水平输料距离不宜小于 100m, 竖向输料距离不宜小于 30m。

**7.2.4** 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  $0.01\text{MPa}$ , 风压不宜小于  $0.6\text{MPa}$ ;

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  $0.8\text{MPa}$ 。

**7.2.5** 干拌法喷射混凝土施工供水设施应保证喷头处的水压为  $0.15\text{MPa}\sim 0.20\text{MPa}$ 。

**7.2.6** 输料管工作时的承压能力应大于  $0.8\text{MPa}$ , 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。

### 7.3 喷射准备工作

**7.3.1** 喷射混凝土施工现场, 应做好下列准备工作:

1 应拆除喷射混凝土施工作业区的障碍物。

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

3 应确保喷射设备司机与喷射手之间的联系畅通。

4 喷射作业区应有良好的通风和足够的光线。

5 应埋设控制喷射混凝土厚度的标志, 其纵横间距宜为  $1.0\text{m}\sim 1.5\text{m}$ 。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。

**7.3.2** 地下工程, 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的岩渣、堆积物等。



2 宜用高压水或压缩空气冲洗喷射面。对遇水易潮解、泥化的面层，应用压缩空气清扫。泥、砂质岩面应挂设钢筋网，并用锚钉或钢架固定。

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处理。

**7.3.3 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。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。

2 岩石边坡和基坑，喷射前应用高压水冲洗岩面，对遇水易分解、泥化的岩层则应用压缩空气吹除岩面上的浮渣和灰尘。

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。

**7.3.4 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。

7.3.5 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。

## 7.4 喷射混凝土的制备与运输

7.4.1 原材料存储应符合下列规定：

1 水泥应按不同厂家、不同品种和强度等级分批存储，并应防止受潮和污染；

2 矿物掺合料存储时，应有明显标记，不同掺合料不得混杂堆放，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。

7.4.2 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》GB 50164 的规定。每盘混凝土原材料计量允许偏差应符合表 7.4.2 的规定，原材料计量偏差应每班检查 1 次。

表 7.4.2 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	±2	±3	±1	±1	±1

7.4.3 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，应增加测试次数。

7.4.4 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  $0.5\text{m}^3$ ，搅拌时间不宜小于 120s。湿拌法喷射混凝土拌合物宜在混凝土搅拌楼完成搅拌。

7.4.5 喷射纤维混凝土拌合物的搅拌方式和时间应符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的规定，拌合物中纤维应分布均匀，不得成团。喷射纤维混凝土应采用湿拌法。

7.4.6 干拌法喷射混凝土拌合料在运输、存放过程中，应采取防晒、防水措施，应严防水滴、大石块等杂物混入，装入喷射设备前应过筛。湿拌法喷射混凝土运输应使用搅拌运输车。喷射混凝土拌合物拌制后至喷射的最长间隔时间应符合表 7.4.6 的规定。

表 7.4.6 喷射混凝土拌合物拌制后至喷射的最长间隔时间

拌制方法	有无速凝剂	喷射前拌合物最长停放时间 (min)
湿拌法	无	120
干拌法	有	20
	无	90

## 7.5 喷射作业

7.5.1 喷射混凝土的喷射作业区温度宜为  $5^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ ，喷射混凝土拌合物温度宜为  $10^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 。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。



7.5.2 喷射混凝土施工作业应符合下列规定：

- 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 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。
- 3 喷射作业时，喷嘴指向与受喷面应保持 90° 夹角，喷嘴与喷射面的距离宜符合表 7.5.2-1 的规定。

表 7.5.2-1 喷嘴与喷射面的距离（m）

喷射方式	干喷	湿喷
人工喷射	0.8~1.2	1.0~1.5
机械式喷射	—	1.0~2.0

- 4 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。喷射混凝土一次喷射厚度宜符合表 7.5.2-2 规定。

表 7.5.2-2 喷射混凝土一次喷射厚度（mm）

拌制方法	部位	掺速凝剂	不掺速凝剂
干拌	水平喷射	70~100	50~70
	竖直喷射	50~60	30~40
湿拌	水平喷射	80~150	—
	竖直喷射	60~100	—

- 5 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。

7.5.3 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%。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 G 执行。

7.5.4 喷射钢纤维混凝土表面宜再喷射一层保护层，其强度等

级不应低于喷射钢纤维混凝土的强度等级。

**7.5.5** 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。

**7.5.6** 地下工程喷射混凝土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。

**7.5.7** 边坡工程和基坑工程喷射混凝土施工应符合下列规定：

- 1 喷射作业应从坡底开始自下而上、分段分片依次进行；
- 2 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；
- 3 严禁在冻土和松散土面上直接喷射混凝土。

**7.5.8** 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》JGJ 18 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 喷射墙面和柱子时，应自下而上顺序进行；
- 7 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。

**7.5.9** 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。

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

1 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。

## **7.6 养 护**

**7.6.1** 喷射混凝土应及时保湿养护。混凝土终凝后养护时间不得少于 7d,重要工程不得少于 14d。

**7.6.2** 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。

**7.6.3** 对于冬期施工的喷射混凝土,养护应符合下列规定:

1 日均温度低于 5℃ 时,不得采用喷水养护;

2 喷射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混凝土强度不得低于设计强度的 40%;

3 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。

## 8 安全环保措施

### 8.1 安全技术

**8.1.1** 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、设备等编制喷射混凝土施工安全专项方案。

**8.1.2** 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。

**8.1.3** 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。

**8.1.4** 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。

**8.1.5** 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。

**8.1.6** 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。

**8.1.7** 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。喷射钢纤维混凝土施工时，应采取措施防止回弹物扎伤操作人员。

**8.1.8** 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。

### 8.2 环保要求

**8.2.1** 喷射混凝土应设法减少回弹，宜将回弹物料回收利用。

**8.2.2** 喷射混凝土作业区的粉尘浓度不应大于  $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。当施

工区域位于居民区时，宜采用湿拌法喷射混凝土。

**8.2.3** 喷射混凝土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；
- 4 对于干拌法喷射混凝土，在保证喷射混凝土喷射性的条件下，可增加骨料含水率及添加增粘剂等外加剂。

**8.2.4** 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。



# 9 质量检验与验收

## 9.1 质量检验与评定

9.1.1 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。

9.1.2 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》GB 50164 的规定。

9.1.3 不同工程类别中喷射混凝土性能的质量检验项目应符合表 9.1.3 的规定，并应满足设计要求。

表 9.1.3 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	●	●	●	▲	●	▲	▲	▲	▲	▲	▲
异形结构	●	●	●	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲

注：●必检；▲可选。

9.1.4 喷射混凝土性能检验频率应符合下列规定：

1 湿拌法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 喷射钢纤维混凝土，钢纤维含量测试应按现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的规定在喷射地点取样

检验。

3 对于有抗冻要求的喷射混凝土，应检验拌合物含气量，每工作台班应至少检验 1 次。

4 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。

5 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  $50\text{m}^2$ /个，防护性喷层为  $200\text{m}^2$ /个，隧道的检查应从拱顶起；
- 2) 对于加固工程和异形结构工程，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  $2\text{m}$ ，单个构件每一面的检查点不宜少于 3 个。

6 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/T 50107 中的有关规定。

9.1.5 喷射混凝土厚度检验评定应符合下列规定：

- 1 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) 对于加固工程和异形结构工程，喷层的厚度的允许偏差值应为： $-5\text{mm}\sim+8\text{mm}$ 。

9.1.6 硬化喷射混凝土性能检验评定应符合下列规定：

- 1 喷射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/T 50107 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/T 193 的规定。

4 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 5.2 节和第 5.3 节的规定。

9.2 工程质量验收

9.2.1 喷射混凝土工程的质量验收应符合表 9.2.1 的规定。

表 9.2.1 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
	喷射混凝土抗压强度	达到设计要求
	喷射混凝土粘结强度	满足本规程第 5.2.3 条的规定
	喷射混凝土厚度	满足本规程第 9.1.5 条的规定
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

9.2.2 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 其他必要的文件和记录。

## 附录 A 掺无碱速凝剂的水泥净浆凝结时间试验

### A. 0.1 试验应使用下列仪器：

- 1 水泥净浆标准稠度与凝结时间测定仪；
- 2 量程 2000g，分度值 2g 的天平；
- 3 量程 100g，分度值 0.1g 的天平；
- 4 直径 400mm、高 100mm 的拌和锅，直径 100mm 的拌和铲；
- 5 秒表；
- 6 200mL 量筒；
- 7 医用注射器。

### A. 0.2 试验应按下列步骤进行：

1 凝结时间试验方法应符合现行国家标准《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346 的规定。

2 进行试验时，试验室温度应保持在  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不应低于 50%，所用材料的温度应与试验室温度保持一致。

3 在拌和锅内，将 400g 水泥与计算加水量（140mL 水减去无碱速凝剂中的水量）快速搅拌均匀后，用注射器迅速注入推荐掺量的无碱速凝剂，同时启动秒表开始计时，迅速搅拌 10s~15s 后，立即装入试模，人工振捣数次，削去多余的水泥净浆，并用洁净的小刀修平表面。从加速凝剂时算起，操作时间不应超过 50s。

4 将装满水泥净浆的试模放在水泥净浆标准稠度与凝结时间测定仪下，使针尖与水泥净浆表面接触。迅速放松测定仪杆上的固定螺丝，针即自由插入水泥净浆中，观察指针读数，每隔 10s 测定一次，直到终凝为止。

