ICS 91.100

Q 11

团体标准

T/CECS ×××××—202×

**隧道衬砌拱顶带模注浆工程技术规程**

**Technical specification for grouting material of arch crown withformwork in tunnel lining projects**

(征求意见稿)

202×-××-××发布 202×-××-××实施

中国工程建设标准化协会 发 布

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2019年工程建设协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2019]012号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结各地实践经验，参考有关国内外标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规范的主要技术内容有：1 总则；2 术语；3 基本规定；4 原材料；5注浆材料性能及试验方法；6施工；7质量检验。

本标准由中国工程建设标准化协会归口管理，由中国建筑科学研究院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，请将意见和资料寄送解释单位中国建筑科学研究院有限公司（地址：北京市北三环东路30号，邮政编码：100013）。。

本规程主编单位：中国建筑科学研究院有限公司

 中铁十二局集团有限公司

本规程参编单位：

本规程主要起草人员：

本规程主要审查人员：

 **目 次**

[1 总 则 1](#_Toc67403274)

[2 术语和符号 2](#_Toc67403275)

[2.1 术语 2](#_Toc67403276)

[2.2 符号 2](#_Toc67403277)

[3 基本规定 4](#_Toc67403278)

[4 原材料 5](#_Toc67403279)

[4.1 水泥 5](#_Toc67403280)

[4.2 矿物掺合料 5](#_Toc67403281)

[4.3 骨料 5](#_Toc67403282)

[4.4 外加剂及其他材料 5](#_Toc67403283)

[5 注浆材料性能及试验方法 7](#_Toc67403284)

[5.1 注浆材料性能 7](#_Toc67403285)

[5.2 试验方法 8](#_Toc67403286)

[6 施工 9](#_Toc67403287)

[6.1 一般规定 9](#_Toc67403288)

[6.2 注浆材料进场与贮存 9](#_Toc67403289)

[6.3 制浆与储浆 9](#_Toc67403290)

[6.4 注浆 10](#_Toc67403291)

[7 质量检验 12](#_Toc67403292)

[7.1 注浆材料质量检验 12](#_Toc67403293)

[7.2 注浆管质量检验 12](#_Toc67403294)

[7.3 注浆质量检验 12](#_Toc67403295)

[附录A pH值试验 13](#_Toc67403296)

[附录B 分层度试验 14](#_Toc67403297)

[附录C 结合强度比试验 15](#_Toc67403298)

[附录D 结合性能试验 17](#_Toc67403299)

[附录E 管体径向抗压强度试验 19](#_Toc67403300)

[附录F 管体抗折强度试验 20](#_Toc67403301)

[本规程用词说明 21](#_Toc67403302)

[引用标准名录 22](#_Toc67403303)

[条文说明 23](#_Toc67403304)

**Contents**

[1 General Provisions 1](#_Toc502222974)

[2 Terms and Symbols 2](#_Toc502222975)

[2.1 Terrms 2](#_Toc502222976)

[2.2 Symbols 2](#_Toc502222977)

[3 Basic provisions 4](#_Toc502222979)

[4 Materials 5](#_Toc502222979)

[4.1 Cement 5](#_Toc502222980)

[4.2 Mineral Admixture 5](#_Toc502222981)

[4.3 Aggregate 5](#_Toc502222983)

[4.4 Chemical Admixture and other materials 5](#_Toc502222984)

[5 Properties and of Test Methods Grouting Material 7](#_Toc502222985)

[5.1 Properties of Grouting Material 7](#_Toc502222987)

[5.2 Test Methods of Grouting Material 8](#_Toc502222988)

[6 Construction 9](#_Toc502222989)

[6.1 General Requirements 9](#_Toc502222990)

[6.2 Approach and Storage of Raw Materials 9](#_Toc502222991)

[6.3 Mixing and Storage of Grouting Material 9](#_Toc502222992)

[6.4 Grounting 10](#_Toc502222994)

[7 Quality Inspection 12](#_Toc502222995)

[7.1 Quality Inspection of Grouting Materials 12](#_Toc32824366)

[7.2 Quality Inspection of Grouting pipe 12](#_Toc32824367)

[7.3 Quality Inspection of Grouting 12](#_Toc32824367)

[Appendix A Test Method for pH value 13](#_Toc502222999)

[Appendix B Test Method for Stratification degree 14](#_Toc502223000)

[Appendix C Test Method for binding strength ratio 15](#_Toc502223001)

[Appendix D Test Method for binding ability 17](#_Toc502223001)

[Appendix E Test Method for radial compressive strength of pipe body 19](#_Toc502223001)

[Appendix F Test Method for radial flexural strength of pipe body 20](#_Toc502223001)

[Explanation of Wording in This Specification 21](#_Toc502223002)

[List of Quoted Standards 22](#_Toc502223003)

[Addition: Explanation of Provisions 23](#_Toc502223004)

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范拱顶带模注浆材料在隧道衬砌建设工程中的应用，保证工程质量，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于隧道衬砌工程拱顶带模注浆材料的原材料选择、性能要求、施工及质量检验。

**1.0.3** 隧道衬砌拱顶带模注浆材料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** 拱顶带模注浆 tunnel grouting with formwork

衬砌混凝土浇筑结束之后、混凝土初凝之前通过注浆衬砌台车纵向中心线位置预埋的注浆管处进行及时注浆的施工工艺。

**2.1.2** 注浆材料grouting materials with mould

由普通硅酸盐水泥、矿物掺合料、砂、添加剂等为主要成分，经均匀混合而成的，具有良好的流动性、和易性、可泵性和微膨胀性能，能通过注浆泵注入到隧道衬砌与防水板间的脱空区且硬化后与衬砌混凝土结合紧密的材料。

**2.1.3** 结合强度比 bond strength ratio

注浆材料-混凝土结合体抗折强度与C35基准混凝土抗折强度的比值。

**2.1.4** 结合性能 binding strength ratio

以筛除基准混凝土粗骨料后的砂浆与注浆材料浆体形成的硬化试件体的28d抗折破坏形式表征。

**2.1.5** 塑性膨胀率 plastic expansion rate

带模注浆材料塑性变形阶段的膨胀性能，由加水拌合3h及24h的竖向膨胀率表征。

**2.1.6** 注浆孔 injected hole

衬砌台车模板设置预留的用于注浆施工的孔道，根据实际需要可分为主注浆孔、预留注浆孔、排气孔和观察孔。

## 2.2 符号

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Br | —— | 结合强度比（%）； |
| d | —— | 管体的内径，取中间部位垂直方向的两次测量值的平均值（mm）； |
| D | —— | 管体的外径，取中间部位垂直方向的两次测量值的平均值（mm）； |
| $$F\_{c}$$ | —— | 破坏荷载（KN）； |
| $$F\_{f}$$ | —— | 抗折破坏荷载（KN）； |
| L | —— | 管体的长度（mm）； |
| L1 | —— | 抗折夹具底部两支撑圆柱的中心间距（mm）； |
| Ld | —— | 注浆材料分层度（%）； |
| P0 | —— | 注浆材料与混凝土结合体试块的抗折强度（MPa）； |
| P1 | —— | 基准混凝土的抗折强度（MPa）； |
| $$P\_{c}$$ | —— | 每段注浆管管体的径向抗压强度（MPa）； |
| $$P\_{f}$$ | —— | 每段注浆管管体的抗折强度（MPa）； |
| ρ0 | —— | 注浆材料拌合物初始表观密度（kg/m3）； |
| ρ1 | —— | 注浆材料拌合物下层浆体表观密度（kg/m3）。 |

