

ICS 93.080.01  
CCS R 18

# 团 体 标 准

T/CIECCPA 110—2025

## 滨海岩溶区路基病害注浆加固技术规程

Technical code for grouting reinforcement of subgrade defects in  
coastal karst area

2025 - 12 - 15 发布

2025 - 12 - 19 实施

中国工业节能与清洁生产协会 发布

CFECCCPA

## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 注浆材料和设备 .....	2
4.1 一般规定 .....	2
4.2 水泥基注浆材料 .....	2
4.3 地聚合物注浆材料 .....	3
4.4 主要注浆机械及设备 .....	3
5 注浆加固设计 .....	4
5.1 一般规定 .....	4
5.2 注浆材料配合比设计 .....	4
5.3 注浆加固范围、深度、布孔位置及顺序 .....	5
5.4 注浆工艺 .....	6
5.5 注浆布孔设计 .....	6
6 注浆加固施工 .....	7
6.1 一般规定 .....	7
6.2 施工准备 .....	7
6.3 钻孔施工 .....	7
6.4 制浆要求 .....	8
6.5 注浆控制 .....	8
7 质量检验与评定 .....	8
7.1 一般规定 .....	8
7.2 外观检验 .....	8
7.3 材料检验 .....	8

7.4 竣工资料要求 .....	8
8 施工安全与环境保护 .....	9
8.1 施工作业安全 .....	9
8.2 施工环境保护 .....	9
附录 A（规范性）注浆施工记录表 .....	10
图 1 注浆工艺流程图 .....	6
图 2 注浆孔矩形布设 .....	6
图 3 注浆孔方形布设 .....	7
图 4 注浆孔梅花形布设 .....	7
表 1 水泥基注浆材料掺合料性能指标 .....	2
表 2 地聚合物原材料性能指标 .....	3
表 3 注浆机械及设备 .....	3
表 4 水泥基注浆材料的主要技术指标 .....	5
表 5 地聚合物注浆材料的主要技术指标 .....	5

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020 《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：山东大学、山东高速集团有限公司、山东百廿慧通工程科技有限公司、中建材中岩科技（山东）有限公司、济南大学、北京绿碳循环信息技术咨询有限公司。

本文件主要起草人：李召峰、王川、林春金、马川义、张健、杨为民、邓向辉、王凯、卜林、张宁、单立福、毕玉峰、张圣涛、王新、孙科科、高益凡、高晓杰、周志浩、韩瑞凯、张文婷、梁晓苏、李成功。

CFECCPA

# 滨海岩溶区路基病害注浆加固技术规程

## 1 范围

本文件规定了滨海岩溶区路基病害注浆加固技术的注浆材料和设备、注浆加固设计、注浆加固施工、质量检验与评定、施工安全与环境保护。

本文件适用于滨海岩溶区各等级沥青混凝土路基、水泥混凝土路基、城市及其它道路路基的病害注浆加固工程。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 175 通用硅酸盐水泥
- GB/T 1346 水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法
- GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB/T 18046 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
- GB/T 18736 高强高性能混凝土用矿物外加剂
- GB/T 38140 水泥抗海水侵蚀试验方法
- GB/T 50081 普通混凝土力学性能试验方法标准
- CJJ 1 城镇道路工程施工与质量验收规范
- JGJ 63 混凝土拌合用水标准
- JGJ/T 46 建筑与市政工程施工现场临时用电安全技术标准
- JTG 3420 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
- JTG 5110 公路养护技术规程
- JTG H30 公路养护安全作业规程
- JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**滨海岩溶** coastal karst