5 从加入速凝剂时起至试针沉入净浆中距底板  $4\text{mm} \pm 1\text{mm}$

时达到初凝，记录此时的时间即为初凝时间；初凝结束后，将试针更换为终凝针，同时将试模翻转进行测试，当试针沉入浆体中小于 0.5mm、在试件表面不会留下环印时，净浆达到终凝，记录此时的时间即为终凝时间。

**6** 同一速凝剂应进行两次试验。试验结果应以两次结果的算术平均值表示。如两次试验结果的差值大于 30s 时，本次试验无效，应重新进行试验。

## 附录 B 喷射混凝土试件的制作方法

### B. 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。

**B. 0. 2** 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  $450\text{mm} \times 450\text{mm} \times 120\text{mm}$ ，模具长侧边为敞开状。钢模具的厚度不宜小于  $4\text{mm}$ ，胶合板模具的厚度不宜小于  $18\text{mm}$ 。

### B. 0. 3 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  $80^\circ$  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表 7. 5. 2-1 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，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。喷射混凝土大板周边 120mm 范围内的混凝土不得制作试件。

**B. 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 C 喷射混凝土抗压强度试验

**C.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。

**C.0.2** 试件应在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 B 执行。

**C.0.3** 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。

**C.0.4** 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。

**C.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 $2^\circ$ ；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 $2^\circ$ ；

2 试件在标准条件下养护至 28d，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 D 喷射混凝土粘结强度试验

**D. 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 芯样直接轴拉试验配套支架、接头等。

**D. 0. 2** 喷射混凝土与岩石或硬化混凝土的粘结强度试验（图 D. 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。

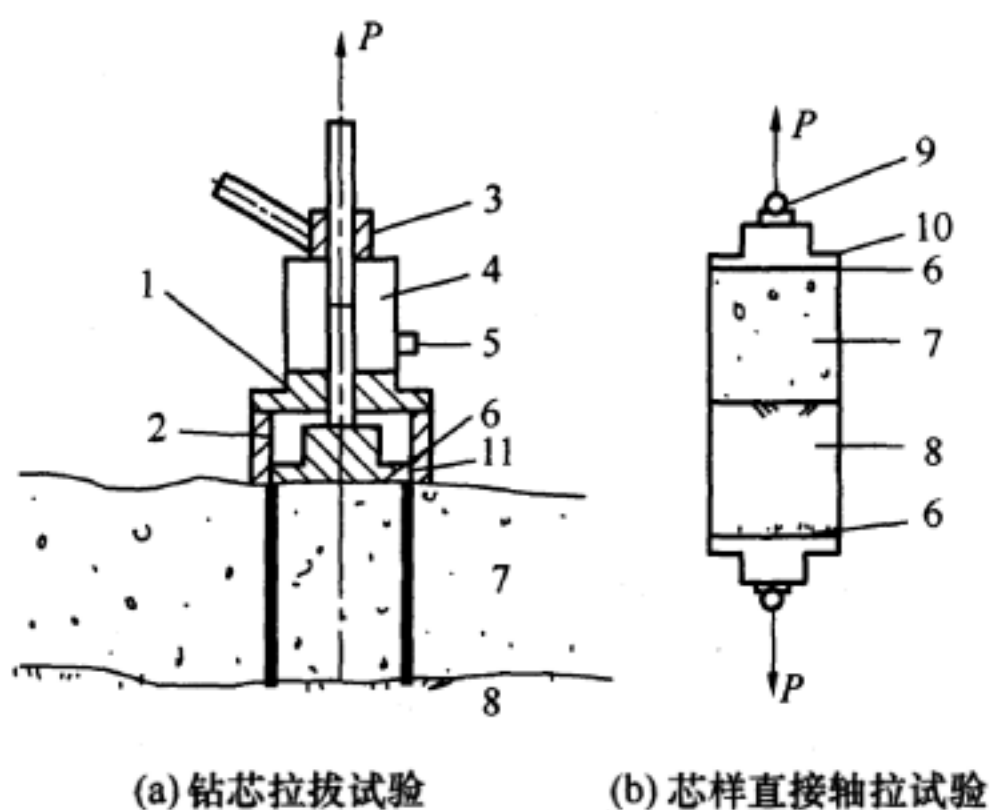


图 D. 0. 2 喷射混凝土粘结强度试验示意图

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

**D. 0. 3** 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。

**D. 0. 4** 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 钻芯试件的直径可取 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。

**D. 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 1.3 MPa/min ~3.0MPa/min，加荷时应确保试件轴向受拉。

**D. 0. 6** 试验中试件破坏面在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。

**D. 0. 7** 喷射混凝土粘结强度应符合下列规定：

1 喷射混凝土粘结强度应按下式计算：

$$f_s = \frac{F_{\max}}{A} \quad (\text{D. 0. 7})$$

式中： $f_s$ ——喷射混凝土粘结强度（MPa）；

$F_{\max}$ ——试验最大荷载（N）；

$A$ ——粘结面的面积（mm<sup>2</sup>）。

2 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 5.2.3 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。

**D. 0. 8** 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 E 喷射混凝土抗弯强度和 残余抗弯强度等级试验

### E. 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。

E. 0.2 试件应为从喷射混凝土大板上切割  $75\text{mm} \times 125\text{mm} \times 600\text{mm}$  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。

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

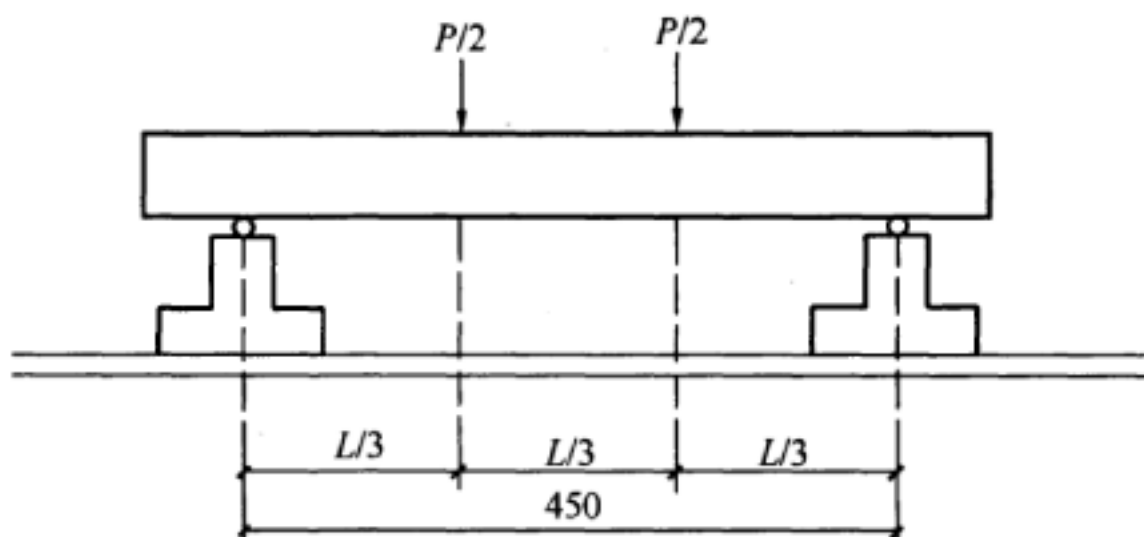


图 E. 0.3 喷射混凝土小梁加载受力方式

**E. 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  $(0.25 \pm 0.05)$  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 E. 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。

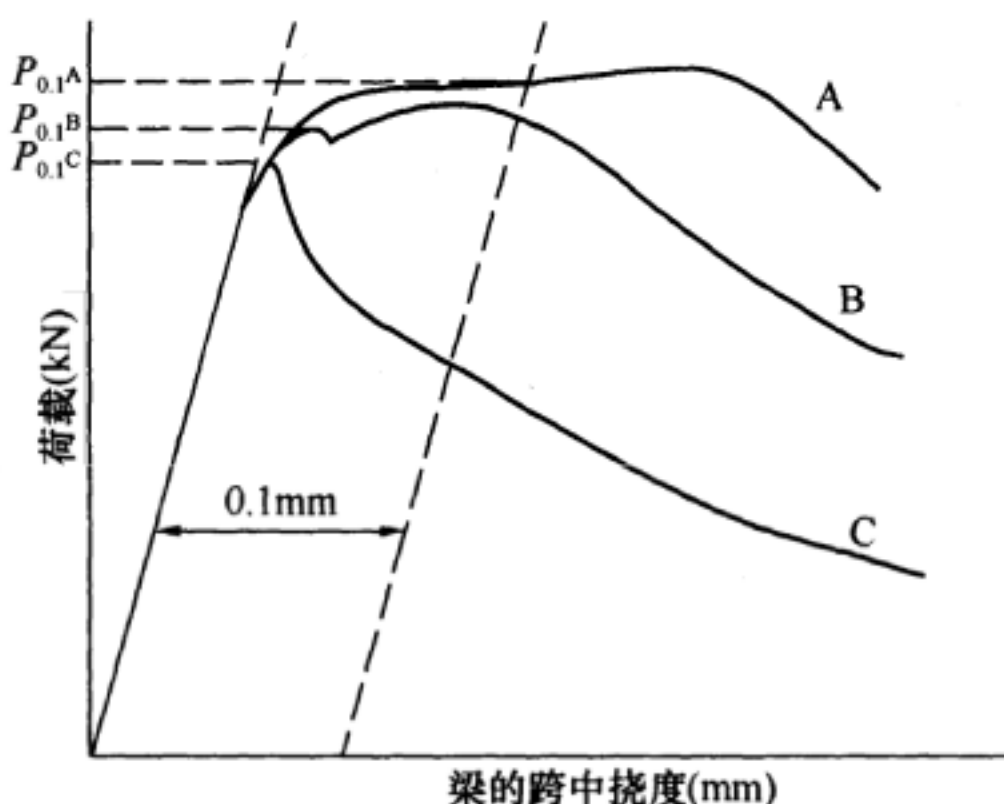


图 E. 0.4 荷载-挠度曲线

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

**E. 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。

**E. 0.6** 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 根据峰值荷载按下式计算喷射混凝土抗弯强度：

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

式中： $f_c$ ——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 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。

