

团 体 标 准

岩土固化剂应用技术规程
**Technical specification for application of the
Geotechnical stabilizer**

T/TJKCSJ006-2022

2023-**-**发布

2023-**-**实施

天津市勘察设计协会发布

目次

前言	IV
1 总 则	1
2 术语、符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
3 基本规定	5
4 岩土固化剂	10
4.1 一般规定	10
4.2 岩土固化剂技术要求	10
4.3 固化土技术要求	11
4.4 验收要求	12
5 岩土固化剂在搅拌桩（墙）中的应用	13
5.1 一般规定	13
5.2 设计	13
5.3 施工	14
5.4 质量检验	15
6 岩土固化剂在浅层原位加固的应用	16
6.1 一般规定	16
6.2 设计	16
6.3 施工	16
6.4 质量检验	17
7 岩土固化剂在流态固化土（泥态固化土）中的应用	19
7.1 一般规定	19
7.2 设计	19
7.3 施工	21
7.4 质量检验	22
8 岩土固化剂在碾压固化的应用	24
8.1 一般规定	24

8.2 设计	24
8.3 施工	26
8.4 质量验收	28
9 岩土固化剂在港口工程中的应用	31
9.1 一般规定	31
9.2 设计	31
9.3 施工	32
9.4 质量检验	33
10 施工安全与环境保护	34
10.1 施工安全	34
10.2 环境保护	34
附录 A 固化土无侧限抗压强度试验	35
附录 B 固化土搅拌桩芯样抗渗试验	37
附录 C 流态固化土流动度试验	40
本规程用词说明	41
引用标准名录	42
条文说明	44
目次	45
1 总 则	46
2 术语、符号	47
3 基本规定	48
4 岩土固化剂	51
5 岩土固化剂在搅拌桩（墙）中的应用	52
5.1 一般规定	52
5.2 设计	52
5.3 施工	54
5.4 质量检验	56
6 岩土固化剂在浅层原位加固的应用	57
6.1 一般规定	57

6.2 设计	57
6.3 施工	58
7 岩土固化剂在流态固化土（泥态固化土）中的应用	59
7.1 一般规定	59
7.2 设计	59
8 岩土固化剂在碾压固化的应用	61
8.1 一般规定	61
8.2 设计	61
8.3 施工	61
8.4 质量验收	63
9 岩土固化剂在港口工程中的应用	64
9.1 一般规定	64
9.2 设计	64
9.3 施工	65
9.4 质量检验	66

前言

本规范按照 GB/T1.1--2020《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

在本规范编制过程中，编制组广泛调查研究和总结了岩土固化剂相关工程实践经验，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。

本规范的内容包括：第 1 章总则，规定了本规范的适用范围；第 2 章术语、符号；第 3 章基本规定，提出了岩土固化剂固化的总体要求；第 4 章岩土固化剂，明确了用于土体固化的岩土固化剂材料的性能要求；第 5~9 章分别介绍了岩土固化剂在搅拌桩（墙）、浅层原位加固、流态固化土、碾压固化、港口工程中的应用，从设计、施工和质量检验分别对各个应用进行要求和规定；第 10 章明确了岩土固化剂施工安全与环境保护；附录、应用标准名录、条文说明。

本规范由天津中岩大地材料科技有限公司提出，并负责技术内容的解释。

本规范由天津市勘察设计协会归口。

主编单位：天津中岩大地材料科技有限公司

天津大学

参编单位：天津海河设计集团有限公司

中交第一航务工程勘察设计院有限公司

天津市水务规划勘测设计有限公司

天津大学建筑设计规划研究总院有限公司

天津市政工程设计研究总院有限公司

天津市勘察设计院集团有限公司

天津市津勘岩土工程股份有限公司

天津市地质工程勘测设计院有限公司

天津华北勘测设计院有限公司

中水北方勘测设计研究有限责任公司

天津华汇工程建筑设计有限公司

天津港湾工程质量检测中心有限公司

北京工业大学城建学部结构与材料所

北京中岩大地科技股份有限公司

主要起草人员：郑刚、李凯、高梓旺、李连营、左克伟、周永祥、曾伟、朱洪涛、冯海涛、张国梁、蔡侠、汪学正、凡龙飞、姬贺飞、周海祚、霍知亮、杨艳静、胡欣、杜衍庆、符亚兵、霍镜、冯永鑫、陈丰、王士国、胡静、金琼、谢丽霞、高文怡、刘猛