在滨海地区以陆源淡水和海水混合带的混合溶蚀形成的特殊岩溶地貌。

### 3.2

**注浆加固** grouting reinforcement

通过压力注浆将可固化浆液注入到路基损坏部位恢复道路性能，从而增加道路的使用寿命和安全性。

### 3.3

**水泥基注浆材料** cement-based grouting material

以通用硅酸盐水泥等为胶凝材料及外掺剂组成的混合料。

### 3.4

#### 地聚合物注浆材料 *geopolymer grouting material*

由矿渣粉、钢渣粉、粉煤灰和硅灰等一种或几种材料硅铝质组分配合激发剂，并按一定配比组成的混合料。

### 3.5

#### 松散 *loose*

路基填筑材料未能形成紧密、稳定的结构，颗粒之间存在较多空隙，整体呈现出疏松、不密实的现象。

### 3.6

#### 脱空 *pavement void*

路基与路面结构层之间，或者路基内部某些部位出现了不连续、分离的现象，形成了空洞或间隙的现象。

## 4 注浆材料和设备

### 4.1 一般规定

4.1.1 滨海岩溶区路基病害注浆加固材料应根据路基病害类型有针对性的进行选择。

4.1.2 滨海岩溶区路基病害注浆加固材料可选用水泥基注浆材料、地聚合物注浆材料。

4.1.3 滨海岩溶区路基病害注浆加固材料拌合用水的质量应符合 JGJ 63 的规定。

4.1.4 滨海岩溶区路基病害注浆加固材料运输、存储、使用过程中应采取环境保护措施、满足国家环保要求。

### 4.2 水泥基注浆材料

4.2.1 水泥基注浆材料所用水泥应符合 GB 175 的规定。

4.2.2 当有快速通车、抗冻、填充等特殊要求时，宜分别采用具有早强、抗冻、膨胀等性能的注浆材料，且滨海岩溶区注浆材料应具有抗硫酸盐侵蚀、抗氯离子侵蚀、抗镁离子侵蚀、抗有机酸侵蚀等特性。

4.2.3 致密地层环境下水泥基注浆材料（宜）使用超细水泥，超细水泥最大粒径不宜超过 10 $\mu$ m，平均粒径不宜超过 5 $\mu$ m。

4.2.4 水泥基注浆掺合料和外加剂的品种、用量应根据注浆设计要求，通过室内浆材试验和现场注浆试验确定。

4.2.5 作为水泥基注浆掺合料的粉煤灰、矿渣粉、硅灰和钢渣粉的性能应分别符合 GB/T 1596、GB/T 18046、GB/T 18736 的相关规定，并满足表 1 相关要求。

表1 水泥基注浆材料掺合料性能指标

种类	粉煤灰		矿渣粉	硅灰	钢渣粉
等级	II级	III级	S95	—	—
细度（45 $\mu$ m筛余）（%），不大于	35.0	45.0	—	—	—
比表面积（m <sup>2</sup> /kg），不小于	—	—	400	15000	400

含水率(%)，不大于	1.0		3.0	1.0
需水量比(%)，不大于	105	115	95	125
氧化硅(SiO <sub>2</sub> )、氧化铝(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )和氧化铁(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) 总含量(%)，不小于	70.0		—	—
28 d活性指数(%)，不小于	85.0	70.0	95.0	85.0
烧失量(%)，小于	—	—	3.0	—

### 4.3 地聚合物注浆材料

4.3.1 地聚合物注浆材料可见前述 3.4 节。

4.3.2 粉煤灰、矿渣粉、硅灰的性能应分别符合现行国家标准 GB/T 1596、GB/T 18046 的相关规定，并满足表 2 相关要求。

4.3.3 对于高渗透性要求，应选用细超细水泥，最大粒径不宜超过 10 $\mu$ m，平均粒径不宜超过 5 $\mu$ m。

表2 地聚合物原材料性能指标

种类	粉煤灰		矿渣粉		硅灰
	I级	II级	S105	S95	
等级					—
细度(45 $\mu$ m筛余)(%)，不大于	30.0	35.0	—	—	—
比表面积(m <sup>2</sup> /kg)，不小于	—	—	500	400	15000
含水率(%)，不大于	1.0	—	1.0	—	3.0
需水量比(%)，不大于	105	—	95.0	—	125
氧化硅(SiO <sub>2</sub> )、氧化铝(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )和氧化铁(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) 总含量(%)，不小于	70.0	70.0	—	—	—
玻璃体含量(%)，不小于	—	—	85.0	85.0	—
28 d活性指数(%)，不小于	85.0	70.0	105.0	95.0	85.0
氧化镁(MgO)含量(%)，不大于	—	—	14.0	—	—
三氧化硫(SO <sub>3</sub> )含量(%)，不大于	3.0	—	4.0	—	—
烧失量(%)，小于	8.0	—	1.0	1.0	—

