ICS 93.080.30

P 66

**团 体 标 准**

T/JSTJXH XXX-2024

公路盾构法隧道同步双液

注浆施工技术规程

Technical specification for synchronous double fluid grouting construction of highway shield tunneling

2024-X-XX 发布 2024-X-XX 实施

江苏省土木建筑学会 发布

前 言

根据国家标准化管理委员会、民政部制定的《团体标准管理规定》（国标委联〔2019〕1号）和江苏省土木建筑学会相关要求，本规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国家和地方有关标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本规程。

本规程共分8章和4个附录，主要内容包括：1.总则；2.术语；3.基本规定；4.原材料；5.主要设备；6.配合比设计；7.施工工艺；8.质量检验；附录A-附录D。

本规程由江苏省土木建筑学会负责管理，江苏省交通工程建设局负责解释。在执行过程中如有修改意见或建议，请反馈至江苏省交通工程建设局（地址：南京市秦淮区石鼓路69号，邮政编码：210004，联系电话：025-57176132）。

主编单位：江苏省交通工程建设局

中铁第四勘察设计院集团有限公司

参编单位：中铁十四局集团有限公司

同济大学

上海交通大学

主要起草人：蒋振雄、肖明清、杨玉冬、王峻、周欣、崔佳、资谊、张迪、余雪娟、方若全、刘浩、蒋超、孙文昊、陈俊伟、谢雄耀、周彪、车爱兰、徐永福、徐树军、王少锋、喻杨健、宋欢、徐兴居、孟德锋

主要审查人：

目 次

[1 总则 1](#_Toc154437868)

[2 术语 2](#_Toc154437869)

[3基本规定 3](#_Toc154437870)

[4 原材料 4](#_Toc154437871)

[4.1 一般规定 4](#_Toc154437872)

[4.2 水泥 4](#_Toc154437873)

[4.3 膨润土 4](#_Toc154437874)

[4.4 水玻璃 4](#_Toc154437875)

[4.5 稳定剂 5](#_Toc154437876)

[4.6 矿物掺合料 5](#_Toc154437877)

[5 配合比设计 6](#_Toc154437878)

[5.1 双液浆材料性能 6](#_Toc154437879)

[5.2 配合比设计 7](#_Toc154437880)

[6 主要设备 8](#_Toc154437881)

[6.1 一般规定 8](#_Toc154437882)

[6.2 制浆设备 8](#_Toc154437883)

[6.3 运输设备 8](#_Toc154437884)

[6.4 注浆及清洗设备 9](#_Toc154437885)

[7 施工 10](#_Toc154437886)

[7.1 一般规定 10](#_Toc154437887)

[7.2 施工流程 10](#_Toc154437888)

[7.3 施工工艺 11](#_Toc154437889)

[7.4施工应急处理 12](#_Toc154437890)

[7.5施工安全 13](#_Toc154437891)

[8 质量检查及验收 14](#_Toc154437892)

[8.1 一般规定 14](#_Toc154437893)

[8.2 原材料质量验收与检验 14](#_Toc154437894)

[8.3 双液浆拌合物质量验收与检验 14](#_Toc154437895)

[8.4 双液浆成型质量验收与检验 14](#_Toc154437896)

[8.5 探地雷达法注浆质量检验 14](#_Toc154437897)

[8.6 弹性波法注浆质量检验 16](#_Toc154437898)

[本规程用词说明 17](#_Toc154437899)

[引用标准名录 18](#_Toc154437900)

[附录A 注浆材料抗水分散试验 19](#_Toc154437901)

[附录B 浆液试块抗压强度试验评定 20](#_Toc154437902)

[附录C 探地雷达法检验流程 21](#_Toc154437903)

[附录D 弹性波法检测流程 24](#_Toc154437904)

Contents

[1 Gereral Provisions 1](#_Toc22048)

[2 Terms 2](#_Toc19596)

[3 Basic Requirements 3](#_Toc31822)

[4 Raw material 4](#_Toc8043)

[4.1 General Requirements 4](#_Toc7320)

[4.2 Cement 4](#_Toc14451)

[4.3 Bentonite 4](#_Toc5613)

[4.4 Sodium Silicate 4](#_Toc26826)

[4.5 Stabilizer 5](#_Toc14451)

[4.6 Flyash 5](#_Toc5613)

[5 Mix Design 6](#_Toc29447)

[5.1 Double-Liquid Grouting Properties 6](#_Toc15812)

[5.2 Design of Mix Proportion 7](#_Toc15812)

[6 Main Equipments](#_Toc5638) 8

6.1 General Requirements 8

6.2 Pulping Equipment 8

6.3 Transportation Equipment 8

6.4 Grouting and Cleaning Equipment 9

[7 Construction 10](#_Toc29447)

[7.1 General Requirements 10](#_Toc15812)

[7.2 Construction Process 10](#_Toc2911)

[7.3 Construction Technology 11](#_Toc6792)

[7.4 Construction Emergency Response 12](#_Toc16589)

[7.5 Construction Safety 13](#_Toc24499)

8 Quality Inspection and Acceptance 14

[8.1 General Requirements 14](#_Toc15812)

8.2 Raw Material Quality Inspection and Acceptance 14

8.3 Quality Acceptance and Inspection of Double Liquid Mixtures 14

8.4 Quality Acceptance and Inspection of Double Liquid Slurry Forming 14

8.5 GPR Grouting Quality Inspection 14

[8.6 Elastic Wave Method Grouting Quality Inspection 1](#_Toc13514)6

Note on the Use of Terms in this Statute 17

Citation Standards Catalogue 18

[Appendix A Water Dispersion Test of Grouting Material 1](#_Toc9862)9

Appendix B Compressive strength test of slurry specimens 20

Appendix C Ground Penetrating Radar Method Inspection Process 21

Appendix D Elastic Wave Method Inspection Process [24](#_Toc9262)

