T/CECSxxx-202x

中 国 工 程 建 设 标 准 化 协 会 标 准

**工程建设渣土固化剂应用技术标准**

Technical specification for solidification of engineering residual mud and muck

（**征求意见稿**）

（提交反馈意见时，请将有关专利连同支持性文件一并附上）

XXX出版社

中 国 工 程 建 设 标 准 化 协 会 标 准

**工程建设渣土固化剂应用技术标准**

（拟改名：工程余泥渣土固化应用技术规程）

Technical specification for solidification of engineering residual mud and muck

**T/CECS xxx－202x**

主编单位：中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

中国建筑标准设计研究院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X年XX月XX日

中 国 X X出 版 社

202X年 北 京

## 

**前　　言**

根据中国工程建设标准化协会《关于印发﹤2021年第二批协会标准制订、修订计划﹥的通知》（建标协字〔2021〕20号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分6章，主要内容包括：总则、术语、基本规定、固化土材料、固化土设计、固化土施工与验收等。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会建筑与市政工程产品应用分会归口管理，由中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议，请寄送中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司（地址：浙江省杭州市西湖区灯彩街321号，邮政编码：310030）。

主编单位： 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

中国建筑标准设计研究院有限公司

参编单位： 浙江大学

浙江工业大学

浙江华东工程建设管理有限公司

申能环境科技有限公司

主要起草人：

主要审查人：

**目 次**

**[1 总则 1](#_Toc118729500)**

**[2 术语 2](#_Toc118729501)**

**[3 基本规定 4](#_Toc118729502)**

**[4 固化土材料 5](#_Toc118729503)**

[4.1 工程余泥渣土 5](#_Toc118729504)

[4.2 固化材料 5](#_Toc118729505)

**[5 固化土设计 8](#_Toc118729506)**

[5.1 一般规定 8](#_Toc118729507)

[5.2 固化土配合比设计 8](#_Toc118729508)

[5.3 固化土测试 9](#_Toc118729509)

[5.4 固化土应用设计 10](#_Toc118729510)

**[6 固化土施工与验收 13](#_Toc118729511)**

[6.1 一般规定 13](#_Toc118729512)

[6.2 软土路基 13](#_Toc118729513)

[6.3 肥槽回填 15](#_Toc118729514)

[6.4 挡墙 18](#_Toc118729515)

[6.5 固化土砖 19](#_Toc118729516)

[附录A 高含水率工程余泥处置工艺 22](#_Toc118729517)

[附录B 固化土干湿循环性能测试方法 23](#_Toc118729518)

[附录C 固化土立方强度测试方法 24](#_Toc118729519)

[用词说明 25](#_Toc118729520)

[引用标准名录 26](#_Toc118729521)

附：[条文说明 27](#_Toc118729522)

**Contents**

**[1 General provisions 1](#_Toc117775928)**

**[2 Terms 2](#_Toc117775929)**

**[3 Basic requirements 4](#_Toc117775930)**

**[4 Solidified soil materials 5](#_Toc117775931)**

[4.1 Engineering mud and muck 5](#_Toc117775932)

[4.2 Soil stabilizer 5](#_Toc117775933)

**[5 Solidified soil design 8](#_Toc117775934)**

[5.1 General requirements 8](#_Toc117775935)

[5.2 Mix proportion design of solidified soil 8](#_Toc117775936)

[5.3 Testing method of solidified soil 9](#_Toc117775937)

[5.4 Application design of solidified soil 10](#_Toc118729510)

**[6 Construction and acceptance of solidified soil 13](#_Toc117775938)**

[6.1 General requirements 13](#_Toc117775939)

[6.2 Soft soil subgrade 13](#_Toc117775940)

[6.3 Fertilizer tank backfilling 15](#_Toc117775941)

[6.4 Retaining wall 18](#_Toc117775942)

[6.5 Muck brick 19](#_Toc117775943)

[Appendix A Test method for dry and wet cycling properties 22](#_Toc117775944)

[Appendix B Disposal process of high water content project residual mud 23](#_Toc117775945)

Appendix C Test method for cubic strength of solidified soil 24

[Explanation of wording 25](#_Toc117775946)

[List of quoted standards 26](#_Toc117775947)

Appendix: Explanation of provious [27](#_Toc117775948)

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范工程余泥渣土的固化推广应用，做到技术先进、安全可靠、确保质量、经济合理、保护环境，制订本规程。

