T/CECSxxx-202X

中国工程建设标准化协会标准

再生细粒土应用技术规程

Technical specification for application of reclaimed fine grained solidified soil

（拟改名：再生细粒固化土应用技术规程）

（征求意见稿）

XXX出版社

中国工程建设标准化协会标准

**再生细粒固化土应用技术规程**

Technical specification for application of reclaimed fine grained solidified soil

（原名：再生细粒土应用技术规程）

**T/CECS xxx-202X**

主编单位：中国建筑标准设计研究院有限公司

江苏金贸建设集团有限公司

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**

《再生细粒固化土应用技术规程范》是根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2024年第一批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2024〕15号）的要求进行编制。规程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7章，主要内容包括：总则、术语、基本规定、材料、设计、施工与验收。

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，由中国建筑标准设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。本规程在执行过程中，如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送解释单位（地址：北京市海淀区首体南路9号主语国际5号楼7层，邮政编码：100048），以供修订时参考。

主编单位： 江苏金贸建设集团有限公司

中国建筑标准设计研究院有限公司

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

**目 次**

[1 总则 （1）](#_Toc136432503)

[2 术语 （](#_Toc136432504)2）

[3 基本规定 （](#_Toc136432505)4）

[4 材料 （5）](#_Toc136432506)

[4.1 一般规定 （5）](#_Toc136432508)

[4.2 原材料 （5）](#_Toc136432508)

[4.3 再生细粒固化土 （](#_Toc136432509)8）

[5 设计 （](#_Toc136432507)11）

[5.1 一般规定 （11）](#_Toc136432508)

[5.2 道路修筑 （11）](#_Toc136432508)

[5.3 沟槽回填 （](#_Toc136432509)13）

[5.4 基坑、地基处理 （](#_Toc136432509)15）

[6 施工 （](#_Toc136432512)17）

[6.1 一般规定 （](#_Toc136432516)17）

[6.2 道路修筑 （](#_Toc136432517)17）

[6.3 沟槽回填 （](#_Toc136432518)20）

[6.4 基坑、地基处理 （](#_Toc136432518)21）

[7 验收 （](#_Toc136432512)24）

[7.1 一般规定 （](#_Toc136432516)24）

[7.2 主控项目 （](#_Toc136432517)25）

[7.3 一般项目 （](#_Toc136432518)28）

[附录A 流态型再生细粒固化土流动扩展度试验方法 （](#_Toc136432522)30）

[用词说明 （](#_Toc136432521)32）

[引用标准名录 （](#_Toc136432522)33）

附：[条文说明 （](#_Toc136432523)35）

**Contents**

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

[2 Terms （](#_Toc117775929)2）

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

[4 Materials （](#_Toc117775931)5）

[4.1 General requirements （](#_Toc117775935)5）

[4.2 Raw materials （](#_Toc117775935)5）

[4.3 Reclaimed fine grained solidified soil （](#_Toc117775935)8）

[5 Design （](#_Toc117775934)11）

[5.1 General requirements （](#_Toc117775935)11）

[5.2 Road construction （](#_Toc117775936)11）

[5.3 Trench backfilling （](#_Toc117775937)13）

[5.4 Foundation pit and foundation treatment （](#_Toc117775937)15）

[6 Construction （](#_Toc117775938)17）

[6.1 General requirements （](#_Toc117775939)17）

[6.2 Road construction （](#_Toc117775936)17）

[6.3 Trench backfilling （](#_Toc117775937)20）

[6.4 Foundation pit and foundation treatment （](#_Toc117775937)21）

[7 Acceptance （](#_Toc117775938)24）

[7.1 General requirements （](#_Toc117775939)24）

[7.2 Key item （](#_Toc117775940)25）

[7.3 General item （](#_Toc117775940)28）

[Appendix A Test method for flowability of regenerated fine soil](#_Toc117775946) （30）

[Explanation of wording](#_Toc117775946) （32）

[List of quoted standards （](#_Toc117775947)33）

Addition： Explanation of provious  [（](#_Toc117775948)35）

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范再生细粒固化土工程回填和软土加固应用，做到技术先进、安全适用、经济合理和节能环保，确工程保质量，制订本规程。

**1.0.2** 本规程适用于再生细粒固化土在道路修筑、沟槽回填、地基加固等工程的设计、施工和验收。

**1.0.3** 再生细粒固化土应用除应符合本规程规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会标准的有关规定。

# 2 术 语

**2.0.1**　工程渣土　construction residue

建（构）筑物、道路、管网等基础开挖及其他土石方开挖施工过程中产生的弃渣和弃土。

**2.0.2**  炉底渣 bottom slag

燃料在锅炉炉膛中燃烧产生的从炉底排渣口排出的灰渣。

**2.0.3**  土壤固化外加剂 soil stabilizing admixtures

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粉体或液体助剂。

**2.0.4** 土体硬化剂 soil hardening agent

由石灰、少量水泥以及粉煤灰等工业固废，采用混合或粉磨工艺制备而成的，完全代替水泥，用于加固工程渣土的一种粉状的水硬性胶凝材料。

**2.0.5**  再生细粒固化土 reclaimed fine grained solidified soil

土体硬化剂与工程渣土、炉底渣、土壤固化外加剂等按一定比例均匀拌合而成，用于道路修筑、沟槽回填、基坑和地基加固的混合料；其中工程渣土的颗粒最大粒径不宜大于20mm。

**2.0.6** 厂拌法 plant mixing method

集中设置拌合基地，采用专用设备拌合制备再生细粒固化土的施工方法。

**2.0.7** 场拌法 field mixing method

在施工现场就地拌合制备再生细粒固化土的施工方法。

**2.0.8** 固化土立方体抗压强度 cube compressive strength of solidified soil

按照现行行业标准《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T 70 进行固化土室内试验，土体硬化剂与工程渣土、炉底渣等搅拌成稠度为60mm~90mm的拌合土，将拌合土成型70.7mm×70.7mm×70.7mm立方体试件，养护至规定龄期时测得的抗压强度。

**2.0.9** 固化土桩 solidified soil pile

将土体硬化剂拌制成浆液，采用深层搅拌法或高压喷射注浆搅拌法，将浆液与原位湿土进行搅拌，使原位湿土硬化成具有连续性、抗渗性和达到设计强度的桩体。

**2.0.10** 流态型再生细粒固化土 fluidized reclaimed fine grained soil

由预处理后工程渣土、炉底渣、土体硬化剂、土壤固化外加剂和水等按一定比例均匀拌合，形成具有一定流动性，且凝结硬化后能达到一定强度，用于沟槽回填的浆状混合物。

# 3 基本规定

**3.0.1** 再生细粒固化土的生产应采取先进适用的生产工艺，并应符合绿色节能、低碳环保等相关要求。

**3.0.2** 再生细粒固化土的制备应兼顾施工性能、固化土强度和资源综合利用。

**3.0.3** 再生细粒固化土工程回填和软土加固的设计和施工应主要包括下列步骤：

**1** 材料的选用和检测；

**2** 再生细粒固化土的配合比设计；

**3** 施工方案的编制；

**4** 再生细粒固化土的施工；

**5** 再生细粒固化土的检验和验收。

**3.0.4** 再生细粒固化土工程回填和软土加固施工过程应保存完整的记录和试验报告。

**3.0.5** 用于制备再生细粒固化土的工程渣土应为黏性土、粉性土和砂土；当处理加固有机质含量大于10%的工程渣土时，应通过试验验证再生细粒固化土的适用性。

**3.0.6** 再生细粒固化土工程回填和软土加固的质量检测应包括：原材料性能检测、再生细粒固化土性能检测、施工质量检测。

**3.0.7** 加固型再生细粒固化土用于软土加固时，其工艺指标应符合浆液拌制和泵送、浆液与原位土搅拌、相邻搅拌桩搭接、型钢或预制桩插入等施工工艺要求。施工时，土体硬化剂浆液或粉体应与土体充分搅拌均匀，应符合深层搅拌法、高压喷射注浆法、固化土的施工技术规范要求。