# 1 总则

1.0.1 为规范公路盾构法隧道双液注浆施工，确保施工质量及提升施工品质，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于公路盾构法隧道施工双液注浆配合比设计、施工、质量检查及验收，其他类似工程可参照执行。

1.0.3 公路盾构隧道双液注浆施工除应执行本规程外，尚应符合国家、行业和地方现行有关标准的规定。

# 

# 2 术语

2.0.1 同步双液注浆

盾构隧道同步双液注浆一般由A液和B液组成，将两者按一定比例分别泵送混合后注入管片背后填充地层的注浆过程。

2.0.2 A液 Liquid A

A液是由水、水泥、膨润土、稳定剂组成的水泥基净浆。

2.0.3 B液 Liquid B

B液一般指水玻璃，或其他类型速凝剂。

2.0.4 探地雷达法(Ground Penetrating Radar method)

利用介质对电磁波的反射特性，对介质内部的构造和缺陷(或其他不均匀体)进行探测的方法。

2.0.5 弹性波法

利用扰动或外力作用引起的应力和应变在介质中传递的弹性波来探测介质的缺陷检测方法。

2.0.6 水陆强度比

水中成型的受检试件与空气中成型的受检试件抗压强度之比。

2.0.7 正洗

按照浆液流动的方向通入流动介质进行洗涤。

2.0.8 逆洗

按照浆液流动的反方向通入流动介质进行洗涤。

2.0.9 充盈率

同步注浆的充盈率是指浆液实际厚度与隧道盾尾间隙的比值。

# 3基本规定

3.0.1 盾构隧道施工过程中同步压注双液注浆应根据工程地质、水文地质、管片监测等情况动态调整双液浆用原材料、配合比、注浆压力、压注方量等参数。

3.0.2盾构隧道同步双液注浆工艺及检测施工应建立健全工程质量保证体系，制定质量管理制度，提出质量保证措施，对工程施工全过程进行质量控制。

3.0.3 盾构隧道施工期同步注浆检测应与施工同步，提升施工质量和参数的动态反馈速度，实现信息化施工，检测技术应具备快速、无损及高精度等特点。

# 4 原材料

## 4.1 一般规定

4.1.1 公路盾构隧道双液浆应由A液和B液组成，A液原材料应由水泥、外掺料（粉煤灰）、膨润土、稳定剂、水组成的混合液，B液原材料应由水玻璃（主要成分为工业硅酸钠溶液）组成。

4.1.2 原材料进场时应提供相应合格证、检测报告等质量证明文件。

4.1.3 原材料进场后应按规范要求进行随机抽样检测，合格后方可使用。

4.1.4 原材料进场后应根据产品批次、型号，分类存放，做好防水、防火、防潮、标识等措施。

4.1.5 原材料在使用时应遵循“先进先出，推陈储新”原则。

4.1.6 双液浆配制中所采用的水应满足行业现行《混凝土用水标准》JGJ63，宜优先采用自来水。

## 4.2 水泥

4.2.1 水泥应采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，强度等级不低于42.5MPa，其技术性能指标应满足《通用硅酸盐水泥》GB175的有关规定。

4.2.2 检测方法及检测频率应按照《通用硅酸盐水泥》GB175执行，合格后方使用，避免未检先用。

## 4.3 膨润土

4.3.1 膨润土宜采用《膨润土》（GB/T 20973）中的土木工程用中粘及以上膨润土，其指标要求应符合以上标准要求。

4.3.2 检测方法应按照《膨润土》（GB/T 20973）进行检验抽检，其中胶体率试验方法可按照《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50）附录D执行。检测频率按同一厂家、同一批号为一批，袋装膨润土每60t为一批次，不足60t的按一批次计，散装膨润土以每一罐车或储仓为一批，且不应超过200t。

## 4.4 水玻璃

4.4.1 水玻璃宜采用钠基水玻璃，优先采用《工业硅酸钠》GB/T 4209中工业液体硅酸钠液-2优等品，其性能要与A液有良好的适配性，与A液混合后应符合施工作业、设备的要求。

4.4.2 检测方法应按照《工业硅酸钠》GB/T 4209执行，检测频率按同一厂家同一批号为一批，每50t为一批次，不足50t的按一批次计，存放时间超过3个月应重新检测。

## 4.5 稳定剂

4.5.1 宜采用缓凝型稳定剂，与水泥、膨润土等其他材料应有良好的适应性，并经试验验证。

4.5.2 稳定剂的掺量控制在厂家推荐值范围内，一般为0.1%~1.5%，稳定剂与A液的缓凝时间宜大于72h，掺加稳定剂后28d的强度应不低于未掺加前强度的100%，A液泌水率3h不大于5%，24h不大于20%。氯离子含量小于0.1%。

4.5.3 应储存在密闭容器内，做好防冻、防晒、防潮措施。

4.5.4 每20t为一批次，不足20t的按一批次计。

## 4.6 矿物掺合料

4.6.1 双液注浆用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、磷渣粉、硅灰、钢渣粉、石灰石粉等矿物掺合料，应符合下列规定：

1 粉煤灰宜选用F类Ⅱ级灰以上的规定，烧失量不宜大于8.0%，三氧化硫含量不宜大于3.5%，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/T1596的规定；

2 配制具有高抗渗、抗腐蚀要求的双液浆材料宜掺用粒化高炉矿渣粉，宜采用型号不低于S95级，粒化高炉矿渣粉其他性能指标应符合现行国家标准《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T18046的规定；