**1.0.2** 本规程适用于工程余泥渣土固化应用的设计、施工和质量控制。

**1.0.3** 工程余泥渣土固化应用，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

# 2 术 语

**2.0.1**  工程余泥渣土 construction clay and residue

工程建设过程中产生的工程渣土、工程泥浆，及河湖库清淤产生的河湖库底泥，不包括其他建筑垃圾和生活垃圾。

**2.0.2**  固化剂 soil stabilizer

掺入工程余泥渣土后，通过和渣土、水、空气的物理或者化学反应，改善工程余泥渣土性能的材料。

**2.0.3**  A类固化剂 soil stabilizer A

加入工程渣土后，通过与无机结合料、工程渣土、水和空气的物理或化学反应，改善基土工程性能的外加剂，为粉体或液体。

**2.0.4**  B类固化剂 soil stabilizer B

加入工程渣土后，通过与工程渣土、水和空气的物理或化学反应，单独使用，不与无机结合料复掺使用的固化剂，为粉体。

**2.0.5**  无机胶结料 inorganic binders

由水泥、石灰、粉煤灰及其他工业废渣组成的混合材料。

**2.0.6**  固化土 solidified soil

在经过粉碎的或原来松散的土中掺入适量的无机结合料和水，掺入或不掺土壤固化外加剂，经拌合、压实和养生处理后形成的，符合工程性能要求的土体。

**2.0.7**  场地拌和法 site mixing method

场地混合处理法是在软土类工程渣土中直接加固化剂，原位拌和形成固化软土混合料的固化处理方法。

**2.0.8** 预拌流态固化土 premixed fluidized solidified soil

在土中加入一定量的固化剂和水拌合均匀，形成具有一定流动性，且凝固后能达到一定强度的混合物。

**2.0.9** 固化土砖 muck brick

工程渣土免烧砌块，以工程余泥渣土为集料，采用固化剂加水拌和，经压制或挤出成型、蒸压养护制成的实心砖或空心砖。

# 3 基本规定

**3.0.1** 工程余泥渣土固化的原材料应满足安全和环保要求。

**3.0.2** 工程余泥渣土固化的设计和施工应包括以下步骤：

**1** 材料的选用和检测；

**2** 固化土的配合比设计；

**3** 施工方案的编写；

**4** 固化土的施工；

**5** 固化土的检验和验收。

**3.0.3** 工程余泥渣土固化施工过程应保存完整的记录和试验报告。

**3.0.4** 工程余泥渣土固化的质量检测应包括：原材料性能检测、固化土性能检测、施工质量检测。

**3.0.5** 工程余泥渣土的环保性指标应符合国家标准《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》 GB 36600中对于第二类土的规定。

**3.0.6** 放射性指标应符合现行国家标准《建筑材料放射性核素限量》GB 65660的规定。

# 4 固化土材料

**4.1 工程余泥渣土**

**4.1.1**  工程余泥渣土应根据土工试验结果：天然含水率、pH级配，液塑限和有机质含量，分类堆放，分类固化。不应含有草皮、树根及生活垃圾，不符合要求的宜预筛分后使用。

**4.1.2** 工程余泥渣土的含水率应小于40%。对于含水率大于40%的渣土，宜预先进行泥水分离后使用；砂性泥浆，宜预先泥砂分离、脱水后使用。

**4.1.3** 工程余泥渣土应符合土的有机质含量小于5%，

**4.1.4**工程余泥渣土用作固化用土，宜使用细颗粒土，土的最大粒径宜不大于15mm，且粒径大于10mm土的质量应小于土总量的5%。

**4.2 固化材料**

**4.2.1** 固化材料宜包括固化剂、无机胶结料、水等材料。

**4.2.2** 无机胶结料应包括水泥、石灰、石灰-粉煤灰和复合胶结料等无机胶凝材料。

**4.2.3** 固化剂根据使用方式可分为A类固化剂和B类固化剂，固化剂性能指标应符合下列规定：

**1**  A类固化剂符合现行行业标准《土壤固化外加剂》CJ/T 486的规定。

**2** B类固化剂符合现行行业标准《软土固化剂》CJ/T 526的规定。

**4.2.4** 固化土混合料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。

**4.2.5** 水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175的规定。水泥应采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，强度等级不应低于42.5，不同等级、厂牌、品种的水泥不得混用。

**4.2.6** 生石灰应符合现行行业标准《建筑生石灰》JC/T 479的规定；消石灰应符合现行行业标准《建筑消石灰》JC/T 481的规定。

**4.2.7** 粉煤灰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。

**4.2.8** 工业废渣可包括高炉矿渣、钢渣、尾矿、赤泥、电石渣、废石膏、磷渣等，但需要符合固化和环保要求。

**4.2.9** 工业废渣复合配制的胶结料的物理指标应符合表4.2.9的规定。

**表4.2.9 工业废渣复合配制的胶结料的物理指标**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 指标 |
| 1 | 细度（80µm方孔筛筛余量）/% | ≤10 |
| 2 | 含水率/% | ≤1 |
| 3 | 凝结时间 | 初凝时间：≥45min  终凝时间：≤10h |

**4.3.10** 工业废渣复合配置的胶结料的浸出液重金属限值应符合表4.3.10的规定。

**表4.3.10 工业废渣复合配制的胶结料的浸出液重金属限值**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 限值（mg/L） | 检测方法 |
| 六价铬 | ≤0.005 | GB/T 15555.4 |
| 铜 | ≤1.0 | HJ 766 |
| 锌 | ≤1.0 | HJ 766 |
| 砷 | ≤0.01 | HJ 766 |
| 汞 | ≤0.001 | HJ 766 |
| 镉 | ≤0.005 | HJ 766 |
| 铅 | ≤0.05 | HJ 766 |

# 5 固化土设计

**5.1 一般规定**

**5.1.1** 工程余泥渣土固化形成固化土应进行配合比设计。

**5.1.2** 固化土配合比设计应根据工程余泥渣土的种类和土工试验数据，结合当地材料品质及供应等因素确定固化剂种类，再通过配合比设计试验，进行分析计算并经过技术经济比较，选用最合适的配合比。

**5.1.3** 固化土配合比设计时，固化土配合比宜采用质量比。固化剂掺量宜采用占干土质量的百分率表示。

**5.1.4** 固化土施工配合比设计时，应根据施工土料的含水量，确定实际施工配合比。

**5.2 固化土配合比设计**

**5.2.1** 采用水泥作为胶结料时，固化土中水泥推荐用量可按表5.2.1的取值确定初选水泥用量，并宜按初选水泥用量和增减2%掺量的3个对比用量。

**表5.2.1 固化土中水泥推荐用量**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 固化土强度范围（MPa） | 0.3~0.5 | 0.5~2 | 2~4 | 4~7 |
| 水泥掺量（%） | 2~4 | 3~8 | 5~10 | 10~20 |

**5.2.2** 采用石灰作为胶结料时，石灰用量可选取以土料干基质量3%~7%内的三个对比用量。

**5.2.3** 采用石灰-水泥混合胶结料时，石灰用量宜选取土料干基质量3%±0.5%（有效氧化钙），水泥用量可在4%~8%内选取3个用量，得到石灰和水泥的三个不同配比。

**5.2.4** 采用A类固化剂进行固化土试配时，宜选用三个不同固化剂掺加量进行对比试验，其中基准配合比的A类固化剂掺量为产品使用说明书中的推荐用量。另外两个配合比的固化剂掺量宜比产品推荐用量分别增加和减少20%；

**5.2.5** 固化土配合比设计应按固化土混合料的最佳含水率和最大干密度进行试件的成型测试。

**5.2.6** 固化土混合料应通过击实试验测定最佳含水率和最大干密度，试验方法应符合现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51的有关规定。

**5.2.7** 采用A类固化剂，不同配比的粉状或液体固化剂可先溶解于固化土混合料最佳含水率计算所得的水中，再与工程余泥渣土拌合，拌和方式可采用分批喷洒的方式，留有5%~10%固化剂水溶液于固化土成型后表面洒水。

**5.2.8** 采用B类固化剂，不同配比的粉状固化剂宜先与工程渣土直接拌合后，再调整固化土混合料为最佳含水率±2%。

**5.2.9** 采用石灰、石灰-水泥、石灰-粉煤灰胶结料时，石灰与土料应闷料4h~12h。

**5.2.10** 当对固化土的孔隙率有要求时，应通过调整发泡剂种类和用量，进行配合比试验。

**5.3 固化土测试**

**5.3.1** 固化土4h 凝结时间影响系数、水稳系数检测方法应按现行行业标准《土壤固化外加剂》CJ/T 486执行，28d抗冻性能检测方法应按现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51执行。