# 4 材 料

**4.1 一般规定**

**4.1.1** 再生细粒固化土的原材料应满足安全和环保要求。

**4.1.2**  再生细粒固化土所用工业固废应符合现行国家标准《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》GB 18599的规定。

**4.1.3** 再生细粒固化土的强度指标可采用胶砂抗压强度或固化土立方体抗压强度中的一项；有争议时，应采用固化土立方体抗压强度。

**4.2 原材料**

**4.2.1**  工程渣土进厂（场）前应查明来源和土质基本特征，工程渣土应符合现行国家标准《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 36600的规定；并应符合下列规定。

1 不应含草皮、树根及生活垃圾等杂物；

2 有机质含量不应大于10%，土料最大粒径不宜大于20mm；

3 含水率不应大于30%；

4 液限不应大于50%，塑性指数应小于26%。

5 工程渣土有机质含量、粒径、含水率、液限、塑型指数等试验方法应按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123的规定进行。

**4.2.2** 炉底渣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的规定；炉底渣的烧失量不应大于10%，应按现行国家标准《水泥化学分析方法》GB/T 176的规定进行检验；颗粒最大粒径不应大于10mm。

**4.2.3**  土壤固化外加剂应符合现行行业标准《土壤固化外加剂》CJ/T 486的规定。

**4.2.4**  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，宜使用饮用水或不含油类等杂质的清洁中性水，pH值宜为6~8。

**4.2.5** 土体硬化剂的组成材料应符合下列规定：

1 水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175中P.O 42.5及以上或P.Ⅱ42.5及以上的规定；

2 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中Ⅱ级及以上的规定；

3 石灰应符合现行行业标准《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1的规定。

**4.2.6** 土体硬化剂工艺指标应符合表4.2.6的规定。

表4.2.6 土体硬化剂的工艺指标

| 项目 | 指标 | | 试验方法 |
| --- | --- | --- | --- |
| 细度（80μm方孔筛筛余）/% | ≤20 | | 现行国家标准《水泥细度检验方法》GB/T 1345 |
| 含水率/% | ≤1 | | 现行国家标准《混凝土外加剂匀质性试验方法》GB/T 8077 |
| 密度/（kg/m³） | ≥2500 | | 现行国家标准《水泥密度测定方法》GB/T 208 |
| 凝结时间 | 初凝/min | ≥45 | 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 |
| 终凝/h | ≤48 |
| 净浆流动度/mm | 初始 | ≥100 | 现行国家标准《混凝土外加剂匀质性试验方法》GB/T 8077 |
| 60min | ≥80 |

注：净浆流动度试验：称取土体硬化剂600g倒入搅拌锅、加水360g，搅拌3min；搅拌完成后立即测定初始净浆流动度；剩余浆体用保鲜袋密封放入标准养护箱中，静置60min后取出，搅拌1min后立即测定60min净浆流动度。

**4.2.7** 土体硬化剂胶砂抗压强度应符合表4.2.7的规定。

表4.2.7 土体硬化剂的胶砂抗压强度

| 项目 | 指标 | | 试验方法 |
| --- | --- | --- | --- |
| 胶砂抗压强度/MPa | 7d | ≥17.0 | 现行国家标准《水泥胶砂强度检验方法（ISO法）》GB/T 17671 |
| 28d | ≥32.5 |

**4.2.8** 根据土体硬化剂固化土立方体抗压强度，土体硬化剂可分为1.0、2.0、3.0三个强度等级，以及普通型和早强型两个型号，其中早强型以R来标记，普通型不作标记；土体硬化剂固化土立方体抗压强度应符合表4.2.8的规定。

表4.2.8 土体硬化剂固化土立方体抗压强度

| 项目 | 固化土立方体抗压强度/MPa | | 试验方法 |
| --- | --- | --- | --- |
| 7d | 28d |
| 1.0 | ≥0.3 | ≥1.0 | 现行行业标准《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T 70 |
| 2.0 | ≥0.6 | ≥2.0 |
| 3.0 | ≥0.9 | ≥3.0 |
| 1.0R | ≥0.5 | ≥1.0 |
| 2.0R | ≥1.0 | ≥2.0 |
| 3.0R | ≥1.5 | ≥3.0 |

注：成型固化土立方体抗压强度试件时，应符合下列要求：

1 成型2组以上龄期的固化土立方体抗压强度试件，土体硬化剂掺量为16%、水胶比2.0的配合比，称取640g土体硬化剂、1280g拌合水、4000g原状湿土；原状湿土应采用第4层灰色淤泥质黏土或第5层灰色黏土，按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123进行测定，天然含水率应为(46±2)%。

2 土体硬化剂和拌合水应先搅拌1min，再将原状湿土掰成约30mm的小块，陆续投入搅拌机中，搅拌总时间不应少于16min，直至原状湿土完全分散。

3 拌合土稠度应达到60mm~90mm，方可成型试件；若稠度大于90mm，可降低水胶比并保持掺量不变；若稠度小于60mm，可提高掺量并保持水胶比不变，进行配合比调整。

4 拌合土应分两层装入有底钢模；将试模一边抬高约30mm各振动5次；试件抹平后，薄膜覆盖养护，静置3d拆模，试件放入水中养护。

5 立方体抗压强度计算公式中换算系数K取1.0。

6 试验报告上应注明土体硬化剂掺量、水胶比、原状湿土的土性和天然含水率、拌合土稠度。

**4.2.9** 土体硬化剂以连续供应的土体硬化剂500t产品为一编号，不足500t按一个编号论，每一编号为一取样单位；取样方法应按现行国家标准《水泥取样方法》GB 12573进行，取样应有代表性，可连续取，也可从10个以上不同部位取等量样品，总量不应少于3kg。

**4.2.10** 土体硬化剂的保质期自生产日起为3个月。超过存放期限的产品，应按本规程的要求重新检验。

**4.3 再生细粒固化土**

**4.3.1** 再生细粒固化土的重金属含量应符合现行国家标准《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 36600的规定；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的规定。

**4.3.2** 再生细粒固化土应均匀、无结块，出厂含水率宜比最佳含水率高1%~5%。含水率和最佳含水率试验方法应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123的规定。

**4.3.3** 再生细粒固化土等级按承载比进行划分，一般可划分为 S08、S07、S06、S05、S04、S03和S02七个等级，其性能指标应符合表4.3.3的规定。

表4.3.3 再生细粒固化土等级划分和性能指标

| 项目 | 性能指标 | | | | | | | 试验方法 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| S08 | S07 | S06 | S05 | S04 | S03 | S02 |
| 7d无侧限抗压强度/MPa | ≥0.8 | ≥0.7 | ≥0.6 | ≥0.5 | ≥0.4 | ≥0.3 | ≥0.2 | 现行行业标准《[公路工程无机结合料稳定材料试验规程](https://www.sogou.com/link?url=hedJjaC291PtD2zz_-yPKusx7jCq59LvRCi8fbVJfNEEiFWNWXjb9LbAp6VRqT6Q" \t "https://www.sogou.com/_blank)》JTG 3441 |
| 承载比（CBR）/% | ≥8.0 | ≥7.0 | ≥6.0 | ≥5.0 | ≥4.0 | ≥3.0 | ≥2.0 | 现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 |
| 凝结时间影响系数/%\* | ≥90 | | | | | | | 现行行业标准《土壤固化外加剂》CJ/T 486 |
| 水稳系数/% | ≥80 | | | | | | |