**E. 0. 7 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 按喷射混凝土围岩等级和工程要求, 对喷射混凝土有不同的变形限制要求, 变形限制要求可用喷射混凝土变形等级表示;

2 根据本规程表 5. 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 E. 0. 4~E. 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 个试件不小于低一等级要求的残余抗弯强度。

## 附录 F 喷射混凝土能量吸收等级试验

### F.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。

### F.0.2 试验应按下列步骤进行：

- 1 试件的尺寸为 600mm×600mm×100mm（图 F.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；
- 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/



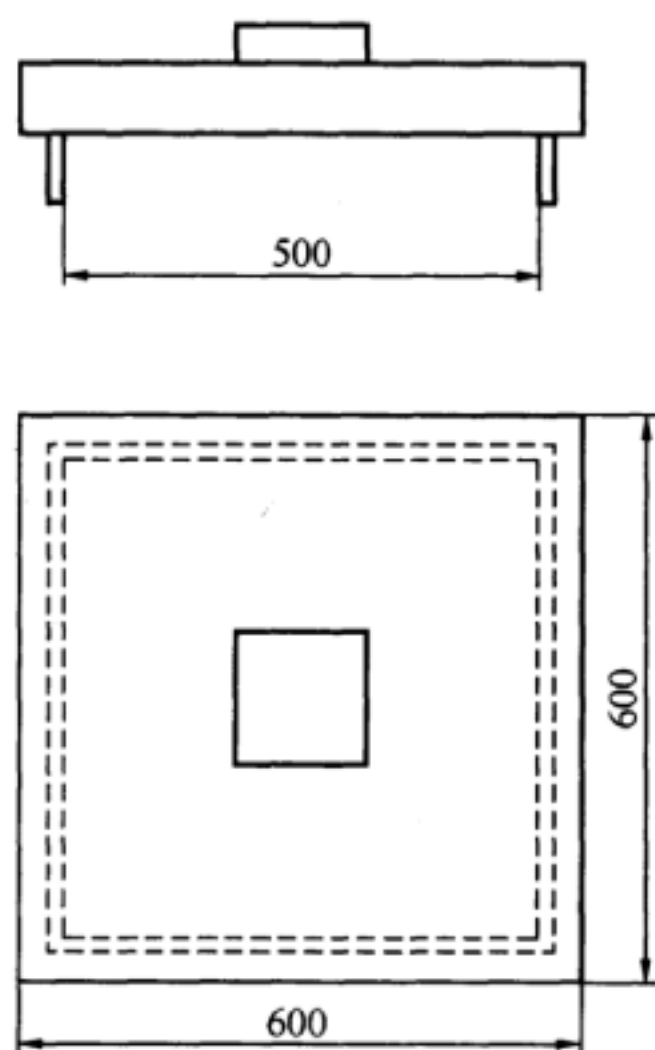


图 F. 0. 2 四边简支板的加载方式 (mm)

min, 试验进行至试件中心点处挠度为 25mm 时止。

**F. 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 F. 0. 3-1), 试

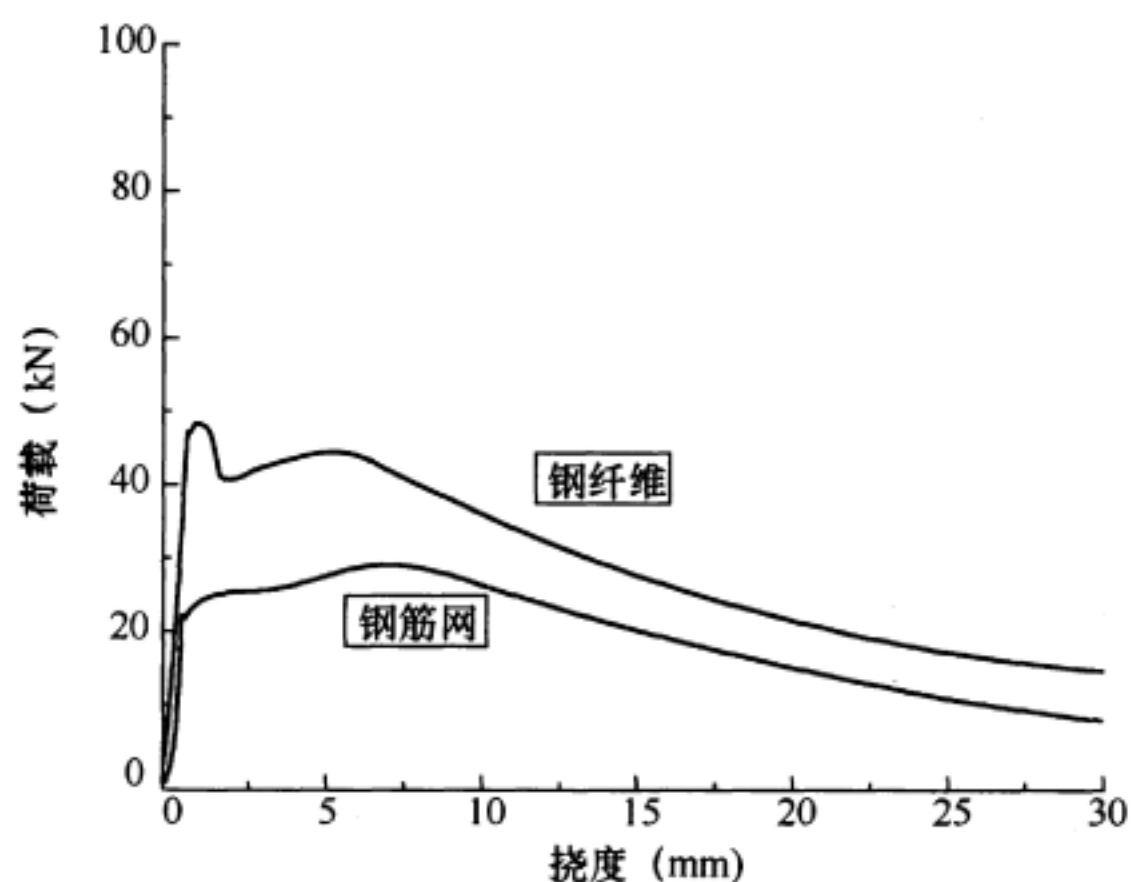


图 F. 0. 3-1 “荷载-挠度”曲线

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 F.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。

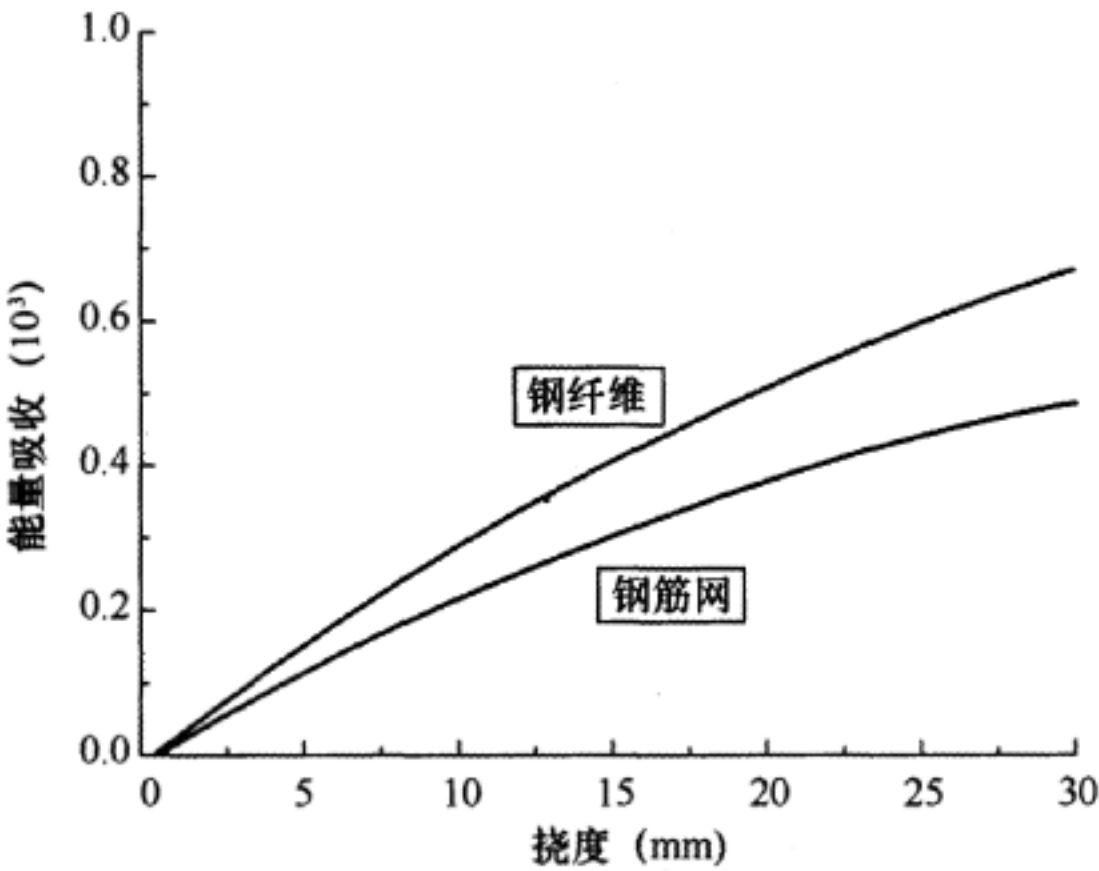


图 F.0.3-2 “能量-挠度”曲线

**F.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 G 喷射混凝土回弹率试验

**G. 0. 1** 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  $1\text{m}^3$ ；
- 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  $200\text{g} \sim 1000\text{g}$ 。