本标准主要审查人员：

1 总 则

1.0.1 为进一步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、行业和本市现行有关标准的规定。

2 术语、符号

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土体。

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土体。

2.1.3 固化剂浆体水灰比 ratio of water to stabilizer

固化剂浆体中水与岩土固化剂的质量比。

2.1.4 固化剂掺入比 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 固化剂掺入量 stabilized soil

固化土中岩土固化剂重量与土的体积比,用单位体积内岩土固化剂质量来表示。

2.1.6 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 solidified 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。

2.1.8 地基处理 foundation treatment

通过一定技术手段和措施,用于改善支承建筑物的地基(土或岩石)的承载能力或改善其变形性质或渗透性质。

2.1.9 浅层原位固化 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 solidified soil

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

2.1.11 固化土搅拌桩 cement soil mixed piles

利用搅拌桩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 渗透系数 hydraulic conductivity

表示流体通过土体孔隙骨架的难易程度,表示土体的抗渗性能。

2.1.13 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,养护硬化后形成一定强度的加固土体。

2.1.14 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。

2.1.15 路拌法 road mixing method

在施工现场就地拌合制备固化土混合料的施工方法。

2.1.16 厂拌法 plant 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

2.2.1 岩土固化剂参数

α_{ω} —岩土固化剂掺入比(%);

m_c —掺入的岩土固化剂质量(kg);

m_s —原土质量(kg);

α —岩土固化剂掺入量(kg/m³);

V —被加固土体体积(m³);

ω_0 —试验用土方的含水率(%);

m_f —掺入岩土固化剂的质量(kg);

m_0 —试验用土方的质量(kg);

m_d —流态固化土所用土方的干质量(kg)。

m_w —用水量的质量(kg);

μ —固化剂浆剂水固比;

m_a —外加剂的质量(kg);

α_a —外加剂的掺入百分比 (%)。

2.2.2 设计参数

h —搅拌叶片的宽度 (m)；

β —搅拌叶片与搅拌轴的垂直夹角 ($^{\circ}$)；

ΣZ —搅拌叶片的数量；

n —搅拌头的回转数 (r/min)；

V —搅拌头的提升速度 (m/min)；

C —固化土粘聚力值 (kPa)；

φ —固化土内摩擦角 ($^{\circ}$)；

q_u —固化土无侧限抗压强度 (MPa)；

P —试件的破坏荷载(N)；

A —试件的横截面积(mm^2)；

ε_l —干缩应变值。

3 基本规定

3.0.1 流态固化土可用于基坑、沟槽等地下空间肥槽回填工程；利用各类搅拌施工设备进行深层搅拌、浅层原位加固形成的固化土体，可作为复合地基、劲性复合桩基、基坑工程围护重力挡墙或止水帷幕、土体加固、防渗墙等使用；利用碾压固化可以用于道路、堆场结构、岸坡加固等回填压实地基处理工程。其设计和施工质量控制应符合《复合地基技术规范》GB/T50783、《建筑地基处理技术规范》JGJ79、《天津市岩土工程技术规范》DB/T29-20 等现行国家、行业、地方标准。

3.0.2 固化土加固处理设计前，应详细收集场地水文地质、工程地质资料。

- 1 详细收集场地地层分布规律及各层土物理力学指标；当场地内存在古河道、古沟坑和厚层软土时，应适当加密勘探孔，查清其分布范围和分布规律；
- 2 详细收集被加固土体工程性质及分布规律；
- 3 查明场地水文地质条件，确定地下潜水水位埋深、分布规律、地下水位变化幅度范围及其腐蚀性评价；
- 4 对于按压实度控制的回填压实地基处理应采用击实试验确定被加固土体的最大干密度及最优含水率；
- 5 复合地基控制性勘探孔的深度应满足复合地基沉降计算的要求；需验算地基稳定性时，勘探孔布置和勘察孔深度、提供的岩土参数应满足稳定性验算的需要；
- 6 必要时，应进行专项补充勘察。

3.0.3 在选择地基加固处理方案前，应进行下列调查工作：

- 1 搜集详细的上部结构及基础设计资料等，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 应取得带坐标的现状地形图；道路加固回填场地应取得附有标明坐标、道路走向、桩号和现状地形的道路工程总平面布置图；
- 3 搜集场地地下管线资料；调查邻近建筑、地下工程、周边道路及管线等分布情况；
- 4 结合工程情况，了解当地地基处理经验；
- 5 了解场地施工条件、周边环境和环保要求。