**5.3.2** 固化土7d 无侧限抗压强度检测方法应按照现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51执行。

**5.3.3** 固化土渗透系数和压缩系数检测方法应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB 50123的规定。

**5.3.4** 固化土养护28d后的干湿循环耐久性测试方法应符合附录A的规定。

**5.3.5** 固化土28d的浸出液中重金属含量应满足现行国家标准《地表水环境质量标准》GB 3838中IV类限值的规定。检测方法应按现行国家标准《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》GB5085.3执行。

**5.4 固化土应用设计**

**5.4.1** 工程余泥渣土固化形成的固化土，可应用于路基修筑、肥槽回填、挡墙、固化土砖等。

**5.4.2** 软土类工程余泥渣土制备的固化土应用于路基修筑，设计应符合下列规定：

**1** 固化土路基应根据道路功能、道路等级、交通量、工程地质、水文地质等条件，选择技术可靠，经济合理，施工方便的路基设计方案。

**2**  固化土路基设计时，根据土体的膨胀应变，可加入砂石料、纤维配筋、膨胀剂或收缩补偿剂。

**3** 固化土路基设计时，固化剂材料性能应根据试验数据取值。

**4** 固化土路基设计计算应按承载能力极限状态验算地基承载力及稳定性，对变形控制要求高的道路，还需按正常使用极限状态验算地基变形。

**5** 实验室应对工程土样进行土性检验和固化土配制试验，应出具试验报告。

**5.4.3**工程余泥渣土制备的预拌流态固化土应用于肥槽回填，设计应符合下列规定：

**1** 固化土配合比设计时，预拌流态固化土坍落度和扩展度指标应符合表5.4.3的规定。

**表5.4.3 预拌流态固化土坍落度和扩展度指标**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 指标 | 要求 |
| 1 | 坍落度(mm) | 150~240 |
| 2 | 扩展度(mm) | 400 |

注：固化土坍落度和扩展度的测定方法应参照现行国家标准《普通混凝土拌合物试验方法标准》GB/T 50080执行。

**2** 固化土立方抗压强度应满足设计要求，当没有明确设计要求时，固化土立方抗压强度宜不小于0.4MPa。

**5.4.4** 工程余泥渣土制备的固化土应用于挡墙，设计应符合下列规定：

**1** 固化土在水中浸泡至28d、90d、180d龄期，无侧限抗压强度不应随龄期的增长而降低。

**2** 挡墙高度不宜大于0.6m。

**3** 固化土挡墙结构沿长度方向应设置变形缝，变形缝可采用泡沫板分缝，分缝间距宜为15m~20m。

**4** 固化土挡墙设计墙顶标高应充分考虑工后沉降。

**5.4.5** 工程余泥渣土制备固化土砖，设计应符合下列规定：

**1** 块型为直角六面体。

**2** 砌墙砖的主规格尺寸为240mm x 120mm x 90mm或者90mm，其他规格由供需双方协商确定。

**3** 路面砖有如下规格：砌块边长：100mm、150mm、200mm、250mm、300mm、400mm、500mm；砌块厚度：50mm、60mm、80mm、100mm、120mm。

**4** 多孔砖孔型分为圆孔和非圆孔。孔洞率不小于25%，不大于60%。

**5** 其他设计要求应符合国家现行相关标准的规定。

# 6 固化土施工与验收

**6.1 一般规定**

**6.1.1** 固化土施工前应根据工程需要进行下列调查：

**1** 现场施工条件；

**2**  交通运输和环境条件；

**3** 工程材料来源、施工机械及主要施工设备的数量和规格。

**6.1.2** 固化土填筑施工前应根据现场条件制定施工方案。

**6.1.3**  固化土填筑应按施工方案，组织施工设备进场，并做好设备的安装和调试。

**6.1.4** 固化土填筑应按原材料使用计划，组织原材料进厂，并进行复核检验，满足要求后使用。

**6.1.5** 项目试验、检验、验收，应做到原始记录齐全、数据准确和资料完整。

**6.2 软土路基**

**6.2.1** 软土类渣土固化后应用于路基填筑，宜采用场地拌和法施工。

**6.2.2** 场地拌和法施工应符合下列规定：

**1**  施工场地应预先平整，清除地上和地下的障碍物。对土中含有较多的块石、大量植物根茎和高含量的有机质，以及地下水流速较大的工程，应根据现场试验结果确定固化剂适用性。

**2** 采用粉状固化剂进行固化施工时，应根据软土表层地基承载力条件选择机械拌合或人工拌合。

**3** 施工工艺流程如图所示：

测量放线

搅拌机械就位、调平

预搅下沉至设计加固深度

喷浆(粉)搅拌提升直至停浆(灰)面

重复搅拌下沉至设计加固深度

压实

保养

图6.2.2 施工流程图

**4** 在预（复）搅下沉时，也可采用喷浆（粉）的施工工艺，必须确保加固深度范围至少再重复搅拌一次。

**5**  路基固化施工时采用的固化剂用量应高于室内配合比试验确定的用量。使用液体固化剂时，应增加设计浓缩液用量的10%~20%；使用粉状固化剂应增加干土重量的1%~2%。

**6** 施工过程中应严格按照施工参数和材料用量施工，并做好各项记录。

**7** 施工过程中应注意防排水及固化土的养护。

**8** 固化施工应建立健全施工规章制度。施工、试验、检测、验收的原始记录应齐全、数据准确和资料完整。

**6.2.3** 软土类工程余泥渣土用于路基填筑施工质量检验、验收与检测方法应符合现行行业标准《吹填土地基处理技术规程》GB 51064的规定。

**6.3 肥槽回填**

**6.3.1** 工程余泥渣土制备的预拌流态固化土可用于肥槽回填，固化土工艺指标要求应符合表6.3.1的规定。

**表6.3.1 固化土工艺指标要求**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 指标 | | 要求 |
| 1 | 净浆流动度（mm） | 初始 | ≥100 |
| 30min | ≥90 |
| 60min | ≥80 |
| 2 | 初凝时间（min） | | ≥45 |