### 4.4 主要注浆机械及设备

滨海岩溶区路基病害注浆加固施工主要注浆机械及设备可按表 3 的要求配备。

表3 注浆机械及设备

序号	机械设备名称	型号、规格	注浆加固层位	备注
1	钻孔设备	孔径30mm~50mm	基层	—

2	液压钻机	—	路基	—
3	沉管设备	—	路基	—
4	注浆设备	注浆压力可达6MPa	路基	搅拌、注浆智能一体化
5	搅拌机	400L, 转速 800r/min~2000r/min	基层	
6	水箱	5t以上	路基、基层	容量视需求确定
7	发电机		路基、基层	独立发电、供电
8	载重汽车	4t以上	路基、基层	整套设备装载

## 5 注浆加固设计

### 5.1 一般规定

5.1.1 滨海岩溶区路基病害注浆加固设计应根据实际情况充分分析道路损坏的原因,考虑潮汐冲刷、咸淡水循环驱替和海水侵蚀等多重因素对道路的影响,结合滨海岩溶区工程地质、水文地质等现场环境有针对性的进行设计。

5.1.2 滨海岩溶区路基病害注浆加固设计应对病害类型进行细化区分,确定病害分布、层位、工程量及损坏程度。

5.1.3 滨海岩溶区路基病害注浆加固设计应包括材料选型、设计方案及设计控制指标,明确钻孔的直径、位置、深度、间距、倾斜角度等。

5.1.4 滨海岩溶区路基病害注浆加固设计前应对路况进行现场调研,并收集原道路设计、施工等基础资料,了解病害地段的地质情况、地下管线情况、结构性能等。

5.1.5 滨海岩溶区路基病害注浆加固设计应充分考虑原有道路结构的稳定性,不对道路周边环境产生影响。

### 5.2 注浆材料配合比设计

5.2.1 水泥基注浆材料的配合比设计应符合下列规定:

- 水灰比宜为 0.4~0.6,应根据设计要求通过试验确定;
- 宜采用 42.5 或以上强度等级的水泥,42.5 以下强度等级的水泥应通过试验验证,满足设计要求后方可使用;
- 所用注浆材料不采用自来水拌合时,应具备水质检测报告,符合 JGJ 63 的规定。
- 应选用 II 级以上(含 II 级)粉煤灰,配制快凝早强型注浆材料,粉煤灰掺量不宜大于水泥用量的 10%,配制普通型注浆材料,粉煤灰掺量不宜大于水泥用量的 30%;
- 宜选用 S95 矿渣粉,掺量不宜大于 20%;
- 钢渣粉、硅灰最佳掺量宜通过试验确定;
- 应选用细度模数 1.6~2.2 的细砂掺量不宜超过水泥用量的 10%,配制快凝早强型注浆材料,细砂掺量不宜超过水泥用量的 5%;
- 外加剂(减水剂、缓凝剂、早强剂、膨胀剂等)掺量应根据处治目的和要求,结合相应的产品推荐用量进行选择;

i) 水泥基注浆材料的主要性能指标应符合表 4 的规定。

表4 水泥基注浆材料的主要性能指标

材料类型	流动度 (s)	初凝时间 (min)	终凝时间 (min)	泌水率 (%)	膨胀率 (%)	抗压强度 (MPa)			抗压强度保持率 (%)	抗硫酸盐等级 (耐蚀系数)	抗冻等级 (强度损失率)
						1d	3d	28d			
早强型	≤20	≥30	≤120	≤0.4	0~0.01	20	25	30	≥100	≥85%	≤10%
普通型	≤20	≥30	≤150	≤0.4	0~0.01	5	15	30	≥100	≥85%	≤10%
试验方法	JTG 3420	GB/T 1346		JTG/T 3650		JTG 3420			GB/T 38140	GB/T 50082	