3 粒化电炉磷渣粉的安定性等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电炉磷渣粉》GB/T26751的规定；

4 硅灰应符合现行国家标准《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T27690的规定；

5 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/T20491的规定；

6 石灰石粉的亚甲蓝（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/T35164的规定；

7 复合掺合料应符合现行行业标准《混凝土用复合掺合料》JG/T486的规定。

4.6.2 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》GB6566的规定。

# 5 配合比设计

## 5.1 双液浆材料性能

5.1.1 同步双液注浆浆液性能和硬化后的性能应满足工程设计规范要求和施工要求。

5.1.2 水泥浆的水灰比宜控制在0.5~2。

5.1.3 膨润土浆应提前拌制，其性能指标宜符合表5.1.1的要求：

表5.1.1 膨润土浆性能及检测频率

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 名称 | 性能指标 | 检测频率 |
| 比重 | ≤1.1 | 每工作班组抽检一次 |
| 3h胶体率/% | ≥90 | 每工作班组抽检一次 |

5.1.4 A液性能及检测宜符合表5.1.2的要求：

表5.1.2 A液浆性能及检测频率

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 名称 | 性能指标 | 检测频率 |
| 比重 | ≥1.2 | 每工作班组抽检一次 |
| 3h胶体率/% | ≥90 | 每工作班组抽检一次 |

5.1.5 双液浆成品性能及检测宜符合表5.1.3的要求：

表5.1.3 双液浆成品性能及检测指标

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 指标项目 | 指标 | 检测频率 | 备注 |
| 凝胶时间/s | ≤60 | 每一工作班组取样一次，每次不少于2组 | A、B组分混合呈啫喱状  且出现挂杯现象的时间 |
| 3d水陆强度比/% | ≥80 | 同批次材料取样一次，每次不少于2组 | 50mm×50mm×50mm  成型立方体试件 |
| 28d水陆强度比/% | ≥85 | 同批次材料取样一次，每次不少于2组 |
| 1d强度/Mpa | ≥0.2 | 每一工作班组取样一次，每次不少于2组 |
| 28d强度/Mpa | ≥1.0 | 每一工作班组取样一次，每次不少于2组 |

5.1.6 抗压强度试件应采用50mm\*50mm\*50mm的立方体试模成型，其成型方法应符合《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T70的有关规定；试件的养护应符合《水泥胶砂强度检验方法（IOS法）》GB/T17671的有关规定，试件养护应采用水中养护，不得采用标准养护或自然养护；抗压强度试验方法及评定应按照附录A的规定要求。

## 5.2 配合比设计

5.2.1 配合比设计应充分考虑施工掘进速度、盾构设备参数、水文地质条件等情况。

5.2.2 双液浆配合比宜符合以下要求：

表5.2.1 双液浆配合比

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| A液(Kg) | | | | | B液(L) |
| 水泥 | 矿物掺和料 | 膨润土 | 稳定剂 | 水 | 水玻璃 |
| 200~450 | 100~300 | 30~120 | 1~10 | 600~900 | 20~150 |
| 注：A液一般按质量比进行试配，而A液B液的掺配比例则按体积比 | | | | | |

5.2.3 配合比试配应采用工程实际使用的原材料，通过双液浆性能试验确定。

5.2.4 稳定剂根据浆液性能按需选用，并严格按照材料性能适用掺量使用。

5.2.5 根据盾构机双液浆设备性能，混合浆液离开混合口的胶凝时间宜控制在30s内。

# 6 主要设备

## 6.1 一般规定

6.1.1 同步双液注浆主要设备应包括制浆设备、运输设备、注浆设备、清洗设备等。

6.1.2 主要设备的配备应与施工现场实际状况、地层地质、盾构设备配置、施工组织进度需求、设计规范要求情况相适应。

6.1.3 双液浆主要设备应及时保养保修，保证设备的完好率。

## 6.2 制浆设备

6.2.1 浆液制备应由制浆站或制浆搅拌楼来完成，制浆站可设于地面或盾构机尾部，制浆站可根据现场实际灵活布置，布置时应考虑材料的一用一备，宜考虑信息化、自动化需求，必须符合环保绿色施工要求。

6.2.2 制浆站设备应由水泥浆系统、膨润土浆系统、搅拌系统、储浆系统组成，水泥浆系统包括水泥存储罐（含输送系统）、掺合料存储罐（若有）（含输送系统）、外加剂储罐（含泵送系统）、水箱（含泵送系统）、计量系统、搅拌系统、泵送系统组成。膨润土浆系统由膨润土存储罐（含输送系统）、计量系统、搅拌系统、泵送系统组成。搅拌系统由搅拌筒（锅）系统、泵送系统、集成总控系统组成。储浆系统一般由储浆罐、泵送系统、出料系统组成。

6.2.3 双液浆制浆站的A液制备系统、压注系统、泵送系统均应设置计量装置，计量装置应经计量单位校验合格后方可使用。

6.2.4 采用的电子计量设备，精度应符合相关要求，每一工班施工前应进行零点校准。

6.2.5 原材料计量允许偏差应符合如下要求：

表6.2.1 原材料计量允许偏差

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 原材料名称 | 水泥 | 膨润土 | 水 | 外加剂 |
| 每盘计量允许偏差（%） | ±1 | ±1 | ±1 | ±1 |

