UDC

中国土木工程学会标准

P T/CCES X－20XX

岩土固化剂应用技术规程

Technical Specification for Application of the Geotechnical Stabilizer

（征求意见稿）

20XX–XX–XX 发布 202X–XX–XX 实施

中国土木工程学会 发布

**中国土木工程学会标准**

岩土固化剂应用技术规程

Technical Specification for Application of the Geotechnical Stabilizer

**T/CCES XX－202X**

批准单位：中国土木工程学会

施行日期：20XX年X月X日

20XX 北 京

**前 言**

本规程是根据中国土木工程学会《关于发布<2022年中国土木工程学会标准立项计划>的通知》（中土学标〔2022〕10号）的要求，由北京中岩大地科技股份有限公司、天津中岩大地材料科技有限公司会同有关单位编制完成。

在本规程编制过程中，编制组广泛调查研究和总结了岩土固化剂加固软土的相关经验，参考了国内外有关标准，并在广泛征求意见基础上，对具体内容进行了反复讨论、协调和修改，最后经审查定稿。

本规程的主要技术内容是：总则，术语、符号及参考标准，基本规定，材料要求、岩土固化剂在浅层就地固化中的应用、岩土固化剂在异位碾压加固中的应用、岩土固化剂在固化土桩中的应用、岩土固化剂在止水帷幕中的应用、岩土固化剂在流态固化土中的应用及有关的附录。

请注意本规程的某些内容可能涉及专利。本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国土木工程学会学术与标准工作委员会负责管理，由北京中岩大地科技股份有限公司、天津中岩大地材料科技有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有修改意见或建议，请寄送天津中岩大地材料科技有限公司（地址：天津市西青区张家窝镇福保路1号福保产业园(一区)4-2-B01；邮政编码：300380；电子邮箱：aklikai2009@sina.com）。

本 规程主 编 单 位：

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](#_Toc173511448)

[2 术语、符号及参考标准 2](#_Toc173511449)

[2.1术语 2](#_Toc173511450)

[2.2符号 3](#_Toc173511451)

[2.3参考标准 4](#_Toc173511452)

[3 基本规定 6](#_Toc173511453)

[4 材料要求 8](#_Toc173511454)

[4.1 一般规定 8](#_Toc173511455)

[4.2 岩土固化剂技术要求 8](#_Toc173511456)

[4.3 验收要求 8](#_Toc173511457)

[5 岩土固化剂在浅层就地固化中的应用 9](#_Toc173511458)

[5.1 一般规定 9](#_Toc173511459)

[5.2 设计 9](#_Toc173511460)

[5.3 施工 11](#_Toc173511461)

[5.4 质量检验 12](#_Toc173511462)

[6 岩土固化剂在异位碾压加固中的应用 13](#_Toc173511463)

[6.1 一般规定 13](#_Toc173511464)

[6.2 设计 13](#_Toc173511465)

[6.3 施工 15](#_Toc173511466)

[6.4 质量验收 17](#_Toc173511467)

[7 岩土固化剂在固化土桩中的应用 20](#_Toc173511468)

[7.1 一般规定 20](#_Toc173511469)

[7.2 设计 20](#_Toc173511470)

[7.3 施工 22](#_Toc173511471)

[7.4 质量检验 23](#_Toc173511472)

[8 岩土固化剂在止水帷幕中的应用 24](#_Toc173511473)

[8.1 一般规定 24](#_Toc173511474)

[8.2 设计 24](#_Toc173511475)

[8.3 施工 25](#_Toc173511476)

[8.4 质量检验 25](#_Toc173511477)

[9 岩土固化剂在流态固化土中的应用 27](#_Toc173511478)

[9.1 一般规定 27](#_Toc173511479)

[9.2 设计 27](#_Toc173511480)

[9.3施工 29](#_Toc173511481)

[9.4质量检验 30](#_Toc173511482)

[本规程用词说明 32](#_Toc173511483)

[条 文 说 明 33](#_Toc173511484)

Contents

[1 General provisions 1](#_Toc435778383)

[2 Terms, symbols and reference standards 2](#_Toc435778384)

[2.1 Terms 2](#_Toc435778385)

[2.2 Symbols 3](#_Toc435778386)

[2.3 Reference Standards 4](#_Toc435778386)

[3 Basic Requirements 6](#_Toc2079)

[4 Material Requirements 8](#_Toc13870)

[4.1 General Requirements 8](#_Toc15835)

[4.2 Technical Requirements for Geotechnical Stabilizer 8](#_Toc10107)

[4.3 Acceptance Requirements 8](#_Toc10107)

[5 Application of Geotechnical Stabilizer in Shallow in-situ Solidification 9](#_Toc1553)

[5.1 General Requirements 9](#_Toc32669)

[5.2 Design 9](#_Toc23551)

[5.3 Construction 1](#_Toc4340)1

[5.4 Quality Testing 1](#_Toc4340)2

[6 Application of Geotechnical Stabilizer in ex situ Compaction Solidification 13](#_Toc21115)

[6.1 General Requirements 1](#_Toc32669)3

[6.2 Design 1](#_Toc23551)3

[6.3 Construction 1](#_Toc4340)5

[6.4 Quality Testing 1](#_Toc4340)7

[7 Application of Geotechnical Stabilizer in Solidified Soil Mixing Piles 20](#_Toc21115)

[7.1 General Requirements 2](#_Toc32669)0

[7.2 Design 2](#_Toc23551)0

[7.3 Construction 22](#_Toc4340)

[7.4 Quality Testing 2](#_Toc4340)3

[8 Application of Geotechnical Stabilizer in Waterproof Curtain 24](#_Toc21115)

[8.1 General Requirements 24](#_Toc32669)

[8.2 Design 24](#_Toc23551)

[8.3 Construction 25](#_Toc4340)

[8.4 Quality Testing 25](#_Toc4340)

[9 Application of Geotechnical Stabilizer in Fluid Stabilized Soil 27](#_Toc21115)

[9.1 General Requirements 27](#_Toc32669)

[9.2 Design 27](#_Toc23551)

[9.3 Construction 29](#_Toc4340)

[9.4 Quality Testing 30](#_Toc4340)

[Explanation for Wording in the Specification 32](#_Toc11656)

[Explanation of Provisions 33](#_Toc11656)

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范岩土固化剂的工程应用，确保技术先进、质量可靠、低碳环保和资源节约，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于岩土固化剂在建筑与市政工程、道路工程、港口工程等工业建筑与民用建筑工程中的设计、施工和质量检验。

**1.0.3** 岩土固化剂的应用除应符合本标准外，尚应符合国家、行业现行有关标准的规定。

# 2 术语、符号及参考标准

**2.1术语**

**2.1.1** 岩土固化剂 geotechnical stabilizer

用于固化软土及其他细粒土的无机水硬性胶凝材料。其与土充分拌和后，通过自身各组分之间以及与土之间的物理、化学反应，可显著改善土的物理力学性质，且能形成满足环境标准并保持长期稳定的固化体。