注：\*测试凝结时间影响系数时，停放时间为再生细粒固化土的容许延迟时间。

**4.3.4** 土体硬化剂、再生细粒固化土进场后，应对产品进行检验，并留样备查；再生细粒固化土用于道路工程时宜以不超过10000m³或1d生产量为一个批次。

**4.3.5** 碾压型再生细粒固化土用于道路修筑等工程时，应符合下列规定：

1 再生细粒固化土用于道路路基填筑时，其性能指标应符合表4.3.5-1的规定。

表4.3.5-1 道路路基回填用再生细粒固化土的性能要求

| 项目 | 路床顶面以下深度h/m | 承载比（CBR）/% | | | 试验方法 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 快速路、主干路 | 次干路 | 支路 |
| 填方 | 0＜h≤0.3 | 8.0 | 6.0 | 5.0 | 现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 |
| 0.3＜h≤0.8 | 5.0 | 4.0 | 3.0 |
| 0.8＜h≤1.5 | 4.0 | 3.0 | 3.0 |
| ＞1.5 | 3.0 | 2.0 | 2.0 |
| 零填及挖方 | 0＜h≤0.3 | 8.0 | 6.0 | 5.0 |
| 0.3＜h≤0.8 | 5.0 | 4.0 | 3.0 |

2 再生细粒固化土用于道路下基层时，其性能指标应符合表4.3.5-2的规定。

表4.3.5-2 道路下基层回填用再生细粒固化土的性能要求

| 层位 | 中交通 | | 轻交通 | | 试验方法 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 最大粒径/mm | 7d无侧限抗压强度/MPa | 最大粒径/mm | 7d无侧限抗压强度/MPa |
| 下基层 | 50 | ≥2.0 | 50 | ≥1.5 | 现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG 3441 |

**4.3.6** 再生细粒固化土用于低洼地块填高、场地整平和地形营造等工程时，含水率应小于40%。

**4.3.7** 流态型再生细粒固化土用于沟槽回填等工程时应符合下列规定：

1 流态型再生细粒固化土性能应符合表 4.3.7的规定。

表 4.3.7 流态型再生细粒固化土性能

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 应用类别  项目 | 肥槽 | 管沟、台背、采空区等 | 试验方法 |
| 28d立方体抗压强度\*/MPa | ＞0.3 | ＞0.6 | 现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 |
| 坍落度/mm | ＞140 | ＞180 | 现行国家标准《普通混凝土拌合物试验方法标准》GB/T 50080 |
| 流动扩展度/mm | ＞300 | | 本规程附录A |

注：立方体抗压强度应采用100mm×100mm×100mm试件，在标准养护条件下养护28d。

2 流态型再生细粒固化土用作建筑地基处理或填充地基空洞时，其技术指标应满足现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007承载力及变形的相关规定，且强度不宜低于1.5MPa。

3 建（构）筑物地下室有抗浮设计、或回填工程有抗渗性要求时，构槽回填流态型再生细粒固化土的渗透系数应满足设计要求，且不宜大于5.0×10-6mm/s；渗透系数试验方法应按现行行业标准《[水泥土配合比设计规程》](http://www.baidu.com/link?url=HKtmRld-5fV8dNYmpVQp1FZXu0iYjQOsnKOYs5OZzzi670jJZKNfoVMvewDvsPF1Igdj3_xQ2iixifb7tEGya_" \t "https://www.baidu.com/_blank)JGJ/T 233的规定进行。

**4.3.8** 加固型再生细粒固化土用于基坑、地基处理等工程时应符合下列规定：

1 加固型再生细粒固化土应以土体硬化剂强度等级、型号、产品名称的符号和文字组合标记，示例：2.0R再生细粒固化土表示土体硬化剂强度等级为2.0、型号为早强型的再生细粒固化土；

2 当加固处理黏性土、粉性土和砂土时，可采用1.0、1.0R及以上强度等级的土体硬化剂作为施工材料，取代相同掺量的P•O 42.5 水泥；

3 当加固需提前开挖的基坑工程时、或搅拌桩置换土需及时外运的工程时、或地下水流速较大的工程时、或工程抢险时，宜采用2.0R及以上强度等级的土体硬化剂作为施工材料。

# 

# 5 设 计

**5.1 一般规定**

**5.1.1** 再生细粒固化土工程回填和软土加固形成的固化土，按照施工工艺可以分为碾压型再生细粒固化土、流态型再生细粒固化土、加固型再生细粒固化土。

**5.1.2**  碾压型再生细粒固化土可应用于道路修筑等工程；流态型再生细粒固化土可应用于沟槽回填等工程；加固型再生细粒固化土可应用于基坑、地基处理等工程。

**5.1.3**  再生细粒固化土配合比设计应根据再生细粒固化土种类和等级、土体硬化剂强度等级、工程渣土性质等，经试配确定；土体硬化剂的掺量宜采用占再生细粒固化土干质量的质量百分比表示。

**5.2 道路修筑**

**5.2.1** 再生细粒固化土道路工程设计方案应根据道路功能、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，施工方便的设计方案。

**5.2.2** 碾压型再生细粒固化土用于道路路基时，其设计应符合现行行业标准《城市道路路基设计规范》CJJ 194规定，碾压型再生细粒固化土用于道路下基层时，其设计应符合现行行业标准《城镇道路路面设计规范》CJJ 169的规定。

**5.2.3** 碾压型再生细粒固化土制备宜采用 2.0、2.0R及以上强度等级的土体硬化剂作为固化稳定材料。

**5.2.4**  碾压型再生细粒固化土配合比设计应按下列步骤进行：

1 测试工程渣土的塑性指数、有机质含量，当有特殊要求时，应测试工程渣土的其他相关性能；

2 根据工程渣土性质，选择土体硬化剂的类别和掺量；当采用土壤固化外加剂时，其掺量宜取产品推荐掺量；

3 炉底渣与工程渣土共同作再生细粒固化土中砂用，炉底渣的用量占比宜为18%~30%，工程渣土用量占比宜为70%~82%；

4 计算各组成材料用量；

5 通过击实试验确定再生细粒固化土最佳含水率、最大干密度，击实试验应按现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG 3441进行；

6 按再生细粒固化土最佳含水率、最大干密度成型试件及养护，测试7d无侧限抗压强度和承载比；

7 调整和确定再生细粒固化土配合比。

**5.2.4**  碾压型再生细粒固化土试配宜采用三个配合比，其中一个配合比的土体硬化剂掺量宜为基准值，另外两个配合比的土体硬化剂掺量宜比基准值分别增加和减小1% ~2%。

**5.2.5**  碾压型再生细粒固化土配合比应根据试配结果选择性能符合要求、土体硬化剂掺量较小的配合比；当试配结果不满足要求时，应调整配合比重新进行试验。

**5.2.6**  工程渣土来源或性质发生变化时，应重新进行配合比设计。

**5.2.7** 碾压型再生细粒固化土的道路路基应分层压实，压实度应符合表5.2.7的规定。

表5.2.7 碾压型再生细粒固化土的压实度

| 项目 | 路床顶面以下深度/m | 道路等级 | | | | 试验方法 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 快速路 | 主干路 | 次干路 | 支路 |
| 压实度/% | 0~0.8 | ≥96 | ≥95 | ≥94 | ≥92 | 现行行业标准《公路路基路面现场测试规程》JTG 3450 |
| 0.8~1.5 | ≥94 | ≥93 | ≥92 | ≥91 |
| ＞1.5 | ≥93 | ≥92 | ≥91 | ≥90 |