6.2.6储罐存量、制浆设备功率等可根据施工进度、注浆工程量考虑选用。

## 6.3 运输设备

6.3.1 双液运输设备应根据实际施工需求进行选择，可采用混凝土罐车、砂浆罐车运输，有条件的也可以采用管道运输。

6.3.2 采用管道运输时，应充分考虑运输距离、泵送能力、闸阀控制、管道清洗、浆液凝结时间、浆液附壁、沉淀结块等因素的影响。

## 6.4 注浆及清洗设备

6.4.1 双液注浆设备及管路清洗设备系统应包括中控平台、储浆罐、泵送压注系统、清洗系统，压注泵的功率选择宜与地层压力、浆液稠度相匹配。

6.4.2 双液注浆系统在盾构机上中控室及注浆处均应设置中控平台，中控平台主要由A液泵站、B液泵站、反冲洗泵站及反冲洗控制单元组成，双液同步注浆系统操作应分为手动与自动两种方式。

6.4.3 A、B液注浆泵均应采用变频控制，管路均应配有压力传感器和流量传感器，用来检测A液和B液的注入压力和流量，通过变频器来控制注浆需求量。

6.4.4 压力装置及流量装置均应经计量单位校验合格后方可使用。

6.4.5 盾尾内双液注浆管布置宜采用内嵌式，每组一般由1个A液管、1个B液管、1个水洗管和1个活塞管组成，注浆管布置与标识要清晰，注浆管路均应配置备用管路。

# 7 施工

## 7.1 一般规定

7.1.1 在开工前应制定详细的注浆作业指导书，并进行详细的浆材配比试验，选定出合适的浆液配合比。

7.1.2 浆液拌制前检查设备性能及其密封效果是否良好，出现设备故障或泄露状况应立即修整。

7.1.3 应严格控制A液拌和、A液与B液压注顺序、流速、流量、注浆压力等，保证浆液及时且饱满的充填，注入完成后应对管片背后浆液进行检测。

7.1.4 A液静置时，应保持搅拌，再次使用前应取样测试浆液是否满足要求。

7.1.5 盾构装机期间应严格控制盾尾刷的安装质量及双液浆注浆孔（管道）畅通，盾构掘进时应保证盾尾油脂的饱和注入，防止双液浆浸入盾尾，造成盾尾刷的硬化影响盾尾的密封效果。

7.1.6 掘进完成后应及时清洗管道、喷嘴处的浆液，若发生堵管现象，宜利用高压清洗设备或其他设备进行有效疏通。

7.1.7 因设备故障、更换刀具、工人倒班等因素造成盾构长时间停机时，应对注浆管路、盾尾、注浆泵、储存罐等进行清洗和保护，确保盾构恢复掘进时设备正常。

## 7.2 施工流程

7.2.1 双液浆施工宜按下列流程来控制：



7.2.2 施工应根据注浆施工设计和工艺流程及注浆质量控制程序，严格要求实施注浆，检查、记录、分析，及时做出注浆压力、注浆量与时间、地层的关系，分析注浆速度与掘进速度的匹配关系，根据注浆后的实时检测、洞内、地层的监测结果，评价其注浆效果，反馈指导下次注浆施工。

7.2.3 施工应严格操作流程、加料顺序、配合比例等参数，冬季做好加热保温工作。

## 7.3 施工工艺

7.3.1 施工过程应符合下列规定：

1 拌制A液的原材料必须检验合格，严禁未检先用。

2 水泥浆液应根据配合比参数，将水泥、水、稳定剂按照比例拌制水泥浆液。

3 膨润土浆液应根据配合比参数，将膨润土、水按照比例拌制膨润土浆液。

4 根据配比参数，将水泥浆液与膨润土浆液混合。

5 浆液应搅拌均匀，全部材料投料完成后开始计时，搅拌时间不宜小于60s。

6 A液浆拌制时应严格加料顺序，膨润土浆液首先拌制，浆液拌制时间不得少于10min，再对水泥、掺合料（如有）、外加剂浆液拌制，强制拌制时间不得少于5min，双双拌制均匀后再进行混合搅拌，形成A液浆，A液浆搅拌时间应不少于5min。

7 A液浆拌制完成后及储存至储存罐后应不停地进行搅拌。

8 A液浆液的存储时间不宜超过24h，超过24h的浆液应观察检测水泥浆的沉淀、附壁、粘度、泵送、凝结时间等指标，合格后方可使用。

7.3.2浆液及存储应符合下列规定：

1 同步注浆材料浆液的搅拌运输车应符合《混凝土搅拌运输车》GB/T 26408规定。

2 运输车装料前，罐内应无积水、积浆或杂物，运输过程中不应向车内加水。

3在装料、运送过程中，运输车应全程搅拌，应保持其均匀性，不产生分层、离析现象。

4 A液材料运输至盾构机台车储存罐，经台车自带搅拌装置拌制后，利用转运泵泵送至盾构机浆罐存储。

5 B液为成品液，可直接运输至盾构机后配套台车底部储存罐，再转运至盾构机一号台车存储罐。

6 管道运输时对泵的类型、功率选择视施工长度、浆液稠度等情况而定，保证管道密封性、安全性、方便性。

7浆液管道运输时，要经常保持管道的清洁性，每班清洗不少于1次。

7.3.3双液施工应符合下列规定：

1 根据地层条件、注浆方式、管片强度、浆液性能和土仓压力等综合因素确定注浆压力。

2 单个衬砌环的理论注浆量计算:

Q=V λ （7.3-1）

（7.3-2）

式中：Q—单个衬砌环的理论注浆量计算（m³）；

V—盾构施工注浆空隙体积（m³）；

λ—注浆量充填系数（%）；

D1—盾构切削外径（m）；

D2—预制管片外径（m）；

L—管片衬砌环节宽（m）。

3 注浆量充填系数应根据地层条件、施工状态和环境要求确定，充填系数宜为1.2-2.5。

4 根据洞内管片变形和地面及周围建筑物变形监测结果，及时进行信息反馈，修正注浆参数设计和施工方法，发现情况及时解决。

5 注浆作业应用多点方式注浆，注浆速度应根据注浆量和盾构掘进速度确定，并应与盾构掘进同步进行。

6 浆液应易于压注，且在注浆作业过程中不应产生离析和分层。

7 注浆作业应连续进行，并配置注浆量、注浆压力、注浆时间等参数自动记录系统。

8 注浆作业过程中应实时监控注浆量及注浆压力变化，浆液应填充密实。

9 上一环管片拼装完全后盾构机掘进约50mm时，应开始同时压注A液、B液，根据地层情况设定注浆压力、注浆量等参数。

10 距离每环掘进结束约100mm时，仅注入A液，停止B液压注。

11 做好注浆设备的维修保养，保证注浆作业顺利连续不中断进行。

7.3.4 注浆管路清洗应符合下列规定：

1 每环掘进完毕后停止注浆，打开冲洗水开启正洗模式，将盾尾内管道冲洗干净。

2 伸出堵塞油缸，将管路封死。

3 开启逆洗模式，将外部管道冲洗干净，防止浆液挂壁结晶。

4 注浆管路应定期拆洗，时刻保证管路的注浆流量，附着在管道内的水泥凝结物及时清理，宜每周清理1次。

7.3.5 停机时应符合下列规定：

1 当盾构需停机时，停止一切注浆工作，立即进行管路清洗工作。

2 当停机时间过长或停机时间不确定时，应对所有管路进行清洗。

3 盾构停机后，对双液浆混合段应进行浆液更换，浆液可选用膨润土浆。

4 盾构停机后，贮存罐、运输罐、管道中所有的A液应妥善处理，当停机超过48h时，应全部处理，防止凝固充满，造成不必要的损失。

## 7.4施工应急处理

7.4.1 管路堵管的应急处理应符合下列规定：

1 当注浆管路被堵时，应立即拆解，马上启动备用管路。

2 管路进行疏通时，可采用高压水冲、机械、人工清理等方法，修复后再反复使用正洗、逆洗，直至恢复原样，保证注浆效果。

3 管路处理过程中应加强对压力传感器、流量传感器的保护，保证数据的正确性。

7.4.2 注浆系统自动方式失效应急处理应符合下列规定：

1 注浆系统自动方式失效或控制不畅应立即转换手动方式。

2 对注浆中控平台进行诊断修理，修复完成后再开启自动方式。

## 7.5 施工安全

7.5.1 双液注浆施工应采取安全第一，预防为主的原则。

7.5.2 在制浆施工中，要注意用电安全、机械安全、高空作业安全、管道压力安全，搅拌筒、搅拌罐、贮存罐注意防护安全。

7.5.3 在运输过程中要注意运输安全、管道压力安全、机械设备运转安全，防止溜车、碰撞等安全问题。

7.5.4 在注浆与清洗过程中注意管道压力安全、高空作业安全、机械运转安全，B液水玻璃有腐蚀性，不小心溅入眼睛内应立即用清水冲洗。

7.5.5 环形间隙不够，结构与地层变形不能得到有效控制或变形危及地面建筑物安全时，或存在地下水渗漏区段，在必要时通过吊装孔或二次注浆孔对管片背后进行二次注浆。

# 8 质量检查及验收

## 8.1 一般规定

8.1.1 同步双液注浆的质量检查与验收应分为原材料质量控制、拌合物质量控制及施工质量验收三个阶段。

8.1.2 同步双液注浆是盾构隧道的一个分项工程，施工质量验收应按国家现行标准《盾构法隧道施工及验收规范》（GB 50446）等有关规定执行。

8.1.3 施工期双液浆施工质量同步检测包括浆液的充盈率和覆盖率，充盈率宜采用探地雷达法，覆盖率宜采用弹性波法。

## 8.2 原材料质量检验

8.2.1 双液浆原材料在进场时，应按规定批次验收，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，并按检验批随机取样进行原材料进场检验。