**2.1.2** 固化土 stabilized soil

岩土固化剂与土充分拌合均匀并经养护后形成的固化体。

**2.1.3**水灰比 ratio of water to stabilizer

浆液中水与岩土固化剂的质量比。

**2.1.4**掺入比 stabilizer mixing ratio

固化土中岩土固化剂与土的质量比，用百分数表示。

**2.1.5**掺入量 volume dosage of stabilizer

每立方土体中岩土固化剂的掺入质量，单位为kg/m3。

**2.1.6** 固化土无侧限抗压强度 unconfined compressive strength

固化土立方体试块在无侧限压力条件下，抵抗轴向压力的极限强度。

**2.1.7** 固化土配合比试验 mix ratio test for stabilized soil

按照固化土中各材料组成比例进行室内固化试验，验证固化土性能是否满足要求。

**2.1.9** 浅层就地固化 in-situ shallow solidification treatment

对地表层软弱土体进行就地固化处理的一种浅层处理方法。

**2.1.10** 固化土止水帷幕curtain for cutting off water of stabilized soil

为提高基坑或边坡围护结构的抗渗性，采用岩土固化剂与土体混合均匀形成的深层搅拌桩或旋喷桩的地下连续固化土体。

**2.1.11** 固化土桩 stabilized soil piles

利用搅拌桩机或旋喷机将岩土固化剂与土体充分搅拌，岩土固化剂与土体发生一系列物理化学反应，使土体固化提高地基强度的搅拌桩体。

**2.1.12** 流态固化土 fluidized solidified soil

是由岩土固化剂、土料（泥浆）、水或外加剂搅拌均匀后具有一定流动性能的固化土混合料，养护硬化后形成一定强度的固化土。

**2.1.13** 流动度 fluidity

表示流态固化土流动性的指标，指拌和均匀的流态固化土坍落后扩展的直径。

**2.1.14** 现拌法on site mixing method

在施工现场就地拌合制备固化土混合料的施工方法。

**2.1.15** 预拌法pre mixing method

集中设置拌合基地，采用专用设备拌合制备固化土混合料的施工方法。

**2.2符号**

——设计验算时采用的固化土无侧限抗压强度（kPa）；

——强度折减系数；

——与原位搅拌固化土配合比相同的室内固化土试块在标准养护条件下90d龄期无侧限抗压强度平均值（kPa）。

 ——相应与荷载效应标准组时，固化土底面处的附加应力值（kPa）；

——浅层就地固化底面处土的自重压力值（kPa）；

 ——浅层就地固化底面处经深度修正后的地基承载力特征值（kPa）；

——固化土层顶面的附加应力（kPa）；

——固化土在计算附加应力范围内的压缩模量（MPa）；

——固化土层厚度（m）；

—由桩身强度确定的单桩承载力特征值（kN）；

 —由桩侧阻力特征值及桩端阻力特征值确定的单桩容许承载力特征值（kN）；

—固化土桩身强度折减系数；

—与搅拌桩桩身固化剂配比相同的室内加固土试块在标准养护条件下90d龄期的立方体抗压强度平均值（kPa）；

—桩身截面积（m2）；

—桩身周长（m）；

—桩周第i层土的容许摩阻力（kPa）；

—桩周第i层土的厚度（m）；

—桩端地基土容许承载力折减系数；

—桩端地基土容许承载力（kPa）；

—桩长范围内所划分的土层数；

—复合地基承载力特征值（kPa）；

—桩间土承载力特征值（kPa）；

 —单轴承载力发挥系数；

—桩间土承载力折减系数；

—面积置换率；

—单桩分担的地基处理面积（m2）；

—加固区沉降量（m）；

—下卧层沉降量（m）；

—加固区沉降经验修正系数；

—下卧层沉降经验修正系数；

—沉降经验修正系数；

*α*—岩土固化剂掺入比（%）；

*ω0*—试验用土方的含水率（%）；

*mf*—掺入岩土固化剂的质量（kg）；

*m*0—试验用土方的质量（kg）；

*md*—流态固化土所用土方的干质量（kg）。

*mw*—用水量的质量（kg）；

*μ*—水灰比；

*ma*—外加剂的质量（kg）；

*αa*—外加剂的掺入百分比（%）。

**2.3参考标准**

1 《岩土工程勘察规范》GB 50021

2 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080

3 《土工试验方法标准》GB/T 50123

4 《建设工程项目管理规范》GB/T 50326

5 《建筑施工组织设计规范》GB/T 50502

6 《复合地基技术规范》GB/T 50783

7 《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003

8 《工程勘察通用规范》GB 55017

9 《建筑与市政工程施工质量控制通用规范》GB 55032

10.《水泥取样方法》GB/T 12573

11 《软土固化剂》CJ/T 526

12 《土壤固化剂应用技术标准》CJJ/T 286

13 《高压喷射注浆施工技术规范》HG/T 20691

14 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79

15 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106

16 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120

17 《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 233

18 《劲性复合桩技术规程》JGJ/T 327

19 《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T 702

20 《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51

21 《水运工程地基设计规范》JTS 147

# 3 基本规定

**3.0.1** 岩土固化剂用于固化处理的方法包括：浅层就地固化、异位碾压加固、固化土桩、止水帷幕、流态固化土等，其设计、施工、检验应符合现行国家及行业标准。

**3.0.2** 原土地基在进行固化设计前，相应单位应收集建设场地详细的水文工程地质资料、周边环境以及已建构筑物、埋藏的管线以及河道等情况，必要时，应进行专项补充勘察。

**3.0.3** 加固处理设计前，应对被加固土体进行室内配合比试验，确定岩土固化剂类型及其掺入比或掺入量，为设计提供固化土力学参数。

**3.0.4** 地基土加固处理施工前应做好下列工程资料准备工作：

1 搜集详细的设计图纸及图纸会审资料等，确定地基加固处理的目的和处理后要求达到的各项技术指标；

2 应取得现状地形图，对于道路加固回填场地尚应取得附有标明坐标；

3 定位测量的基准点位置、坐标及高程等；

4 进场的岩土固化剂等材料的产品合格证和质量检验报告；

5熟悉施工图、水文工程地质等资料，并对施工现场进行踏勘，充分了解场地条件和周边环境后编制施工方案。

**3.0.5** 岩土固化剂在作地基处理和复合地基中使用时，设计应符合下列要求：

1 应根据上部结构对地基处理的要求、工程水文地质条件、工期、地区经验和环境保护要求等，提出技术可行、经济合理的地基处理方案和复合地基形式，并对其适宜性进行评价；

2 地基处理、复合地基应满足设计地基承载力、变形和稳定性要求，当在受力层范围内仍存在软弱下卧层时，应进行软弱下卧层地基承载力验算和地基变形验算；

3 按地基处理、复合地基承载力确定地基承受荷载作用面积及埋深，传至地基面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合，相应的抗力应采用地基处理、复合地基承载力特征值；

4 计算地基处理、复合地基变形时，传至地基面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的准永久组合，不应计入风荷载和地震作用，相应的限值应为地基处理/复合地基变形允许值；

5 中、强腐蚀场地应增加防腐蚀措施；

6 施工前宜进行工艺性试桩，以确定施工参数，工艺性试桩数量不宜少于3根；当场地地质条件变化较大时，应针对不同地质进行工艺性试桩；

7 复合地基上宜设置褥垫层。褥垫层设置范围、厚度和垫层材料，应根据复合地基的形式、桩土相对刚度和工程地质条件等因素确定。

**3.0.6** 深层搅拌用于地下临时支护体系时，可按重力式挡土墙进行设计，挡墙两侧土压力分别可按主动土压力与被动土压力考虑，被动土压力可根据墙顶位移允许值进行折减；用于基坑止水帷幕使用时，应考虑不同施工工艺对桩身范围内土层的适宜性及防渗效果；用于边坡挡墙时，对未采用排水措施的应考虑水压力影响，并进行整体稳定性验算。

**3.0.7** 道路、堆场结构、基槽等回填压实地基处理设计应符合下列规定：

1 处理后的固化土道路、堆场结构、基槽等应满足强度、承载力、变形和稳定性要求；当在受力层范围内存在软弱下卧层时，应进行软弱下卧层地基承载力和变形验算；

2 在正式施工前，应根据室内配合比试验结果选择有代表性的场地通过现场试验验证不同掺入比的固化土处理效果，并确定最小岩土固化剂掺入比；

3 对拟压实的固化土提出压实度等质量控制要求；

4 可根据场地条件选择采用预拌法或现拌法的处理方法，并提出固化土无侧限抗压强度、承载力和变形的要求；

5 地下水位以上分层回填可采用碾压法和振动压实法，透水性较好的松散填土地基宜采用振动压实法；场地地下水位较浅时，应将地下水位降低至施工面以下不少于0.5m；

6 以黏性土、粉土质填土回填时，其含水量宜为最优含水量±2%；淤泥质土宜适当晾晒，拌和岩土固化剂掺入比应适当提高；不得使用耕土、冻土及有机质含量大于5％的土料；

7 加固施工前，应评估大面积填土对周围环境的影响；

8 固化土回填地基未经检验，不得作为道路和堆场结构的地基使用。

**3.0.8** 用于基坑、沟槽等地下空间肥槽回填的流态固化土应搅拌均匀，初始扩展度不宜小于170mm，固化土无侧限抗压强度和渗透系数应满足基坑设计要求。

**3.0.9** 施工前应完成技术交底工作，施工中应落实质量控制并及时做好施工记录和质保资料的保存，施工后应进行检测验收。

# 4 材料要求

**4.1 一般规定**

**4.1.1** 岩土固化剂应满足《软土固化剂》CJ/T526的有关规定。

**4.1.****2** 岩土固化剂的制备应兼顾施工性能、加固土强度要求和资源综合利用。

**4.1.3** 岩土固化剂适用于浅层就地固化、浅层异位碾压加固、深层搅拌加固、止水帷幕、流态固化土等，其工艺指标应符合设计要求。

**4.2 岩土固化剂技术要求**

**4.2.1**岩土固化剂分类、标记、工艺指标、物理指标、固化土强度等级、稳定性应符合行业标准《软土固化剂》CJ/T526的规定。

**4.2.2** 根据土体种类和性质、加固要求、施工工艺、施工条件等，通过配合比试验确定满足工程要求的软土固化剂种类和设计掺量。

**4.2.3** 进行岩土固化剂配合比试验，岩土固化剂材料种类不宜少于2种，每种材料的掺量不应少于3个梯度。

**4.3 验收要求**

**4.3.1** 岩土固化剂检验批次、取样方法应符合行业标准《软土固化剂》CJ/T526的规定。

**4.3.2** 固化剂进场检验应符合以下规定：

1 固化剂进场7d内，生产单位应提供试验结果报告，报告内容应包括产品物理指标、工艺指标、强度等级、标记、用户名称、生产厂名和地址、试验报告编号及日期、生产批号和数量。

2 材料进场后，监理单位应在三方见证下随机取样并委托第三方检测机构，按照设计工艺参数和设计掺量进行固化土强度检测，对固化剂产品进行检验，并留样备查。

# 5 岩土固化剂在浅层就地固化中的应用

**5.1 一般规定**

**5.1.1** 浅层就地固化主要用于改善浅层地基土强度及压缩性，可用于道路路基、一般堆场硬壳层、河道、沟浜塘泥处理、施工临时通道以及荷载相对较小、重要性较低的建、构筑物地基处理。

**5.1.2** 正式施工前应在现场选取一个或几个浅层就地固化试验区，根据设计要求开展工前试验，试验区数量应根据地基土层类型、加固功能及结构重要性等因素综合确定。

**5.2 设计**

**5.2.1**根据设计功能确定浅层就地固化范围、深度、固化土参数及质量验收标准。就地固化作为承载结构时应根据上部结构对承载力和变形的要求确定设计指标，作为提高抗滑稳定性而设置的原位固化体应根据稳定分析确定设计指标。

**5.2.2** 浅层就地固化深度宜小于5m，固化深度超过5m时，应通过工前试验确定适用性。当采用强力搅拌设备进行施工时，固化深度不宜小于1.5m。

**5.2.3** 浅层就地固化宜采用满堂式、全部固化方式；针对深厚软土层，加固深度应根据下卧层承载力以及压缩性要求分析确定；当浅层就地固化体设计为悬浮式时，还应根据上部荷载特点进行地基稳定性分析。

**5.2.4** 浅层就地固化土体无侧限抗压强度，可根据室内固化土试块无侧限抗压强度，按下式确定：

式中：——设计验算时采用的无侧限抗压强度（kPa）；

——强度折减系数；与选用的原位搅拌工艺、养护条件、固化土设计强度有关。应根据配合比及工前试验确定，方案设计时可采用0.35~0.85；

——与原位搅拌固化土配合比相同的室内固化土试块在标准养护条件下90d龄期无侧限抗压强度平均值（kPa）。

**5.2.5** 当对浅层就地原位固化施工进度有明确要求时，可将特定龄期无侧限抗压强度作为设计控制指标。

**5.2.6** 浅层就地固化表面承载力宜通过荷载板试验确定，方案设计时可根据固化土抗剪强度指标确定。计算方法依照现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007的有关规定进行计算，或可采用无侧限抗压强度的0.5~0.7倍进行估算。