**G. 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  $1\text{m}^3$  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  $90^\circ$  夹角，喷嘴与喷射面的距离宜按本规程表 7. 5. 2-1 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，在正常情况下均应这样做的：

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

- 1 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 2 《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081
- 3 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082
- 4 《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107
- 5 《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119
- 6 《混凝土质量控制标准》GB 50164
- 7 《建筑边坡工程技术规范》GB 50330
- 8 《混凝土结构加固设计规范》GB 50367
- 9 《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476
- 10 《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003
- 11 《通用硅酸盐水泥》GB 175
- 12 《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346
- 13 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596
- 14 《混凝土外加剂》GB 8076
- 15 《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》GB/T 17671
- 16 《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046
- 17 《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690
- 18 《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18
- 19 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52
- 20 《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55
- 21 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 22 《建筑抗震加固技术规程》JGJ 116
- 23 《建筑基坑支护技术规范》JGJ 120

- 24** 《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193
- 25** 《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221
- 26** 《喷射混凝土用速凝剂》JC 477





中华人民共和国行业标准

喷射混凝土应用技术规程

**JGJ/T 372 - 2016**

条文说明

## 制 订 说 明

《喷射混凝土应用技术规程》JGJ/T 372-2016，经住房和城乡建设部 2016 年 2 月 22 日以第 1051 号公告批准发布。

本规程制订过程中，编制组对喷射混凝土应用情况进行了调查研究，总结了喷射混凝土应用的实践经验，同时参考了国内外技术法规和技术标准，并通过试验，取得了喷射混凝土应用的重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《喷射混凝土应用技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

# 目次

1	总则	55
2	术语和符号	56
2.1	术语	56
3	材料	57
3.1	胶凝材料	57
3.2	骨料	57
3.3	外加剂	62
3.4	其他	64
4	设计要求	65
4.1	一般规定	65
4.2	地下工程喷射混凝土设计	66
4.3	边坡工程喷射混凝土设计	67
4.4	基坑工程喷射混凝土设计	68
4.5	加固工程喷射混凝土设计	68
5	喷射混凝土性能	69
5.1	拌合物性能	69
5.2	力学性能	69
5.3	长期性能和耐久性能	70
6	喷射混凝土配合比	72
6.1	一般规定	72
6.2	配制强度的确定	76
6.3	配合比计算	76
6.4	配合比试配、试喷、调整与确定	79
6.5	高强喷射混凝土	79
7	施工	80

7.1 一般规定 ..... 80

7.2 设备 ..... 80

7.3 喷射准备工作 ..... 81

7.4 喷射混凝土的制备与运输 ..... 83

7.5 喷射作业 ..... 83

7.6 养护 ..... 86

8 安全环保措施..... 87

8.1 安全技术 ..... 87

8.2 环保要求 ..... 87

9 质量检验与验收..... 89

9.1 质量检验与评定 ..... 89

# 1 总 则

**1.0.1** 喷射混凝土在我国工程中得到了广泛应用。但目前相关标准中，喷射混凝土仅作为其中的一部分，没有专门的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。本规程制定旨在规范喷射混凝土技术的应用，确保喷射混凝土工程质量。本规程主要根据我国现有的标准规范、科研成果和实践经验，参考国外先进标准制定而成。

**1.0.2** 本条文明确了喷射混凝土质量控制的主要环节。喷射混凝土具有加快施工进度、强度增长快、密实性良好、施工不受场地条件限制等特点，在隧道和洞室等地下工程、边坡与基坑工程、修复加固工程、异形薄壁结构等领域被大规模应用。由于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，且不同的应用领域对喷射混凝土性能要求差异较大。本规程对喷射混凝土在地下工程、边坡与基坑工程、修复加固工程、异形薄壁结构等领域的生产和应用所涉及的各环节作出规定。

**1.0.3** 本条文规定了本规程与其他标准、规程的关系。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，按国家现行相关标准执行。



## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

**2.1.1** 本条文主要根据 EFNARC 标准《European Specification for Sprayed Concrete》和喷射混凝土工艺特点对喷射混凝土进行定义。

**2.1.3** 随着湿喷技术的发展,喷射混凝土的强度呈现高强度化。日本道路公团对高强喷射混凝土设计基准强度规定:龄期 3h 达到  $2\text{N/mm}^2$ , 1d 达到  $10\text{N/mm}^2$ , 28d 强度达到  $36\text{N/mm}^2$ 。欧美国家喷射混凝土强度等级的变化范围在 C30~C60 之间,对 C40 以上喷射混凝土称为高强喷射混凝土,如挪威标准采用 C45MA 的标准配比(设计基准强度为  $40\text{N/mm}^2$ )作为高强喷射混凝土的配合比示例。我国的工程应用实例和科研成果,对于强度大于 C35 的喷射混凝土称为高强喷射混凝土。本编制组结合国内外标准和资料,对高强喷射混凝土进行了定义。

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

**2.1.5~2.1.7** 条文根据欧洲 EN14487—1—2005《Spayed Concrete-part 1: Definitions, Specifications And Conformity》对无碱速凝剂进行定义,并根据对国内碱性速凝剂、低碱速凝剂的调研及参考国内外文献,对碱性速凝剂和低碱速凝剂进行定义。

## 3 材 料

### 3.1 胶 凝 材 料

**3.1.1** 本条文对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或存在碱骨料反应时，应该采用  $C_3A$  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。此外，由于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。

**3.1.2** 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。

### 3.2 骨 料

**3.2.1** 在满足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喷射混凝土。粗骨料的最大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。掺入钢纤维对喷射混凝土的黏聚性和回弹有影响，为减小回弹需减小骨料最大粒

径,《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 规定喷射钢纤维混凝土粗骨料最大公称粒径不宜大于钢纤维长度的 2/3,且不宜大于 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。

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《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52—2006 中的规定。因此,编制组开展了不同细度模数人工砂,不同粗骨料针、片状含量对喷射混凝土性能影响的试验,主要试验结果见表 1 和表 2。

表 1 针、片状含量验证试验混凝土基本配合比

编号	强度	每立方米混凝土材料用量 (kg/m <sup>3</sup> )			
		水	水泥	砂子	石子
CB1	C30	189	420	958	783
CB2	C25	200	400	980	770
CB3	C30	189	420	905	836
CB4	C25	200	400	928	822

表 2 验证试验喷射混凝土测试结果

编号	粗骨料 针片状 含量 (%)	坍落度 (mm)	表观 密度 (kg/m <sup>3</sup> )	试喷抗压强度 (MPa)		工作性
				1d	28d	
CB1-1	8	185	2407	14.3	42.1	包裹性好、黏聚性较好
CB1-2	10	165	2380	12.7	44	包裹性好,喷射性好
CB1-3	12	160	2414	13.5	38.9	黏聚性较好,回弹适中
CB1-4	13	165	2389	9.4	34.4	包裹性一般,石子偏多

续表 2

编号	粗骨料 针片状 含量 (%)	坍落度 (mm)	表观 密度 (kg/m <sup>3</sup> )	试喷抗压强度 (MPa)		工作性
				1d	28d	
CB1-5	14	150	2401	8.5	33.4	包裹性差, 回弹大, 有脉冲
CB2-1	8	175	2375	8.8	34.6	包裹性一般, 回弹正常, 无脉冲
CB2-2	10	170	2370	9.0	34.3	包裹性一般, 回弹正常
CB2-3	12	170	2375	9.7	34.5	包裹性较好, 微跌浆
CB2-4	13	155	2377	10.0	32.2	包裹性一般, 微脉冲
CB2-5	14	165	2375	7.2	29.0	包裹性差, 脉冲, 回弹偏大
CB2-6	15	160	2360	7.8	30.7	包裹性差, 黏聚性差, 脉冲严重
CB3-1	10	165	2380	11.6	39.8	包裹性好, 喷射性较好
CB3-2	12	180	2392	12.5	42.3	黏聚性较好, 回弹正常
CB3-3	14	160	2400	9.5	37.2	包裹性较差, 回弹偏大
CB4-1	8	175	2389	13.8	35.4	包裹性一般, 无脉冲, 回弹正常
CB4-2	10	180	2401	13.2	34.4	包裹性一般, 回弹正常
CB4-3	12	165	2377	12.7	33.6	包裹性一般, 微脉冲
CB4-4	14	170	2373	12.4	31.3	黏聚性差, 脉冲严重