# 3 基本规定

**3.0.1**拱顶带模注浆所用的注浆材料应采用预混好的干粉料，并应采用现场加水的方式搅拌制浆。

**3.0.2** 注浆设备应采用搅拌注浆一体机。

**3.0.3** 拱顶带模注浆材料水料比范围应为0.17~0.20。

# 4 原材料

## 4.1 水泥

**4.1.1** 拱顶带模注浆材料用水泥，宜采用硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥，水泥碱含量不应大于0.60%。

**4.1.2** 拱顶带模注浆材料不应采用结块的水泥，不同品牌、不同品种和不同强度等级的水泥不应混用；不宜采用出厂超过3个月的水泥。

## 4.2 矿物掺合料

**4.2.1**  配制拱顶带模注浆材料用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰、钢渣粉、石灰石粉等矿物掺合料应符合下列规定：

**1** 粉煤灰烧失量和三氧化硫含量分别不宜大于8.0%和3.5%，粉煤灰其他性能指标应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596的规定，采用磨细粉煤灰时，磨细粉煤灰其他性能指标尚应符合现行国家标准《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003的规定；

**2** 粒化高炉矿渣粉不宜低于S95级，其他性能指标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** 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** 石灰石粉的MB值不宜大于1.4，其他性能指标应符合现行国家标准《用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉》GB/T 35164的规定；

**6** 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。

**4.2.2** 掺合料的放射性应符合现行国家标准《建筑材料放射性核素限量》GB 6566的有关规定。

## 4.3 骨料

**4.3.1** 拱顶带模注浆材料应采用细骨料，最大粒径不宜大于1.18mm，且细骨料中含泥量不宜大于1.0%。

**4.3.2** 当采用人工砂时，人工砂应符合《建设用砂》GB/T 14684的规定，石粉亚加蓝（MB）值不宜大于1.4。

**4.3.3** 不应采用具有碱活性的细骨料。

## 4.4 外加剂及其他材料

**4.4.1** 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。

**4.4.2** 外加剂与水泥和矿物掺合料应有良好的适应性，并应经试验验证。

**4.4.3** 消泡剂应符合现行国家标准《有机硅消泡剂》GB/T 26527和现行行业标准《聚醚酯消泡剂》HG/T 5259等相关标准的规定。

**4.4.4** 膨胀剂应符合现行国家标准《混凝土膨胀剂》GB 23439的规定

**4.4.5** 其他添加剂应经过试验验证，并应符合相关标准的规定。

**4.4.6** 拌合用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63的规定。

# 5 注浆材料性能及试验方法

## 5.1 注浆材料性能

**5.1.1** 注浆材料的浆液性能和硬化后的性能应满足地质条件以及工程设计要求和施工要求。

**5.1.2** 注浆材料应采用预混好的干粉料，粉料的匀质性应符合生产厂家的规定要求。

**表5.1.2 注浆材料的均质性要求**

|  |  |
| --- | --- |
| 项 目 | 技术要求 |
|
| 含水率（％） | ≤3.0 |
| pH值 | 9-12 |

**5.1.3** 注浆材料的浆液应按照厂家推荐的水料比拌制，其性能应符合表5.1.3的规定。

**表5.1.3 注浆材料的浆液性能要求**

|  |  |
| --- | --- |
| 项 目 | 技 术 要 求 |
| 表观密度（kg/m3） | 2150~2300 |
| 出机流动度（mm） | 340~380 |
| 30min流动度（mm) | ≥330 |
| 泌水率（%) | 0 |
| 分层度（mm） | ≦6 |
| 3h塑性膨胀率（%） | 0.1~1.5 |
| 24h与3h塑性膨胀率之差（%） | 0~0.5 |
| 水溶性氯离子含量（%） | ≤0.06 |

**5.1.4** 注浆材料硬化后的物理力学性能应符合表5.1.4的规定。

**表5.1.4 注浆材料硬化后的物理力学性能要求**

|  |  |
| --- | --- |
| 项 目 | 技术要求 |
| 抗压强度 (MPa） | 12h | ≥3.5 |
| 24h | ≥18 |
| 28d | ≥50 |
| 抗折强度 (MPa） | 12h | ≥1.0 |
| 24h | ≥4.0 |
| 28d | ≥10.0 |
| 结合强度比（%） | 28d | ≥80 |
| 结合性 | 合格 |