**5.2.7** 当浅层就地固化范围以下存在软弱下卧层时，应按下式验算软弱下卧层的地基承载力：

式中： ——相应与荷载效应标准组时，固化土底面处的附加应力值（kPa），应按照现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007进行附加应力的计算，其中固化土层中地基压力扩散线与垂直线的夹角取28°-30˚；

——浅层就地固化底面处土的自重压力值，固化土重度根据室内配合比试验确定（kPa）；

 ——浅层就地固化底面处经深度修正后的地基承载力特征值（kPa）。

**5.2.8** 浅层就地固化厚度应根据需要置换的软弱土层深度或下卧土层承载力确定，通过下卧土层承载力确定加固深度时，可按本规范5.2.7条中的公式计算。

**5.2.9** 固化土的变形包括固化土层的自身压缩变形S1和下部未加固土层的变形S2。

**1** 固化土自身压缩量S1可按下式计算：

*h*

式中：——固化土层顶面的附加应力（kPa）；

——固化土在计算附加应力范围内的压缩模量，根据试验确定（MPa）；

——固化土层厚度（m）；

**2** 加固深度以下土层的压缩变形S2可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007的有关规定进行计算。

**5.2.9** 浅层就地固化地基的稳定性分析可采用刚体极限平衡法，滑动面采用圆弧形滑面，当加固体下为基岩或存在结构面时，应采用沿结构面的平面或折线形滑面。固化土抗剪强度取无侧限抗压强度的1/2。

**5.2.11** 作为河道、沟浜污泥处理的浅层就地固化除满足承载力、位移控制要求外，还应满足相应的有机质及环保指标。

**5.3 施工**

**5.3.1** 施工前应通过现场实验搅拌头转速、供料系统压力、搅拌头提升及下降速率、单区块上下搅拌次数、喷料速率等；当无参考经验时，宜按表5.3.1执行。

**表5.3.1 工艺参数**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 参数 | 要求 |
| 1 | 搅拌头转速 | 70r/min ~120 r/min |
| 2 | 搅拌头提升及下降速率 | 0.03m/s ~ 0.15m/s |
| 4 | 单区块上下搅拌次数 | 1~2 |
| 5 | 喷料速率 | 80kg/min ~200 kg/min |

**5.3.2** 施工时应进行动态监控，当实际地质情况与设计不符或设计方案因故不能实施时，应及时提出书面报告，根据实际情况进行动态设计，修正设计方案。

**5.3.3** 施工前应明确实验室固化土的配合比设计；根据确定的固化土配合比和设计强度要求，选取典型地块开展现场试验；单个试验地块不宜小于25m2。

**5.3.4** 浅层就地固化采用分区施工，单个区块面积不宜小于10m2。

**5.3.5** 浅层就地固化采用边固化边推进的形式进行，施工应保证搅拌均匀，各施工区块之间应设置不小于10cm的复搅搭接宽度；对一般软土宜采用原位垂直上下搅拌固化方式。

**5.3.6** 浅层就地固化固化土养护应符合以下规定：

1 固化土初步平整后进行表面养护，养护时间宜在7d以上；在有条件的情况下可采取预压或其它密实措施，保证搅拌后固化土的整体性；

2 养护时如遇雨天宜在固化场地表面铺设塑料薄膜或其它防水措施，同时加强场地排水，减少雨水影响；

3 养护环境为潮间带海洋环境时，应采取适当施工措施避免养护期间固化土遭受波浪作用的影响；

4 养护期满足设计要求后，施工单位应按要求进行就地固化施工质量的自检工作，以保证工程质量。

**5.3.7** 养护完成后，对固化土表层进行整平，经检验合格后，方可进行下一步的施工作业。

**5.4 质量检验**

**5.4.1** 浅层就地固化的质量检验应贯穿在施工的全过程中，施工过程中必须随时检查施工记录和计量工作。施工过程中检查重点是固化剂用量、固化深度、搅拌头提升速度、复搅次数、喷浆停浆控制等。

**5.4.2** 浅层就地固化主控项目应包含固化土强度、加固深度以及承载力检测；一般检验项目应包含标高、平整度及加固宽度检测。浅层就地固化检测应满足下列规定：

**1** 浅层就地固化的强度检测，可通过钻芯取样进行无侧限抗压强度检测或通过静力触探、标准贯入法检测；大面积就地固化加固体强度检验数量不宜小于5000m2/处；当加固体为条带状时，检验数量不少于100m/处；加固体作为建、构筑物基础时每个基础下方不应少于3处；

**3**加固体表面承载力检测应采用承载板试验，大面积就地固化时，检验数量宜按照10000m2/处，且不少于3处；

**4** 浅层就地固化标高、宽度、厚度可按下表5.4.2执行。

**表5.4.2 浅层就地固化检测要求**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 允许偏差 | 检验方法 | 检测方法和频率 |
| 1 | 标高/mm | 道路堆场±100建构筑物基础±50 | 水准仪按10m方格网测量 | 每3000平方或每300m测试点不得少于3处 |
| 2 | 宽度/mm | （0，+100） | 测距仪或钢卷尺测量 | 每3000平方或每300m测试点不得少于3处 |
| 3 | 厚度/mm | (0，+200) | 静力触探或钻芯法 | 每3000平方或每300m测试点不得少于3处 |

**5.4.3** 浅层就地固化检测应在施工28d后进行，当采用其它龄期强度作为验收标准时应根据工前试验确定强度换算关系。

**5.4.4** 根据设计功能，浅层就地固化固化土检测项目还可包括：密度、含水率、孔隙比、压缩模量、抗剪试验等，检测数量及要求根据设计要求执行。

# 6 岩土固化剂在异位碾压加固中的应用

**6.1 一般规定**

**6.1.1** 岩土固化剂在异位碾压加固中的应用主要有：道路及堆场的地基、垫层或替代结构层等。

**6.1.2** 岩土固化剂用于道路及场地结构层时，应结合当地材料特点和设计要求，根据土的种类特性、道路等级、交通荷载、应用层位、使用要求、施工条件等进行技术经济比较，选用适合的岩土固化剂和配比设计，可采用碾压施工。

**6.1.3** 固化土设计应选择技术可靠、经济合理的设计方案，并应符合现行行业标准《城镇道路路面设计规范》CJJ169、《公路沥青路面设计规范》JTGD50、《公路水泥混凝土路面设计规范》JTGD40及《港口道路与堆场设计规范》JTS168等有关规定。

**6.2 设计**

**6.2.1** 固化土路床、基层和底基层应具有足够的强度、稳定性、较小的收缩（温缩及干缩）变形。

**6.2.2** 道路用固化土无侧限抗压强度等级应按照标准养护7d无侧限抗压强度表示。固化土无侧限抗压强度指标应符合表6.2.3-1~表6.2.3-3的规定。固化土基层、底基层设计厚度不应小于15cm。

**表6.2.3-1不同道路等级固化土路床7d无侧限抗压强度（MPa）**

|  |  |
| --- | --- |
| 结构层 | 道路等级 |
| 快速路、主干路 | 次干路、支路 |
| 上路床 | ≥0.6 | ≥0.5 |
| 下路床 | ≥0.5 | ≥0.4 |

注：高速、一级公路参照快速路、主干路要求，二级及二级以下公路参照次干路、支路执行。

**表6.2.3-2公路固化土基层7d无侧限抗压强度（MPa）**

| 结构层 | 道路等级 | 荷载等级 |
| --- | --- | --- |
| 极重、特重交通 | 重交通 | 中、轻交通 |
| 基层 | 高速、一级公路 | — | — | 3.0~5.0 |
| 二级及二级以下公路 | — | 3.0~5.0 | 2.0~4.0 |
| 底基层 | 高速、一级公路 | 3.0~5.0 | 2.5~4.5 | 2.0~4.0 |
| 二级及二级以下公路 | 2.5~4.5 | 2.0~4.0 | 1.0~3.0 |

**表6.2.3-3城镇道路固化土基层7d无侧限抗压强度（MPa）**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 结构层 | 特重交通 | 重、中交通 | 轻交通 |
| 上基层 | — | 3.0~4.0 | 2.5~3.5 |
| 下基层 | ≥2.5 | ≥2.0 | ≥1.5 |

**6.2.3** 固化土路床、基层和底基层材料的压实度要求应符合表6.2.4-1至表6.2.4-3的规定。

**表6.2.4-1固化土路床压实度标准（%）**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 结构层 | 快速路、主干路 | 次干路、支路 |
| 路床 | ≥95 | ≥94 |

注：高速、一级公路参照快速路、主干路要求，二级及二级以下公路参照次干路、支路执行。

**表6.2.4-2公路固化土压实度标准（%）**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 结构层 | 高速公路和一级公路 | 二级及二级以下公路 |
| 基层 | ≥98 | ≥97 |
| 底基层 | ≥95 | ≥94 |

**表6.2.4-3城镇道路固化土压实度标准（%）**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 结构层 | 特重交通 | 重、中交通 | 轻交通 |
| 上基层 | — | ≥98 | ≥97 |
| 下基层 | ≥96 | ≥96 | ≥95 |

**6.2.4** 堆场用固化土的压实度应满足《港口道路与堆场设计规范》JTS168的要求。

**6.2.5** 固化土的干燥收缩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》JTGE51的有关规定进行。应根据试验结果绘制干缩应变*ε*-含水率*ω*关系曲线，并应符合下列规定：