由表 1 和表 2 可以看出, 对于强度低于 C40 的喷射混凝土, 混凝土中砂浆含量较多时, 粗骨料的针、片状含量控制在 12% 以下, 喷射混凝土拌合物性能易满足喷射工作性要求; 当混凝土中砂浆含量较低时, 粗骨料的针、片状含量过高, 易造成拌合物骨料堆积, 混凝土拌合物的回弹增大, 易产生脉冲。结合试验验证结果, 本规程确定粗骨料针、片状含量上限值为 12%。对于强度高于 C40 的喷射混凝土, 喷射混凝土质量要求高, 应按《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52—2006 中高

强混凝土要求严格取值，其粗骨料针、片状含量应 $\leq 8\%$ 。

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，本规程按《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52—2006 相关要求严格取值，规定含泥量、泥块含量应分别小于 1.0%、0.5%。

**3.2.2 喷射混凝土所用细骨料宜选用Ⅱ区砂。**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喷射混凝土产生过大的收缩，细度模数过大对喷射混凝土的和易性和喷射效果产生影响。干拌法喷射时，细骨料含有一定的含水率可减少运输和喷射工程中的粉尘，但含水率过大会导致混合料结团及影响外加剂的作用效果，因而细骨料的含水率不宜大于 6%。

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。编制组以胶凝材料用量、石粉含量、水胶比为主要因素，开展石粉含量对喷射混凝土性能的影响试验，试验的配合比和主要试验结果见表 3 和表 4。

表 3 石粉含量验证试验混凝土基本配合比

编号	石粉含量 (%)	每立方米混凝土材料用量 (kg/m <sup>3</sup> )			
		水泥	水	石子	砂子
CA20-1	10	400	178	949	823
CA20-2	12	350	186	972	841
CA20-3	14	350	184	975	841
CA20-4	15	350	182	977	841
CA20-5	16	350	181	973	841
CA20-6	18	330	205	881	895
CA25-1	10	420	201	889	808
CA25-2	11	400	211	875	813
CA25-3	12	400	211	866	813
CA25-4	13	400	211	857	813



续表 3

编号	石粉含量 (%)	每立方米混凝土材料用量 (kg/m <sup>3</sup> )			
		水泥	水	石子	砂子
CA25-5	18	380	220	779	871
CA30-1	7	450	216	859	821
CA30-2	8	420	201	873	843
CA30-3	9	420	201	864	843
CA30-4	10	420	201	855	843
CA30-5	11	420	202	846	843
CA30-6	15	400	192	809	875

表 4 验证试验喷射混凝土测试结果

编号	砂率 (%)	石粉 含量 (%)	坍落度 (mm)	表观 密度 (kg/m <sup>3</sup> )	试喷抗压强度 (MPa)		工作性
					1d	28d	
CA20-1	53	10	165	2386	14.4	32.4	混凝土偏黏，微脉冲
CA20-2	53	12	180	2389	11.1	28.2	包裹性偏差，回弹大
CA20-3	53	14	175	2374	11.3	26	和易性好，黏聚性好
CA20-4	53	15	170	2370	11.7	28	和易性好，微偏黏
CA20-5	53	16	180	2380	10.3	28.2	黏，有脉冲，流动性不好
CA20-6	50	18	180	2395	8.8	20	黏聚性好，跌浆
CA25-1	52	10	185	2391	15.4	36.5	坍落度过大，跌浆
CA25-2	52	11	170	2388	13.4	31.4	包裹性好，黏聚性好
CA25-3	52	12	180	2379	13.3	32.4	黏聚性较好
CA25-4	52	13	185	2372	11.7	28.4	偏黏，跌浆严重
CA25-5	50	18	180	2385	10.0	22.3	包裹性不好，回弹偏大
CA30-1	53	7	185	—	10.7	38.1	微跌浆，喷射性好
CA30-2	53	8	180	2387	11.4	39.5	黏聚性好，喷射性好
CA30-3	53	9	170	2387	12.5	43.8	黏聚性好，喷射性好
CA30-4	53	10	185	2390	12.7	41.3	微跌浆，喷射性好
CA30-5	53	11	180	2392	10.8	41.8	偏黏，跌浆
CA30-6	50	15	175	—	14.0	37.1	跌浆，脉冲



由试验结果可知,对于 MB 值 $\leq 1.4$ 的人工砂喷射混凝土,低强度等级喷射混凝土中石粉含量高达 12%~15%时混凝土仍然具有很好的黏聚性和喷射性,拌和状态良好。对于 C20 喷射混凝土,水泥掺量  $350\text{kg}/\text{m}^3$ ,水胶比 0.6 时,石粉含量为 15%时,强度 28MPa,符合要求。C25 喷射混凝土,水泥掺量  $400\text{kg}/\text{m}^3$ ,水胶比 0.55,石粉含量 12%时,具有良好的黏聚性,超过此含量,喷射混凝土的施工性变差。由于喷射混凝土胶凝材料相比普通混凝土偏多,随着强度的增大,喷射混凝土的水胶比变小,而过多的石粉,会增加喷射混凝土的黏聚性,造成脉冲和跌浆量增大,影响喷射混凝土的施工性。因此 C25~C35 喷射混凝土,石粉含量宜小于 10%。对于强度高于 C40 的喷射混凝土,喷射混凝土质量要求高,且胶凝材料用量通常高于  $450\text{kg}/\text{m}^3$ ,过多的石粉对喷射混凝土的施工性能不利,应按《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52—2006 中高强混凝土要求严格取值,人工砂中石粉含量宜小于 5%。

**3.2.3 骨料级配对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。对于薄壁、形状复杂的结构及特殊工程,应优先选用最大公称粒径为 10mm 的骨料级配。

### 3.3 外加剂

**3.3.1 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 10%,以便降低速凝剂对混凝土强度的影响。

目前实际工程应用过程中,无碱速凝剂的掺量一般为 4%~7%,而参照《喷射混凝土用速凝剂》JC 477—2005 方法确定无碱速凝剂掺量时,要达到目前的凝结时间掺量通常要达到 10%

以上，这与工程中无碱速凝剂实际掺量差异较大，对无碱速凝剂掺量的确定不具有实际指导意义。本规程附录 A 的试验方法根据 EFNARC《European Specification for Sprayed Concrete》制订，并针对该方法进行了验证试验，试验结果如表 5 和表 6 所示。

表 5 无碱速凝剂验证试验结果

掺量	无碱速凝剂 A (掺量 8%)		无碱速凝剂 B (掺量 6%)		无碱速凝剂 B (掺量 8%)	
时间	初凝 (min)	终凝 (min)	初凝 (min)	终凝 (min)	初凝 (min)	终凝 (min)
本规程附录 A	2 : 25	7 : 40	2 : 54	8 : 59	2 : 46	8 : 01
JC 477	6 : 07	13 : 57	10 : 16	17 : 50	6 : 10	13 : 51

表 6 低碱速凝剂验证试验结果

掺量	2%		4%		6%	
时间	初凝 (min)	终凝 (min)	初凝 (min)	终凝 (min)	初凝 (min)	终凝 (min)
本规程附录 A	10 : 07	19 : 24	2 : 30	7 : 50	2 : 05	4 : 28
JC 477	15 : 45	24 : 52	4 : 36	9 : 30	3 : 04	5 : 44

通过试验可知，《喷射混凝土用速凝剂》JC 477—2005 规定的试验方法对确定无碱速凝剂的掺量与实际情况差异较大。而附录 A 关于掺无碱速凝剂的水泥净浆凝结时间试验方法得到的试验结果与实际情况比较符合。

3.3.2 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 其 他

**3.4.1** 喷射混凝土拌合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。

**3.4.2** 纤维在混凝土中的增强、增韧效果与纤维的长度、直径、长径比、纤维形状和表面特征等因素有关。钢纤维长度太短和太粗的增强作用都不明显，太长则影响拌合物性能及喷射效果，太细则在搅拌和喷射过程中容易弯折或结团。大量的工程经验表明：长度在 20mm~60mm，直径在 0.3mm~0.9mm，长径比在 30~80 范围内的钢纤维，对在混凝土的增强效果明显。喷射混凝土由于受到喷管的影响，选择短纤维的喷射效果较佳，其适宜长度、直径都应适当的减小。对于合成纤维，抗拉强度是合成纤维的主要技术指标，直接影响合成纤维的增强和增韧效果。

## 4 设计要求

### 4.1 一般规定

**4.1.2** 由于喷射混凝土胶凝材料偏多，骨料较少，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，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，喷射混凝土的弹性模量越高。轻骨料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。

**4.1.3** 喷射混凝土的粘结强度是喷射混凝土的一个重要性能指标。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喷射混凝土，需足够重视喷射混凝土与基底的粘结强度。

**4.1.4** 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。



**4.1.5** 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,并采用尺寸较小的粗骨料,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,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。

**4.1.6** 处于受冻融侵蚀的永久性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。

**4.1.7** 对长期处于盐类侵蚀环境中的喷射混凝土,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,增加喷射混凝土密实度,从而提高混凝土耐侵蚀的性能。

**4.1.8** 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。喷射混凝土过厚,会产生过大的形变压力,容易导致喷层出现破坏。因而需要限制喷射混凝土的厚度,需对喷射混凝土的最小设计厚度进行规定。