## 5.2 试验方法

**5.2.1**试验用注浆材料浆体的搅拌、成型、养护应符合现行标准《建筑砂浆基本性能试验方法》JGJ/T 70的规定。

**5.2.2**试验用搅拌机应符合现行标准《建筑砂浆基本性能试验方法》JGJ/T 70的规定。

**5.2.3** pH值试验方法符合附录A的规定。

**5.2.4**水溶性氯离子含量应符合现行标准《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322中混凝土拌合物中水溶性氯离子含量的相关规定。

**5.2.5**表观密度试验方法应符合现行标准《建筑砂浆基本性能试验方法》JGJ/T 70的规定。

**5.2.6** 泌水率试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080的规定。

**5.2.7**分层度试验方法应符合附录B的规定

**5.2.8**流动度、竖向膨胀率试验方法应符合现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448的规定。

**5.2.9**抗压强度、抗折强度试验方法应符合现行国家标准《水泥胶砂强度检验方法》GB/T 17671的规定。

**5.2.10**结合强度比试验方法符合附录C的规定。

**5.2.11**结合性能试验方法符合附录D的规定。

# 6 施工

## 6.1 一般规定

**6.1.1** 注浆材料的施工应根据工程地质条件及设备性能等选择注浆方式确保注浆质量，并应采取减少注浆施工对周围环境的影响措施。

**6.1.2** 注浆施工之前，应制定注浆施工技术方案，并应做好施工准备工作。

**6.1.3** 应采用制浆注浆一体机，制浆注浆一体机应同时具备浆料搅拌、储浆及注浆功能。

**6.1.4** 制浆机宜具有搅拌用水计量装置，制浆、注浆过程中不应随意加水。

**6.1.5** 制浆机容积和搅拌速率应满足注浆施工需要，搅拌容积不宜小于200L。

**6.1.6** 储浆设备应具有搅拌功能，保证浆液存储过程的匀质性。

**6.1.7** 注浆机应具有足够的注浆压力荷载，宜采用螺杆式注浆机；注浆管、压力表等注浆配件应能满足注浆施工需求。

**6.1.8** 注浆宜选用通体贯通表面为水泥基材质的预埋注浆管，注浆管体强度应不低于衬砌混凝土基体，并应与混凝土基体具有较好的粘结性能。

**6.1.9** 注浆宜在拱顶衬砌混凝土浇筑完成后2h内，且应在混凝土初凝前及时进行，注浆前应检查注浆管、预埋注浆管是否通畅。

**6.1.10** 应根据台车长度设置注浆孔的数量，9m以下的台车注浆孔数量不应少于3个，9m以上台车注浆孔数量不应少于4个。

**6.1.11** 应在衬砌台车顶模上开孔，从上一循环衬砌连接段到端头模依次设置主注浆孔、中间排气孔及端模排气孔，中间排气孔及端模排气孔可同时用作预留注浆孔和观察孔。

## 6.2 注浆材料进场与贮存

**6.2.1** 注浆材料进场应按照本规程第5章的规定进行进场检验。

**6.2.2** 注浆材料贮存过程应采取防潮、防晒措施。

## 6.3 制浆与储浆

**6.3.1** 注浆材料浆液制作，应按干混料产品说明书的规定计量，加水、加料并搅拌均匀。

**6.3.2** 制浆设备宜安装自动计量及加料系统。

**6.3.3** 制浆设备搅拌速率不应低于50转/分；当能满足现场注浆施工需求时，也可采用自动、半自动的高速制浆设备。

**6.3.4** 制浆部分宜采用立式双层搅拌-储浆一体机，上层为搅拌桶，下层为储料桶。

**6.3.5** 制浆设备搅拌桶容量宜为200升，储浆桶容量不宜小于300升，搅拌桶进料口应设置过滤筛及振动下料电机。

**6.3.6** 储浆桶应具有搅拌功能，制浆过程中，储浆桶应同时对储存的浆体进行搅拌，确保浆体的稳定性。

**6.3.7** 制浆过程应先加入一半的注浆材料干粉料，开动下料振动电机，然后加入全部的拌合水，再继续加入另一半注浆材料，搅拌时间不宜少于3min，也可按照设备使用说明控制搅拌时间，以确保搅拌均匀充分。

**6.3.8** 搅拌充分后应打开制浆桶卸料阀门，使浆体快速流出到储浆桶，然后关闭制浆桶卸料阀门，并应及时进行注浆准备。

## 6.4 注浆

**6.4.1** 正式注浆前应先进行试注浆，试注浆顺利后可进行正式注浆。

**6.4.2** 注浆管的技术要求及试验方法应符合表6.4.2的有关规定。

**表6.4.2 注浆管的规格、性能及检测方法**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 技术要求 | 试验方法 |
| 外观 | 无肉眼可见且长度大于40mm裂纹 | 直尺测量 |
| 长度/mm | ≥600 | 直尺测量 |
| 外径/mm | 36±0.6 | 游标卡尺测量 |
| 内径/mm | 15±0.3 | 游标卡尺测量 |
| 管壁厚度/mm | 10.5±1.0 | 游标卡尺测量 |
| 管体径向抗压强度（KN/m) | ≥100 | 附录E |
| 管体抗折强度/MPa | ≥28 | 附录F |