1 应在干缩应变*ε*-含水率*ω*关系曲线上，读取固化土应用部位原状土含水率变化的范围对应的干缩应变（Δ*ε*），即实际可能发生的干缩应变值（*ε*1）；

2 干缩应变值（*ε*1）应满足下式6.2.6要求：

*ε*1=Δ*ε*≤*ε*d （6.2.6）

3 干缩应变值（ε1）不应大于1000×10-6。

**6.2.6** 固化土道路基层和底基层结构设计时，根据土体的胀缩应变，可加入砂石料、纤维配筋、膨胀剂或收缩补偿剂。对快速路和主干路等交通量较大的道路，应在面层与土壤固化剂基层之间加铺连接层，连接层宜为沥青碎石混合料。

**6.3 施工**

**6.3.1** 固化土应在5°C以上的环境温度下进行施工，并应避免雨天施工。施工前应进行测绘、划线、分段。每一作业单元施工必须在固化土混合料凝结时间内完成。

**6.3.2** 施工前应做试验段，并应根据试验段的参数，明确施工的控制要点。

**6.3.3** 施工准备应满足下列规定：

1 现场踏勘时，对拟用的土料，应铲去表层土或耕植土20cm～50cm，布点挖取代表性土样，每份宜为30kg～50kg，送试验室检测并试验；

2 试验室应对工程土料进行土性检验和固化土配制试验，出具试验报告；

3 根据设计文件、试验报告及相关规范标准和现场情况，编制施工技术方案和施工组织设计；

3 施工人员应就位，进场材料、机械设备应符合施工技术要求；大型工程项目应设立现场试验室；小型工程项目也可委托专业实验室承担试验检测工作；

4 固化土施工应按施工组织计划清理表土、平整土地、测绘放线、合理划分作业单元，应采用流水作业，每一流水作业单元面积宜为1000m2～3000m2，固化土的拌合到碾压应在工艺规定时间内完成；

5 施工项目技术负责人应结合工程特点编制作业指导书，对现场各类作业人员进行技术培训并形成记录。

**6.3.4** 现拌法施工宜按图6.3.4所示流程进行。

施工准备

测量放线

摊铺素土

初拌

复拌

整平

碾压

撒布岩土固化剂

洒水

**图6.3.4现拌法施工主要工艺流程示意图**

**6.3.5** 现拌法施工应根据施工道路的长度、宽度、基层厚度，以及试验确定的固化土混合料的配合比，确定土料、岩土固化剂和拌合水的用量。

**6.3.6** 现拌法施工场地应根据土质、现场情况、气候条件，采用压路机碾压2遍～4遍。直线段应由两侧路边缘向路中心进行碾压，平曲线段应由内侧路肩向外侧路边缘进行碾压。碾压时前后应重叠半轮宽，后轮应超过两段的接缝处。碾压过程中应符合下列规定：

1 压路机的碾压速度，第1遍和第2遍的碾压速度应为1.5km/h～1.7km/h，以后碾压速度宜为2.0km/h～2.5km/h；

2 碾压过程中若出现路段“局部过湿”、“翻浆”、“起皮”、“弹簧”等现象时，应及时采取处理措施。必要时进行加拌和补压；

3 施工横接缝处，应搭接拌和，搭接部位宜留出5m～8m不进行碾压，未碾压段应添加岩土固化剂重新拌和，并应与下一个施工段同时碾压；

4 施工时，底基层碾压完成合格后，应养护不少于7d，进行拉毛处理后，方可进行摊铺基层拌合料施工。

**6.3.7** 预拌法施工宜按图6.3.7所示流程进行。

 工厂拌合

 运输

 测量放线

 摊铺混合料

 碾压

**图6.3.7预拌法施工主要工艺流程示意图**

**6.3.8** 预拌法施工应在压实的路基上测量放线、布设中线与边线、设置标桩、确定松铺厚度、标出填筑高程。应在固化土拌和站将土料粉碎，并应按设计及施工技术方案计算的固化土配合比进行配料和拌和，固化土混合料应达到技术指标。

**6.3.9** 预拌法施工固化土混合料运输到施工现场，运输过程中应采取苫盖措施。应根据运输能力和摊铺施工能力，计算每一施工单元面积需要的混合料，应采用摊铺机、装载机或平地机等进行摊铺，局部修整可采用人工方式。

**6.3.10** 固化土层施工完成后，应及时养护。应根据工程所在地气候条件，采取洒水、薄膜覆盖、土工布覆盖、草帘覆盖等养护方法。养护7d后方可进行道路面层施工。

**6.4 质量验收**

**6.4.1** 固化土施工道路的质量控制、质量检测和验收，应符合本规程和现行行业标准《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ1、《公路工程质量检验评定标准》JTGF80/1的有关规定。

**6.4.2** 施工过程中，每道工序完成后均应经检查验收合格后方可进行下道工序；检测不合格时应及时返修，并应重新验收。

**6.4.3** 固化土道路施工中的质量控制检测频度应符合表6.4.3的规定。质量控制项目应包括下列内容：

1 道路的外形尺寸及厚度偏差的控制和检查；

2 混合料拌合均匀度，含水率；

3 固化土的压实度和强度的控制和检查。

**表6.4.3质量控制检测频度**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 频度 | 标准 | 达不到要求时处理措施 |
| 含水率 | 据观察异常时随时试验 | 最佳含水率-1%～+2% | 混合料在施工中出现含水率偏高，可以适当晾晒。这需要在混合料凝结时间范围内，否则不可行，需要补加岩土固化剂。 |
| 均匀性 | 随时观察 | 整体颜色均匀，无局部过湿过干、粗细集料离析现象 | 补充拌合，局部添加所缺集料，或换填新料，换填局部过湿混合料。 |
| 压实度 | 每1000m2，每压实层抽检1组 | 应符6.2.4 | 继续碾压，局部含水量过大或材料不良的点，挖除并换填固化混合料。 |
| 抗压强度 | 每1000m2，抽检1组 | 符合设计要求 | 调查原料配合比，按需要增加岩土固化剂掺量，调整配合比，提高压实度或采用其他措施。 |

**6.4.4** 固化土施工质量检验的主控项目应包括原料质量、强度和压实度，并应符合下列规定：

1 土料质量检验应符合下列规定：

（1）土料中有机质含量（重量比）不应超过10%；

（2）用于道路路基时，最大粒径不应大于150mm，用于道路底基层时，最大粒径不应大于40mm，用于道路基层时，最大粒径不应大于30mm；

（3）每种土源或每5000m3为一批次，每批次应抽样1组。

2 固化土无侧限抗压强度代表值应符合本规程第6.2.3条的规定；

（1）检查数量：施工现场每1000m2随机抽检混合料l组，每组成型9个试件；

（2）检查方法：成型后养护7d，检验无侧限抗压强度。

3 固化土的压实度应符合本规程第6.2.4、6.2.5条的规定：

（1）检查数量：每1000m2测1组，每组测3个点，均匀布点；

（2）检查方法：灌砂法或环刀法。

**6.4.5** 固化土施工质量检验的一般项目应为外观检查，外观检查应符合下列规定：

1 表面应平整、坚实、接缝平顺，无松散沟坑；

2 外形尺寸偏差应符合本规程表6.4.5的规定。

**表6.4.5 固化土外形质量检测标准和频度**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程部位 | 序号 | 项 目 | 频 度 | 质量标准 |
| 路基 | 1 | 层底面高程（mm） | 每 20 延米一个断面，每断面 3 点 | +5～-20 |
| 2 | 纵断高程（mm） | 每 20 延米一个断面，每断面 3 点 | +5～-20 |
| 3 | 宽度（mm） | 每 40 延米一处 | 不小于设计宽度 |
| 4 | 横坡度（％） | 每 100 延米 3 处 | ±0.3%且不反坡 |
| 5 | 平整度（mm） | 每 200 延米 2 处，每处连续 10 尺 | 20 |

注： 层底面高程及纵断高程控制后，固化土层厚度同时不应小于设计厚度。

**6.4.6** 项目质量检验应符合下列规定：

1 主控项目的抽检合格率应为100%；

2 一般项目的抽检合格率应达到85%及以上；且不合格点的最大偏差值不得大于允许偏差值的1.5倍；

3 未达标项目应经整改后重新检验；

4 施工原始资料和质量检查记录应完整齐全。

# 7 岩土固化剂在固化土桩中的应用

**7.1 一般规定**

**7.1.1** 岩土固化剂固化土桩适用于复合地基，适用工艺包括旋喷、搅拌桩等；加固深度应大于5m、宜大于8m。

**7.1.2** 岩土固化剂固化土桩在无工程经验的地区使用时应进行工艺性试验，确定工艺参数。

**7.2 设计**

**7.2.1** 岩土固化剂固化土桩加固范围不宜小于基底范围，刚性基础宜适当加宽。

**7.2.2** 岩土固化剂固化土桩桩位宜采用正三角形、正方形或矩形布置。

**7.2.3** 岩土固化剂固化土桩桩长确定应符合下列规定：

1 竖向承载固化土桩的长度应根据上部结构对承载力、稳定和变形的要求确定，并宜穿透软弱土层到达承载力相对较高的土层。

2 为提高抗滑稳定性而设置的固化土桩，其桩长应超过危险滑弧以下不小于2m。

**7.2.4** 岩土固化剂搅拌桩单桩竖向承载力宜通过现场载荷确定，设计时可按下列公式计算，需满足不小于。

式中：—由桩身强度确定的单桩承载力特征值（kN）；

 —由桩侧阻力特征值及桩端阻力特征值确定的单桩容许承载力特征值（kN）；

—固化土桩身强度折减系数，粉体搅拌桩可取0.20~0.30，浆体搅拌桩可取0.25~0.33；

—与搅拌桩桩身固化剂配比相同的室内加固土试块在标准养护条件下90d龄期的立方体抗压强度平均值（kPa）；

—桩身截面积（m2）；

—桩身周长（m）；

—桩周第i层土的容许摩阻力（kPa）；

—桩周第i层土的厚度（m）；

—桩端地基土容许承载力折减系数，可取0.4~0.6，承载力高时取低值；

—桩端地基土容许承载力（kPa）；

—桩长范围内所划分的土层数。

**7.2.5** 岩土固化剂搅拌桩复合地基的竖向承载力宜通过现场单桩或多桩复合地基载荷试验确定，设计时可按下列公式计算：

式中：—复合地基承载力特征值（kPa）；

—桩间土承载力特征值（kPa）；

 —单轴承载力发挥系数，按地区经验取值；

—桩间土承载力折减系数，刚性基础桩间土为淤泥、淤泥质土和流塑状软土等固结程度差时可取0.1~0.4；路基工程或刚性基础桩间土为其他土层可取0.4~1.0；加固土层强度较高时取高值，桩端土层强度较高时取低值；