**6.3.2** 固化土肥槽回填应根据现场施工场地、施工工期选择合适的制备设备。固化土制备设备宜包括土的筛分设备、固化剂浆液拌制设备和固化土拌合设备。

**6.3.3** 肥槽回填施工应符合下列规定：

**1**  固化土制备可分为两步：先将固化剂与一定量的水拌合成浆液，再将固化剂浆液与土进行拌合。固化土的制备工艺流程应符合图6.3.3的规定。

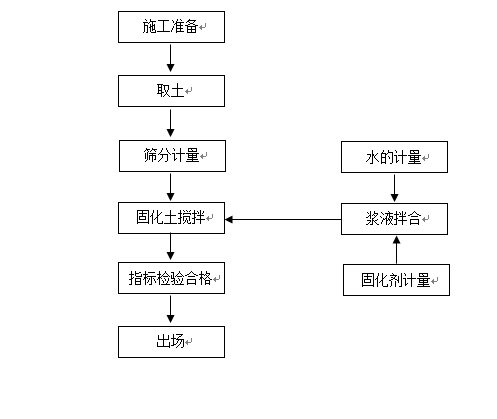


图6.3.3 固化土的搅拌工艺流程

**2** 混合料应使用专门机械搅拌并搅拌均匀，搅拌时间不少于2min。

**3** 固化土可采用现场搅拌直接浇筑，也可在搅拌站集中搅拌，通过混凝土罐车运输到现场进行浇筑。固化土搅拌至浇筑完成的时间不宜超过3h。

**4** 固化土宜采用分层进行浇筑。每层浇筑的厚度应通过核算、首次浇筑厚度不宜超过0.5m，每次浇筑厚度不宜大于3m，相邻片区浇筑高差不宜大于1m。

**5** 当浇筑基槽底标高不一致时，应按先深后浅的顺序施工。

**6** 当肥槽回填采用泵送施工时，出料不得直接冲击地下室外墙和支护结构。

**7** 当采用的固化土坍落度小于150mm，浇筑后要进行振捣。

**8** 固化土的指标除了强度，还包括坍落度和扩展度。当固化土的指标不满足设计要求时，应分析原因，并调整参数重新拌合。

**9** 原材料的计量设备应定期进行校准，校准频率为每3个月一次。

**10** 每一层浇筑完成后，应定期进行洒水养护。

**11** 填筑体顶层浇筑完后，应对填筑体表面覆盖塑料薄膜或土工布进行保湿养护，养护时间不少于7d。

**6.3.4** 质量检验与验收应符合下列规定：

**1** 固化土验收的检验批可根据施工需求、质量控制和专业验收的需要，按工程量、施工段、变形缝等进行划分。

**2** 固化土的质量检验项目应包括表6.3.4的所有项目。

**表6.3.4 固化土的质量检验项目**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 检验内容 | 分类 | 检查项目 |
| 材料 | 主控项目 | 固化剂 |
| 一般项目 | 水 |
| 土 |
| 固化土开盘鉴定 | 主控项目 | 资料检验和留置试块 |
| 一般项目 | 塌落度、扩展度 |
| 固化土施工 | 主控项目 | 强度试验 |
| 一般项目 | 塌落度、扩展度 |
| 施工现场条件检验 |
| 养护检验 |
| 标高检验 |

**3** 固化土应用于肥槽回填的施工质量检验与验收应符合国家现行有关标准的规定。

**6.4 挡墙**

**6.4.1** 工程余泥渣土制备的固化土可应用于挡墙，宜采用浇筑法或者原位拌合法施工。

**6.4.2** 固化土挡墙施工应符合下列规定：

**1** 施工段应进行测量放样并设标桩，标出挡墙上下边缘的设计高度。

**2** 挡墙可使用浇筑法施工，固化剂和工程余泥渣土采用强制式拌合机集中拌合后，浇筑入模，修整成型。

**3** 浇筑法施工宜采用直接泵送或配管泵送方式，泵送距离不宜大于200m。

**4** 现场支模应满足挡墙的宽度和高度的设计要求，并采用木桩或铁桩进行张拉和固定（包括控制高度）。

**5** 进料后应及时整形，可采用微型电动抹具或采用人工压实表面，浆料在模具内填实，不宜采用大功率振捣器进行振捣。

**6** 固化土挡墙原位搅拌分层施工时，上层拌合应略破坏下层表面，且深度不小于5cm。两层之间不得留有未掺拌固化剂的素淤泥土夹层。

**7** 自然养护7d后拆模，拆模应注意避免破坏挡墙。

**6.4.3** 挡墙质量检验应符合下列规定：

**1** 固化土质量检测的主控指标为固化剂原材料质量、固化土配比、28d无侧限抗压强度、干密度和孔隙率。

**2** 固化土质量检测的一般指标为挡墙顶标高、宽度、厚度。

**3** 单元工程施工质量合格的标准为：主控项目应符合质量标准，一般项目不少于80%的检查点符合质量标准。

**6.5 固化土砖**

**6.5.1** 工程余泥渣土固化土用于生产非烧结固化土砖，可采用挤出成型和压制成型的方法。

**6.5.2** 固化土挤出成型和压制成型土料粒度要求应符合表6.5.2的规定。

**表6.5.2 挤出成型和压制成型土料粒度要求**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 种类 | 颗粒类型 | 所占比例 |
| 挤出成型 | 砂粒+细砾粒 | 30%~75% |
| 粉粒 | 10%~30% |
| 粘粒 | 10%~40% |
| 压制成型 | 砂粒+砾粒 | 45%~80% |
| 粉粒 | 10%~30% |
| 粘粒 | 5%~25% |