**6.4.3**注浆应由按照主注浆孔向端模注浆孔的顺序依次进行注浆；注浆宜采用数显式压力表，注浆机压力表量程应为10MPa，精度应不低于0.2MPa；注浆阀门下部压力表量程应为4MPa，精度应不低于0.1MPa。

**6.4.4** 在注浆过程中，应观察台车压力表和端模出浆情况，并按如下要求控制注浆：

**1**每一个注浆孔均应注浆。注浆前应确保注浆端头模圆弧最高点封闭严密，不漏浆。

**2**注浆应按顺序依次进行，在某一注浆孔进行注浆时，未注浆的注浆孔流出与制浆机储料桶中浆体具有相同密度的浆体且注浆阀处压力表达到1.0MPa，应转至下一个注浆孔进行注浆，同时封闭该孔。

**3** 全部注浆孔注浆完毕且端模最高处出浆浆体密度与制浆桶中一致，结束注浆。

**6.4.5** 注浆完毕更换注浆连接件时应及时封堵预埋注浆管，并应保证预埋注浆管内浆液饱满。

**6.4.6** 每次注浆应记录注浆总量、注浆开始时间和结束时间，并应留样检测。

**6.4.7** 注浆结束或注浆停留时间过长时应对制浆、储浆、注浆设备及管道进行清空、清洗。

**6.4.8** 注浆结束拆卸注浆连接头时应及时堵塞预埋注浆管管口，防止漏浆。

**6.4.9** 拱顶经地质雷达或敲击检测合格后，注浆管外露部位应使用角磨机切割打磨平整。

# 7 质量检验

## 7.1 注浆材料质量检验

**7.1.1** 进场的注浆材料应具有出厂合格证、使用说明书和出厂检验报告等质量文件。

**7.1.2** 注浆材料进场时应进行施工现场抽样检验，进场检验应符合下列规定：

**1**注浆材料进场检验项目包括浆液密度、流动度及流动度经时损失、泌水率、分层度、塑性膨胀率和抗压强度；

**2**注浆材料进场检验应在实验室及现场储浆罐内进行取样，现场储浆罐内取样应在浆液完全注入储浆罐后的30min内应完成。

**7.1.3** 注浆材料型式检验项目为本规程5.1条所有性能。

**7.1.4** 注浆材料取样量应满足检验项目所需用量的1.5倍。

**7.1.5** 同一生产单位、同一品种、同一强度的进场注浆材料，每50吨为一批，不足50吨时，按50吨计。

**7.1.6** 注浆材料性能应符合本规程第5.1条的规定。

## 7.2 注浆管质量检验

**7.2.1** 进场的注浆管应具有出厂合格证、使用说明书和出厂检验报告等质量文件。

**7.2.2** 注浆管进场时应进行施工现场抽样检验，进场检验项目包括外观、长度、外径、内径和管壁厚度。

**7.2.3** 注浆管型式检验项目为本规程6.4.2条所有性能。

**7.2.4** 每批次注浆管取样数量至少为4根， 同一生产单位、同一品种、同一规格型号的注浆管，每400根为一批，不足400根时，按400根计。

**7.2.5** 注浆管性能应符合本规程6.4.2条的规定。

## 7.3 注浆质量检验

**7.3.1** 带模注浆完成后，质量检验应符合现行行业标准《铁路隧道工程施工质量验收标准》TB 10417、《公路工程质量检验评定标准》JTG F80-1的有关规定。

**7.3.2** 注浆施工结束后，对于注浆量不足和注浆效果未达到预期的情况，应进行二次注浆。

**7.3.3** 注浆施工结束3d后，宜采用地质雷达检测等方法对注浆填充密实情况进行检测，必要时进行钻芯验证。

# 附录A pH值试验

**A.0.1** 适用于注浆材料干粉料pH值的测试。

**A.0.2** 试验用仪器设备应符合下列规定：

**1** 烧杯：容积应为100mL，应符合现行国家标准《实验室玻璃仪器烧杯》GB/T 15724的规定；

**2** pH计：应符合现行国家标准《实验室pH计》GB/T 11165的规定。

**A.0.3** 试验步骤应符合如下规定：

**1** 取注浆材料干粉料50g溶入到1000ml去离子水中，搅拌5min制成注浆材料浆体。

**2** 注浆材料浆体放置30min后继续搅拌1min，采用滤纸过滤后对滤液进行pH值测定。

**3** pH试验应符合现行国家标准《水质pH值的测定玻璃电极法》GB/T 6920 的规定。

**A.0.4** pH值试验结果取整数。

# 附录B 分层度试验方法

**B.0.1** 适用于注浆材料拌合物分层度的测试。

**B.0.2** 试验用仪器设备应符合下列规定：

**1** 砂浆分层度桶：其内径为150mm，上节高200mm，下节高100mm，两节的连接处应加宽3-5mm，并应设有橡胶垫圈，带底，用金属板制成，上下节用螺栓连接。

**2**天平：分度值1g

**3** 立式砂浆搅拌机：应符合现行行业标准《试验用砂浆搅拌机》JG/T 3033的规定，搅拌时间为5min。

**B.0.3** 试验步骤应符合如下规定：

**1** 按5.2.6节规定测试注浆材料浆液出机表观密度ρ0。

**2** 将同一次搅拌的浆液一次注满分层度筒。

**3** 静置30min后，先去掉上层20cm注浆材料浆液，然后取出底层10cm浆液重新搅拌1min，再测定注浆材料浆液的表观密度ρ1。

**B.0.4** 分层度应按下式计算：

$L\_{d}=\frac{（ρ\_{1}-ρ\_{0}）×2}{ρ\_{0}}×100$ (B.0.4)

式中：

ρ0—注浆材料浆液出机表观密度（kg/m3）；

ρ1—注浆材料拌合物底层浆体表观密度（kg/m3）；

Ld—注浆材料分层度（%），精确至0.1。

# 附录C 结合强度比试验

**C.0.1** 适用于注浆材料结合强度比的测试，试验室温度应控制在20±2℃，相对湿度大于50%。

**C.0.2** 试验用仪器设备应符合下列规定：

**1** 混凝土强制式搅拌机应符合现行行业标准《混凝土试验用搅拌机》JG 244的规定。

**2** 立式砂浆搅拌机应符合现行行业标准《试验用砂浆搅拌机》JG/T 3033的规定。

**3** 试模尺寸应为400mm×100mm×100mm，试模材质应现行行业标准《混凝土试模》JG 237的规定，试模应拼接牢固，振捣时不应变形。

**C.0.3** 试验步骤应符合如下规定：

**1** 基准混凝土采用符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 规定的P.O42.5水泥，应采用符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076规定的砂、石和拌合用水，应采用符合现行行业标准《聚羧酸系高性能减水剂》JG/T 223规定的标准型聚羧酸系高性能减水剂。

基准混凝土的配合比设计应符合以下规定：

1）水泥用量：受检混凝土单位水泥用量为390kg/m3。

2）砂率：43%~47%。

3）用水量：170 kg/m3~175kg/m3，包括液体外加剂、砂石材料中所含的水量。

4）减水剂用量：使得混凝土出机坍落度达210mm±10mm的最小减水剂用量。

**2** 应在试模中由下至上浇灌一半基准混凝土作为结合体待成型试块，结合体待成型试块并应充分振实，并应确保混凝土厚度为5±0.5cm。浇筑时混凝土试模内表面不应涂刷脱模剂或脱模油脂类材料，应将结合体待成型试块放入养护室放置2h，养护过程中应在试块表面覆盖塑料薄膜。应同时成型装满模具的基准混凝土试件，基准混凝土试件应放入标准养护室后养护24h脱模。基准结合体试件及基准混凝土试块每组均应成型6块。

**3** 养护2h时应立即揭开塑料薄膜，然后将新拌的带模注浆材料缓慢浇注至待成型试块的混凝土表面，浇筑满试模后应刮除多余带模注浆材料，并应放入标准养护室后养护24h脱模。浇筑前混凝土表面不应做任何处理。带模注浆材料水料比及搅拌时间应符合产品使用说明的规定。

**4** 结合体试块及基准混凝土试块脱模后应移入标准养护室养护27d后测试28d抗折强度。

**5** 抗折强度试验应符合现行国家标准GB/T 50081的规定。结合试件抗折试验时，应保持混凝土面朝下，微膨胀注浆料面朝上，结合强度比结合体试块示意图如图C.0.3所示。



图C.0.3 结合强度比结合体试块示意图

1-带模注浆材料浆体；2-C35基准混凝土

**C.0.4**结合强度比应按下式计算：

$B\_{r}=\frac{P\_{0}}{P\_{1}}×100$ (C.0.4)

式中：

P0—注浆材料与混凝土结合体试件的抗折强度（MPa）；

P1—基准混凝土的抗折强度（MPa）；

Br—结合强度比（%），精确至0.1。

# 附录D 结合性能试验

**D.0.1** 适用于带模注浆材料结合性能的测试，试验室温度应控制在20±2℃，相对湿度大于50%。

**D.0.2** 试验用仪器设备应符合下列规定：

**1** 混凝土强制式搅拌机应符合现行行业标准《混凝土试验用搅拌机》JG 244的要求。

**2** 立式砂浆搅拌机应符合现行行业标准《试验用砂浆搅拌机》JG/T 3033的规定。

**3** 试模尺寸应为40mm×40mm×160mm，试模的技术要求应符合现行行业标准《水泥胶砂试模》JC/T 726的规定。

**D.0.3** 试验步骤：

**1** 基准混凝土的原材料和配合比设计应符合附录C的规定。

**2** 应采用公称直径为5.00mm的方孔筛筛除基准混凝土拌合物中粗骨料获得砂浆，具体操作应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080中混凝土凝结时间试验用砂浆的制作规定。

**3** 预先制作6个长度为（80mm±1）×40mm×40mm砂浆棱柱体，将6个砂浆棱柱体放入两个40mm×40mm×160mm的试模的一端，之后在试模的另一端浇筑基准混凝土筛出的砂浆，如图D.0.3所示。浇筑时试模内表面不应涂刷脱模剂或脱模油脂类材料，充分振实后应将成型试块放入养护室放置2h，养护过程中应在试块表面覆盖塑料薄膜。