## **4.2 地下工程喷射混凝土设计**

**4.2.1** 喷射混凝土在地下工程中多起结构性支护作用,对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。

**4.2.2** 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, 喷射混凝土早期强度至关重要, 早龄期强度要求更加严格。

**4.2.3** 挪威标准指出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。

**4.2.4** 为保证钢筋喷射混凝土的钢筋耐久性, 本条文对钢筋喷射混凝土的钢筋保护层厚度进行规定。

**4.2.5** 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, 需使用喷射钢纤维混凝土。

### **4.3 边坡工程喷射混凝土设计**

**4.3.2** 边坡的面积较大, 为防止喷射混凝土收缩开裂, 保证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喷射混凝土或喷射钢纤维混凝土。



**4.3.3** 当边坡工程中采用喷射钢纤维混凝土时，其强度应符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 中对喷射钢纤维混凝土强度的规定。边坡工程中喷射混凝土应重视早期强度，使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 5MPa。

**4.3.5** 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。

#### **4.4 基坑工程喷射混凝土设计**

**4.4.1~4.4.3** 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。

#### **4.5 加固工程喷射混凝土设计**

**4.5.1、4.5.2** 当采用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。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性能，喷射混凝土需具有足够的强度以起到加固作用，强度等级不应低于 C20。为保证修复加固的效果，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。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。

**4.5.3** 为保证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 对新增喷射混凝土厚度或置换混凝土的厚度进行了规定。

**4.5.5** 对砖砌体墙抗震加固时，为保证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。

## 5 喷射混凝土性能

### 5.1 拌合物性能

**5.1.1** 与普通混凝土相比,喷射混凝土需要具有更高要求的黏聚性和包裹性,来保证喷射混凝土的喷射效果,其他性能可参照普通混凝土的相关标准要求。

**5.1.2** 随着技术的发展,目前的湿拌法喷射混凝土的技术已与普通混凝土接近,湿拌法喷射混凝土可通过喷射前的工作性和表观密度对喷射混凝土质量进行控制。随着减水剂的应用,喷射混凝土坍落度已逐渐地扩大至 80mm~200mm,并获得良好的表观密度。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 200mm,易造成较大的跌浆。

**5.1.3** 喷射混凝土在喷射过程中,由于喷射物的撞击会损失一部分的含气量。对于有抗冻要求的喷射混凝土,应采用引气型喷射混凝土。美国 ASTM C1141《Standard Specification for Admixtures for Shotcrete》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。

**5.1.4** 喷射混凝土拌合物中水溶性氯离子最大含量与普通混凝土一样需满足现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 中有关规定。当掺入钢纤维时,为减少氯离子对钢纤维的腐蚀,喷射纤维混凝土拌合物中水溶性氯离子最大含量应符合现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 的规定。

**5.1.5** 喷射混凝土中最大总碱含量的要求与普通混凝土相同。

### 5.2 力学性能

**5.2.1** 为保证喷射混凝土试件的性能与实际工程中喷射混凝土

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。

**5.2.2** 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，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，此时喷射混凝土无法进行切割或钻芯，需采用贯入法检测。

**5.2.3** 粘结强度是保证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 1.5MPa 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》，对喷射混凝土粘结强度测试方法，及喷射混凝土与岩石和混凝土基底的粘结强度进行了规定。

**5.2.4** 抗弯强度决定了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，喷射混凝土的韧性和抗弯强度极为重要。

目前，欧美国家对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，符合喷射混凝土的实际工作形式，能更客观、全面、确切地反映喷射混凝土的实际工作性能。

### **5.3 长期性能和耐久性能**

**5.3.1** 本条文明确了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 等规定同样适用于喷射混凝土。

**5.3.2** 本条文规定了喷射混凝土耐久性能的参数及试件成型方法，喷射混凝土的主要耐久性项目与普通混凝土相同，国家现行标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 等有关混凝土耐久性的规定同样适用于喷射混凝土。



## 6 喷射混凝土配合比

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 本条文规定了喷射混凝土配合比设计的基本要求。

**6.1.2** 喷射混凝土需要有足够的胶凝材料增加浆体体积来改善喷射混凝土的喷射工作性。喷射混凝土在喷射过程中，其回弹率和拌合物的均匀性对喷射混凝土的强度和耐久性具有较大影响，因而其最大水胶比和最小胶凝材料用量与普通混凝土存在一定的差别。

欧洲喷射混凝土规范从耐久性出发规定水胶比不宜超过 0.55，最小胶凝材料用量为  $300\text{kg}/\text{m}^3$ 。挪威规范提出了与结构工作环境相应的水胶比和最小胶凝材料用量如表 7 所示。

表 7 挪威喷射混凝土规范规定的水胶比和最小胶凝材料用量

环境等级	环境描述	$W(c+k\times s)$	建议的最小胶凝材料用量 ( $c+k\times s$ )
NA	有些侵蚀性	0.60	$360\text{kg}/\text{m}^3$
NMA	较有侵蚀性	0.50	$420\text{kg}/\text{m}^3$
MA	侵蚀性很强	0.45	$470\text{kg}/\text{m}^3$
MMA	高度侵蚀性	0.40	$530\text{kg}/\text{m}^3$

注：表中  $W$  为水重量； $s$  为微硅粉重量； $c$  为水泥重量； $k$  为系数，当微硅粉掺量  $<10\%$  时， $k=2.0$ ；当微硅粉掺量  $10\%\sim 25\%$  时， $k=1.0$ ；NA 为室外或室内潮湿环境，淡水中结构；MA 为咸水中结构，受咸水溅射、喷射时，受侵蚀性气体、盐。其他化学物作用，潮湿环境的冻融循环。

日本的重大隧道、公路和新干线 C20 的喷射混凝土配合比的范围如表 8 所示。可看出，日本的常规喷射混凝土配合比的水胶比不超过 0.65，最小胶凝材料用量为  $360\text{kg}/\text{m}^3$ 。

表 8 日本喷射混凝土常规配合比

行业	划分	骨料最大 粒径 (mm)	坍落度 (mm)	砂率 (%)	水胶比	单位胶凝 材料用量 (kg/m <sup>3</sup> )	速凝剂 掺量 (%)
道路学会	—	10~15	—	55~65	0.45~0.65	360	5~8
铁路	—	10~15	8±2、 14±2	60~65	0.50~0.60	360	—
道路公团	一般	10~15	8±2	—	—	360	5~8
	高强	10	18±2	—	0.40~0.50	450	10
水工	干式	15	—	55	0.45	360	5.5
	湿式	15	—	60	0.55	360	5.5

目前湿拌法喷射混凝土的配合比已基本可实现设计,且随着湿喷技术的发展,喷射混凝土的配制技术及性能逐渐向普通混凝土靠近,本规程对喷射混凝土的最小胶凝材料用量和最大水胶比进行了验证研究。通过对国内喷射混凝土技术的调研,及查阅资料,设定的配合比如表 9 所示,试验结果如表 10 所示。

表 9 喷射混凝土基本配合比

编号	水胶比	每立方米混凝土材料用量 (kg/m <sup>3</sup> )			
		水泥	水	石子	砂子
CD1-1	0.5	360	180	815	996
CD1-2	0.55	360	198	806	986
CD1-3	0.6	360	216	798	976
CD1-4	0.65	360	234	790	966
CD2-1	0.5	380	190	819	961
CD2-2	0.55	380	209	810	951
CD2-3	0.6	380	228	801	941
CD2-4	0.65	380	247	793	930
CD3-1	0.5	400	200	823	928
CD3-2	0.55	400	220	813	917
CD3-3	0.6	400	240	804	906



续表 9

编号	水胶比	每立方米混凝土材料用量 (kg/m³)			
		水泥	水	石子	砂子
CD3-4	0.65	400	260	794	896
CD4-1	0.45	420	189	818	923
CD4-2	0.5	420	210	808	912
CD4-3	0.55	420	231	799	900
CD5-1	0.42	450	189	821	890
CD5-2	0.45	450	203	815	883
CD5-3	0.5	450	225	804	871
CD5-4	0.55	450	248	793	859

表 10 喷射混凝土基本配合比试验结果

编号	坍落度 (mm)	表观 密度 (kg/m³)	试喷抗压强度 (MPa)		工作性
			1d	28d	
CD1-1	165	2390	13.2	35.4	包裹性不好，有脉冲
CD1-2	180	2371	12.6	33.6	流动性一般，包裹性一般，有脉冲
CD1-3	185	2330	10.8	27.7	流动性一般，黏聚性良好，喷射性好
CD1-4	165	2353	7.7	25.8	流动黏聚性良好，浆体偏多，跌浆
CD2-1	180	2401	13.7	38.4	包裹性一般，有脉冲
CD2-2	180	2368	13.9	32.8	包裹性好，喷射性较好
CD2-3	180	—	11.7	32.4	包裹性较好，喷射性较好
CD2-4	180	2337	9.7	25.4	包裹性较好，黏聚性一般，跌浆偏大
CD3-1	180	2347	16.5	39.4	流动性较好，黏聚性一般，回弹偏大
CD3-2	180	2360	13.3	37.2	包裹性好，喷射性好
CD3-3	175	2335	11.7	33.5	包裹性好，喷射性较好
CD3-4	180	2332	10.2	30.2	包裹性较好，回弹正常，跌浆
CD4-1	160	2380	17.7	45.6	流动性较好，微跌浆，回弹较小
CD4-2	165	2407	13.8	42.3	包裹性一般，无脉冲，回弹正常
CD4-3	180	2411	12.3	37.6	流动性一般，包裹性较好，回弹正常