—面积置换率；

—单桩分担的地基处理面积（m2）。

**7.2.6** 岩土固化剂搅拌桩复合地基的沉降计算参数应根据土工试验、现场原位测试、地区经验及类似工程计算参数等因素综合选取。

**7.2.7** 复合地基的总沉降量应按下式计算：

无可靠经验时复合地基的总沉降量应按下式综合计算：

式中：—加固区沉降量（m）；

—下卧层沉降量（m）；

—加固区沉降经验修正系数，与地基条件、荷载强度、上部荷载稳定时间等因素有关；

—下卧层沉降经验修正系数，与地基条件、荷载强度、加荷速率等有关；

—沉降经验修正系数，与地基条件、荷载强度等因素有关，根据地区沉降观测资料及经验确定。

**7.3 施工**

**7.3.2** 施工前宜结合工程地质、环境资料、设备能力进行工艺性试桩（墙），以确定施工参数，数量不宜少于3根（组）。当场地地质条件变化较大时，宜针对不同地质分区进行工艺性试桩（墙）。

**7.3.3** 施工时可采用外掺法按照设计要求将外加剂添加到岩土固化剂浆液中进行拌合。

**7.3.4** 施工设备应具有垂直度检查及调节功能，应配备固化浆液自动拌和设备、岩土固化剂计量设备等；宜对搅拌桩的深度、岩土固化剂用量等进行实时监控；可对入孔前浆液流量和压力进行实时监控。

**7.3.5** 施工设备提升速度参照下表7.3.5控制，并调节灰浆泵压力和喷浆量，确保整根桩的固化剂实际掺量应符合设计要求；其他成桩类型的施工工艺提升速度，宜结合设计要求和具体施工工艺通过现场试验确定。

**表 7.3.5 施工提升速度控制表**

|  |  |
| --- | --- |
|  成桩类型施工工艺 | 加固土承重桩及止水帷幕（m/min) |
| 高压喷射注浆法 | 0.05～0.25 |
| 深层搅拌法 | 0.5～2.0 |

**7.3.6** 岩土固化剂浆液要严格按预定的配比拌制，制备好的浆液不得离析、停置时间不宜超过2h。浆液倒入集料斗时应加筛过滤，以免浆内结块损坏泵体。泵送浆液前管路应保持潮湿，以利输浆。拌制浆液的罐数、岩土固化剂、外掺剂的用量和泵送浆液的时间应有专人统计记录。

**7.3.7** 施工设备预搅下沉时不宜采用冲水下沉，当遇较硬土层下沉太慢时，可适量冲水。经输浆管冲水下沉的桩（墙），喷浆提升前应将喷浆管内的水排清，考虑冲水成桩对桩身强度的影响。

**7.4 质量检验**

**7.4.1** 岩土固化剂用于工程的质量检验，应按现行国家、行业标准执行。

**7.4.2** 承重加固土桩的成桩质量检验，可参照《复合地基技术规范》GB/T 50783执行。

# 8 岩土固化剂在止水帷幕中的应用

**8.1 一般规定**

**8.1.1** 当工程采用止水帷幕方案时，应充分考虑建设场地的水文地质条件及周边环境影响。

**8.1.2** 止水帷幕方法应根据工程止水位置、工程水文地质条件及施工条件等，选用搅拌桩帷幕、高压旋喷或摆喷注浆帷幕、搅拌-喷射注浆帷幕等；支护结构采用排桩时，可采用高压喷射注浆与排桩相互咬合的组合帷幕。

**8.2 设计**

**8.2.1** 固化剂的水灰比以及掺量等参数宜根据固化要求、土质条件、施工工艺由试验确定，并符合下列要求：

1 采用搅拌桩帷幕时，固化剂浆液的水灰比宜取 0.6～0.8，固化剂掺入比宜取15%～20%；

2 采用高压旋喷、摆喷注浆帷幕时，固化剂浆液的水灰比宜取 0.8～1.1，固化剂掺入比宜取15%～30%。

**8.2.2** 固化土的渗透指不宜大于 1×10-7cm/s。

**8.2.3** 固化土的深度应符合下列规定：

1 坑底土体的抗管涌稳定；

2 控制坑外地下水位标高，满足环境要求；

3 当用于阻隔或截断承压水时，结合承压水减压措施，使坑底土体的抗突涌稳定性满足要求。

**8.2.4** 固化土搅拌桩搭接宽度应符合下列规定：

1 单排搅拌桩固化土的搭接宽度，当搅拌深度不大于10m时，不应小于150mm；当搅拌深度为10m～15m时，不应小于200mm；当搅拌深度大于15m时，不应小于250mm；

2 对地下水位较高、渗透性较强的地层，宜采用双排搅拌桩固化土帷幕；搅拌桩的搭接宽度，当搅拌深度不大于10m时，不应小于100mm；当搅拌深度为10m～15m时，不应小于150mm；当搅拌深度大于15m时，不应小于200mm。

**8.2.5** 高压旋喷、摆喷注浆固化土搭接宽度应符合下列规定：

1 高压旋喷、摆喷注浆固化土的搭接宽度，当注浆孔深度不大于10m时，不应小于150mm；当注浆孔深度为10m～20m时，不应小于250mm；当注浆孔深度为20m～30m时，不应小于350mm。对地下水位较高、渗透性较强的地层，可采用双排高压喷射注浆固化土帷幕。

2 当喷射注浆因故中途停喷后，继续注浆时应与停喷前的注浆体搭接，其搭接宽度不应小于500mm。

**8.3 施工**

**8.3.1** 固化土搅拌桩帷幕的施工应符合现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79 的有关规定。施工前宜通过现场试验确定施工工艺参数。

**8.3.2** 固化土搅拌桩的施工偏差应符合下列要求：

1 桩位的允许偏差应为 50mm；

2 垂直度的允许偏差应为 1.0%。

**8.3.3** 采用高压旋喷、摆喷注浆固化土帷幕时，旋喷注浆固化土的有效直径、摆喷注浆固化土的有效半径宜通过试验确定；缺少试验时，可根据土的类别及其密实程度、高压喷射注浆工艺，按工程经验采用。摆喷帷幕的喷射方向与摆喷点连线的夹角宜取10°～25°，摆动角度宜取 20～30°。高压旋喷、摆喷注浆帷幕的施工尚应符合现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79 的有关规定。

**8.3.4** 高压喷射注浆应按固化土的设计有效半径与土的性状选择喷射压力、注浆流量、提升速度、旋转速度等工艺参数，对较硬的粘性土、密实的砂土和碎石土宜取较小提升速度、较大喷射压力。当缺少类似土层条件下的施工经验时，应通过现场工艺试验确定施工工艺参数。

**8.4 质量检验**

**8.4.1** 质量检验应符合下列规定：

1 检验应在施工结束28天之后进行；

2 检测固化土的强度和渗透性。

**8.4.2** 验收检验的抽检位置应按下列要求综合确定：

1 抽检点宜随机、均匀和有代表性分布；

2 设计人员认为重要的部位；

3 岩土特性复杂可能影响施工质量的部位；

4 施工中出现异常情况的部位。

**8.4.3** 用作止水帷幕的防渗工程，可采用钻取芯样渗透试验或桩身注水试验确定抗渗性能。抗渗芯样组数及位置选取应结合加固土层特性确定，每组应取6个芯样试件。注水试验可利用满足垂直度要求的取芯钻孔进行，数量不宜少于2个。

# 9 岩土固化剂在流态固化土中的应用

**9.1 一般规定**

**9.1.1** 采用岩土固化剂生产的流态固化土可用于肥槽、溶洞、地下孔洞或其他狭窄地下空间填筑，场地回填，道路路基拓宽，桥头台背及涵背和墙背部位回填等。

**9.1.2** 生产流态固化土的土方宜就地、就近取土，可选用原状土，也可选用工程废弃泥浆，所选土料不得混入危害性废物；土方中最大粒径不宜超过20mm，有机质含量不应超过10%；当土方直接使用泥浆时，泥浆的重度不宜低于13kN/m3。

**9.1.3** 采用流态固化土填筑前应进行流态固化土设计，流态固化土设计应包括配合比、工艺指标和技术指标。

**9.1.4** 流态固化土配合比设计应以扩展度工艺指标合格为前提，以达到28d无侧限抗压强度技术指标为依据，并结合设计及施工要求，进行技术及经济综合比较后最终确定较适宜的岩土固化剂类型及掺入比。

**9.1.5** 流态固化土生产制备、施工应符合绿色环保的要求。

**9.2 设计**

**9.2.1** 流态固化土的设计指标应根据实际工程和相关规范要求确定，无特殊要求时，流态固化土可参考以下指标确定：

初始扩展度不宜小于300mm，28天抗压强度不宜小于0.4MPa，流态固化土扩展度测定方法可按照国家现行标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T50080的有关规定执行。