**6.5.3** 固化土挤出成型生产可采用原材料处理、配料、搅拌、真空挤压成型、成品码垛、覆膜、养护的工艺流程。

**6.5.4** 固化土压制成型生产可采用原材料处理、配料、搅拌、加压成型、成品码垛、覆膜、养护的工艺。

**6.5.5** 固化土砖的产品性能检测指标为抗压强度、抗冻性能、干燥收缩率、吸水率、碳化系数、软化系数，检测方法应符合《砖砌墙试验方法》GB/T 2542。

**6.5.6** 固化土砖制品的抗压强度要求应符合表6.5.6的规定。

**表6.5.6 固化土砖制品的抗压强度要求**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 强度等级 | 抗压强度（MPa） | |
| 平均值 | 单块最低值 |
| MU5 | ≥5.0 | ≥4.0 |
| MU7.5 | ≥7.5 | ≥6.0 |
| MU10 | ≥10.0 | ≥8.0 |
| MU15 | ≥15.0 | ≥12.0 |
| MU20 | ≥20.0 | ≥16.0 |

**6.5.7** 固化土砖制品的抗冻性能要求应符合表6.5.7的规定。

**表6.5.7 固化土砖制品的抗冻性能要求**

| 使用地区 | 抗冻指标 | 质量损失率（%） | 强度损失率（%） |
| --- | --- | --- | --- |
| 夏热冬暖地区 | D15 | ≤5 | ≤25 |
| 夏热冬冷地区 | D25 |
| 寒冷地区 | D35 |
| 严寒地区 | D50 |

**6.5.8** 固化土砖的干燥收缩率、吸水率、碳化系数、软化系数技术要求应符合表6.5.8的规定。

**表6.5.8 固化土砖的干燥收缩率、吸水率、碳化系数、软化系数技术要求**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 类型 | 干燥收缩率（%） | 吸水率（%） | 碳化系数 | 软化系数 |
| 承重型 | ≤0.045 | ≤12 | ≥0.85 | ≥0.85 |
| 非承重型 | ≤0.065 | ≤12 | ≥0.80 | ≥0.75 |

附录A 高含水率工程余泥处置工艺

**A.0.1** 高含水率工程渣土压滤工艺流程可采用图A.0.1的工艺。

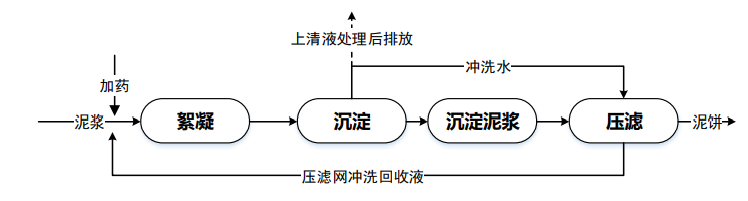


图 A.0.1 高含水率工程渣土压滤工艺流程

**A.0.2** 含砂高含水率工程余泥渣土宜采用泥砂分离后固化技术，宜采用图A.0.2的工艺。

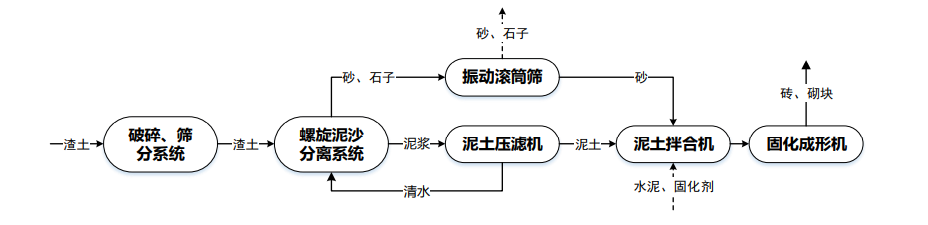


图 A.0.2 含砂高含水率工程余泥渣土泥砂分离后固化工艺

# 附录B 固化土干湿循环性能测试方法

干湿循环性能测试应按以下步骤进行：

**1** 试样直径可为3.5cm~4.0cm。试验高度宜为8.0cm。试件制备方法按照《土工试验规程》GB/T 50123中三轴压缩试验扰动土试件制备的规定。

**2** 试件于标准条件下养护28d。

**3** 测定参照样的无侧限抗压强度后，将各组试验样放入烘箱中低温烘干 24 h（保持 45±3℃）；

**4** 从烘箱中取出试样，常温下（20℃左右）放置 1~2h 后，将试样放入浸水容器中，向模具中加水没过试样表面1cm以上，将装有试样和水的容器置于室温条件下（20℃ 左右）静止 5h；取出时观察试样的变化情况，确定其完整性以及破坏情况，过滤收集浸水容器中剥落的土体，利用烘箱将其烘干并测定其质量。