续表 10

编号	坍落度 (mm)	表观 密度 (kg/m <sup>3</sup> )	试喷抗压强度 (MPa)		工作性
			1d	28d	
CD5-1	180	2370	18.4	48.5	偏黏, 有脉冲, 跌浆
CD5-2	175	2373	15.7	42.3	微偏黏
CD5-3	165	2390	12.9	38.6	包裹性较好, 微跌浆
CD5-4	185	2421	13.8	32.4	包裹性较好, 黏聚性较差

水泥  $360\text{kg/m}^3 \sim 400\text{kg/m}^3$ 、水胶比  $0.5 \sim 0.65$  范围内主要针对低强度喷射混凝土 C20~C25。可见, 对于 C20 喷射混凝土, 其水胶比可为  $0.6 \sim 0.65$ , 胶凝材料  $360\text{kg/m}^3$  满足要求。C25 喷射混凝土, 其水胶比可为  $0.55 \sim 0.6$ , 胶凝材料  $380\text{kg/m}^3 \sim 400\text{kg/m}^3$  满足要求。对于水泥  $400\text{kg/m}^3 \sim 450\text{kg/m}^3$ , 水胶比  $0.42 \sim 0.55$  范围内主要针对中等强度喷射混凝土, 对于 C30 喷射混凝土, 胶凝材料大于  $420\text{kg/m}^3$ , 水胶比小于  $0.5$  可满足要求。强度高于 C35 的喷射混凝土, 胶凝材料高于  $450\text{kg/m}^3$ , 水胶比小于  $0.45$ , 能较好保证喷射混凝土质量。

本试验以湿拌法喷射混凝土施工工艺为基础。对于干拌法喷射混凝土, 由于我国干拌法喷射混凝土施工技术水平相对较低, 其配合比参数宜符合现行国家标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086 的相关规定, 水胶比不宜大于  $0.45$ , 胶凝材料用量不宜小于  $400\text{kg/m}^3$ 。

**6.1.3** 规定矿物掺合料的最大掺量主要是为了保证喷射混凝土的喷射工作性和混凝土耐久性能。矿物掺合料在混凝土中的实际掺量应通过试验确定。本规程根据 EFNARC 标准《European Specification for Sprayed Concrete》及结合国内工程应用经验, 对粉煤灰、粒化高炉矿渣粉和硅灰的最大掺量进行规定, EFNARC 的掺量规定如表 11 所示。粉煤灰和粒化高炉矿渣粉掺入对喷射混凝土的早期强度和耐久性有影响, 如有要求需进行抗

硫酸盐试验和早期强度测试。硅灰可改善喷射混凝土的反弹和密实度，硅灰的掺量一般为 3%~12%，掺量小起不到改善作用，掺量高混凝土易产生大的收缩。当采用超出本规程表 6.1.3 给出的矿物掺合料最大掺量时，不可全部否定，通过对喷射混凝土性能进行全面试验论证，证明喷射混凝土工作性、安全性和耐久性可以满足设计要求后，是可以采用的。

表 11 EFNARC 中矿物掺合料最大掺量

矿物掺合料	最大掺量
硅灰	15%硅酸盐水泥
粉煤灰	30%硅酸盐水泥
	15%粉煤灰水泥
	20%矿渣水泥
粒化高炉矿渣	30%硅酸盐水泥

当使用石灰石粉、钢渣等其他掺合料时，其性能除应符合国家现行有关标准的规定外，尚应考虑掺合料的活性、需水量，对早期强度和耐久性的影响，并通过试验验证，方可使用。

6.2 配制强度的确定

6.2.1 喷射混凝土强度的确定应经过试配和试喷两个步骤。喷射混凝土试配对喷射混凝土试喷具有指导性，试配所得的强度是配制喷射混凝土的过程强度。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。

2 本条款对射混凝土强度标准差值进行了规定。喷射混凝土的离散性比普通混凝土大，本规程第 6.3.1 条引入  $k_1$ 、 $k_2$  系数后，将喷射混凝土的离散性分解为拌合配制偏离、喷射成型密实偏离及速凝硬化偏离三种，本条款中的值只是表征拌合试配偏离，可借用普通混凝土标准差。

6.3 配合比计算

6.3.1 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，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。如喷射混凝土试配的水胶比按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 进行计算，由于受喷射工艺和速凝剂的影响，其试喷时得到的强度将无法满足设计要求。当无配制喷射混凝土经验时，宜根据公式（6.3.1）来计算喷射混凝土试配时的水胶比。

**1** 喷射混凝土试配时水胶比计算公式（6.3.1）对喷射混凝土试喷强度具有充分的保证率。喷射混凝土试配时水胶比计算公式结合了普通混凝土的水胶比计算公式，引入了对喷射混凝土强度影响较大的密实性参数与速凝剂影响参数，其他如温度参数及养护参数相对影响较小，不引入公式中。这样方便在普通混凝土的水胶比计算公式的基础上选择参数后进而计算喷射混凝土的试配时水胶比。公式（6.3.1）所得的水胶比对试喷的强度起指导作用，使试喷得到的强度满足喷射混凝土配制强度要求。

**2** 本条款对喷射混凝土密实度系数进行了规定。根据大量试验数据及相关规范条文，湿拌法工艺喷射混凝土表观密度为  $2300\text{kg/m}^3 \sim 2400\text{kg/m}^3$ ，干拌法工艺喷射混凝土表观密度为  $2200\text{kg/m}^3 \sim 2300\text{kg/m}^3$ ，相对混凝土表观密度  $2400\text{kg/m}^3$  计算，湿拌法混凝土孔隙率为  $0 \sim 4.0\%$ ，干拌法混凝土孔隙率为  $3.3\% \sim 6.2\%$ ，根据孔隙增加  $1\%$  强度折减  $5\%$  计算，湿拌法强度折减  $0 \sim 20\%$ ，干拌法强度折减  $16.7\% \sim 31\%$ ，由此计算出密实度系数：湿拌法  $1.05 \sim 1.25$ 、干拌法  $1.2 \sim 1.45$ 。

**3** 本条款对速凝剂强度影响系数进行了规定。根据大量工程试验数据及相关规范条文，碱性速凝剂 28d 强度保证率为  $70\% \sim 80\%$ ，无碱速凝剂 28d 强度保证率为  $90\% \sim 100\%$ ，低碱速凝剂介于其间。由此确定速凝剂影响系数：碱性速凝剂  $1.25 \sim 1.40$ 、低碱速凝剂  $1.05 \sim 1.25$ 、无碱速凝剂  $1.00 \sim 1.10$ 。

**6.3.2** 喷射混凝土水胶比除受强度等级影响外，还应考虑环境



因素的影响。对于地下工程等有早期强度要求的喷射混凝土，尚应考虑早期强度的影响。

**6.3.3** 本条文对干拌法喷射混凝土和湿拌法喷射混凝土的表观密度进行规定。干拌法喷射混凝土由于回弹大和施工工艺的限制，其实际配合比和设计配合比相差较大，其表观密度基本小于  $2300\text{kg/m}^3$ 。而湿拌法喷射混凝土的配合比已基本实现设计，喷射混凝土的配制技术及性能逐渐向普通混凝土靠近，湿拌法喷射混凝土的表观密度不应低于  $2300\text{kg/m}^3$ 。对于轻骨料喷射混凝土，其表观密度应符合《轻骨料混凝土技术规程》JGJ 51 的规定。

**6.3.4** 本条文对喷射混凝土的用水量进行了规定。用水量过大，会造成喷射混凝土的强度降低和喷射时的跌浆、剥落。反之，用水量过小，喷射混凝土的粉尘和回弹都会增加。喷射混凝土的各种试验表明，宜选用具有一定流动性的混凝土拌合物。用水量范围在  $180\text{kg/m}^3 \sim 220\text{kg/m}^3$  时，能获得较好拌合物性能，超出这个用水量范围后，其喷射施工性能容易受影响，喷射混凝土强度等级较低时靠上限取值，强度等级高时靠下限取值。

**6.3.5** 本条文对喷射混凝土的砂率进行规定。喷射施工工艺决定了喷射混凝土砂率比普通混凝土砂率高的特性。较高的砂率，使喷射混凝土具有良好的黏聚性和较小的回弹率。细集料细度模数小于 2.7 或小于  $0.075\text{mm}$  粒级含量超出 10% 时，合理砂率宜靠下限取值；细集料细度模数超过 3.0 时，合理砂率宜靠上限取值；此外，对于泵送湿喷设备需要高砂率对泵管进行润湿来达到喷射效果。泵送式设备喷射混凝土砂率宜靠上限取。根据日本的资料，日本众多工程的砂率都达到了 65%，美国标准指南中甚至达到 70%。

**6.3.6** 喷射混凝土钢纤维掺量宜根据弯曲韧度指标确定，并应考虑到喷射时钢纤维混凝土各组分回弹率不同的影响。钢纤维混凝土的钢纤维实际掺量不宜大于  $78.5\text{kg/m}^3$ 。本条文参考《铁路隧道工程施工技术指南》TZ204—2008 对喷射钢纤维混凝土中