**9.2.2** 流态固化土拌合物中岩土固化剂掺入比宜为6%~40%，可根据试验确定。

**9.2.3** 固化土渗透指标应根据工程需求确定。

**9.2.4** 制备的流态固化土初始拌合物应保持良好的匀质性，不得离析和出现明显泌水。

**9.2.5** 流态固化土的配合比设计应满足以下要求：

1 流态固化土试块的无侧限抗压强度应大于设计的无侧限抗压强度的1.2倍；

2 配合比设计前应根据流态固化土设计和施工要求，确定岩土固化剂具体型号，流态固化土流动度等工艺指标；

3 配合比设计应采用工程实际使用的原材料，试配前，应对原材料进行检验，检验合格方可使用；

4 配合比计算前应根据土方的成分和性能指标确定岩土固化剂掺入比，岩土固化剂掺入比基准值可按设计要求的岩土固化剂掺入比执行。岩土固化剂掺入比应以土方干质量的百分比表示，岩土固化剂掺入比应按式（9.2.5-1）和（9.2.5-2）计算：

*α=×*100% (9.2.5-1)

*mf=*  (9.2.5-2)

式中：*α*—岩土固化剂掺入比（%）；

*ω0*—试验用土方的含水率（%）；

*mf*—掺入岩土固化剂的质量（kg）；

*m*0—试验用土方的质量（kg）；

*md*—流态固化土所用土方的干质量（kg）。

5 固化剂浆液水灰比应根据现场施工条件和试拌确定，观察试拌固化土拌合物流动性确定，并应保证运输和施工泵送的技术指标；

6 根据土方的用量、含水率计算所得岩土固化剂用量、用水量、外加剂质量，确定流态固化土的初步配合比，当土方直接采用泥浆时，应先通过计算确定是否还需添加用水量；其中加水量和外加剂的用量应按式（9.2.4-3）和（9.2.4-4）计算；

*mw=* (9.2.4-3)

*ma=αa\*mf* (9.2.4-4)

式中：*mw*—用水量的质量（kg）；

*μ*—水灰比，根据施工条件和试拌确定；

*ma*—外加剂的质量（kg）；

*αa*—外加剂的掺入百分比（%），按经验取值。

7 根据试验用土方的质量m0、含水率ω0及计算所得岩土固化剂掺入质量mf、固化剂水灰比μ、拌和用水mw及外加剂的质量ma，确定流态固化土计算配合比；

8 初步配合比试验应满足以下规定：

（1）进行不少于3种的配合比进行试验，其中一种应按本文件确定计算配合比，另外2种是在计算配合比的基础上对岩土固化剂的掺入比进行调整，岩土固化剂掺入比宜分别增加和减少2%；

（2）每种配合比试验时，拌合物流动度应满足施工要求；

（3）每种配合比至少应制作1组标准试件，并标准养护至指定龄期；

（4）试块应进行指定龄期的强度试验，当强度不满足设计要求时，应分析原因，调整配合比后重新进行强度试验。

9 在计算配合比的基础上通过试验确定最终设计配合比，并根据初步设计配合比结果、施工性能要求及工程造价，综合评判，以确定流态固化土施工配合比。

**9.2.6** 当流态固化土有其他特殊性能要求或在特殊环境施工时，可根据工程需要添加适量外加剂，外加剂种类和掺量应经过试验验证，满足设计和施工要求且对流态固化土性能和环境无不良影响时方可使用。

**9.3施工**

**9.3.1** 流态固化土施工前的准备应符合以下规定：

1 应根据现场具体施工条件制定施工技术方案；

2 应根据施工场地、施工工期和施工方量，合理选择流态固化土制造设备，流态固化土制造设备应包括破碎设备、筛分设备、岩土固化剂浆剂拌制设备和流态固化土拌和搅拌设备；

3 应按照施工技术方案，对填筑前的场地进行清除杂物与整理；

4. 施工设备应按施工技术方案组织施工进场，并做好安装和调试；

5 应对使用土方进行预处理，需要经过破碎筛分设备处理，去除颗粒大于20mm的颗粒部分；当直接采用泥浆时，需要对泥浆进行持续搅拌的匀化处理；

6 施工按照施工技术方案，组织原材料进场，对原材料进行核验，满足要求后方可使用。

**9.3.2** 流态固化土的现场制备应符合以下规定：

1 流态固化土大批量浇筑前，应按照最终设计配合比进行工艺性试生产，生产方量不宜少于50m3，并根据试生产结果对流态固化土设计配合比进行必要的调整；

2 应选择和试验原材料类别和成分相同的原材料进行实际施工，当原材料的性质发生改变时，需要重新进行配合比试验；

3 流态固化土拌合物应使用专用机械搅拌均匀，搅拌均匀后随机取样，生产的流态固化土流动度误差小于20mm为宜；

4 流态固化土拌合物宜在专用搅拌站集中生产后运输到现场进行填筑，也可采用移动式生产设备在现场搅拌后进行填筑，浇筑前应保证流态固化土初始拌合均匀性；

5 流态固化土的制备工艺可以先将固化剂与一定量的水调制成浆液，再将固化剂浆液与土料搅拌混合，也可以根据配合比先将固化剂与土料混合后添加设定的水分搅拌均匀；

6流态固化土拌合物宜在专用搅拌站集中生产后运输到现场进行填筑，也可采用移动式生产设备在现场搅拌后进行填筑，浇筑前应保证流态固化土初始拌合均匀性。

**9.3.3** 流态固化土的浇筑应符合以下规定：

1 流态固化土的填筑方式应根据施工现场的条件确定，可采用泵送或溜槽填筑；

2 流态固化土从搅拌至填筑完成的时间间隔不宜超过3h；当间隔时间超过3h时，宜重新调整或添加适当外加剂；

3 流态固化土宜采用分层填筑方式进行，每层最大浇筑高度应通过核算，首次浇筑厚度不宜超过0.5m，其余每次浇筑厚度不宜超过2m，并且上一层的浇筑应在下一层流态固化土初凝之后进行，且相邻片区浇筑高差不宜大于1m；

4 需要严格控制施工温度和施工天气，当室外日平均温度低于5℃，应在填筑顶部做好保温覆盖措施，雨期施工应做好防雨和排水工作；

5 当流态固化土初始扩展度小于300mm，宜采取辅助振捣措施，并对表面进行适当平整。

**9.3.4** 流态固化土浇筑至设计厚度后，应对浇筑体表面覆盖塑料膜或无纺土工布进行保湿养护，养护时间不宜少于14天。

**9.4质量检验**

**9.4.1** 流态固化土施工达到养护龄期后，需要对施工质量进行验收，验收内容参照表9.4.1进行，当涉及到其他指标检验时，根据设计要求进行验收。

**表9.4.1 流态固化土验收内容表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 检验内容 | 分类 | 检查项目 | 规定值或允许偏差 | 检测方法 |
| 流态固化土开盘鉴定 | 主控项目 | 资料检验和留置试块 | ≥设计值 | 查施工记录 |
| 一般项目 | 流动度 | 符合设计要求 | 查施工记录 |
| 流态固化土施工 | 主控项目 | 无侧限抗压强度 | 符合设计要求 | 无侧限抗压强度 |
| 一般项目 | 施工方量检验 | ≥设计值 | 查施工记录 |
| 标高检验 | ≥设计值 | 水准仪测标高 |

**9.4.2** 流态固化土质量验收应符合下列规定：

1 当单体工程总工程量小于50000 m3，流态固化土每浇筑超过500m3时，应对流态固化土的性能进行检验与试块留置，不足500m3的以500m3为一个批次；当单体工程总工程量在50000 m3~100000 m3，流态固化土每浇筑超过750m3时，应对流态固化土的性能进行检验与试块留置，不足750m3的以750m3为一个批次；当单体工程总工程量大于100000 m3，流态固化土每浇筑超过1000m3时，应对流态固化土的性能进行检验与试块留置，不足1000m3的以1000m3为一个批次；

2 主控项目的质量检验应全部合格；

3 一般项目的合格率应达到80%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，否则必须进行返工处理；

4 应具备完整的施工自检记录和项目资料；

5 对验收工程项目外表状况应逐项进行全面检查，如发现外观缺陷，不满足规定要求，需采取措施进行整修处理。

**9.4.3** 当工程质量验收不合格的，监理单位应责令施工单位进行缺陷修补或返工，并重新进行质量检验与验收。

# 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，非这样做不可的用词：

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用词：

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，在条件许可时首先这样做的用词：

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用词，采用“可”。

**2** 规程中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按…执行”。

**中国土木工程学会标准**

**岩土固化剂应用技术规程**

T/CCES X－20XX

条 文 说 明

**制订说明**

《岩土固化剂应用技术规程》T/CCES XXX-20XX，经中国土木工程学会XXXX年年XX月XX日以XX号函文批准发布。

本规程制订过程中，编制组进行了广泛深入的调查研究，总结了我国岩土固化剂相关应用实践经验，同时参考了相关先进技术法规、技术标准，通过试验取得了重要技术参数。

为便于广大检测、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，本规程编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。需要注意的是，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。

**目 次**

[**1 总 则 38**](#_Toc154432796)

[**2 术语、符号及参考标准 39**](#_Toc154432797)

[**3 基本规定 40**](#_Toc154432798)

[**5 岩土固化剂在浅层就地固化中的应用 42**](#_Toc154432799)

[**5.1 一般规定 42**](#_Toc154432800)

[**5.2 设计 42**](#_Toc154432801)

[**5.3 施工 42**](#_Toc154432802)

[**5.4 质量检验 44**](#_Toc154432803)

[**6 岩土固化剂在异位碾压加固中的应用 44**](#_Toc154432804)

[**6.2 设计 44**](#_Toc154432806)

[**6.3 施工 44**](#_Toc154432807)

[**6.4 质量检验 45**](#_Toc154432808)

[**7 岩土固化剂在固化土桩中的应用 47**](#_Toc154432809)

[**7.1 一般规定 47**](#_Toc154432810)

[**7.2 设计 47**](#_Toc154432811)

[**8 岩土固化剂在止水帷幕中的应用 48**](#_Toc154432812)

[**8.1 一般规定 48**](#_Toc154432813)

[**9 岩土固化剂在流态固化土中的应用 49**](#_Toc154432816)

[**9.1 一般规定 49**](#_Toc154432817)

[**9.2 设计 49**](#_Toc154432818)

[**9.3 施工 50**](#_Toc154432819)