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 设计图纸及图纸会审资料等；
- 2 建筑场地和邻近区域内的设施、地下管线、地下建（构）筑物等埋藏情况及施工现场上空架空管线的调查资料；
- 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 施工前应按有关规范、标准和设计文件要求编制施工方案。施工方案编制前应熟悉施工图、工程地质和水文地质等资料，并应对施工现场进行踏勘，充分了解场地条件和周边环境。

3.0.5 深层搅拌、浅层原位加固做地基处理/复合地基使用时，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、工程地质和水文地质条件、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 加固处理后的地基处理/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 复合地基上宜设置垫层。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 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。

3.0.8 道路、堆场结构、岸坡加固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、岸坡加固等应满足强度/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、岸坡加固等处理效果，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系数等质量控制要求；

4 可根据场地条件、设计对固化土无侧限抗压强度、承载力和变形的要求，选择采用厂拌法和路拌法的处理方法；

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 $\pm 2\%$ ；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 未经检验，不得作为道路和堆场结构的地基使用。

3.0.9 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量，为设计提供配合比强度参数。

1 试件应采用被加固土体原土进行配合比试验；在中、强腐蚀场地应采用场地地下水进行配合比试验；

2 固化土可根据设计需要确定适当固化工艺；

3 至少应采用三个不同的岩土固化剂掺入比进行室内无侧限抗压强度配合比试验，以满足岩土固化剂最小掺入比作为设计掺入比。其中一个配合比的岩土固化剂掺入比应为基准值，另外两个是在基准值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 3-5%；

4 应进行 7d、28d 无侧限抗压强度配合比试验；固化土试件成型并养护 2d 后拆模，再在水溶液/养护箱中养护至 7d、28d，按附录 A 的规定测定固化土试件无侧限抗压强度；

5 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；

6 室内试验应进行固化土水稳系数试验；流态固化土应进行流动度试验，要求扩展度不宜小于 170mm；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；

7 岩土固化剂用量为质量比，岩土固化剂掺入比及掺量按公式 3-1、3-2 计算；

$$\alpha_{\omega} = \frac{m_c}{m_s} \times 100 \quad (3-1)$$

$$\alpha = \frac{m_c}{V} \quad (3-2)$$

式中： α_{ω} —岩土固化剂掺入比(%)；

m_c —掺入的岩土固化剂质量 (kg)；

m_s —原土质量 (kg)；

α —岩土固化剂掺入量 (kg/m³)；

V —被加固土体体积 (m³)。

8 有条件时，可进行现场试验。

3.0.10 加固处理所使用的岩土固化剂必须提供出厂质量证明报告和现场抽检质量证明报告；根据用地性质，岩土固化剂重金属含量必须符合《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》(GB36600)一类/二类用地筛选值原则。

3.0.11 施工前应完成技术交底工作。施工中应严格落实各工序的质量控制，并及时验收，验收合格后方可进行下道工序施工。

3.0.12 固化处理完成后，应做好下列工作：

1 应对被加固土体的处理效果进行检测。现场试验项目应包括载荷试验、标准贯入/静力触探试验等；

2 深层搅拌、浅层加固桩体应进行桩体钻孔取芯成桩质量和单桩承载力检测，复合地基还应进行复合地基承载力检测；

3 对于按压实度控制的回填压实地基应进行压实度检测；

- 4 止水帷幕/防渗墙宜进行钻孔取芯防渗效果检测；
- 5 应进行处理范围和有效加固深度内地基均匀性评价；
- 6 钻孔取芯、静荷载试验及其它检测宜在施工 28d 后进行。

3.0.13 加固处理施工应严格执行职业健康安全和环境保护的有关规定，配备劳动保护用品，保证安全施工，做好扬尘控制和渣土的清运或处理等工作。

3.0.14 施工中应及时做好施工记录和质保资料的保存，确保数据真实、准确、全面。必要时，留存影像资料。

4 岩土固化剂

4.1 一般规定

- 4.1.1** 岩土固化剂定义应符合《软土固化剂》CJ/T526 中软土固化剂的定义。
- 4.1.2** 岩土固化剂分类及标记应符合《软土固化剂》CJ/T526 的规定。
- 4.1.3** 岩土固化剂固化土无侧限抗压强度等级设计应符合《软土固化剂》CJ/T526 的规定。
- 4.1.4** 岩土固化剂重金属含量指标及检测方法应符合《软土固化剂》CJ/T526 的规定。