5.2.2 地聚合物注浆材料的配合比设计应符合下列规定：

- a) 水灰比宜为 0.4~0.6，应根据设计要求通过试验确定；
- b) 地聚合物注浆材料的主要性能指标应符合表 5 的规定。

表5 地聚合物注浆材料的主要性能指标

材料类型	流动度 (s)	初凝时间 (min)	终凝时间 (min)	泌水率 (%)	膨胀率 (%)	抗压强度 (MPa)			抗压强度保持率 (%)	抗硫酸盐等级 (耐蚀系数)	抗冻等级 (强度损失率)
						1d	3d	28d			
早强型	13~17	≥20	≤80	≤0.4	0~0.01	≥10	≥20	≥30	≥100	≥85%	≤10%
普通型	13~17	≥30	≤400	≤0.4	0~0.01	≥5	≥15	≥30	≥100	≥85%	≤10%
试验方法	JTG 3420	GB/T 1346		JTG/T 3650		JTG 3420			GB/T 38140	GB/T 50082	

### 5.3 注浆加固范围、深度、布孔位置及顺序

5.3.1 注浆加固范围应符合下列规定：

- a) 半刚性基层松散和层底脱空的注浆范围应大于加固车道宽度；
- b) 路基加固的注浆范围应覆盖所探明的路基薄弱区域。

5.3.2 注浆加固深度应符合下列规定：

- a) 水泥混凝土路面板底脱空的注浆深度应达到脱空部位以下不小于 50mm；
- b) 半刚性基层松散和层底脱空的注浆深度应达到基层底以下不小于 50mm；
- c) 半刚性基层下设有垫层时，注浆深度应穿透垫层，达到垫层底面以下不小于 50mm；
- d) 路基加固的注浆深度应达到路床顶面以下不小于 800mm，或达到已探明的薄弱层；
- e) 规定的注浆加固深度影响范围内铺设地下管线时，应视地下管线位置及埋深情况予以避让。

5.3.3 应根据加固路段的损坏情况、道路结构、材料性能确定注浆扩散距离，孔距根据试验段验证后确定，一般注浆孔径为 30mm~50mm，孔距为 1m~2m。

5.3.4 注浆加固顺序应符合下列规定：

- a) 加固基层松散夹层时，应采用由行车道向超车道，纵坡段由高程增大方向的顺序注浆；

- b) 当加固层位处于潮湿或过湿状态时，应采用由内向外的顺序注浆。对基层松散和易跑浆的路基，应采用由外向内的顺序注浆。

#### 5.4 注浆工艺

5.4.1 滨海岩溶区路基病害注浆施工按图 1 所示工艺流程施工。

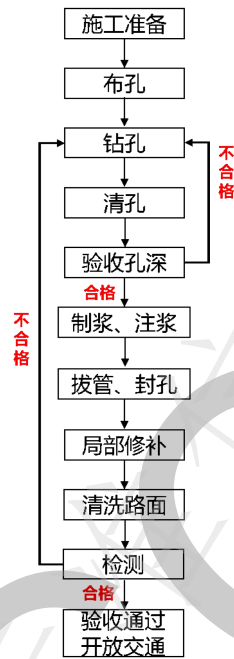


图 1 注浆工艺流程图

5.4.2 注浆设计参数包括注浆压力、单孔注浆量、孔径、孔距等。

5.4.3 单孔注浆量应通过现场试验确定，也可参考同类工程经验。

5.4.4 水泥基注浆材料注浆压力控制在 0.4MPa~1.0MPa，地聚物类注浆材料注浆压力控制在 0.5MPa~1.5MPa。

#### 5.5 注浆布孔设计

注浆孔布设应符合下列规定：

- 注浆孔宜按实际情况布设，布孔形式可为矩形（图 2）、方形（图 3）或梅花形（图 4）；
- 注浆孔宜设多排，可布设于存在内部缺陷路面的左右轮迹带和车道中线共 3 条线上；
- 在同一条线上的注浆孔间距应符合设计要求，一般为 1.0m~2.0m；
- 裂缝处的注浆孔应沿着裂缝走向布置，注浆孔距离裂缝的距离可取 0.3m。