**4** 养护2h时应立即揭开塑料薄膜，取出预制的砂浆棱柱体，将带模注浆材料浆液缓慢浇筑满试模，之后刮平试件，并应放入标准养护室后养护24h脱模，脱模后继续标准养护至28d龄期，拆模后的结合体试块如图D.0.4所示。

**5** 结合性能试验应符合现行国家标准GB/T 17671《水泥胶砂强度检验方法》的规定。



图D.0.3 结合性能结合体试块浇筑分布示意图

1-去粗骨料C35混凝土浆体；2-结合体试块浇筑界面

3-（80mm±1）×40mm×40mm砂浆棱柱体或带模注浆材料浆体



图D.0.4 拆模后结合体试块示意图

1-去粗骨料C35混凝土浆体；2-带模注浆材料浆体

**6** 结合体试件抗折破坏时，记录带模注浆料与基准混凝土砂浆的结合面破坏情况，当发生抗折破坏断面在两种材料结合界面的试件不大于2块时，判断为该注浆材料的结合性能满足要求，否则为不符合要求。

# 附录E 管体径向抗压强度试验

**E.0.1**适用于带模注浆材料注浆管管体径向抗压强度的测试。

**E.0.2**试验用仪器设备应符合下列规定：

**1** 试验用压力机应符合现行国家标准《液压式万能试验机》GB/T 3159和《试验机通用技术要求》GB/T 2611的有关规定。

**2** 试验用切割机应符合现行行业标准《型材切割机》JG/T 5070的有关规定，切割过程中应有必要的防护措施，确保操作人员的人身安全。

**E.0.3**试验步骤应符合如下规定：

**1** 应将注浆管两端各切掉80mm后在中间部分随机截取3段，每段尺寸应为40±2mm。注浆管管体径向抗压强度试验用管应取样两根，共截取6段，分别测量每段长度L。

**2** 应将每段RPC管分别放在抗压模具中进行试验，试验过程中应保持抗压压具与管体线性接触，使得管体径向受压，并记录下最大破坏力F，径向抗压示意图如图E.0.3所示。

1

图E.0.3 径向抗压示意图

1-抗压荷载

**E.0.4**结果与计算

管体径向抗压强度应取6段管体径向抗压强度的算术平均值。每段注浆管的径向抗压强度应按公式E.0.4进行计算：

$P\_{c}=\frac{F\_{c}}{L×10^{-3}}$ (E.0.4)

式中：

$P\_{c}$—每段注浆管管体的径向抗压强度（MPa）；

$F\_{c}$—破坏荷载（KN）；

L—管体的长度（mm）。

# 附录F 管体抗折强度试验

**F.0.1**适用于带模注浆材料注浆管管体抗折强度的测试。

**F.0.2**试验用仪器设备应符合下列规定：

**1** 试验用压力机应符合现行国家标准《液压式万能试验机》GB/T 3159和《试验机通用技术要求》GB/T 2611的有关规定。

**2** 试验用切割机应符合现行行业标准《型材切割机》JG/T 5070的有关规定，切割过程中应有必要的防护措施，确保操作人员的人身安全。

**F.0.3**试验步骤应符合如下规定：

**1** 应将注浆管两端各切掉80mm后在中间部分随机截取3段，每段尺寸应为160±2mm。注浆管管体径向抗压强度试验用RPC管应取样两根，共截取6段。

**2** 应将每段管分别放在抗折模具中进行抗折强度试验，并记录下注浆管的最大破坏力F，管体抗折强度示意图如图F.0.3所示。



图F.0.3 注浆管抗折强度示意图

1-抗折荷载

**F.0.4**结果与计算

管体抗折强度应取6段管体抗折强度的算术平均值。每段注浆管的抗折强度应按公式F.0.4进行计算：

$P\_{f}=8×\frac{F\_{f}×L\_{1}×D}{π×（D^{4}-d^{4}）}$ (F.0.4)

式中：

$P\_{f}$—每段注浆管管体的抗折强度（MPa）；

$F\_{f}$—抗折破坏荷载（KN）；

L1—抗折夹具底部两支撑圆柱的中心间距（mm）;

D—管体的外径，取中间部位垂直方向的两次测量值的平均值（mm）;

d—管体的内径，取中间部位垂直方向的两次测量值的平均值（mm）。

# 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. 《通用硅酸盐水泥》GB 175
2. 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596
3. 《土工试验仪器 剪切仪》GB/T 4934.2
4. 《建筑材料放射性核素限量》GB 6566
5. 《水质pH值的测定玻璃电极法》GB/T 6920
6. 《混凝土外加剂》GB 8076
7. 《建筑施工机械与设备 混凝土搅拌站（楼）》GB/T 10171
8. 《实验室pH计》GB/T 11165
9. 《实验室玻璃仪器量筒》GB/T 12804
10. 《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046
11. 《膨润土》GB/T 20973
12. 《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》GB/T 20491
13. 《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176
14. 《用于水泥和混凝土中的粒化电炉磷渣粉》GB/T 26751
15. 《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690
16. 《用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉》GB/T 35164
17. 《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119
18. 《混凝土质量控制标准》GB 50164
19. 《盾构法隧道施工与验收规范》GB 50446
20. 《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448
21. 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
22. 《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003
23. 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52
24. 《混凝土用水标准》JGJ 63
25. 《建筑砂浆基本性能试验方法》JGJ/T 70
26. 《公路工程质量检验评定标准》JTG F80-1
27. 《砌筑砂浆增塑剂》JG/T 164
28. 《建筑工程冬期施工规程》JG/T 104
29. 《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 233
30. 《混凝土试模》JG 237
31. 《混凝土试验用搅拌机》JG 244
32. 《抹灰砂浆增塑剂》JG/T 426
33. 《建筑消石灰》JC/T 481
34. 《混凝土用复合掺合料》JG/T 486
35. 《预拌砂浆用保水剂》JC/T 2389
36. 《试验用砂浆搅拌机》JG/T 3033
37. 《混凝土搅拌运输车》JG/T 5094
38. 《铁路隧道工程施工质量验收标准》TB 10417
39. 《建筑施工机械与设备 湿拌砂浆搅拌站》JB/T 11859

中国工程建设协会标准

隧道衬砌拱顶带模注浆工程技术规程

**CECS×××:××××**

# 条文说明

制 订 说 明

 《隧道衬砌拱顶带模注浆工程技术规程》CECS×××: ××××，经中国工程建设标准化协会××年××月××日以第××号公告批注发布。

本规程编制过程中，编制组进行了广泛而深入的调查研究，总结了我国目前隧道建设中带模注浆材料应用技术的实践经验，同时参考了国外先进技术标准，通过大量验证性试验取得了隧道拱顶带模注浆材料应用技术关键参数。

为便于扩大设计、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，《隧道衬砌拱顶带模注浆工程技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程中的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程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。

# 1 总 则

**1.0.1** 隧道二衬带模注浆材料的性能及注浆施工质量直接影响着隧道衬砌工程的质量与安全，国内隧道二衬带模注浆已有一定的研究与工程应用基础并取得了一定的工程应用成果。较早的衬砌注浆工程应用主要参照现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规程》GB/T 50448，但该标准规定的灌浆施工工艺与隧道二衬注浆施工有较大的差别，浆液性能指标也不尽相同，采用国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规程》GB/T 50448很难较好的指导及规范隧道二衬注浆材料的产品质量及工程应用质量。因此，为规范及提升隧道二衬注浆材料的产品质量及工程应用，特制定本规程。