钢纤维掺量进行了规定。

## 6.4 配合比试配、试喷、调整与确定

**6.4.1~6.4.3** 喷射混凝土的配合比试配过程与普通混凝土相同，条文第 6.4.1~6.4.3 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。

**6.4.4、6.4.5** 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。

**6.4.6** 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。

**6.4.7** 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。

**6.4.8** 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。

## 6.5 高强喷射混凝土

**6.5.1、6.5.2** 条文对高强喷射混凝土的胶凝材料、骨料、矿物掺合料及配合比进行了规定。由于粉煤灰质量波动大，且对早期强度影响较大，高强喷射混凝土里不宜使用粉煤灰。

**6.5.3** 高强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拌配合比分别增加和减少 0.02。

**6.5.4** 高强喷射混凝土离散性大于普通喷射混凝土，所以应试喷不少于三次的喷射混凝土强度试验。



## 7 施 工

### 7.1 一 般 规 定

**7.1.1、7.1.2** 施工前应编制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。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喷射混凝土施工。合格的喷射手是保证喷射混凝土施工质量的前提。

**7.1.3** 本条文对特殊情况下喷射混凝土的喷射工艺进行了规定。大断面隧道及大型洞室喷射混凝土的性能要求较高，且施工进度较快，干拌法喷射施工一般难以满足，故要求采用湿拌法喷射混凝土。此外，干拌法喷射施工工艺，其实际配合比和设计配合比差异较大，混凝土质量影响因素较多，强度波动较大，对于 C30 及以上强度等级喷射混凝土，采用干拌法喷射施工一般难以满足，故不宜采用干拌法喷射施工。

**7.1.5** 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。

### 7.2 设 备

**7.2.1** 为了保证喷射混凝土质量，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。

**7.2.2、7.2.3** 条文对干拌法喷射设备和湿拌法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。

**7.2.4** 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。

**7.2.5** 对于干拌法喷射混凝土施工，喷头供水压力适宜是保证  
混合料与水混合均匀的重要条件，因而对供水设施应保证喷头处  
的水压进行规定。

**7.2.6** 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  
最大粒径骨料的要求。

### **7.3 喷射准备工作**

**7.3.1** 本条文对喷射混凝土施工现场应做好的准备工作进行了  
规定：

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。

2 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。

3 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。

5 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。

**7.3.2** 本条文对喷射混凝土用于地下工程待喷面处理进行了规定:

1 喷射作业前,应认真清除作业面墙脚或坡底部的岩渣和回弹物料,以防止边墙混凝土喷层出现失脚现象。喷层失脚对穿过遇水膨胀或易潮解岩层或土层中的工程,会产生严重的不良后果,有的则产生岩层膨胀和喷层脱落,使支护结构逐步破坏。因此,喷射作业前,必须将墙角底部的浮石、岩渣和其他堆积物清除干净,以确保全部作业面均被喷射混凝土覆盖。

2 喷射作业前,用高压风或高压水(对遇水易泥化的岩面只能用压缩空气)清洗受喷面(对土层受喷面可不用清洗)是为使喷射混凝土与受喷面粘结牢固,保证喷射混凝土和底层良好的共同工作。

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。

**7.3.3** 对于边坡工程和基坑工程,其待喷面可为岩石坡面和土层坡面;边坡工程可分为自然边坡和新开挖边坡。需针对不同的坡面对待喷面进行不同处理,表面喷射前应保持湿润。

**7.3.4** 本条文对加固工程的待喷面处理方法进行了规定:

1 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。

2~4 参照标准 EFNARC 《European Specification for Sprayed Concrete》,对混凝土发生碳化、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。

7 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,混凝土会被水冲刷掉。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，可取得较好效果。

**7.3.5** 对于异形结构工程，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，能可靠地承受喷射混凝土的重量及施工过程中所产生的荷载，且模板的形状和尺寸需与异形结构相同。

## **7.4 喷射混凝土的制备与运输**

**7.4.1** 本条文对原材料的存储进行了规定。

**7.4.2** 本条文对喷射混凝土原材料计量及原材料的称量允许偏差进行规定。

**7.4.4** 采用集中强制式搅拌方式生产有利于控制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，需对喷射混凝土及混合料搅拌时间作出规定。

**7.4.5** 为保证喷射纤维混凝土质量的均匀性，喷射纤维混凝土的搅拌时间宜适当增长。掺钢纤维喷射混凝土的回弹较大，为保证喷射钢纤维混凝土的质量、减少回弹，应进行湿拌法施工。

**7.4.6** 干拌混合料如被雨水、滴水淋湿，混合料中的水泥就可能在喷射作业前产生预水化作用，造成凝结时间延长，混凝土强度降低；大块石等杂物混入混合料中，喷射施工中极易堵管，严重影响施工效率，浪费混凝土材料，给施工带来麻烦。因此，本条文对这些问题作了相应的规定。湿拌法喷射混凝土的拌合料应与普通预拌混凝土一样需用运输搅拌车进行运输。喷射混凝土拌合物喷射前的停放时间与拌制方式以及是否掺速凝剂有关。过长的停放时间对喷射混凝土质量不利。

## **7.5 喷射作业**

**7.5.1** 本条文对喷射作业温度及喷射混凝土拌合料温度进行了



规定。

**7.5.2** 本条文对喷射混凝土施工作业过程进行了规定：

1 按规定区、段的顺序进行喷射作业，有利于保证喷射混凝土支护的质量，并便于施工管理。喷射顺序自下而上，可避免松散的回弹物粘污尚未喷射的待喷面，同时，能起到下部喷层对上部喷层的支托作用，可减少或防止喷层的松脱和坠落。

2 当喷射面有较大蜂窝、孔洞等缺陷，喷射作业时应先喷孔洞和凹穴。对于这类工程表面，如按常规自下而上喷射作业，会使回弹物溅落在孔洞和凹穴处而形成松散层，严重影响混凝土的粘结。

3 当喷头与受喷面垂直，喷头与受喷面的距离保持在0.5m~2.0m的情况下进行喷射作业时，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。

4 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。

5 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黏聚性，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表面。

**7.5.3** 为控制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，应定期统计喷射混凝土的回弹率，对喷射混凝土的质量控制和经济性都具有重要的作用。

**7.5.4** 为增加喷射钢纤维混凝土的耐久性，减少钢纤维的锈蚀，在喷射钢纤维混凝土的表面宜再喷射一层厚度为10mm的同强度保护层对喷射钢纤维混凝土起保护作用。

**7.5.6** 本条文对地下工程喷射混凝土的施工要求进行了规定:

1 为保证地下工程围岩的稳定性,喷射混凝土的施工顺序应与地下工程的开挖顺序相同;

2 工程实践表明,喷射混凝土终凝 3h 后,紧靠喷射混凝土的工作面进行爆破时,混凝土的粘结力及其与壁面的粘结力足以抵抗爆破力对已喷混凝土区域范围的震动,而不会导致混凝土离鼓、开裂或脱落。

**7.5.7** 本条文对边坡工程和基坑工程喷射混凝土的施工要求进行了规定:

2 平缓的坡面,掉落的回弹物易堆积在坡面上,直接喷射容易产生夹层。

3 直接在冻土和松散的土面上喷射,会影响喷射混凝土与基层的粘结性,引起喷射混凝土与底层的剥离。

**7.5.8** 本条文对加固工程喷射混凝土的施工要求进行了规定:

3 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。

4 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。

5 本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。

**7.5.9** 本条文对异形结构工程喷射混凝土的施工要求进行了规定:

1~4 根据薄壳结构不同形状,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除工作。

**5** 薄壳结构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厚度更方便。

**7.5.10** 本条文对加固工程等对表面有要求的喷射混凝土修整进行了规定。喷射混凝土表面修整应在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。

## **7.6 养 护**

**7.6.1、7.6.2** 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，喷射混凝土施工后，应对其保持较长时间的喷水养护。本条文规定了养护的时间和不需进行养护的情况。

## 8 安全环保措施

### 8.1 安全技术

**8.1.2** 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。

**8.1.4** 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。

**8.1.5** 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。

**8.1.7** 钢纤维喷射混凝土施工过程中所用的钢纤维是直径为0.3mm~0.8mm的金属丝，其两端为针状较锋利，容易扎伤人。因此，在搅拌操作、上料喷射及处理回弹物时，应采取措施防止钢纤维扎伤操作人员。

### 8.2 环保要求

**8.2.1** 对未污染的喷射混凝土的回弹料应回收利用，但其对喷射混凝土的施工性能有较大影响，因而严禁将回弹物料掺入喷射混凝土拌合料中。

**8.2.2** 喷射混凝土施工中的粉尘很大程度影响着作业人的健康。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。施工区域位于居民区时，宜采用湿拌法喷射混凝土，减小对周围居民区的影响。

**8.2.4** 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。

## 9 质量检验与验收

### 9.1 质量检验与评定

**9.1.3** 本条文对不同工程中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 9.1.3 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。

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

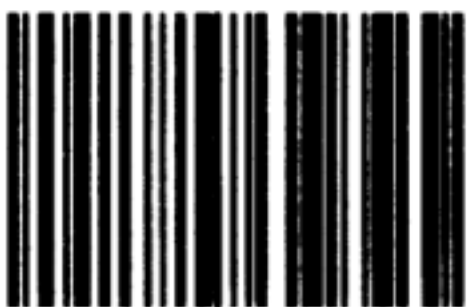
**9.1.5** 本条文对不同工程喷射混凝土厚度的检测方法和质量评定要求进行了规定。

**9.1.6** 本条文规定了硬化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。









1 5 1 1 2 2 6 5 9 0

统一书号：15112 · 26590  
定 价： 16.00 元