4.2 岩土固化剂技术要求

- 4.2.1** 岩土固化剂物理指标应符合表 4.2.1 的规定。

表 4.2.1 岩土固化剂物理指标

序号	项目	指标	试验方法
1	细度(80 μm 方孔筛筛余量)/%	≤ 10	GB/T1345
2	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	≥ 2.5	GB/T208
3	含水率/%	≤ 1.0	GB/T50123

- 4.2.2** 岩土固化剂工艺指标应符合表 4.2.2 的规定。

表 4.2.2 岩土固化剂工艺指标

项目		指标	试验方法
净浆流动度 ^a /mm	初始	≥100	GB/T 8077
	30min	≥90	
	60min	≥80	
初凝时间/min		≥45	GB/T1346
终凝时间/min		≤600	
^a 流动度指标只适用于 S 类岩土固化剂			

- 4.2.3** 进行净浆流动度试验前，其样品制样方法应符合以下规定：

1 称取岩土固化剂 900g，倒入搅拌锅内，加入 540g 水，搅拌 3min；水应符合《混凝土拌合用水标准》JGJ 63 的技术要求。

2 搅拌完成后,立即按《混凝土外加剂匀质性试验方法》GB/T 8077,测定初始净浆流动度。

3 剩余浆体平均分两份用保鲜袋密封放入标准养护箱中养护,静置 30min 时取出一份,搅拌 1min,按 GB/T 8077 测定 30min 净浆流动度;静置 60min 时取出一份,搅拌 1min,按 GB/T 8077 测定 60min 净浆流动度。

4.3 固化土技术要求

4.3.1 固化土无侧限抗压强度应符合设计要求,并宜符合表 4.3.1-1 和表 4.3.1-2 的规定。

表 4.3.1-1 固化土无侧限抗压强度

强度等级	无侧限抗压强度/MPa		试验方法
	7d	28d	
1.0	≥0.3	≥1.0	JGJ/T 70
2.0	≥0.6	≥2.0	
3.0	≥0.9	≥3.0	

表 4.3.1-2 早强型固化土无侧限抗压强度

强度等级	无侧限抗压强度/MPa			试验方法
	1d	7d	28d	
1.0R	≥0.2	≥0.5	≥1.0	JGJ/T 70
2.0R	≥0.5	≥1.0	≥2.0	
3.0R	≥0.7	≥1.5	≥3.0	

4.3.2 成型固化土立方体抗压强度试块时,应符合下列要求:

1 成型 2~3 组龄期的固化土立方体抗压强度试块,应按照掺入比 10%、水灰比 0.6 的配合比,称取 500g 岩土固化剂、300g 拌合水、5000g 原状湿土;

2 岩土固化剂和拌合水应先搅拌 1min,再将原状湿土加入搅拌机进行搅拌,土体搅拌时间不少于 4min,搅拌转数不少于 300r;

3 拌合后尽快成型,分两层振捣,捣棒宜采用直径为 10mm 且端部磨圆的光滑钢棒,每层装料高度宜相等;每层应按螺旋方向从边缘向中心均匀插捣 15 次,

在插捣底层拌合物时，捣棒应达到试模底部，插捣上层时，捣棒应贯穿该层后插入下一层 5mm-15mm，插捣时捣棒应保持竖直；

4 试模应附着或固定在振动台上振实，振实时间不少于 2min，振实后固化土应高出试模上沿口；

5 试模抹平后，薄膜覆盖养护，静置 2d 拆模，试块放入水中养护；若需测试 1d 强度，试模抹平后，标准养护 24h 拆模。

4.4 验收要求

4.4.1 批号与取样应符合下列规定：

1 以连续供应的 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；

2 取样方法按现行国家标准《水泥取样方法》GB12573 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；