# 1 总 则

**1.0.1** 近几年岩土固化剂应用越来越多，应用领域越来越广泛，并具备高性价比和绿色低碳特性，同时也积累了丰富的工程技术经验；为便于岩土固化剂的推广应用，制定规程来指导设计、施工是非常必要的。

**1.0.2** 本条明确了岩土固化剂可应用的行业，在各行业中可应用的主要工况包括：浅层就地固化、异位碾压加固、固化土桩、止水帷幕、流态固化土。

**1.0.3** 岩土固化剂在各行业应用过程中，除本标准的要求外，还需要满足相关的国家标准和对应的行业标准要求。

# 2 术语、符号及参考标准

**2.1.1**岩土固化剂即软土固化剂，参考标准《软土固化剂》CJ/T526；岩土固化剂是一种无机水硬性胶凝材料，是以大宗工业废渣为核心的低碳绿色环保的胶凝材料，岩土固化剂的固化机理归纳总结起来，主要可以分为以下几个方面：

（1）机械密实作用：岩土固化剂与土体拌和均匀后，经机械压实，可减少土体孔隙率、增加密实度；

（2）水化反应：岩土固化剂与水发生一系列水化反应，生成大量水化产物（C-S-H凝胶）；这些水化产物在土体内部形成骨架支撑，是产生固化土强度的主要来源；

（3）微膨胀作用：岩土固化剂在水化反应过程中产生了部分钙矾石（AFt），钙矾石（AFt）在土体中具有微膨胀作用，使土体更加密实。

# 3 基本规定

**3.0.2** 场地详细水文、工程地质资料是地基加固处理设计的依据，地质资料的准确性直接影响固化土设计的可靠性，设计前必须详细收集和掌握。对于收集资料中欠缺的资料，应进行专项补充勘察，提供设计所需的地质资料；因在施工中发现地质情况异常、设计变更需补充勘察资料、需进一步查明不良地质现象等情况时，应进行施工勘察。

**3.0.3** 在进行室内配比试验时，应注意以下问题：

1 为与实际施工工况接近，试件应采用被加固土体原土进行配合比试验；场地地下水具有中、强腐蚀时，对固化土质量影响很大，建议采用场地地下水进行配合比试验；

2 由于室内试验是在标准条件下进行，搅拌相对较均匀，而现场施工时，由于搅拌不均匀、计量控制误差、地质条件变化等因素影响，固化土无侧限抗压强度一般低于室内试验的强度，故要求室内无侧限抗压强度应大于设计无侧限抗压强度的1.2倍；

3 止水帷幕/防渗墙重点关注的是其防渗性质，对止水帷幕/防渗墙场地应进行岩土固化剂不同掺入比的室内渗透试验；

4 有条件的场地应进行现场试验，检验固化土体的实际效果，为设计方案提供技术依据。

**3.0.4** 确定施工方案前应搜集加固区域详细的工程地质勘察资料（包括加固范围内填土组成与厚度、软土厚度及分布范围、有机质含量以及地下水侵蚀性分析等）和地基基础设计资料（包括基础平面图、荷载分布图等），根据工程设计要求，明确地基加固目的、加固范围和加固后要求达到的各项技术指标。并应符合《建筑地基处理技术规范》JGJ79和《建筑施工组织设计规范》GBT50502的有关规定。

**3.0.5** 深层搅拌加固软土所形成的桩柱体是一种介于刚性桩与柔性桩之间具有一定压缩性的桩，其单桩承载力可通过现场静载荷试验确定，初步设计的单桩承载力可通过计算确定，但单桩承载力极限值不能大于室内桩身加固土试块的无侧限抗压强度的折减值，折减系数一般可取0.3-0.4。在进行复合地基承载力设计时，应合理确定桩间土承载力折减系数，当桩端为软土时，β取0.5-1；当桩端为硬土时，取β<0.5。另外，试成桩目的是为核验地质资料、检验施工工艺、技术要求和设备适用性，同时应根据试成桩结果，对所选施工工艺进行评价认定或修改完善。

**3.0.6** 深层搅拌用于地下临时支护体系、边坡挡墙或防渗墙时，是利用岩土固化剂材料，通过特制的深层搅拌机械，在地基深处就地将原土和岩土固化剂强制拌和，利用岩土固化剂和原土之间所产生的一系列物理-化学反应，使原土硬结成具有整体性、水稳定性和一定强度的地下挡土、防渗构筑物，其墙体强度和渗透系数应满足基坑或边坡设计要求。

**3.0.7** 碾压固化施工时包含现拌法和预拌法，施工时根据现场条件进行选择使用。现拌法多采用原地异位搅拌法，即将原土挖出后至场地某区域，与岩土固化剂采用机械进行搅拌，比较省时、省力，但搅拌均匀性较差，只针对强度和变形要求较低的项目；预拌法即原土挖出后运至其他固定场地，搅拌均匀后再运回待加固区域分层回填碾压，搅拌均匀性相对较好，适用于场地无搅拌区域，涉及运输及环保问题。

# 5 岩土固化剂在浅层就地固化中的应用

**5.1 一般规定**

**5.1.1**目前浅层就地固化在道路路基、形成场地硬壳层、河道沟浜处理等领域已有较多成熟应用，能够满足场地地基、道路路基以及一些构筑物基础（河道、挡墙、管墩基础等）的施工功能要求。对于重要的、大型建构筑物，当仅采用浅层就地固化作为建筑地基加固方案时应充分论证。

**5.1.2** 浅层就地固化施工前，应开展现场固化试验区。试验目的为验证配合比设计参数、施工工艺及加固效果。目前，利用传统土工试验、原位检测方法评价固化土加固效果尚未形成统一标准，部分传统指标、试验方法无法客观、全面的展现实际加固效果，因此需要通过工前固化试验，根据固化土设计功能需求，筛选、确定适合工程设计需要的固化土加固效果检测方法、指标。

**5.2 设计**

**5.2.2** 浅层就地固化技术多用于浅层地基加固，一般处理深度3~5m，而随着浅层就地固化设备的发展，目前可加固厚度已达8m以上，但随着加固深度的增加，下层搅拌均匀性、经济性有所下降。因此当预计加固深度超过5m时，应通过工前试验验证加固方案的适用性。强力搅拌设备搅拌头高度一般约为0.8~1m，因此当加固深度过小时无法充分搅拌，加固质量不易保证，同时由于固化土强度较高、塑性较差，当加固厚度过小时，加固体容易发生弯拉破坏，产生裂缝，影响工程质量。

**5.2.4** 浅层就地固化技术主要用于改良浅层地基性质，应用场景类似于换填垫层法，因此加固方式宜采用满堂式布置。同时，当采用悬浮式加固方式时，不同加固厚度、固化土设计强度以及下卧软土性质都会改变加固体的破坏形式，因此在有条件时应优先考虑全部加固，当软土较厚时，可通过长桩复合地基的方式进行处理，设计方法详见第7节。

**5.3 施工**

**5.3.3** 通过典型试验段的总结，调整、确定最终固化土的施工配合比和施工工艺，为大面积施工提供技术依据；根据试验工程调整施工组织设计或施工方案；在靠近城区及村镇等环保要求较高的地块施工时，应采取合适的施工工艺和必要的环保措施。

**5.3.5** 浅层就地固化施工时应满足以下要求：

1 原位搅拌施工时，若搅拌头无法直接进行深层土一次处理，可采用挖机对所处理的区域进行松土；若表层存在硬土层时，应先采用挖机进行预松土，保证搅拌机械施工的顺利进行；

2 搅拌设备正向运行逐渐深入搅拌并喷射岩土固化剂，直至达到地基固化处理深度底部；一般每个点上下搅拌循环次数不小于2次；搅拌过程定位系统应实时记录搅拌头搅拌施工全过程；

3 当固化区域搅拌完成后，应使用挖机将表面进行初步平整，避免场地积水。

# 6 岩土固化剂在异位碾压加固中的应用

**6.2 设计**

**6.2.3** 本条规定了不同道路等级道路固化土混合料的技术要求。混合料的无侧限抗压强度按照设计要求，此外本条规定了固化土施工时结构层厚度最低值。小于15cm时碾压容易发生推搓现象，破坏层间结合。

**6.3 施工**

**6.3.1** 固化土的施工，需要在固化土混合料凝结时间内完成，一般情况下以凝结时间作为参考。因而施工前进行测绘、划线、分块合理是固化土施工必要措施，具体根据有关规范和本规程相应要求执行。

**6.3.3** 施工现场勘查。内容主要包括土源远近、施工道路、行车路线、沿线障碍、管线等，以及属地天气气候水文条件等。并根据《公路工程施工安全技术规范》JTGF90-2015中相应规定执行，同时要注意以下事项：

1 落实土源，并采取代表性土样送试验室检验和复核固化土配比的可靠性；

2 道路固化土的施工是一个复杂的系统工程，为了确保工程质量，必须在施工前根据施工现场的具体条件，编制施工技术方案和施工组织方案；

3 强调了施工准备中对人、机、料三个方面的要求。确保质量合格、数量满足、人员到位。现场试验室的建设根据《公路工程工地试验室标准化指南》（交通运输部办公厅厅质监字[2009]183号）及现行相应规范标准执行。小型工程也应委托相应实验室承担试验工作；

4 为施工组织规定的要求。明确作业单元划分原则是有利于工序紧密衔接，确保在混合料凝结时间允许范围内完成施工。根据经验，每一作业单元在1000m2～3000m2；

5 按照《建设工程项目管理规范》（GB/T50326）的相应规定要求，执行作业指导书、技术交底制度。

**6.3.4** 在固化土工程没有条件采取预拌法集中搅拌的时候，可以采取现拌法施工。

**6.3.5** 固化土混合料的拌合均匀是保证施工质量的基本条件。包括干拌、加入岩土固化剂和水后的湿拌，要经常检验拌合物的匀质性。过干过湿、过厚过薄以及轮印沟槽是现拌法都要十分关注的弊病。尽可能的采用高效路拌机和联合机组，以便较好的控制加水和岩土固化剂的量，拌合的均匀度。