**1.0.2** 本规程用于指导隧道衬砌工程拱顶带模注浆材料的原材料选择、性能要求、施工及质量检验。隧道衬砌工程拱顶带模注浆以公路及铁路隧道工程最为常见，其他类似采用带模注浆工程的工艺也可参考使用。

# 2 术语和符号

## 2.1 术语

**2.1.1** 本条对拱顶带模注浆工艺进行定义，带模注浆工艺与传统注浆工艺不同，是在在衬砌混凝土浇筑结束之后、混凝土初凝之前通过注浆衬砌台车纵向中心线位置预埋的注浆管处进行及时注浆的施工工艺，带模注浆工艺一般在混凝土浇筑后2h内即可完成注浆，很好的确保了注浆料与混凝土之间的粘结，避免的传统注浆工艺（混凝土浇筑24h后注浆）常见的粘结差，易脱空等问题。

**2.1.2** 本条对拱顶带模注浆用注浆材料进行定义，提出注浆材料是具有良好的流动性、和易性、可泵性和微膨胀性能，能通过注浆泵注入到隧道衬砌与防水板间的脱空区且硬化后与衬砌混凝土结合紧密的材料。

**2.1.3** 本条对拱顶带模注浆用注浆材料的结合强度比进行定义，采用注浆材料-混凝土结合体抗折强度与C35基准混凝土抗折强度的比值表征，该值越高，注浆材料与混凝土的结合越好。

**2.1.4** 本条对拱顶带模注浆用注浆材料的结合性能进行定义，以筛除基准混凝土粗骨料后的砂浆与注浆材料浆体形成的硬化试件体的28d抗折破坏形式表征，抗折破坏后，断裂面均为非筛除基准混凝土粗骨料后的砂浆与注浆材料浆体结合面时，这该结合体结合性能合格。

**2.1.5** 塑性膨胀率试验方法源自现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规程》GB/T 50448，用以表征注浆材料的膨胀性能，与水泥基灌浆材料相同，填充未浇筑满的混凝土空隙是带模注浆材料的主要作用之一，合理的塑性膨胀率可保证注浆材料能够充分的填充至混凝土空隙中。

**2.1.6** 本条提出注浆孔的定义，并对注浆孔的作用进行分类。

# 3 基本规定

**3.0.1**本条对拱顶带模注浆所用的注浆材料的使用方式做出规定，提出注浆材料应采用预混好的干粉料，并应采用现场加水的方式搅拌制浆。使用预混好的干粉料可以做到随拌随用，可很高的保证带模注浆工艺的时效性，确保浆料可以最短的时间，在混凝土初凝前浇筑到未填充饱满的混凝土空隙中。

**3.0.3** 本条对拱顶带模注浆材料的水料比范围做出规定，调研发现，拱顶带模注浆工程现场用注浆材料的水料比均在0.17~0.19范围内，此时注浆材料的浆体性能均满足注浆施工及注浆质量检验要求。

# 4 原材料

## 4.1 水泥

**4.1.1**水泥的品种和强度等级很多，当前带模注浆材料生产用水泥以硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥为主，有特殊要求时也可采用矿渣水泥和其他品种的水泥，考虑到水泥碱含量过高会缩短[水泥](http://www.so.com/s?q=%E6%B0%B4%E6%B3%A5&ie=utf-8&src=internal_wenda_recommend_textn)[凝结时间](http://www.so.com/s?q=%E5%87%9D%E7%BB%93%E6%97%B6%E9%97%B4&ie=utf-8&src=internal_wenda_recommend_textn)，增大[需水量](http://www.so.com/s?q=%E9%9C%80%E6%B0%B4%E9%87%8F&ie=utf-8&src=internal_wenda_recommend_textn)，导致注浆材料流动度损失增大，同时碱含量高的水泥有可能与[注浆材料用骨料](http://www.so.com/s?q=%E6%B7%B7%E5%87%9D%E5%9C%9F%E9%AA%A8%E6%96%99&ie=utf-8&src=internal_wenda_recommend_textn)发生碱集料反应。

**4.1.2** 本条从确保注浆材料强度及注浆材料性能稳定性方面考虑，提出拱顶带模注浆材料不应采用结块的水泥，不同品牌、不同品种和不同强度等级的水泥不应混用；不宜采用出厂超过3个月的水泥。

## 4.2 矿物掺合料

**4.2.1**  适量的粉煤灰、矿渣粉等矿物掺合料可改善注浆材料的工作性和耐久性能，同时可降低注浆材料的成本。考虑实际生产可用的矿物掺合料主要为粉煤灰、矿渣粉、硅灰、石灰石粉等，同时规定注浆材料所用的矿物掺合料应满足对应的标准要求。MB值是确定[细集料](http://www.so.com/s?q=%E7%BB%86%E9%9B%86%E6%96%99&ie=utf-8&src=internal_wenda_recommend_textn)、[细粉](http://www.so.com/s?q=%E7%BB%86%E7%B2%89&ie=utf-8&src=internal_wenda_recommend_textn)、[石灰石粉](http://www.so.com/s?q=%E7%9F%BF%E7%B2%89&ie=utf-8&src=internal_wenda_recommend_textn)中是否存在[膨胀性](http://www.so.com/s?q=%E8%86%A8%E8%83%80%E6%80%A7&ie=utf-8&src=internal_wenda_recommend_textn)[粘土矿物](http://www.so.com/s?q=%E7%B2%98%E5%9C%9F%E7%9F%BF%E7%89%A9&ie=utf-8&src=internal_wenda_recommend_textn)并确定其[含量](http://www.so.com/s?q=%E5%90%AB%E9%87%8F&ie=utf-8&src=internal_wenda_recommend_textn)的整体[指标](http://www.so.com/s?q=%E6%8C%87%E6%A0%87&ie=utf-8&src=internal_wenda_recommend_textn)。[膨胀性](http://www.so.com/s?q=%E8%86%A8%E8%83%80%E6%80%A7&ie=utf-8&src=internal_wenda_recommend_textn)[粘土矿物](http://www.so.com/s?q=%E7%B2%98%E5%9C%9F%E7%9F%BF%E7%89%A9&ie=utf-8&src=internal_wenda_recommend_textn)对注浆材料用外加剂具有较强的吸附作用，MB值越高，[膨胀性](http://www.so.com/s?q=%E8%86%A8%E8%83%80%E6%80%A7&ie=utf-8&src=internal_wenda_recommend_textn)[粘土矿物](http://www.so.com/s?q=%E7%B2%98%E5%9C%9F%E7%9F%BF%E7%89%A9&ie=utf-8&src=internal_wenda_recommend_textn)含量越高，大量研究表明，当采用MB大于1.4的石灰石粉，存在因石灰石粉中[膨胀性](http://www.so.com/s?q=%E8%86%A8%E8%83%80%E6%80%A7&ie=utf-8&src=internal_wenda_recommend_textn)[粘土矿物](http://www.so.com/s?q=%E7%B2%98%E5%9C%9F%E7%9F%BF%E7%89%A9&ie=utf-8&src=internal_wenda_recommend_textn)对外加剂的吸附而产生的同步注浆材料流动度经时损失过大的问题，因此规定同步注浆材料用石灰石粉的MB值不宜大于1.4。