注：1 非机动车、人行道等按支路标准执行；

2 确保路基承载力等性能满足设计要求时，压实度可根据试验结果适当降低。

**5.2.8** 碾压型再生细粒固化土在不利季节，路基顶面回弹模量设计值应符合表5.2.8的规定。

表5.2.8 路基顶面回弹模量设计值

| 项目 | 道路等级 | | | 试验方法 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 快速路、主干路 | 次干路 | 支路 |
| 路基顶面回弹模量设计值/MPa | ≥40 | ≥35 | ≥30 | 现行行业标准《公路路基路面现场测试规程》JTG 3450 |

注：非机动车、人行道等按支路标准执行。

**5.2.9** 碾压型再生细粒固化土道路路基构造应根据道路等级、交通荷载、工程地质等条件确定，并应符合下列规定：

1 地基顶面存在滞水时，地基清表后宜设置碎石垫层；

2 路基宜设2%~3%的排水横坡；

3 必要时应设置挡墙或路肩。

**5.3 沟槽回填**

**5.3.1** 流态型再生细粒固化土配合比设计时，坍落度、流态扩展度应符合表5.3.1的规定。

表5.3.1 流态型再生细粒固化土坍落度和扩展度（mm）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 要求 | 试验方法 |
| 坍落度 | 150~240 | 现行国家标准《普通混凝土拌合物试验方法标准》GB/T 50080 |
| 扩展度 | ≥400 |

**5.3.2**  流态型再生细粒固化土配合比设计应按下列步骤进行：

1 应根据设计和施工要求，确定流态型再生细粒固化土的设计强度与流动度。

2 配合比计算时，流态型再生细粒固化土拌合物的假定表观密度宜取1600kg/m³~1800kg/m³。

3 流态型再生细粒固化土的胶砂比（土体硬化剂与工程渣土+炉底渣之比）宜取0.15~0.20。当设计强度较高时，宜取上限，反之宜取下限；宜根据设计强度和流动度，按照间隔2%~3%的胶凝材料掺量，进行不少于3组流态型再生细粒固化土的试配。

4 流态型再生细粒固化土的水固比宜取0.30~0.40。当流动度较高时，宜取上限，反之宜取下限。

5 宜根据流动度要求与流态型再生细粒固化土的主要原材料，确定外加剂的品种和掺量。

6 对计算配合比应进行试拌，检验流态型再生细粒固化土的流动度和强度是否符合设计和施工要求。

7 当流态型再生细粒固化土的流动度和强度不能满足设计和施工要求时，应进行配合比调整。对于流态型再生细粒固化土，宜优先调整胶砂比，其次调整水固比，最后调整外加剂的掺量。

8 当流态型再生细粒固化土的流动度和强度符合设计和施工要求时，应根据流态型再生细粒固化土拌合物的假定表观密度和实测表观密度，进行配合比校正，计算出施工配合比。

9 当原材料来源或性质发生显著变化时，应重新进行配合比设计。

**5.3.3** 流态型再生细粒固化土在计算配合比的基础上通过试验确定最终设计配合比；配合比试验应采用搅拌机拌制试样，每次试配搅拌量不宜小于搅拌机额定搅拌量的1/4。

**5.3.4** 对再生细粒固化土孔隙率有要求时，应通过调整发泡剂种类和用量，经配合比试验确定。

**5.3.5** 流态型再生细粒固化土应用于沟槽回填时，设计应符合下列规定：

1 固化土立方抗压强度应满足设计要求；

2 再生细粒固化土制备可分为两步：先将土体硬化剂与一定量的水拌合成浆液，再将土体硬化剂浆液与工程渣土+炉底渣进行拌合。

3 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。

**5.4 基坑、地基处理**

**5.4.1** 土体硬化剂用于基坑、地基处理的设计，应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB 50086，现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94、《型钢水泥土搅拌墙技术规程》JGJ/T 199、《公路桥涌地基与基础设计规范》JTG D63等有关规定。

**5.4.2** 土体硬化剂用于基坑、地基处理时宜采用单轴、双轴、三轴~六轴等深层搅拌法，以及高压喷射注浆搅拌法，将土体硬化剂浆液与原位湿土强制搅拌均匀，形成固化土桩（搅拌桩或旋喷桩）。当不具备配合比试验条件时，可按表5.4.2进行土体硬化剂掺量和水胶比取值。

表5.4.2 土体硬化剂掺量、水胶比参考取值

| 桩型 | 水胶比 | 1.0土体硬化剂 | | 2.0土体硬化剂 | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 掺量/% | 固化土28d强度/MPa | 掺量/% | 固化土28d强度/MPa |
| 单轴搅拌桩 | W/C=0.8 | 13 | 0.7 | 12 | 0.8 |
| 双轴搅拌桩 | W/C=0.8 | 15 | 0.9 | 14 | 1.0 |
| 三轴~六轴搅拌桩 | W/C=1.5~2.0 | 20 | 0.7 | 18 | 1.0 |
| 高压旋喷桩 | W/C=1.0 | 20 | 1.0 | 18 | 1.0 |
| 25 | 1.2 | 23 | 1.2 |

**5.4.3** 在下列情形之一时，宜采用2.0R及以上强度等级的土体硬化剂作为施工材料：

1 需要提前开挖的基坑工程；

2 施工场地面积较小，搅拌桩置换土需要及时外运的工程；

3 工程抢险；

4 地下水流速较大的工程。

**5.4.4** 再生细粒固化土应用于地基固化时，设计应符合下列规定：

1 地基固化可按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79中换填垫层法的有关规定进行承载力、沉降量等计算。

2 采用搅拌法和注浆法进行吹填土地基深层固化的设计应符合现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79中的有关规定。

# 6 施 工

**6.1 一般规定**

**6.1.1** 再生细粒固化土施工前应根据工程需要开展下列调查：

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数量和规格。

**6.1.2** 施工单位应编制再生细粒固化土用于道路修筑、沟槽回填、地基处理等工程专项施工方案，专项施工方案应经建设（监理）单位审查批准后方可实施；施工前应进行技术交底。

**6.1.3**  再生细粒固化土用于道路修筑、沟槽回填、地基处理等工程施工前，应进行现场技术交底，明确各工序施工要点；应按施工方案，组织施工设备进场，并做好设备安装和调试。

**6.1.4** 再生细粒固化土用于道路修筑、沟槽回填、地基处理等工程施工前应按原材料使用计划，组织原材料进厂（场），并复核检验，满足要求后使用；原材料计量允许偏差应为：土体硬化剂±1%，工程渣土±2%，炉底渣±2%，水、外加剂±1%，各成分均以质量计。