**5** 将试样置于(20±2)℃的养护箱中静置 24h，即完成 1 次干湿循环，共进行 10 次循环，并测定各组试样经过 3、5、10 次循环后试样的无侧限强度。

# 附录C 固化土立方强度测试方法

**C.0.1** 固化土立方强度测试试验材料应符合下列规定：

**1** 固化剂应符合本规程第4.2.3条的要求。

**2** 水应符合本规程第4.2.4条的要求。

**3** 试验用土应采用工程实际用土。应在现场进行土的取样，取样点不少于3个，每个取样点不少于10kg，应于土层中部取样。取样后应充分混合备用。

**C.0.2** 固化土立方强度测试试件制备应符合下列规定：

**1**  按照配合比进行固化土拌合，装入试验模具。

**2** 试验模具应采用100mm x 100mm 的模具，试件的搅拌、成型与养护应按照现行行业标准《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 233的规定的方法执行。

**C.0.3** 固化土立方强度测试试验方法应按现行行业标准《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 233的规定的方法执行。

**用词说明**

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”。

# 引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本规程；不注日期的，其最新版适用于本规程。

《通用硅酸盐水泥》GB 175

《地表水环境质量标准》GB 3838

《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》GB 5085.3

《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》 GB 36600

《建筑材料放射性核素限量》GB 65660

《土工试验方法标准》GB 50123

《吹填土地基处理技术规程》GB 51064

《生活垃圾处理处置工程项目规范》 GB 55012

《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596

《砖砌墙试验方法》GB/T 2542

《固体废物浸出毒性测试方法》 GB/T 15555

《城镇道路工程施工与质量验收规范》 CJJ 1

《土壤固化剂应用技术标准》 CJJ/T 286

《土壤固化外加剂》 CJ/T 486

《软土固化剂》CJ/T 526

《建筑生石灰》JC/T 479

《建筑消石灰》JC/T 481

《公路路基集料实验规程》 JTG E 42

《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》 JTG E 51

《公路土工试验规程》 JTG 3430

《公路路基施工技术规范》 JTG/T 3610

**中国工程建设标准化协会标准**

**工程建设渣土固化剂应用技术标准**

T/CECS　xxx－2022

**条 文 说 明**

**制 定 说 明**

本规程《工程建设渣土固化剂应用技术标准》制定过程中，编制组进行了工程建设渣土固化技术的项目研究，总结了我国工程建设渣土固化材料的实践经验，同时参考了工程建设渣土用于软土路基、肥槽回填、挡墙、固化土砖等的先进技术，通过[固化土配合比设计](#_Toc118729508)、[性能测试](#_Toc118729509)、施工工艺等应用技术研究，取得了工程建设渣土固化技术的技术成果。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程《工程建设渣土固化剂应用技术标准》时能正确理解和执行条款规定，编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与规程正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

**目 次**

**[1 总 则](#_Toc118729524)** [29](#_Toc118729524)

**[2 术 语](#_Toc118729525)** [30](#_Toc118729525)

**[3 基本规定](#_Toc118729526)** [32](#_Toc118729526)

**[4 固化土材料](#_Toc118729527)** [32](#_Toc118729527)

[4.1 工程余泥渣土 32](#_Toc118729528)

[4.2 固化剂 33](#_Toc118729529)

**[5 固化土设计](#_Toc118729530)** [35](#_Toc118729530)

[5.1 一般规定 35](#_Toc118729531)

[5.2 固化土配合比设计 35](#_Toc118729532)

[5.3 固化土测试方法 36](#_Toc118729533)

[5.4 固化土应用设计 36](#_Toc118729534)

**[6 固化土施工与验收](#_Toc118729535)** [37](#_Toc118729535)

[6.1 一般规定 37](#_Toc118729536)

6.2 软土路基 [37](#_Toc118729537)

[6.3 肥槽回填 38](#_Toc118729538)

[6.4 挡墙 40](#_Toc118729539)

[6.5 渣土砖 41](#_Toc118729540)

**1 总 则**

**1.0.1~1.0.3** 工程余泥渣土随着城镇建设的广泛开展呈逐年平稳增长趋势。合理处置工程余泥渣土并资源化利用，不仅是急需解决的问题，同时也孕育着巨大的市场。然而目前对于工程余泥渣土处置手段较为单一，资源化综合利用效率低。城市渣土处置问题日益突出，“渣土围城”的隐疾已成为很多城市发展的痛点，需要利用现代科技，建立科学、经济、环保的处置机制。

工程余泥渣土高效固化技术是通过在渣土中加入固化剂，破坏渣土表面水膜，破坏颗粒吸水性、增加斥水性，经活化、碾压等系列处理工艺，加速渣土固化，促使构筑物密实度、抗水性等综合性能显著增强，从而提高构造物强度和承载能力。现有的《土壤固化剂应用技术标准》《软土固化剂》偏重于土壤固化剂及其道路工程方面的应用。对于成分复杂的工程余泥渣土及其在其他工程领域的应用受到较大的限制，迫切需要编制专门用于规范工程余泥渣土固化应用技术标准，以规范固化工程质量，推广固化剂应用技术。

**2 术 语**

**2.0.1**  根据住房和城乡建设部2019年发布的《建筑垃圾处理技术标准》（CJJ/T134-2019）规定：工程渣土定义为各类建筑物、构筑物、管网等基础开挖过程中产生的弃土。

根据浙江省住房和城乡建设厅和浙江省经济和信息化委员会2017年发布的《浙江省建筑垃圾资源化利用技术导则》（建设发〔2017〕423号）规定：工程渣土定义为各类建（构）筑物、管网、道桥等在建设过程中开挖土石方产生的弃土。

根据住房和城乡建设部2019年发布的《建筑垃圾处理技术标准》（CJJ/T134-2019）规定：工程泥浆定义为桩孔桩基施工、地下连续墙施工、泥水盾构施工、水平定向钻及泥水顶管等施工产生的泥浆。

在本规程中，将工程渣土和工程泥浆统一称为工程余泥渣土。

**2.0.3~2.0.4** A类固化剂属于外加剂，掺量少，目前工程上常用的A类土壤固化剂主要包括表面活性剂型和水化促进剂型，皆需要无机结合料配合使用。表面活性剂型通过改变土壤颗粒表面活性剂提高土体的密实度，无机结合料通过化学反应固定此密实结构，从而大大提高土体的承载力和水稳性。而水化促进剂，则是通过提高无机结合料的水化速度和水化程度，来提高土体的综合性能。

B类固化剂属于无机水硬性胶凝材料，掺量大大高于A类固化剂。可单独固化土体。从本质上，B类固化剂更接近于“优化的水泥”的概念，即通过不同原材料的有效配合，调整无机胶凝材料的反应速度和程度，改变水化产物的微观结构，从而提高固化剂对特定土体的固化效果。

**2.0.5**  工业废渣包括高炉矿渣、钢渣、尾矿、赤泥、电石渣、废石膏、磷渣等，但需要符合固化和环保要求。

**2.0.6** 《土壤固化剂应用技术标准》CJJ/T 20286中定义固化土为“固化土混合料在压实和养生后，性能达到工程应用要求的土”，在进行调研和大量实践经验积累后，本规程将“浇筑”加入到固化土的定义中，浇筑法施工不需要压实，进行抹平即可，类似于混凝土的施工方法。

**3 基本规定**

**3.0.5** 由于固化土对于一定量的污染物有固定稳定的作用，所以对于确需处理的，超过《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》 GB36600中对于第二类土的规定的工程余泥渣土，也可以用来作为固化土的土料，但是需保证28d固化土浸出液中的无机和有机污染物应符合现行国家标准《城市污水再生利用 绿地灌溉水质》GB/T 25499的规定。