8.2.2 双液浆材料进场后应及时进行抽检，合格后方可用于施工。

8.2.3双液浆原材料的检验应符合第4章的要求。

## 8.3 双液浆拌合物质量检验

8.3.1 双液浆拌合物的性能指标应符合第5章性能指标要求。

8.3.2 拌合物的检验应符合下列要求：

a浆液比重试验按照《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50）附录D执行。

b 胶体率试验应按照《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50）附录D执行。

c 双液浆凝胶时间试验应按照《水泥-水玻璃灌浆材料》JG/T 2536执行。

## 8.4 双液浆成型质量验收与检验

8.4.1同步注浆质量检验应符合《盾构法隧道施工及验收规范》（GB 50446）规定。

8.4.2双液浆成型后的质量验收除应符合第5章要求外，其探地雷达法或弹性波法检验还应合格。

8.4.3双液浆成型检验应符合下列要求：

a 强度试验应符合本规程附录A的规定。

b 水陆强度比试验应符合《盾构法隧道同步注浆材料应用技术规程》T/CECS 563规定。

c探地雷达法注浆质量检验应符合本规程附录B的规定。

d弹性波法注浆质量检验应符合本规程附录C的规定。

## 8.5 探地雷达法注浆质量检验

8.5.1 探地雷达法注浆质量检验应按下列规定执行：

1 施工期壁后注浆检测应以提升注浆及施工质量为目标，加强检测的实时性，并反馈施工。

2 同步检测是在注浆施工同步进行，服务于注浆施工参数调整，并发现壁后注浆缺陷；对同步检测发现的注浆薄弱区域宜进行跟踪检测，验证补注浆对注浆质量的提升效果。

3 应对每环管片实时检测，检测宜覆盖隧道顶部环向90°至270°范围，实际范围可根据盾构车架前方实际条件设定，检测设备的运行不应影响盾构正常施工。

8.5.2 探地雷达法注浆质量检测范围与模式应满足下列要求：

1 为提供盾构同步注浆控制的实时性，探地雷达检测宜与盾构施工同步，检测范围覆盖所有管片环。

2 为提供反馈的时效性，检测位置应位于盾构盾尾刷后2-5环管片范围内。

3 应对每环管片实时检测，检测范围根据盾构车架前方实际条件宜设定为90-270°，且不应影响盾构正常施工。

8.5.3 探地雷达法注浆质量检测中，壁后注浆应根据地层条件、施工工艺，根据检测范围实际填充量与理论孔隙量的比值，进行质量评判，具体评价标准应参考表8.5.3-1~8.5.3-2，可将质量划分为优良、合格及不合格三个等级。

表8.5.3-1 施工期壁后注浆质量评价标准

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 地层条件 | 施工及注浆工艺 | 充盈率（%） | | |
| 饱满 | 良好 | 薄弱 |
| 砂质地层 | 盾构同步注浆 | >110% | 80%~110% | <80% |
| 粘质地层 | >110% | 90%~110% | <90% |
| 硬岩地层 | >100% | 80%~100% | <80% |

表8.5.3-2 运营期壁后注浆质量评价标准

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 地层条件 | 运营期注浆质量检测 | 充盈率（%） | | |
| 饱满 | 良好 | 薄弱 |
| 砂质地层 | 盾构同步注浆 | >110% | 80%~110% | <80% |
| 粘质地层 | >110% | 90%~110% | <90% |
| 硬岩地层 | >100% | 80%~100% | <80% |

## 8.6 弹性波法注浆质量检验

8.6.1 弹性波法注浆质量检验应按下列规定执行：

1 本节适用于采用弹性波检测法进行盾构隧道同步注浆的注浆层充盈率检测。按本节进行检测时，除应遵守本节的规定外，尚应符合国家现行的有关规程的规定。

2 进行缺陷检测时，被检测区域应满足以下两个条件：被检测部位至少有一个相对平整的检测面；检测区域分为注浆中区域及注浆完成区域。

8.6.2 弹性波法注浆质量检测设备及性能指标应包含下列内容：

1 弹性波检测法作为一种无损检测方法，其主要设备由数据采集仪、检波器及耦合装置、笔记本电脑、主电缆、激发装置、电源等组成。

2 各道检波器之间固有频率差应不大于5%，灵敏度差应不大于5%，相位差应小于5度。

3 绝缘电阻不小于10MΩ。

4 应有良好的防水性能。

8.6.3 弹性波法注浆质量检测设备的技术要求应满足下列要求：

1 激发器可使用锤击震源和落重震源等。震源应能激发所选工作方法需要的主频地震波，能量可控并符合探测深度要求。锤击震源和落重震源应操作方便、重复性好，且记时信号延迟时差不大于0.5ms。

2 数据采集仪宜选用12 道或24 道数据采集仪，具有信号增强、延时、内外触发、前置放大、滤波、数字采集等功能。其主要技术性能指标应符合国家现行有关标准的要求，且应具有采集、储存数字信号和对数字信号处理的智能化功能。采样率可选、最小采样间隔不大于0.05ms。

8.6.4 弹性波法注浆检测效果评价可参考表8.6.4-1划分，弹性波检测法评价标准可为合格和不合格。

表8.6.4-1 注浆效果评价标准

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 注浆效果评价标准表 | | |
| 覆盖率 | 合格 | ≥ 85% |
| 不合格 | < 85% |

注：覆盖率指隧道内单位延米范围内注浆面积与区域总面积的比。

本规程用词说明

**1** 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样不可的用词：

正面用词采用“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：

正面词用“宜”，反面词用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，釆用“可”。

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

# 引用标准名录

1 《盾构法隧道施工及验收规范》GB 50446

2 《通用硅酸盐水泥》GB175

3 《工业硅酸钠》GB/T 4209

4 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T1596

5 《膨润土》[GB/T 20973](http://www.baidu.com/link?url=72WVfedNQAUyKQbBX-DJZTXHDMuPvJZqL4FBFMXuw3ajGOXYfdQZhNoB0EaW9DZw8PdQNxT_Re2dFzvL6P7OrK" \t "_blank)

6 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596

7 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T18046

8 《用于水泥和混凝土中的粒化电炉磷渣粉》GB/T26751

9 《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T27690

10 《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》GB/T20491

11 《用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉》GB/T35164

12 《建筑材料放射性核素限量》GB6566

13 《水泥胶砂强度检验方法（IOS法）》GB/T17671

14 《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50）

15 《混凝土用水标准》JGJ63

16 《混凝土用复合掺合料》JG/T486

17 《盾构法隧道同步注浆材料应用技术规程》T/CECS56316 《建筑施工机械与设备 湿拌砂浆搅拌站》JB/T 11859

18 《水泥-水玻璃灌浆材料》JG/T 2536

19 《建筑工程水泥-水玻璃双液注浆技术规程》JGJ/T 211

20 《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T70

# 附录A 注浆材料抗水分散试验

A.0.1 本方法适用于注浆材料抗水分散性能的测试，实验室温度应控制在20℃士2℃，相对湿度大于50%。

A.0.2 试验用仪器设备应符合下列规定:

1 应采用50mm×50mm×50mm的立方体试模，试模材质应符合现行行业标准《混凝土试模》JG 237的规定，试模应拼接牢固，振捣时不应变形。

2 水箱高度不小于105mm， 长、宽尺寸宜满足能够容纳试模的要求，水温保持在20℃士3℃。

3 漏斗下口端面应为平面，尺寸宜满 足以下要求:漏斗下口内径25mm，管高80mm，漏斗高260mm。

A.0.3 同步注浆材料水下成型与养护应按下列步骤进行:

1 将试模放人水箱，向水箱中注人水，超出试模上表面的水面高度不应小于10mm。

2 同步注浆材料试样的制备应符合现行行业标准《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T70 的有关规定。

3 手持漏斗应保持漏斗下口端面高于水面10mm-20mm，向漏斗持续倒人注浆浆液，同时将漏斗缓慢插人试模底面，漏斗下口端面应紧贴试模内底面，缓慢上提漏斗应使浆液填充满试模，此过程应在30s内完成。

4 应按本条第1款一第3款步骤依次填充剩余试模，完成水下试件的成型。

5 成型完毕后 ，应及时将漏斗抽离水面，并将试模从水中取出，静置5min-10min，使注浆材料浆体上附着水流出。

6 用木锤轻敲试模的两个侧面以促进排水，抹平试件表面后，应将试模放回水中养护。

7 带模养护3d后拆模，拆模后应将试块继续放人水中养护，养护全过程的水温应为20℃士3℃，养护至28d龄期后，进行试验。

A.0.4 空气中同步注浆材料的成型与养护试验应符合现行行业标准《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T70的规定。

A.0.5 水泥基同步注浆材料抗压强度试验应按本规程第4.2.5条进行。

A.0.6 水陆强度比应按下式计算：

式中：SR——水陆强度比（%），精确至0.1；

Sw——水中成型试件的28d抗压强度（MPa）；

Sa——空气中成型试件的28d抗压强度（MPa）。

# 附录B 浆液试块抗压强度试验评定

B.0.1 评定强度应以标准养护28d的试件为准，试件为边长50mm的立方体，每组6个试件。制取组数应符合下列规定:

1、浆液应随机取样，分别制取试件，每工作班应制取2组，每组6个。

2、试块制取与盾构掘进同条件养护，以检查各施工阶段强度。  
B.0.2 试验 及计算方法应符合现行《建筑砂浆基本试验方法》(JGJ/T 70)、《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》( GB/T17671)的规定。  
B.0.3 水泥砂浆 强度的合格标准应符合下列规定:

1、每组试块测定6个抗压强度值，平均强度不低于设计强度等级。

2、任意一组的强度不低于设计强度等级的85%。  
B.0.4 实测强度评为不合格时，相应分项工程应为不合格。

# 附录C 探地雷达法检验流程

C.0.1 检测装备

1 雷达设备应具有防尘、防潮、防震性能，并应满足现场温度和湿度环境的要求。

2 雷达设备必须按规定定期检查、自校准和保养。

3 雷达天线中心频率宜在300-900MHz，可采用单频或多频组合天线。天线的主要参数应满足附表C.0.1-1的要求。

附表C.0.1-1 探地雷达检测设备要求

|  |  |
| --- | --- |
| 探地雷达参数名称 | 参数取值范围 |
| 中心频率 | 300~900 MHz |
| 最小探测深度 | >1m |
| 垂直分辨率 | >2cm |
| 系统增益 | ≥ 50dB |
| 系统分辨率 | ≥ 5ps |
| 信噪比 | ≥60 |
| 采样间隔 | ≤0.5ns |
| 工作环境温度 | -10~+40℃ |

4 为实现同步注浆同步检测，提升同步注浆施工反馈及质量控制水平，同步注浆施工期检测应配备自动化检测装备：

a 自动化检测装备硬件上应实现探地雷达、运动装置一体化设计，并与盾构机融合，并便于与盾构操控平台实现数据传输；

b 装备应采用模块化设计，便于现场安装于拆解；

c 软件上数据采集、处理、解译应实现一键化操作，提升检测效率；

d 同步注浆解译时间不应大于30分钟。

C.0.2 检测流程

1 装备生产、安装与调试

a 雷达检测装备安装前，应进行实地踏勘，确定装备安装位置及测试角度，并据此进行装备设计；

b 应在盾构机始发前完成设备调试；

2 测线布置于数据编录，应对每环管片进行不少于1次环向检测中并以“隧道名称-环号-检测次数”进行命名。雷达数据文件保存路径及文件名应包含隧道名称、测线环号、天线主频等信息，并创建单独文档记录于检测角度对应的雷达数据。