**6.1.5** 项目试验、检验、验收，应做到记录真实、数据准确和资料完整。

**6.1.6** 再生细粒固化土用于道路修筑、沟槽回填、地基处理等工程的施工应符合施工图设计文件要求。施工前应做试验样板，确定施工工艺和施工质量控制标准。

**6.1.7** 每道工序完成后，均应进行检查验收，合格后方可进人下一道工序施工，经检测不合格的应进行返修。

**6.2 道路修筑**

**6.2.1** 碾压型再生填料道路路基施工应符合现行行业标准《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1的规定。

**6.2.2** 碾压型再生细粒固化土现场施工应包括再生细粒固化土拌合、运输、摊铺、整形、碾压和养生等工序。

**6.2.3** 碾压型再生细粒固化土应用于道路工程时，可采用厂拌法或场拌法制备，可采用强制式搅拌机拌制。再生细粒固化土应按设计与施工技术文件计算的配合比进行配料和拌合，并应达到设计技术指标。

**6.2.4** 用于道路修筑工程的再生细粒固化土的运输应符合下列规定：

1 拌合均匀的再生细粒固化土应及时运输到铺筑现场进行施工；

2 宜采用自卸式运输车，与摊铺、碾压机械相配套，做到随拌随运随铺随压；

3 装料前应清理车厢，不得存有杂物；

4 运输中应采取防止水分蒸发和防扬尘措施；

5 再生细粒固化土的拌合、运输、摊铺、碾压等应在再生细粒固化土容许延迟时间内完成。

**6.2.5** 再生细粒固化土摊铺前，地基应符合下列要求：

1 地基表面应平整、坚实、稳定，满足施工要求；

2 场地内应无树木、草皮、乱石等杂物。

**6.2.6** 施工放样应符合下列规定：

1 应在施工段放线并设置标桩，直线段宜每15m~20m设一桩，平曲线段每10m~15m设一桩，并应在两侧路肩边缘外设指示桩；

2 在两侧指示桩上应采用明显标记标出再生细粒固化土道路路基设计高度。

**6.2.7** 再生细粒固化土用于道路路基时应分层摊铺压实，并应通过试验路段确定分层填筑的松铺厚度、压实工艺及压实控制标准。

**6.2.8** 再生细粒固化土摊铺应符合下列规定：

1 再生细粒固化土宜采用摊铺机摊铺；

2 再生细粒固化土应根据松铺系数均匀摊铺于下承层面上，避免集中堆料过高；

3 再生细粒固化土摊铺均匀后，应及时采用平地机初步整形；在直线段，平地机应由两侧向路中心进行刮平；在平曲线段，平地机应由内侧向外侧、由低处向高处进行刮平；同时人工配合整平；

4 初步整形后，应采用履带拖拉机或轮胎压路机初压一遍，再用平地机整形一次，且应将高处料直接刮出路外，不得形成薄层贴补现象；

5 分段施工时，接头部位如不能交替填筑，先填路段应按1:1~1:2坡度分层留台阶；如能交替填筑，应分层相互交替搭接，搭接长度应不小于2m；

5 填筑时应避免纵向接缝；无法避免时，纵向接缝宜设在路中线处并做成阶梯形；

6 摊铺中断超过2h或停止摊铺时，应设置施工缝。

**6.2.9** 再生细粒固化土道路路基碾压应符合下列规定：

1 应采用试验路段确定的碾压方案进行全宽碾压；

2 直线和不设超高的平曲线段，应由两侧向中心碾压；设超高的平曲线段，应由内侧向外侧碾压；

3 严禁压路机在已完成的或正在碾压的路段上调头或紧急制动；

4 碾压过程中，不得出现弹簧、松散、起皮等现象；

5 碾压应达到设计要求的压实度，表面不得有明显的轮迹。

**6.2.10** 再生细粒固化土路基碾压完成后，应立即在路基表面进行洒水后覆盖薄膜养护，并应符合下列规定：

1 养护时间应视季节而定，保湿养护期不宜少于7d；

2 采用具有早强功能的再生细粒固化土填筑的路基，经现场取芯确认无侧限抗压强度满足设计要求时，养护期可适当缩短；

3 养护期间除洒水车和小型通勤施工车辆外，其他车辆不得通行。

**6.2.11** 季节性施工应符合下列规定：

1 室外日平均气温连续5d 低于5℃时，不得进行再生细粒固化土路基施工。

2 施工前关注气象预报，应避开雨天施工，

3 雨期施工时应采取排水措施，现场应配备防雨遮挡物，对未碾压的再生细粒固化土应进行覆盖防雨；

4 雨中、雨后应及时检查工程主体及现场环境，发现雨患、水毁应及时采取处理措施。

**6.3 沟槽回填**

**6.3.1** 流态型再生细粒固化土用于管沟肥槽等回填工程的施工安全技术要求应符合现行国家标准《建筑施工安全技术统一规范》GB 50870的有规定，并应编制安全施工方案和应急预案。

**6.3.2** 流态型再生细粒固化土进行管沟肥槽等回填工程前，应根据管沟肥槽等回填工程结构特点，对管道抗浮、卷材防护等制定有效保护措施。

**6.3.3** 流态型再生细粒固化土使用前应对其出厂质量检验报告和现场性能检测结果等进行检查。

**6.3.4** 流态型再生细粒固化土可采用厂拌法或场拌法制备，可采用强制式或滚筒式混凝土搅拌机拌制，亦可采用混凝土搅拌车配合拌制，应确保搅拌设备的密封性；运至现场进行浇筑施工，并应符合下列规定：

1 浇筑前应清除浇筑面的杂物和积水；

2 现场浇筑可采用泵送或溜槽、溜管方式，出料不得直接冲击地下室外墙和支护结构；

3 流态型再生细粒固化土从制备完成至浇筑完成的时间不宜超过流态型再生细粒固化土的初凝时间；

4 冬季浇筑流态型再生细粒固化土时，流态型再生细粒固化土入模温度不应低于5℃，并做好保温措施；

5 流态型再生细粒固化土应分层浇筑，且单层不宜大于2m，相邻区域浇筑高度差不宜大于1m，两次浇筑的时间间隔不应小于24h；

6 当基槽浇筑底标高不一致时，应按先深后浅的顺序施工；

7 大面积地基垫层浇筑施工时，应分段对称进行，相接处应做阶梯状，上下层的错缝距离不应小于1m；

8 流态型再生细粒固化土流动扩展度小于150mm时，浇筑后应进行振捣。

**6.3.5** 流态型再生细粒固化土完成浇筑后的养护应符合下列规定：

1 每一层浇筑完成后，应对流态型再生细粒固化土进行养护；

2 流态型再生细粒固化土的养护可采用洒水或覆盖保湿，采用塑料薄膜覆盖养护时，流态型再生细粒固化土表面应覆盖严实，并保持膜内有凝结水；

3 顶层流态型再生细粒固化土的养护时间不得小于7d。

**6.4 基坑、地基处理**

**6.4.1** 再生细粒固化土用于基坑、地基处理的施工，应符合现行国家标准《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB 50086，现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79、《建筑桩基技术规范》JGJ 94、《型钢水泥土搅拌墙技术规程》JGJ/T 199、《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650的有关规定。

**6.4.2** 再生细粒固化土用于基坑、地基处理宜采用土体硬化剂与土场地拌合法施工。

**6.4.3** 再生细粒固化土用于基坑、地基处理，现场施工应包括测量放线、搅拌机械就位和调平、预搅下沉至设计加固深度、喷粉（浆）搅拌提升直至作业面、重复搅拌下沉至设计加固深度、压实、保养等工序。

**6.4.4** 场地拌合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；土中含有块石、植物根茎、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土体硬化剂的适用性；

2 采用粉状土体硬化剂加固施工时，应根据表层地基承载力条件选择机械拌合或人工拌合；

3 预搅或复搅下沉时，也可采用喷粉或喷浆施工工艺，应确保加固深度范围至少再重复搅拌一次；

4 地基固化施工时土体硬化剂用量应高于室内配合比试验确定的用量；使用粉状固化剂应增加干土重量的1%~2%；使用液体固化剂时，应增加设计浓缩液用量的10%~20%；

5 施工过程中应按施工参数和材料用量施工，并做好记录；

6 施工过程中应采取防排水及再生细粒固化土养护措施。

**6.4.3** 施工前，应进行工艺性试桩，拌合土的稠度应符合表6.4.3的规定。如稠度不符合要求时，应经设计单位认可，方可提高水胶比。

表 6.4.3 拌合土的稠度

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 桩型 | 稠度/mm | 试验方法 |
| 单轴、双轴搅拌桩 | 30~60 | 现行行业标准《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T 70 |
| 三轴~六轴搅拌桩 | 60~90 |
| 高压旋喷桩 | 90~120 |