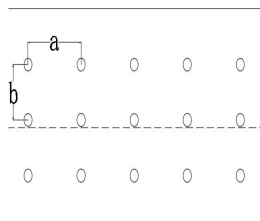


图 2 注浆孔矩形布设

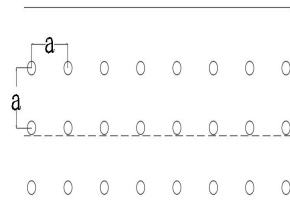


图3 注浆孔方形布设

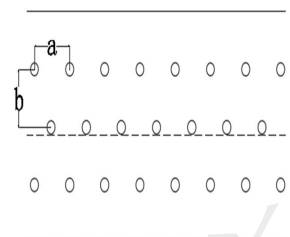


图4 注浆孔梅花形布设

## 6 注浆加固施工

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 注浆加固施工作业区应符合 JTG 5110、JTG H30 的相关规定。
- 6.1.2 注浆施工过程中应详细记录注浆时间、孔号、孔径、孔深、注浆压力、注浆量、材料配合比等相关信息，根据现场情况动态调整施工。
- 6.1.3 施工过程中应随时对材料质量、施工质量进行检查，并应按照规定的频次对检查项目进行抽查。
- 6.1.4 施工过程中信息化监测设备实时监测加固区域及周边区域道路、边坡等构造物变形、漏浆、跑浆等情况，监测异常时应立刻停止注浆并采取相应措施，相关情况应详细记录。
- 6.1.5 施工过程中应加强对地下管线的保护、减小对周边环境的影响，做到文明施工。

### 6.2 施工准备

- 6.2.1 施工前应编制施工组织设计或方案，并进行施工技术及安全方案交底。
- 6.2.2 施工前应按照要求配备注浆机械设备及相应的配套工具，对注浆机械及设备进行维护和检修，调试到最佳工作状态，满足注浆加固施工要求。
- 6.2.3 材料进场前必须有产品合格证及型式检验报告，并在施工前进行全面检测，注浆材料检测不合格不可用于施工，材料应置于阴凉干燥处，存储时间不能超过 6 个月。
- 6.2.4 必须配备可正常运行的备用注浆机械设备，出现设备故障时，可立刻更换保证施工的连续性 & 质量。

### 6.3 钻孔施工

- 6.3.1 注浆孔应放样标记，钻孔孔径为 30mm~50mm。
- 6.3.2 钻孔严格按照设计施工，钻孔方位和倾角误差不大于 2°。
- 6.3.3 钻孔孔深应符合设计要求，当实测孔深不满足设计要求时应在原孔位或设定指定位置钻至设计深度。

## 6.4 制浆要求

- 6.4.1 制备浆液应分罐计量，逐罐搅拌，制浆材料计量误差应小于 2%。
- 6.4.2 制备浆液应先加水，后加粉体材料，搅拌时间不应少于 3min。
- 6.4.3 如需细砂，应先加入水泥、外加剂等粉体搅拌均匀 3min，后通过专门的加料装置均匀、缓慢地投入到搅拌设备中。
- 6.4.4 搅拌完成的浆液吸入贮浆桶，并边搅拌边注浆，转速不应低于 60r/min，对含砂浆液，每 10min 进行 30s 高速搅拌（ $\geq 120\text{r/min}$ ）。
- 6.4.5 注浆施工结束后应及时用水清洗搅拌机、注浆管和压浆机等注浆设备。

## 6.5 注浆控制

- 6.5.1 当注浆压力达到本规程 5.4.4 设计要求时，应立刻停止注浆，静置一分钟如压力下降则继续注浆。
- 6.5.2 注浆过程中应控制路面抬升的高度，路面抬升超过 5mm，应立刻停止注浆。
- 6.5.3 注浆过程中应对注浆区域周边范围的道路设施进行监测，防止路面抬升起拱或浆液流失。
- 6.5.4 当正在注浆的注浆孔旁的注浆孔开始冒浆时即可停止注浆，并立即用木塞或橡胶塞堵住冒浆孔。
- 6.5.5 注浆结束拔管后立即封孔，并清洗孔边溢出浆液。
- 6.5.6 注浆材料初凝时间过后方可拔除封孔塞。
- 6.5.7 对洒在路面上的浆液采用高压水枪及时清理干净。
- 6.5.8 采用与原路面同标号快硬混凝土，分层填筑压实，表面标高误差 $< \pm 1\text{mm}$ 。