**3.0.6** 放射性指标必须符合要求。

**4 固化土材料**

**4.1 工程余泥渣土**

**4.1.1** 工程渣土的来源较为复杂，对于不同类别的土需要分开处理。判断工程余泥渣土的类别要根据土工试验测试，天然含水率、pH值，颗粒分析液限、塑限、塑限指数、有机质含量等，因为这些土壤的土工特性会影响固化土的强度。需要选用土质符合要求的土料，一般采用低液限粘土作为固化土原料最优。

**4.1.2** 工程余泥渣土中不仅含有各类建筑物、构筑物、官网等基础开挖过程中产生的弃土还包括钻孔桩基施工、地下连续墙施工、泥水盾构施工、水平定向钻及泥水顶管等施工产生的泥浆。一般上述泥浆的含水率可以达到80%以上，此类泥浆直接固化效果不理想，例如会通过影响水泥的水胶比，从而降低了水泥固化土的强度。因此在固化前，需要对泥浆类工程余泥渣土采取脱水措施，可采取压滤法进行脱水。对于砂性泥浆，在压滤脱水前预先进行泥砂分离，一方面可以资源化回收利用砂，另外也可以减少砂对于压滤机滤布的破坏。

**4.1.3** 有机质指土中的各种动植物残体、微生物及由它们的生命活动所产生的物质的总和。有机质中含有胡敏酸和富啡酸，二者均有对矿物的分解作用。胡敏酸仅对钙离子具有敏感性，当胡敏酸含量较低时，对土壤固化效果影响不大。富啡酸与水泥矿物的吸附作用所形成的吸附层会延缓水泥水化的进程，在已生成的水化铝酸钙、水化硫铝酸钙及水化铁铝酸钙晶体中，富啡酸的分解作用使这些水化产物解体，破坏了固化土结构的形成，不利于土壤固化剂的固化作用。

**4.2 固化剂**

**4.2.3** 除了A类和B类固化剂，目前还有一种生物酶类固化剂，虽然多家国外公司在国内推广多年，经查阅历史资料和我们实际试验，生物酶固化外加剂对土壤却有显著固化作用，但是生物酶固化土耐水性和耐久性不足，泡水坍塌，不能作为固化土工程应用，因此没有列入固化剂的列别。

**4.2.7** 单独使用粉煤灰不能作为无机胶结料，粉煤灰需要在碱激发的作用下才能具有活性，例如和石灰共同作用下才能作为胶结料。

**4.2.9** 胶结料一定要有正式的出厂质量检验报告和工程现场的胶结料进行的固化试验报告作为质量可靠性的保证。利用工业废渣研制的复合胶结料可以用于固化土，经对国内几个公司的复合胶结料产品进行试验，用量在10%~15%，固化土强度可以达到1.5~3MPa。需要考虑地域性，运输成本等经济性条件后使用。其中矿渣的性能要求参考《用于水泥中的粒化高炉矿渣》GB/T 203的相关规定。

**4.2.10** 工业废渣一般产自于化工行业矿物冶炼，加工、提取过程中，重金属含量超标的可能性较大，因此对于工程废渣的固化利用需要特别注意重金属含量的环保性指标，确保固化土的绿色安全应用。

**5 固化土设计**

**5.1 一般规定**

**5.1.1~5.1.2** 工程余泥渣土可以按照土壤的分类，根据颗粒大小可分为巨粒土、粗粒土和细粒土：细粒土根据塑性指数分为粉土和黏土，根据有机质含量分为一般土、有机质土和有机土：特殊土根据成因、矿物成分、结构与一般土的区别，又分为黄土、膨账土、红黏土、盐渍土和冻土等。

固化机理可以概括为物理过程、化学过程和物理化学过程等三大过程。物理过程是指固化剂在固化渣土时，土料经过粉碎、拌合和压实，土体的基本单元在外力的作用下彼此靠近，从而减少土体的孔隙率，增大密实度，降低渗水性，这种过程是可逆的，土体的强度受外界条件影响，该过程是任何类型的固化剂在固化时都必需的。化学过程是指在固化渣土的过程中，固化剂自身的化学反应或土体与固化剂之间的反应。物理化学过程是指渣土颗粒与固化剂中各组分的吸附过程。由于土体种类繁多、性质各异，因此在固化前，必须了解固化剂的性能和适用范围，通过室内试验，比选—种或多种固化剂，选择合适的固化剂及掺量，才能起到事半功倍的效果。

**5.2 固化土配合比设计**

**5.2.5** 在土料与固化剂拌合后的混合料的最佳含水率和最大干密度较原始土料会有一定的差别，因此要在混合料的最佳含水率和最大干密度条件下成型，保证固化土的质量。

**5.2.10** 添加发泡剂的固化土可以称作海绵土，孔隙率为25%~40%，没有添加发泡剂的固化土的孔隙率一般在20%以下。海绵土可应用于边坡修筑，降低自重来控制其稳定性。

**5.3 固化土测试方法**

**5.3.1** 水稳性是评估固化剂工程应用性能的一项重要指标，例如在地下水丰富的道路建设路段或者地势较低的填方路基路段，地下水会通过毛细作用进入道路结构层内部，导致固化土的软化，甚至会引起开裂，破坏固化土结构，因此需要设置水稳系数评价固化土耐水稳定性。

**5.3.2~5.3.4** 固化土性能包括力学性能、耐久性性能和变形性能。固化土的力学性能包括抗压等，耐久性性能包括抗渗性能、抗冻性能和耐干缩循环能力等，变形性能包括抗受力变形、体积变形等。

**5.3.5** 为达到国家对于土壤污染防治要求，固化剂产品及固化土本身不应成为污染源，本规程第4.2.8条已对固化剂的重金属含量做出约束，而本条也对固化土重金属浸出量做出约束，防止污染土给未污染区域造成二次污染。

**5.4 固化土应用设计**

**5.4.2** 本规程只对固化剂在临时施工道路路基的使用进行约束。对变形要求较低的临时道路工程，原位固化处理后的路基应满足其承载力和稳定性要求，按现行团体标准《公路吹填流泥地基处理技术规程》T/CECS G:D21-01-2019的方法验算。对变形要求高的临时道路工程，变形计算应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB5007-2011和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ1-2008中有关规定。