**6.4.4** 施工时，应测定浆液相对密度，浆液相对密度的试验方法应按现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650的“泥浆相对密度测定方法”执行。

**6.4.5** 施工时，应控制提升速度，并控制灰浆泵压力和喷浆量，以确保整根桩的实际掺量不得低于设计值。深层搅拌法的提升速度宜为1.0m/min~2.0m/min，下沉速度宜为0.5m/min~1.0m/min，钻杆的旋转速度宜为25rad/min~45.0rad/min；高压喷射注浆法的提升速度宜为0.05m/min~0.25m/min，钻杆的旋转速度宜为3rad/min~10.0rad/min。

**6.4.6** 三轴~六轴深层搅拌法相邻桩搭接施工的时间间隔不宜大于24h，单轴、双轴搅拌法相邻桩搭接施工的时间间隔不宜大于12h。当超过以上规定时间时，搭接施工时应放慢搅拌速度；若无法搭接或搭接不良，应作为冷缝记录在案，并应经设计单位认可后，在搭接处采取补救措施。

**6.4.7** 施工过程中，宜及时对成桩质量进行取芯试验，桩身完整性、28d取芯强度应符合设计要求。

# 7 验 收

**7.1 一般规定**

**7.1.1** 再生细粒固化土的质量验收应符合下列规定：

1 再生细粒固化土及原材料应按相关质量标准进行检验，具有完整的检验资料；

2 浇筑过程要按本规程规定进行质量控制；各工序完毕后应进行自检，并形成文件资料。

**7.1.2** 每道工序完成后，均应进行检查验收，合格后方可进入下一道工序施工，经检测不合格的应进行返修，直到符合要求，当对再生细粒固化土性能有异议时，宜进行实体检测。

**7.1.3** 质量验收资料应包括以下内容：

1 土体硬化剂出厂质量证明文件和复试检测报告；

2 再生细粒固化土的配合比；

3 再生细粒固化土浇筑记录；

4 隐蔽工程验收记录；

5 再生细粒固化土强度检测报告；

6 施工照片；

7 质量验收记录。

**7.1.4** 再生细粒固化土道路修筑工程施工质量验收的检验批划分应符合下列规定：

1 采用相同材料、同一等级、同一配合比、同一施工工艺的道路路基、管沟肥槽等，应按每条路或每个段为一个检验批。

2 检验批的划分也可根据与施工流程一致且方便施工与验收的原则，由施工单位与建设（监理）单位共同商定。

**7.1.5** 检验批质量验收合格应符合下列规定：

1 检验批应按主控项目和一般项目验收；

2 主控项目应全部合格；

3 一般项目应合格；当采用读数检查时，除有专门要求外，一般项目的合格点率应达到80%及以上，且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。

4 应具有完整的施工原始资料和质量检查记录。

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

**7.1.7** 用于道路修筑的再生细粒固化土施工质量验收除应符合本规程规定外，尚应符合现行行业标准《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1的规定。

**7.1.8** 用于基坑、地基处理的加固型再生细粒固化土施工质量验收除应符合本规程规定外，尚应符合现行国家标准《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB 50086，现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79、《建筑桩基技术规范》JGJ 94、《型钢水泥土搅拌墙技术规程》JGJ/T 199等的规定。

**7.2 主控项目**

**I 道路修筑**

**7.2.1** 用于道路修筑的碾压型再生细粒固化土等级和性能应符合设计要求。

检查数量：全数核查。

检验方法：核查质量证明文件。

**7.2.2** 再生细粒固化土进场时，应对含水率、7d无侧限抗压强度、承载比、水稳系数进行复验，复验应为见证取样检验。

1 含水率应呈最佳含水率状态，允许偏差范围应为±2%；

2 7d无侧限抗压强度应符合设计要求；

3 承载比应符合设计要求；

4 水稳系数应符合设计要求。

检查数量：同一配合比的再生细粒固化土每2000㎡抽检1组。

检验方法：现场取样成型；核查复验报告。

**7.2.3** 再生细粒固化土道路路基的压实度应符合本规程5.2.7条的规定。

检査数量：每1000㎡，每压实层抽检3点。

检验方法：环刀法或灌砂法。

**7.2.4** 再生细粒固化土道路路基顶面弯沉值不应大于设计规定。

检查数量：每车道、每20m测1点。

检验方法：弯沉仪检测。

**7.2.5** 再生细粒固化土道路路基应钻取芯样检验其整体性。芯样的高度应不小于上路床厚度的90%，芯样顶面、四周应均匀、致密。

检查数量：每1000㎡，抽检1点。

检验方法：钻芯取样，芯样直径宜为100mm。

**Ⅱ 沟槽回填**

**7.2.6** 用于沟槽回填的流态型再生细粒固化土等级和性能应符合设计要求。

检查数量：全数核查。

检验方法：核查质量证明文件。

**7.2.7** 再生细粒固化土进场时，应对抗压强度进行复验，复验应为见证取样检验。

检查数量：按每200m³取样一次，不足200m³亦取样一次。

检验方法：现场取样成型；核查复验报告。

**Ⅲ 基坑、地基处理**

**7.2.8** 承重固化土桩的成桩质量可采用钻孔取芯、标准贯入、载荷试验等方法进行检验，并符合下列规定：

1 应根据设计要求，进行单桩、单桩复合地基或多桩复合地基静荷载试验。

2 钻孔取芯和荷载试验宜在成桩28d后进行。取芯数量不少于总桩数的1%、且不少于3根。

3 对整根桩进行钻孔取芯，将整根桩等分成上、中、下三段，每段分别制作一组试件，每组三块。

4 试件高度与直径之比值为1.0~2.0，可根据试样软硬程度作适当调整，进行无侧限抗压强度试验。

5 应根据试件的高径比，按照公式（7.1.5）对试件的取芯强度R进行修正，获得修正后的取芯强度值R’：

*R*’=*R* （7.2.8）

式中 *β*——高径比修正系数，按表7.2.85取插值。

表7.2.8 高径比修正系数

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 高径比 | ＜0.79 | 1.11 | 1.30 | 1.48 | 1.67 | 1.85 | 2.00 |
| β | 0.85 | 0.89 | 0.93 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 1.00 |

**7.2.9** 支护、止水固化土桩的成桩质量检验应符合下列规定：

1 宜在成桩28d后，进行钻孔取芯试验，取芯数量不少于总桩数的2%且不少于3根。

2 必要时可进行早期取芯试验，但取芯强度应达到设计要求的28d强度。

3 对于搭接质量和止水效果，可在止水帷幕施工闭合后且达到养护时间要求的条件下，采用坑内降水观察法进行检验。

4 检验点应优先布置在：有代表性的桩位；施工中出现异常情况的部位；地基情况复杂，可能对施工质量产生影响的部位。

**7.2.10** 取芯强度、标准贯入和载荷试验等项目的试验结果应符合设计要求。

**7.3 一般项目**

**I 道路修筑**

**7.3.1** 再生细粒固化土道路路基允许偏差及检查数量和检验方法应符合表7.3.1的规定。

表7.3.1 再生细粒固化土路基允许差及检查数量和检验方法

| 项目 | 允许偏差 | 检验频率 | | | | 检验方法 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 范围/m | 点数 | | |  |
| 路床纵断高程/mm | -20  +10 | 20 | 1 | | | 用水准仪测量 |
| 路床中线偏位/mm | ≤30 | 100 | 2 | | | 用经纬仪、钢尺量取最大值 |
| 路床平整度/mm | ≤15 | 20 | 路宽/m | ＜9 | 1 | 用3米直尺和塞尺连续量两尺，取较大值 |
| 9~15 | 2 |
| ＞15 | 3 |
| 路床宽度/mm | 不小于设计值+B | 40 | 1 | | | 用钢尺量 |
| 路床横坡 | ±0.3%且不反坡 | 20 | 路宽/m | ＜9 | 2 | 用水准仪测量 |
| 9~15 | 4 |
| ＞15 | 6 |
| 边坡 | 不陡于设计值 | 20 | 2 | | | 用坡度尺量，每侧1点 |