## 7 质量检验与评定

### 7.1 一般规定

- 7.1.1 滨海岩溶区路基病害注浆加固施工质量验收应符合 CJJ 1 的相关规定。
- 7.1.2 滨海岩溶区路基病害注浆加固施工完成后，应按照合同规定的时间进行竣工验收。
- 7.1.3 竣工验收前，应按照有关规定整理竣工验收报告并提供相应的施工记录表（附录 A），检查资料是否齐全、准确、清晰等。
- 7.1.4 验收不合格的工程应予以整改，并必须达到质量验收标准。注浆效果检测应根据设计的目的、滨海岩溶区水文地质情况、注浆工艺方法等采用多种检测方法进行检测。

### 7.2 外观检验

- 7.2.1 注浆施工范围应保证道路干净、整洁，没有残留的浆液及垃圾。
- 7.2.2 注浆加固范围内的路面不应有拱起、新增裂缝、侧向推移等。
- 7.2.3 注浆孔应填补至路面平齐、填补密实，填补材料性能应与原有道路结构相同，且孔口不得有湿迹。

### 7.3 材料检验

- 7.3.1 所用注浆材料应具备产品出厂合格证，每批次、每品种各 1 份，还应对材料进行试验，确保材料性能满足注浆设计要求。
- 7.3.2 所用注浆材料中含有其他掺合料和外加剂，应具备相应的产品出场合格证和产品检测报告。
- 7.3.3 所用注浆材料需具备不同龄期结石体抗压强度、抗侵蚀性检测报告，每批次、每品种各 1 份。
- 7.3.4 所用计量器具应具备有规定资质的计量机构出具的校准检验报告。

### 7.4 竣工资料要求

- 7.4.1 竣工资料应包括工程总结报告、竣工图表、施工资料等，形成完整的施工资料档案。
- 7.4.2 完整的施工资料应包括施工日期、注浆孔编号、注浆压力、注浆时间、注浆量等，并应同时具备监理或建设单位代表的签证。
- 7.4.3 所用注浆材料应出具出厂检验报告、试验室及现场检测报告。
- 7.4.4 拌合后的注浆浆体必须提供现场流动度、凝结时间检测记录。
- 7.4.5 竣工资料应提供路面弯沉检测报告及汇总计算表，并形成完善的数据分析，提供注浆效果评价。
- 7.4.6 施工质量等相关资料应按照 CJJ 1 的要求进行填写。

## 8 施工安全与环境保护

### 8.1 施工作业安全

- 8.1.1 注浆施工作业时，应保障道路交通安全与施工现场安全，交通组织应符合 JTG H30 关于养护作业区安全防护要求。
- 8.1.2 注浆施工中临时用电使用应符合 JGJ/T 46 的规定，移动电缆、开关等应按安全用电防护的有关要求进行防护。
- 8.1.3 进入施工现场的人员必须正确佩戴和使用个人劳动保护用品，禁止用手或身体任何部位直接接触浆液。
- 8.1.4 施工现场的一切安全防护设施齐全有效，不准拆改和擅作他用。
- 8.1.5 对现场的新机具、新设备、新工艺应由有关技术部门制定操作规程，并对操作人员进行专门培训。
- 8.1.6 人员安全教育率达 100%，经考试合格后方可上岗，对变换工种、换岗及新入场工人、临时参加生产人员，应视同新工人一并进行岗前安全教育培训合格后方可上岗。
- 8.1.7 注浆作业应根据注浆类型特点，严格控制注浆压力，防止管道爆裂和浆体压力对人身或道路结构的伤害。

### 8.2 施工环境保护

- 8.2.1 所有钻孔施工必须采用全封闭遮拦式施工，建立工地保洁制度，确保过往车辆、行人的安全及周围环境的整洁。
- 8.2.2 散体物料、建筑垃圾必须按照规定实行密闭化运输，装卸时严禁凌空抛散。
- 8.2.3 施工垃圾及时清运，清运时，适量洒水减少扬尘。
- 8.2.4 注浆施工形成的粉尘和废液，应经处理，达标排放。