**4.2.2** 采用放射性超标的掺合料制备的注浆材料对带模注浆工程施工和隧道运营过程中人身健康影响很大，应采用放射性符合现行国家标准《建筑材料放射性核素限量》GB 6566的掺合料。

## 4.3 骨料

**4.3.1** 考虑到未浇筑满的混凝土空隙存在尺寸较小的裂隙的情况，采用粒径较大的骨料很难保证较小裂隙的填充。现场工程应用发现，骨料最大粒径不大于1.18mm时，注浆材料可将混凝土空隙填充充分，故而提出骨料最大粒径不大于1.18mm的要求。调研发现细骨料中含泥量大于1.0%时会导致注浆材料流动性显著下降，强度降低，故而提出细骨料中含泥量不宜大于1.0%的要求。

**4.3.2** 当采用人工砂时，人工砂的石粉亚加蓝（MB）值对注浆材料流动度有较大的影响，研究发现人工砂的石粉亚加蓝（MB）值超过1.4后注浆材料流动度显著下降，流动度损失明显加快。因此，建议人工砂的石粉亚加蓝（MB）值不宜大于1.4。

**4.3.3** 采用具有碱活性的细骨料时，容易因注浆材料水泥、拌合用水或者外加剂中碱含量过高而发生碱骨料反应，导致硬化注浆材料浆体开裂破损，影响注浆填充及粘结效果。

## 4.4 外加剂及其他材料

**4.4.1** 不同品种、品牌的外加剂性能差异较大，注浆材料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。注浆材料用外加剂应与水泥和矿物掺合料有良好的适应性，外加剂的选择应经试验验证。

**4.4.3** 当前消泡剂的种类很多，包括有机硅消泡剂、聚醚酯消泡剂、聚醚改性硅、天然油渍类等，不同消泡剂的作用机理不同，对气泡的“消除”作用也有差异，实际应用过程中应通过试验验证优选消泡剂的种类及掺量。

**4.4.4** 带模注浆材料可选用的膨胀剂种类很多，包括硫铝酸钙类膨胀剂、氧化钙类膨胀剂、塑性膨胀剂等，膨胀剂应符合现行国家标准《混凝土膨胀剂》GB 23439的规定，不同膨胀剂的作用机理不同，最佳“膨胀”作用发货龄期也有差异，实际应用过程中应通过试验验证选择膨胀剂的种类及掺量。

**4.4.5** 为降低带模注浆材料的和泌水率和分层度，部分注浆材料中可掺用具有增稠、保水、絮凝等作用的外加剂，由于不同品牌增稠、保水、絮凝等作用的外加剂性能差异较大，所掺用的增稠、保水、絮凝等作用的外加剂应符合有关标准规定，并应通过充分试验进行验证，确保注浆材料性能需满足标准和现场施工要求。

# 5 注浆材料性能及试验方法

## 5.1 注浆材料性能

**5.1.1** 实际注浆施工过程中，遇到相对较为复杂的地质条件时，为确保施工质量，可能需要带模注浆材料具有更好的流动度保持效果、更快的强度增长速度等，此时带模注浆材料性能除满足本标准要求外，尚应满足设计或施工方提出的其他相关性能要求。

**5.1.2** 本条规定注浆材料应采用预混好的干粉料，干粉料可运送到指定的注浆作业点进行注浆料的搅拌与注浆施工，很好的解决了湿拌浆料因运距不同，隧道内施工工况变化等导致浆料流动度损失大等问题。另外，干粉料的出厂检验和进场检验更好的保证了浆料的性能，大大降低了因浆料性能不满足要求或者浆料性能大幅度波动导致的注浆质量问题。

**5.1.3**  本条规定了注浆材料浆液性能指标范围。注浆材料的流动度指标是表征注浆材料浆液可施工性能的关键指标，合理的流动度指标可保证浆液在不发生离析或泌水的前提下，使浆液能在合理的注浆压力下均匀顺利的完成注浆施工，并能达到填充密实的目的。经调研及系统的试验验证确定，带模注浆材料分别在流动度为340mm~380mm时具有良好的工作性能，带模注浆材料一般在30min内即可完成注浆施工，带模注浆材料流动度不小于330mm时仍具有较好的可压注性能，如出现施工工序接驳不好等原因导致的带模注浆材料浆液停留时间超过30min的情况，再次注浆前应对注浆材料流动度进行测试，再次注浆前注浆材料流动度小于330mm时，应充分验证注浆施工的可行性，避免因流动度过小引起堵管等施工问题。

带模注浆材料的分层度、泌水率是表征浆液稳定性的关键指标，浆液分层度越大、泌水率越高，越容易出砂粒下沉、砂与浆体分离等，容易发生堵泵问题。合理的膨胀率可保证带模注浆材料与既有的混凝土之间发生良好的结合，避免因膨胀不足导致的填充不密实的问题，同时需要避免因膨胀过大导致胀裂、脱粘等问题。因此，对水泥基单液同步注浆材料流动度、泌水率、分层度提出要求。工程应用调研及试验验证结果表明，带模注浆材料浆体泌水率、分层度、塑性膨胀率等指标应满足本规程第5.1.3条的要求。

**5.1.4**  本条规定了注浆材料硬化浆体性能指标范围。调研发现，带模注浆结束后12-18h即可拆模，并进行下一板混凝土施工，因此带模注浆材料应当具有一定的早期强度。结合强度比和结合性能是标准带模注浆材料与既有混凝土结合情况的优劣提出的标准指标，注浆材料与衬砌混凝土之间应该具有良好的结合和整体性，可在密实填充混凝土脱空区的基础上，与既有混凝土形成一个整体，进而对板板之间的环向施工缝和冷缝具有较好的结合力，改善整体性能。工程应用调研及试验验证结果表明，带模注浆材料硬化浆体的强度、结合强度比、结合性能应满足本规程第5.1.4条的要求。

## 5.2 试验方法

**5.2.3** 本条规定了带模注浆材料pH值的试验方法，考虑到直接测试带模注浆材料浆体的pH值时，存在pH值过高而无法计量，且存在带模注浆材料样品间没有区分度的问题，试验发现，采用取注浆材料干粉料50g溶入到1000ml去离子水中，提取滤液的方式可很好的表征带模注浆材料样品的pH值。

**5.2.7**本条规定了带模注浆材料分层度的试验方法。该方法是在现行标准《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ 70中分层度试验方法基础上，结合带模注浆材料流动度较大，难以以稠度差异进行区分的性能特点，从确保静置30min后带模注浆材料浆体的均质性方面出发，开创性的提出通过静置30min后测试带模注浆材料上下层密度差异的方法来表征带模注浆材料的分层度的试验方法。

**5.2.10**本条规定了带模注浆材料的结合强度比试验方法。结合强度比的试验方法是在大量验证试验的基础上提出的，考虑到现场浇筑完成后注浆材料及混凝土的受荷形式主要为径向荷载，因此，更宜采用上下浇筑的结合体成型方式。考虑到现场带模注浆施工多在混凝土浇筑完成后2h内进行，同时，从确保注浆材料与基准混凝土良好粘结性能方面考虑，为更好的模拟带模注浆材料与基准混凝土之间的粘结状况，提出基准混凝土浇筑完毕至注浆材料的浇筑时间不宜超过2h的规定。