注：表中B为施工时必要的附加宽度。

**7.3.2** 再生细粒固化土道路路基应表面平整、坚实，无显著轮迹、翻浆、波浪、起皮等现象，路堤边坡应密实、稳定、平顺等。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

**Ⅱ 沟槽回填**

**7.3.3** 流态型再生细粒固化土的流动扩展度应符合设计要求，检验数量和检验方法应符合下列要求：

1 检查数量：按每200m³取样一次，不足200m³亦取样一次。

2 检验方法：现场取样测试。

**7.3.4** 流态型再生细粒固化土养护完成后，标高应符合设计与施工方案的要求，检验数量和检验方法应符合下列要求：

1 检查数量：全数检查。

2 检验方法：采用水准仪测量标高。

**7.3.5** 浇筑体暴露面的外观质量不得出现影响后续施工工艺或施工质量的缺陷；回填体表面出现的非受力裂缝宽度应小于5mm，表面蜂窝面积应小于总表面积的1%；检验数量和检验方法应符合下列要求：

1 检验数量：填筑工程的所有作业面。

2 检验方法：现场检查。

# 附录A 流态型再生细粒固化土流动扩展度试验方法

**A.1 适用范围**

**A.1.1** 本试验用于测试流态型再生细粒固化土的流动扩展度。

**A.2 试验用具**

**A.2.1**  边长不小于500mm的玻璃平板1块。

**A.2.2**  水准仪1个。

**A.2.3**  测试圆柱筒1个，其上下开口内径应为（75±1）mm，高应为（150±1）mm，内壁应光滑，壁厚不应小于 5mm，圆柱筒两端平齐光滑，圆柱筒材质宜为高分子塑料或钢。

**A.2.4**  钢尺1把，量程为500mm，精度为1mm。

**A.3 试验步骤**

**A.3.1**  将玻璃平板放置于水平桌面或地面上，采用水准仪测试并调整玻璃平板，使其在两个垂直方向上均保持水平。

**A.3.2**  用湿毛巾擦拭玻璃平板，使其保持润湿状态。

**A.3.3**  将圆柱筒的一端竖直放置在玻璃平板中心位置处，让圆柱筒的一个端面与玻璃板紧密接触。

**A.3.4**  将搅拌好或从现场取样的拌和物，分两次装入圆柱筒中，每装入一次，采用捣棒均匀插捣 5 次。

**A.3.5**  最后在圆柱筒上端面用抹刀将拌和物沿上端面刮平，擦去圆柱筒外壁和平板玻璃上的粘留物。

**A.3.6**  将圆柱筒垂直向上一次性提起，拌和物坍落后在玻璃平板上形成饼状物。

**A.3.7**  用钢尺在最大直径方向及其垂直方向上分别测量饼状物的直径，精确到0.5mm，两直径的平均值为流态型再生细粒固化土的流动扩展度，精确到1mm。

**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。

《建筑地基基础设计规范》GB 50007

《普通混凝土拌合物试验方法标准》GB/T 50080

[《混凝土物理力学性能试验方法标准](http://www.baidu.com/link?url=SwsfPeo7urWzCSm0Hp9Jk5GBvjtHO6uACWNz69G_qR5JVAFVHH5Ly-dq7Tib1ArVOtRL4KtrcgP531RZqAs64q" \t "https://www.baidu.com/_blank)》GB/T 50081

《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB 50086

《土工试验方法标准》GB/T 50123

《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202

《建筑施工安全技术统一规范》GB 50870

《通用硅酸盐水泥》GB 175

《水泥化学分析方法》GB/T 176

《水泥密度测定方法》GB/T 208

《水泥细度检验方法》GB/T 1345

《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346

《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596

《建筑材料放射性核素限量》GB 6566

《混凝土外加剂匀质性试验方法》GB/T 8077

《水泥取样方法》GB 12573

《水泥胶砂强度检验方法（ISO法）》GB/T 17671

《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》GB 18599

《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 36600

《土壤固化外加剂》CJ/T 486

《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1

《城镇道路路面设计规范》CJJ 169

《城市道路路基设计规范》CJJ 194

《混凝土用水标准》JGJ 63

《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T 70

《建筑地基处理技术规范》JGJ 79

《建筑桩基技术规范》JGJ 94

《型钢水泥土搅拌墙技术规程》JGJ/T 199

《[水泥土配合比设计规程》](http://www.baidu.com/link?url=HKtmRld-5fV8dNYmpVQp1FZXu0iYjQOsnKOYs5OZzzi670jJZKNfoVMvewDvsPF1Igdj3_xQ2iixifb7tEGya_" \t "https://www.baidu.com/_blank)JGJ/T 233

《公路桥涵设计通用规范》JTG D60

《公路桥涌地基与基础设计规范》JTG D63

《公路土工试验规程》JTG 3430

《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG 3441

《公路路基路面现场测试规程》JTG 3450

《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650

**中国工程建设标准化协会标准**

**再生细粒固化土应用技术规程范**

T/CECS　xxx－202X

**条 文 说 明**

# 制 定 说 明

本规程制定过程中，编制组进行了深入的调查研究，总结了我国再生细粒固化土用于道路修筑、沟槽回填、基坑和地基处理等工程的实践经验，同时参考了国内外先进技术标准，通过对再生细粒固化土拌合物性能、力学性能的试验研究，取得了再生细粒固化土用于工程回填和软土加固的重要技术参数。

再生细粒固化土是应用工程渣土、炉底渣等低值固体废物的性能特点，采用土体硬化剂作活性激发剂，通过固体废物之间宏观空隙的物理填充、粉料胶结等水化硬化，以获得良好的工作性能、路用性能和耐久性能。再生细粒固化土可替代中低标号混凝土或碾压混凝土，已在国内的道路路基、管沟肥槽、基坑地基等工程中得到应用，取得良好效果。由于再生细粒固化土大量消纳了低值固体废物，其性能波动较大，有效控制原材料质量及最佳配比设计对确保路修筑、沟槽回填、基坑和地基处理等工程质量具有重要意义。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程时能正确理解和执行条款规定，《再生细粒固化土应用技术规程范》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进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

**目 次**

[1 总则 （38）](#_Toc136432503)

[2 术语 （](#_Toc136432504)39）

[3 基本规定 （](#_Toc136432505)41）

[4 材料 （42）](#_Toc136432506)

[4.2 原材料 （42）](#_Toc136432508)

[4.3 再生细粒固化土 （](#_Toc136432509)42）

[6 施工 （](#_Toc136432512)44）

[6.2 道路修筑 （](#_Toc136432517)44）

[6.3 沟槽回填 （](#_Toc136432518)44）

[6.3 基坑、地基处理 （](#_Toc136432518)44）

# 1 总 则

**1.0.1** 我国城市建筑垃圾年产生量超20亿吨，其中工程渣土约占建筑垃圾总量的70%~80%，工程渣土一般采取填埋堆放方式进行处置；燃煤电厂炉底渣大多也只能以堆放方式进行处置；工程渣土和炉底渣长期堆放，存在占用土地、污染环境和安全隐患等问题，已成为制约城市可持续发展的重要问题，亟待解决。再生细粒固化土可大宗利用工程渣土和炉底渣等固体废弃物，可有效推进工程渣土、炉底渣等固体废弃物的资源化利用，对保护土地资源、改善生态环境质量、实现“碳达峰、碳中和”目标，促进生态文明建设均具有重要意义。

我国城市建设与改造快速推进，垃圾围城、资源紧缺和环境污染等问题日益突出。工程渣土和炉底渣等固体废弃物若仍采取填埋处置方式将难以为继，如何安全、高效且经济的实现这些固体废弃物资源化利用，已成为城市建设过程中亟须解决的难题。