**6 固化土施工与验收**

**6.1 一般规定**

**6.1.2** 施工方案需要包括：施工平面布置、固化土配合比、每层回填厚度、施工顺序，还应包括不同的施工顺序对邻近建筑和场地的影响。

**6.2 软土路基**

**6.2.1** 根据固化剂性状的不同，场地混合浅层处理软土路基的施工设备可分为粉剂材料施工设备和浆液剂施工设备两类，并符合下列规定：

**1** 粉剂材料施工设备可由空压机、粉剂储存器、喷雾计量器、喷粉器、挖掘机、拖拉机泥土搅拌器等组成。

**2** 浆液剂施工设备可由制浆调合器、浆液储存器、高压供浆泵、供浆计量器、吹填土淤泥土行走机、高压旋喷混合搅拌器等组成。

**6.2.2** 由于室内配合比试验采用的土量比较少，水分流失及与空气成分的接触面积较大，固化剂的反应效率较工程应用时高；此外，工程应用时由于均匀性、精确性都不如室内试验，这些因素会降低工程应用固化效率，为了弥补上述不足，固化剂用量应高于室内配合比试验确定的用量。

原位固化施工工艺的特点在于固化剂直接在原位地基土中混合搅拌。含水量过高，固化剂作用效果降低，因此施工期间应设置排水设置，避免地表径流深入土体。按照施工方案添加固化剂及搅拌施工，防止固化深度不足，固化剂搅拌不均匀等现象。

**6.3 肥槽回填**

**6.3.1** 预拌流态固化土肥槽回填可应用于工作面小，安全隐患大，雨期回填土质量难以保证的情况下，例如坑中坑肥槽回填中，预拌流态固化土具有以下优点：

（1）预拌流态固化土回填施工使用泵送或溜槽灌填，避免了人工“有限空间危险作业”。

（2）相比常规回填作业，预拌流态固化土回填厚度更大，可连续灌填达3m。避免了分层夯实的工期等待。

（3）预拌流态固化土回填强度3d可达到0.6MPa，远远满足常规0.94压实系数的要求。

（4）抗渗强度等级28d可达P2，无干缩变形，避免了回填土达到含水率平衡时较大沉降与塌陷造成的结构下空洞和传力断层，避免沉降垫层下坠破坏卷材防水。

（5）预拌流态固化土可在场内制拌，避免了场内滞土、场内运输及场外消纳，符合绿色施工节能降碳。

**6.3.3** 浇筑前应根据施工现场的条件确定浇筑的方式、固化土浇筑可采用泵送或溜槽方式进行。施工时应严格按照施工方案中的平面布置和材料运输路线施工。施工中应根据工程所在地的气候环境，确定冬、雨期的起、止时间；冬、雨期施工应加强与气象部门联系，及时掌握气象条件变化，做好防范准备。浇筑时，遇大雨或持续小雨天气时，应对未硬化的填筑体表层进行覆盖，且不应再开新作业段；冬期施工时，应在肥槽顶部覆盖。固化土分步浇筑时，模板和支撑的强度、刚度及稳定性应满足受力要求，做好端部封堵。具体控制要点如下：

（1）灌注标高控制

狭窄肥槽进行固化土回填时，灌注高度若一次灌注高度过高，会导致上层固化土固化后底层固化土还未固化达到要求强度。如此施工将会导致固化土发生沉降，甚至防水层发生相对位移。根据以往经验，本工程冬季施工前灌注分层厚度为 3 m，冬季施工期间灌注分层厚度为 2 m。灌注固化土施工养护结束后，现场观测均未出现坑中坑肥槽固化土沉降，也未出现防水下移。浇筑过程前测量分层，并在保温面弹出分层线，灌注过程旁站监控该分层刻度。

（2）预拌流态固化土肥槽回填坑中坑一般位于整个基坑平面中部、基坑纵深的最深处，此处固化土灌注时需搭设泵管多点均匀灌注。在有条件的基础上泵管搭设路径选择最短路径，避免使用 90°弯头，每节泵管保证有1~2 个柔性支撑。在转弯及 90°处采用独立架体固定，泵送灌注开始前应检查每节泵管对接处是否接口严密顺直。

（3）冬季灌注固化土回填施工首先应测量出灌温度，做好记录，与环境温差大于 20 ℃不宜进行灌注施工。深远泵送灌注泵管需加保温，防止受冻，保证灌注施工的连续性。分层灌注结束后，需在完成面覆膜后再覆盖保温棉被，保证水化反应正常进行，并防止冻裂降低强度。

**6.3.4** 质量验收

**1** 固化土的质量验收应符合下列规定：

（1）原材料、成品应按相应质量标准进行检验，具有完整的检验资料；

（2）浇筑应按本规程规定进行质量控制。各工序完毕后应进行自检，并形成文件；

（3）质量验收资料应包括以下内容：

①固化剂出厂质量证明文件和复试检测报告；

②固化土配合比；

③固化土浇筑记录；

④隐蔽工程验收记录；

⑤强度检测报告；

⑥施工照片；

⑦质量验收记录。

**2** 检验批合格质量应符合下列规定：

（1）主控项目的质量检验应全部合格；

（2）一般项目的合格率应达到80%及以上，且有指标要求的项目其不合格点的最大偏差值不得大于规定允许偏差值的1.5倍；

（3）应具有完整的施工质量检查记录。

**3** 当工程质量验收不合格时，施工单位进行缺陷修补或返工，并应重新进行质量检验与验收。

**6.4 挡墙**

**6.4.3** 拌合和成型时间与固化剂的性质有关，可以按照固化剂的使用说明来确定，一般不超过6h。

浆液流动度要求根据施工性能要求取值，当采用浇筑施工法时，浆液流动度宜控制在150mm~200mm。自然养护过程需要考虑当时当地天气情况，如遇下雨，需设置临时防雨措施；如遇高温，需设置遮阳措施，并适当进行洒水。

**6.5 渣土砖**

**6.5.2** 工程余泥渣土颗粒等级可按照表6.5.2的规定。

**表6.5.2工程余泥渣土颗粒等级**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 等级 | 颗粒尺寸（mm） | | |
| 细 | 中 | 粗 |
| 砾粒 | 2~5 | 5~20 | 20~60 |
| 砂粒 | 0.075~0.25 | 0.25~0.5 | 0.5~2 |
| 粉粒 | 0.002~0.075 | | |
| 粘粒 | ≤0.002 | | |