**5.2.11**本条规定了带模注浆材料的结合性能试验方法。验证试验结果表明，对现场应用效果良好的带模注浆材料产品，在间隔6h、4h浇筑的结合体进行抗折试验时，结合体均存在混凝土与注浆材料脱粘的问题，难以表征带模注浆材料的结合性能。即便间隔2h时，混凝土与注浆材料结合体界面未有肉眼可观察的脱粘现象，但很难排除肉眼不可见的脱粘裂隙的存在，考虑到采用两者左右结合组成的结合体的抗折受力的形式较上下就结合的组成形式更能明确的观察两者间的粘结情况，故本次试验采用左右结合的结合体结合形式开展。考虑到混凝土与注浆材料结合面主要为混凝土浆体与注浆材料的结合，且调研与验证试验发现，采用过筛后混凝土浆体与注浆材料形成结合体的抗折断面结合试验结果与注浆材料现场结合效果较吻合，故选用过筛后混凝土浆体与注浆材料形成结合体的方式进行结合性能试验。

# 6 施工

## 6.1 一般规定

**6.1.2** 注浆施工之前，应制定科学合理的注浆施工技术方案，并应做好施工准备工作，确保注浆工序衔接紧凑，提高注浆效率。

**6.1.3~6.1.4** 调研发现，工程现场仍有部分制浆设备未安装拌和用水自动计量设备，采用这种设备时很容易因人为操作误差导致实际水料比的波动，进而导致带模注浆材料性能发生波动，不利于注浆施工质量的控制，建议采用具有自动计量拌和用水功能的制浆机。

**6.1.7** 螺杆式注浆机主要利用螺旋转子在弹性定子中转动，推动浆体沿螺旋运动方向连续输送。与活塞式注浆机及挤压式注浆机相比，浆液可以更为平稳的输送到待填充的空隙，该种注浆形式具有浆液均质性，填充效果好等优点。为确带模注浆施工质量，带模注浆施工宜采用螺杆式注浆机。

**6.1.8** 与PVC等化学管材以及金属类管材相比，水泥基的带模注浆材料与水泥基的RPC管材之间具有更好的体积变形协同性，因此，带模注浆宜选用通体贯通表面为水泥基材质的预埋注浆管。

**6.1.9** 验证试验发现，带模注浆材料与基准混凝土的结合性能受浇筑时间影响很大，基准混凝土浇筑完2h内进行注浆时，带模注浆材料可与基准混凝土很好的结合为一个整体，两者浇筑时间间隔超过2h后结合性能开始变差，为确保带模注浆材料可与基准混凝土良好的整体性，注浆宜在拱顶衬砌混凝土浇筑完成后2h内完成。

**6.1.11** 本条对注浆孔的布置方式及用途做出规定。

## 6.2 注浆材料进场与贮存

**6.2.2** 带模注浆材料为干粉料，其中包含容易受潮失效的水泥、化学添加剂等组分，因此贮存过程应采取防潮、防晒措施。

## 6.3 制浆与储浆

**6.3.2** 调研发现，部分带模注浆制浆设备仍采用人工计量及投料的方式，该种计量及投料方式不利于注浆材料施工质量的控制，考虑到已有自动计量及加料系统，从鼓励先进，确保质量方面靠谱，建议采用具有自动计量及加料系的制浆设备。

**6.3.3** 调研及实际施工发现，现场常用的制浆设备搅拌速率为50-72转/分，搅拌时间不少于3min，也有部分工程采用转速更高的自动、半自动的高速制浆设备，搅拌时间也相应的缩短，总体而言，工程现场应以确保浆料搅拌均匀且能满足现场注浆施工需求为目的，合理选择制浆设备。

**6.3.5** 搅拌桶进料口应设置过滤筛及振动下料电机，以筛除干粉料中可能存在的大块固体，避免注浆过程中堵管的发生，同时避免大块固体注入混凝土空隙后对注浆材料与混凝土结合体的整体性带来的不利影响。

**6.3.7** 本条规定了注浆制浆设备搅拌过程中的投料顺序和搅拌时长，主要考虑目前工程所用的主流的低速搅拌设备，为保证注浆材料浆液搅拌均匀，规定了相应的搅拌时长；实际工程应用中也可按照所选设备的使用说明控制搅拌时间，以确保搅拌均匀充分。

## 6.4 注浆

**6.4.1** 为确保注浆的顺利进行，正式注浆前应先进行试注浆，试注浆可采用拌和用水或带模注浆材料浆体，采用拌和用水进行试注浆时，正式注浆前应将试注浆时注入的拌和用水排净。

**6.4.2** 考虑到目前带模注浆施工所采用的注浆管主要以RPC管为主，在实际工程应用中通常注浆管管体和混凝土本身和注浆材料有较好的粘结性能为宜，本条对注浆管的技术规格、性能及检测方法做出规定，当采用普通强度等级的混凝土管、PVC管等其他材质的注浆管时，其性能应满足相关标准及设计与施工要求。

**6.4.3~6.4.4** 本条对注浆顺序、注浆过程控制及压力表精度等做出规定。

**6.4.5** 注浆完毕更换注浆连接件时应及时封堵预埋注浆管，避免浆液回流导致注浆填充不密实等问题。

**6.4.6** 为确保带模注浆质量，每次注浆时应记录注浆总量、注浆开始时间和结束时间，以实时跟踪了解浆液的应用情况，及时反馈、分析异常数据，查找异常原因，解决应用问题。

**6.4.9** 本条对注浆管外露部位的处理做出规定。

# 7 质量检验

## 7.1 注浆材料质量检验

**7.1.1** 本条对进场的注浆材料需要出具的质量文件做出规定。

**7.1.2** 本条对注浆材料进场检验项目及如何取样做出规定。

**7.1.4~** **7.1.5** 本条对注浆材料取样量及取样批次做出规定。

**7.1.6** 本条对注浆材料进场检验及型式检验结果做出规定。

## 7.2 注浆管质量检验

**7.2.1** 本条对进场的注浆管需要出具的质量文件做出规定。

**7.2.2** 本条对注浆管进场检验项目及如何取样做出规定。

**7.2.4** 本条对注浆管取样量及取样批次做出规定。

**7.2.5** 本条对注浆管进场检验及型式检验结果做出规定。

## 7.3 注浆质量检验

**7.3.1** 本条对带模注浆质量检验的标准依据做出规定。

**7.3.2** 为确保带模注浆施工质量，注浆施工结束后对于注浆不足的情况，应及时进行二次注浆，二次注浆材料宜选用凝结时间较短、强度增长较快的水泥基注浆材料，也可采用符合设计与施工要求的其他注浆材料。

**7.3.3** 本条规定注浆完成后宜采用地质雷达检测等方法对注浆填充密实情况进行检测，当对检测结果存在异议时，可进行钻芯验证，最终注浆质量的判定以钻芯验证结果为准。