根据“十四五”时期“无废城市”建设要求，推进工程渣土和炉底渣资源化利用水平以“补短板”无疑是当前最重要的工作之一。本规程的编制将填补工程渣土和炉底渣等固体废弃物资源化利用领域的标准空白，有助于规范和指导工程渣土和炉底渣在工程回填和软土加固等工程中的资源化利用，提升工程渣土和炉底渣等固体废弃物综合利用水平，助力“无废城市”建设和绿色高质量发展。

**1.0.2**  本规程规定了再生细粒固化土用于新建、扩建和改建的道路修筑、沟槽回填、地基加固等工程的设计、施工及验收要求。再生细粒固化土在广场、停车场、小区道路等工程中的应用也可按本规程执行。

# 2 术 语

**2.0.1** 各类工程基础开挖产生的工程渣土是目前城市建设过程中最主要的土壤类固体废弃物类型。工程渣土主要由高岭石、伊利石、蒙脱石和石英、长石、云母等次生和原生矿物组成的土壤类固体废弃物，不包括经检验、鉴定为危险废物的土壤类固体废弃物。

工程渣土大多为深基坑开挖过程中产生的饱和淤泥质黏土，天然含水率高达40%~50%；而符合压实度要求的基土的最佳含水率一般为15%左右，两种含水率的差距很大。工程上通常采用晾晒的方法，或者掺加石灰的方法，将工程渣土的含水率降低至最佳含水率附近，以符合分层碾压的要求。

**2.0.4** 土体硬化剂在土体加固中的作用机理：一是针对土体天然含水率高的特点，土体硬化剂在软土中形成适宜的钙硫浓度，易生成高结晶水的钙钒石晶体，将软土的自由水转化为钙钒石的结晶水，降低了软土的自由水含量。二是针对土体孔隙大、能容纳较大的膨胀量的特点，土体硬化剂生成适量的膨胀组分，在软土中微膨胀，有利于其硬化体结构的密实和强度提高。三是针对土体粒径小、比表面积大的特点，土体硬化剂中超细、高活性的石灰、粉煤灰等，在碱性激发下，生成水化硅酸钙，增强土粒间的结构联结。四是针对土颗粒、粉煤灰、炉底渣等具有潜在的火山灰活性，土体硬化剂中氧化钙含量高的水泥、石灰等，与土粒产生缓慢的水化反应，提高后期强度。

**2.0.5** 再生细粒固化土经拌合、浇筑、压实和养生处理后，其中土体硬化剂自身各组分之间以及与土颗粒之间发生一系列物理、化学反应，土力学性能发生显著改善的土。

填料应用是工程渣土和炉底渣等固体废弃物资源化利用的重要方向之一， 根据不同回填应用场景对材料性能指标的差异化需求，应选择不同类型的再生回填材料进行利用。一是对于材料强度、水稳定性等有较高要求的道路工程，应对工程渣土和炉底渣等采用固化技术制备碾压型固化土后进行利用；二是对于管沟肥槽、台背和采空区等狭长、深异空间的回填部位，宜采用流动性好、可自密实填充且硬化后强度适宜的流态型再生细粒固化土材料。

**2.0.6**  厂拌法有利于工程渣土和炉底渣等资源化利用在规模化、质量保障和环境保护等方面的控制；但投资较大，适用于工程渣土等固体废弃物集中产生，再生产品具有稳定需求的场景。利用片区基础设施建设产生的工程渣土制备道路、沟槽等工程的回填材料，解决了工程渣土处置难和天然回填材料资源紧缺等难题，实现了片区工程渣土的“内循环”，综合效益显著。

**2.0.7**  场拌法具有工程渣土等固体废弃物资源化利用灵活、投资较低等优势，能较好满足项目中工程渣土分散、间断产生的特点；但该方式下工程渣土的处理规模较小，且对再生产品的质量调控和环保提出了较高的要求。

**2.0.10** 管道沟槽、肥槽等回填工程的回填部位常具有“狭长深异”的构造特点，面临施工作业面小、回填压实设备和人员难以进入等施工难题，易造成回填密实性差、回填质量低等工程质量问题；流态型再生细粒固化土具有良好的流动性，可依靠自身重力在回填空间实现自密实填充，在养护过程中因所含土体硬化剂发生固化反应而形成一定强度，可提高回填部位结构稳定性，提高回填工程质量。

# 3 基本规定

**3.0.5**  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，二者均对矿物有分解作用；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，不利于土体硬化剂的固化效果。

# 4 材 料

**4.2 原材料**

**4.2.1** 工程渣土资源化利用应在无害化的前提下稳步推进，确保工程渣土再生产品在利用过程中及利用后不对环境和人体健康产生危害。针对受污染的工程渣土应加强其修复治理和安全监测工作，严禁污染土进入资源化利用体系。

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、塑限指数、有机质含量等，因为这些土壤的土工特性会影响再生细粒固化土的强度。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。

**4.2.3~4.2.5** 粉煤灰在石灰、水泥等碱激发的作用下具有胶凝活性，利用工业固废研制的土体硬化剂可作再生细粒固化土胶凝材料，经对国内几个公司的复合胶凝材料进行试验，用量在10%~15%，固化土强度可达1.5 MPa ~3.0MPa。

**4.3 再生细粒固化土**

**4.3.2** 再生细粒固化土的固化机理可以概括为物理、化学和物理化学三大过程。物理过程是指土体硬化剂在固化工程渣土时，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，土体的强度随外界条件改变会发生变化；化学过程是指在固化工程渣土的过程中，土体硬化剂自身的化学反应、土体与土体硬化剂之间的反应；物理化学过程是指工程渣土颗粒与土体硬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，基于了解土体硬化剂的性能和适用范围，通过室内试验，选择合适的土体硬化剂及掺量，才能起到事半功倍的效果。

**4.3.7** 管沟肥槽、台背及采空区等回填工程的回填部位常具有“狭长深异”的构造特点，此类工程常见的质量问题是回填不密实。采用流态型再生细粒固化土进行回填，坍落度＞150mm，扩展度＞300mm，可实现自密实填充，无需碾压。且此类回填工程对强度要求较低，一般不小于0.3MPa。

流态型再生细粒固化土作为肥槽回填的材料，除了强度要求外，一般都有防渗要求；因为肥槽回填项目一般都是高层的地下室，有一定的埋深，如固化土渗透系数太大，当地下水通过固化土渗入肥槽，可能增加地下室的浮力，给建筑物安全带来隐患，流态型再生细粒固化土硬化后的渗透系数一般不大于5×10-6mm/s。

# 6 施 工

**6.2 道路修筑**

**6.2.7** 松铺厚度在实际施工时应基于试验段实施后确定，无条件开展试验段时，可选择200mm~350mm的松铺厚度；如用于路基铺筑时，松铺厚度可取300mm~350mm，如用于下基层铺筑时，松铺厚度可取200mm~250mm。

**6.3 沟槽回填**

**6.3.4** 流态型再生细粒固化土从制备完成至浇筑完成的时间限定与凝结时间相关，有技术支撑的生产单位可根据施工进度需求和施工所处环境，调整流态型再生细粒固化土的凝结时间。

流态型再生细粒固化土用于管沟肥槽回填，初凝前没有强度，流态型固化土会对侧壁产生一定的压力，因此应分层分区域进行浇筑，避免侧向压力过大对结构造成危害。结合工程实践，单次回填高度为 1.5m时，结构稳定性良好，结合现有常规建筑外墙尺寸模拟计算和工程经验，确定每次浇筑厚度不宜大于2m，相邻区域浇筑高差不宜大于 1m。