**6.3.6** 主要规定了碾压和整平施工的要求。这道工序决定了工程的外观质量和内在强度。其中碾压遍数应按照试验段现场试验确定，本条取经验值。在碾压和整平过程中要及时铲高补低，否则容易出现分层结皮等现象。

**6.3.7** 有条件应尽可能的采用预拌法施工。大型工程可以设立固化土拌合站；小型工程可以采用移动式拌合机组。无论拌合站还是拌合机组，拌合机必须是强力高效的，保证混合料拌合的均匀性。

**6.3.9** 预拌法作业，必须控制在固化土的凝结时间内完成拌和、运输到摊铺、碾压。如果超过4h，须采用缓凝型固化土，凝结时间可以达到8h。

**6.3.10** 固化土施工作业层养护条件、方式、时间及成品保护措施应规范进行，在洒水后应采用塑料薄膜覆盖，避免水分蒸发，保证有效的养护条件。不推荐使用毡布类材料覆盖。固化土早期强度的形成和发展应在30天左右。在条件许可的条件下，适当延长养护时间，对固化土无侧限抗压强度的发展有利。

**6.4 质量检验**

**6.4.1~6.4.2** 由于固化土还是一种新型岩土工程材料，为了保证固化土工程的施工质量，在施工过程中必须建立起质量检验与控制的体系。主要是原材料必须质量合格、固化土混合料必须合格、施工完成的固化土体（基层或面层）也必须合格。

**6.4.3** 固化土道路施工过程中的质量控制主要是对混合料质量、摊铺质量及压实土体质量的及时检测控制。因地区不同，施工工艺不同，气候环境不同，控制重点项目有所不同。北方干旱地区施工，要重点监测混合料的施工含水率，必要时补水。

根据大量项目施工经验，拌和料色度的均匀性，与拌和均匀度具有强相关性。现拌法施工要特别关注混合料的拌和均匀性，尤其是边缘拐角处的拌和物。固化土道路工程的压实度均以重型击实方法测得的数据为准。现场压实度以灌砂法或环刀法测定，测定方法参考现行行业标准《公路路基路面现场测试规程》JTGE60。

**6.4.4** 本条规定了固化土道路工程检查验收的主控项目是原料质量、压实度和无侧限抗压强度三项。由于取芯的过程对固化土会产生扰动，并且会有强度损失，所以一般不以测定取芯试件的强度来评定固化土的强度。当采用岩土固化剂对天然含水率大于30%或大于液限值的软土，进行固化时压实度一般难以保证。在天津市静海区南海道等城市次干路工程应用中，针对坑底淤积软土进行异位固化处理并进行分层压实回填，岩土固化剂掺量15%~20%。测得固化土试块3d无侧限抗压强度为1.23MPa，地基承载力约190kPa。7d无侧限抗压强度1.77MPa，处理效果良好。

# 7 岩土固化剂在固化土桩中的应用

**7.1 一般规定**

**7.1.2** 施工前工艺性试验的主要目的是了解确定工艺的各项最佳参数，确保成桩质量及桩身强度、承载力等满足设计要求，并优化机械配置，确定质量、安全等控制措施。通常选取地质条件、周边环境、施工场地等具有代表性的地段进行工艺试验，试验数量结合工艺工法、试验目的及设计和验收标准综合确定。

**7.2 设计**

**7.2.3** 固化剂搅拌桩的桩长主要受施工机械设备能力控制，近年来随着新装备的研发和设备革新，施工桩长已得到了较大幅度提升，设计桩长可以根据工程条件和施工设备能力综合考虑确定。

**7.2.5** 影响桩间土承载力折减系数β的取值因素很多，根据固化剂搅拌桩承载机理的分析，折减系数β的取值受褥垫层厚度、桩长、面积置换率、桩体强度以及其他各种因素的影响。

# 8 岩土固化剂在止水帷幕中的应用

**8.1 一般规定**

**8.1.1** 止水帷幕按照布置方式，可分为悬挂式竖向止水帷幕、落底式竖向止水帷幕和水平向止水帷幕；按结构形式，可分为独立式止水帷幕、嵌入式止水帷幕和支护结构自抗渗式止水帷幕；按施工方法，可分为地下连续墙止水帷幕、水泥土搅拌桩止水帷幕、等厚水泥土搅拌墙止水帷幕、高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕、咬合桩止水帷幕、钢板（管）桩止水帷、注浆止水帷幕、冻结法止水帷幕。每种止水帷幕形式都有其适用条件，应参照其适用地质条件进行方案选取及其设计，当遇到有地下水流动或腐殖土等无工程经验的地区须根据现场试验结果确定其适用性。

# 9 岩土固化剂在流态固化土中的应用

**9.1一般规定**

**9.1.1** 流态固化土的应用领域较为宽泛，主要是用于狭窄空间的地下填筑，常规机械难以使用的场景，对于大面积快速流态施工的场景和对渗透性能有特殊要求的场景同样适用。流态固化土往往采用具有流态的流态固化土进行填筑，无需振捣成型，减少了传统素土、灰土回填的压实（碾压、夯实）工序，特别是狭窄空间的填筑工程，更具有无可替代的技术优势。

**9.1.2** 制备流态固化土的土方宜就地取材，如当地的淤泥、淤泥质土、疏浚土、工程废弃泥浆及建筑垃圾再生料，但对土方的颗粒和有机质含量进行限定，最大颗粒超过20mm可能会造成泵送堵管现象；而有机质含量高于10%会导致固化难度增加；污染土壤是否可以作为流态固化土的土料使用，需要进行专门的研究和论证。一些工程泥浆含水率高，且可能含有分散剂、保水剂等添加剂，这些对流态固化土的性能均有影响，在处理工程泥浆时，应充分考虑这些物质的影响，并采取针对性措施。对于采用泥浆直接使用时，需要控制泥浆的重度不得低于13kN/m3，因为低于这个重度后，固化难度大，需要的岩土固化剂掺量大，并且会减弱流态固化土的早期强度。

**9.1.3** 采用流态固化土的填筑工程设计，设计图纸中宜根据工程需要，明确流态固化土的强度、拌合物湿密度、固化土渗透系数等部分或者全部的技术指标。施工可根据填筑空间形状和实施条件，选择合适的土体和岩土固化剂，提出流态固化土的施工性能要求。为达到此目标，根据实际土料和其他原材料情况，提前进行流态固化土试配，获得满足设计和施工要求的流态固化土配合比。

**9.1.4** 采用流态固化土填筑的工程应进行配合比设计，流态固化土工艺指标主要以扩展度为主，保证施工条件下的泵送性能；技术指标应以满足设计强度为准，满足性能要求，同时根据现有的技术经济条件下最终确定固化剂的类型和掺量，满足最佳性价比。

**9.2设计**

**9.2.1** 流态固化土作为回填材料，当用于结构的受力部位或作为地基处理时对固化土有具体强度要求。但当固化土作为肥槽回填时，一般对承载力没有具体要求，只有压实度的要求。固化土没有压实度，但固化土的强度与承载力有一定的对应关系，因此固化土设计时用强度控制，应满足强度要求，当没有强度要求时一般不小于0.4MPa。

流态固化土根据施工条件不同，对固化土的指扩展度要求也不同，因此固化土的设计指标应根据实际工程确定。肥槽和狭窄孔洞填筑受场地限制，宜采用流动性大的固化土，其初始扩展度选用大于300mm。场地、路基回填不受场地限制，为节省岩土固化剂用量，施工也较为方便，可选用较低的扩展度，同时需要采用人工对表明进行适当平整。

**9.2.2** 流态固化土中固化剂的类型和掺量是影响固化土最终强度的最重要指标，选用针对性的固化剂，掺量越大，其强度也就越大。目前流态固化土在实际应用中，填筑的强度最低要求一般为0.4MPa，根据工程经验﹐满足该强度的流态固化土其固化剂的掺入比一般为6%~40%。没有经验的地区，可以根据设计要求的强度，选用适合的掺合量。

**9.2.3** 渗透系数是流态固化土的一个重要指标，因为流态固化土的应用场景多数处于地下水位以下，水的影响较大，需要对流态固化土的渗透系数进行限定，一般是小于1.0×10-7cm/s，对于一些有特殊防扩散要求的土体，渗透系数应满足限定值，而对于一些应用在地表水位以上的，如路基工程，可以不对其渗透系数进行限定。

**9.2.4** 流态固化土初始拌合物的稳定性对于浇筑后期性能影响很大，拌合均匀后的流态固化土不得出现离析或明显泌水，否则浇筑后泥水分离严重，流态固化土的固化强度、实际浇筑方量、养护方式、养护周期都会收到影响，初始出现离析和明显泌水后，需要对配合比试验进行改进或添加适当外加剂处理。

**9.3施工**

**9.3.1** 施工前应根据工程需要进行施工现场调查，了解土的来源、材料的运输与存储、设备的现场布置等，为制定合理的施工技术方案提供详细准确的信息，正式施工前应完成施工前的准备工作，保障后期正常施工。

**9.3.2** 固化土可以在施工现场搅拌浇筑，也可在施工场地外集中制备，然后再运输到施工现场进行浇筑。固化土制备的施工工艺应按照流态固化土配合比，严格控制每种材料的重量，把初始流态固化土拌合搅拌均匀。

**9.3.3** 流态固化土浇筑施工时，需要关注环境温度，气温低于5℃时应采取适当措施，当温度高于35℃时，及及时做好洒水养护，避免表层快速失水。

**9.3.4** 流态固化土施工后需要及时在流态固化土的表层覆膜养护，避免表层固化土水分流失，影响流态固化土的水化反应。如果因为覆膜不方便进行，也可以在流态固化土表面喷雾养护，需要控制水流大小。因为流态固化土的固化效果是随着时间的增加而提高，需要保证流态固化土养护周期不少于14天。