3 自动化装备参数设置包括：

a 检测起始和终止角；

b 检测速度；

c 连续采集还是点测模式。

4 探地雷达检测采集参数包括时窗长度、采样点数、叠加系数、增益、道间距等，应按如下原则进行设置：

a 时窗长度

应结合检测需求的深度、获取的结构介电常数计算最大深度处的双程走时，宜取双程走时的1.15~1.35倍作为时窗长度。

b 采样点数

结合检测速度设置采样点数，宜为512或1024采样点。

c 叠加系数

根据现场采集环境的干扰强度设置叠加系数，宜为2-5。

d 增益

增益宜使得最大正负波形幅度占调试窗宽度的50%-70%，避免信号微弱或过饱和。

e 道间距

道间距根据检测精度需要进行设置，宜为2cm-5cm。

C.0.3 数据处理流程

1 数据处理流程包括消除直达波、背景消除、信号增益、滤波、成像、图像解译，按图7.5.1所示流程进行：

a 消除直达波

根据信号波形、振幅等特征采用相关算法消除直达波。

b 背景消除

采用消除平均值等方法去除来自衬砌表面的多次反射波。

c 增益

宜调整增益至最大正负波形幅度占调试框宽度的50%~70%，或通过自动增益进行调节。

d 滤波

结合天线的中心频率，可通过带通滤波、低通滤波和高通滤波方法对电磁波干扰信号进行消除。

e 成像

根据不同频率天线的测试结果，宜采用双频相干向后投影等算法进行成像。

f 图像解译

根据不同检测对象的电磁回波特征可采用智能化算法等方法剔除成像结果中的干扰信息，输出注浆成像结果解译图表。



图C.0.3-1 探地雷达数据处理流程

2 解译结果应反映管片、注浆及围岩分布，给出注浆填充效果。按照附表C.0.3-1所示生成注浆质量检测结果统计表。

附表C.0.3-1 探地雷达检测注浆质量统计表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 检测项目 | 里程范围 | 环号 | 检测结果 | | | | |
| 设计值 | 检测值 | | | 评价结果 |
| 最大值 | 最小值 | 平均值 |  |
| 注浆厚度 |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

# 附录D 弹性波法检测流程

D.0.1 检测操作流程

1 检测准备：应按仪器设备的检验周期和技术指标对仪器进行定期检验，每次检验的结果应有记录。现场工作前，应对仪器进行检查，在同一检测区作业的多台同类型仪器应在同一测点上采用相同的检波器阵列和数据采集参数进行一致性对比。

2 测网和测线布置：检测点原则上布置成方格状（测网）或排成线状（测线）。测网或测线布置应根据任务要求、探测目标的规模与埋深等因素综合确定，测网和工作比例尺的选择应能反映探测的目的体，并可在平面图上清楚地标识出其位置和形态。测线可根据需要设定任意方向，也可以是任何形状的曲线，如有其他检测方法的测线存在，宜与其它检测方法的测线一致，如无其他特许要求，测线应平行于衬砌环向，并应避开干扰源当测区边界附近发现重要异常时，应把测线适当扩展到测区外追踪异常。

3 检测参数：检测参数包括激发点到接收点的距离（称为震源偏移距），冲击锤的激发力度，测点密度，数据记录长度和采样间隔。一般的，如果要检测出的最小缺陷为半径D，埋深H的圆，震源偏移据为dx，测点间距为Dx应满足：dx≤2D；dx≤H；Dx≤2D，dx应取2个判断标准中之小者。数据采样间隔最低应不大于0.0001秒，记录长度应保证记录波形完整，并有足够长度涵盖来自最深缺陷的信息。

4 检测形式：针对盾尾注浆区域采用随行式2维/3维阵列采集方式，沿盾构衬砌环向进行测线布置。道间距设置为10-50cm，偏移距亦为10-20cm。采样间隔20.833µs，记录时长为0.171s。每一组数据记录8192个数据点。震源的频率大小由锤子的形状、重量以及与衬砌表面的接触状态等因素决定，一般来说震源的频率大小与激发源质量大小成反比。选用50g小铁锤作为激发源，激发频率范围为800～4000Hz。

5 弹性波检测法检测仪器表应满足附表D.0.1-1的要求。

附表D.0.1-1 弹性波检测法检测仪器表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 名称 | | 具体参数 | |
| 规格 | 数量 |
| 仪器 | 地震仪 | 记录通道：12/24道  模数转换：24bit  最小采样间隔：0.02ms  通频带：2～10000Hz  A/D 转换精度：≥16 bit | 1台 |
| 笔记本电脑 | 装有Geosismic、ImpactWP | 2台 |
| 电源 | 12V/20Ah | 1台 |
| 检波器 | 固有频率：4-200Hz  绝缘电阻：≥10MΩ | 若干个 |
| 激发器 | 计时信号延迟时差：≤0.5ms | 1个 |
| 线材 | 计算机连接线 | 长度：≥5m | 1条 |
| 电源线 | 长度：1.4m | 1条 |
| Tigger及连接线 | 长度：4.5m | 2条 |
| Tigger延长线 | 长度：≥5m | 1卷 |
| 检波器数据线 | 长度：≥10m | 2条 |
| 检波器连接线 | 长度：≥2.5m | 与检波器数目一致 |
| 地震仪连接线 | 长度：2.5m | 1条 |
| 检波器底座 | | 钢板、平整 |  |
| 辅助工具 | | 剪刀、卷尺、扳手、螺丝等若干 | |

D.0.2 数据处理及判断

1 预处理：对采集到的数据进行有效数据提取，对数据进行格式变换，加入检波器位置信息并消除干扰波。

2 波形剖面、频谱剖面：将预处理结果按照实际空间位置做成平面图即为波形剖面，并在此基础上开展频谱分析。

3 成像剖面：以同一条测线距离为横轴，波形采样时间为纵轴，以等高线或者颜色深浅来表示波形速度值大小，对波形剖面进行可视化处理。

4 响应能量分布：平均振幅定义为响应波形振幅绝对值的平均值，亦称为冲击响应强度。根据波形响应能量的不同定义欠充盈状态的注浆层。

5 卓越频谱分布：对波形进行FFT分析得到频谱分布图，取各测点卓越频谱对应的幅值即为卓越振幅值。根据卓越频谱分布的不同定义欠充盈状态的注浆层。

6 综合评价： 将波形分析结果及频谱分析结果的标准化响应能量进行拓扑加权处理，获取均一化后的综合响应能量。根据综合响应能量值的变化，可以定量的判断注浆体的空间分布，为欠充盈区域的补注浆提供参考。