3 必要时可对产品进行随机抽样检验。

4.4.2 岩土固化剂进施工现场时，生产厂家应提供产品强度等级、标记、出厂日期、工艺指标、强度指标。报告内容还应包括：

1 生产单位；

2 试验报告日期；

3 检验结果。

4.4.3 产品进场后，应委托第三方检测机构，对产品进行检验，并留样备查；检查指标为强度指标。

4.4.4 检验结果评定应符合下列规定：

1 符合本标准工艺指标、强度指标的为合格品；

2 凡不符合本标准工艺指标、强度指标的为不合格品。

4.4.5 产品保质期自生产日起为 3 个月。超过存放期限的产品，应按本标准的要求重新检验。

5 岩土固化剂在搅拌桩（墙）中的应用

5.1 一般规定

5.1.1 岩土固化剂适用于加固淤泥、淤泥质土、素填土、粘土、粉质粘土、粉土等饱和软土的地基处理和基坑止水帷幕。

5.1.2 当地下水具有强流动性、强腐蚀性或加固泥炭土、有机质土、PH 值小于 4 的酸性土时应通过试验确定其适用性并选择恰当的岩土固化剂类型。

5.1.3 当加固塑性指数大于 25 的黏土时，应通过试桩（墙）确定施工工艺设备的适用性。

5.1.4 冬季施工时，应注意负温对加固效果的时效影响。

5.1.5 岩土固化剂应用于地基处理和基坑止水帷幕，施工工艺包括但不限于深层搅拌法、高压喷射注浆法、等厚水泥土搅拌墙等。

5.2 设计

5.2.1 岩土固化剂的设计，应按现行国家、行业、地方标准执行。

5.2.2 岩土固化剂通过搅拌法或高压喷射注浆法形成加固体，可用于复合地基、劲性复合桩基使用等。地基加固时岩土固化剂掺入比参照下表 5.2.2。

表 5.2.2 岩土固化剂的掺入比推荐范围（%）

施工工艺	土体天然含水率(%)		水灰比
	≤60	>60, ≤100	
深层搅拌法	8-15	15-25	0.45-0.6
高压喷射注浆法	13-20	18-35	0.8-1.5
干粉搅拌法	8-15（不适用≤30）	10-20	/

5.2.3 岩土固化剂应用于止水帷幕工程时，岩土固化剂的掺量可等同于各类帷幕施工工艺中的水泥掺量，岩土固化剂的水灰比等同于水泥的水灰比，或根据现场试验确定其掺量和水灰比。

5.2.4 搅拌桩仅作为止水帷幕时，28d 龄期现场抽芯无侧限抗压强度不应小于设计强度且不宜小于 0.5MPa，当作为重力式挡土墙等兼做挡土结构时，不宜小于 0.8MPa。

5.2.5 岩土固化剂应用于止水帷幕时，岩土固化剂掺入比一般为 15%~20%，具体掺量可参考不同帷幕施工工艺中的水泥掺量或根据现场试验确定。

5.2.6 岩土固化剂处理松散填土时，应提高岩土固化剂掺入比。

5.2.7 在以下任一情况下，除进行室内配合比试验，以确定岩土固化剂的适用性和掺量外，还应进行现场试桩（墙）试验。

- 1 在缺乏工程经验的地区使用；
- 2 易溶盐含量超过 0.3%的土体加固处理。

5.3 施工

5.3.1 应用岩土固化剂施工地基处理、基坑止水帷幕时，应按现行国家、行业、地方标准。

5.3.2 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，工艺性试桩（墙）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）。

5.3.3 施工时可采用外掺法将外加剂添加到岩土固化剂浆液中进行拌合。外加剂的掺加比例由生产厂家提供。

5.3.4 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（墙）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。

5.3.5 施工设备提升速度参照下表 5.3.5 控制，并调节灰浆泵压力和喷浆量，确保整根桩的实际掺量不得低于设计值。

表 5.3.5 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
铣削式深搅水泥土搅拌墙	<0.5

5.3.6 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、不得停置时间过长，超过 2h 的浆液应降低强度等级使用。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。

5.3.7 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,方可适量冲水,凡经输浆管冲水下沉的桩(墙),喷浆提升前必须将喷浆管内的水排清,同时应考虑冲水成桩对桩身强度的影响。

5.3.8 止水帷幕相邻桩(墙)搭接施工的时间间隔不宜大于 24h。当超过 24h 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,并经设计认可后,在搭接处采取补救措施。

5.4 质量检验

5.4.1 岩土固化剂用于工程的质量检验,应按现行国家、行业、地方标准。

5.4.2 承重加固土桩的成桩质量检验,可参照《软土地基深层搅拌加固法技术规程》(YBJ225-91)执行。

5.4.3 岩土固化剂应用于止水帷幕工程,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,无侧限抗压强度试验应满足 5.4.2 的相关要求,当对芯样进行抗渗试验检测时应满足附录 B 的要求;

2 必要时可进行早期(<28d)取芯试验;

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 钻取芯样后留下的空隙采用可靠措施封填。

6 岩土固化剂在浅层原位加固的应用

6.1 一般规定

6.1.1 浅层原位固化方案制定前，应做好现场地形地貌、工程地质、水文、气象调查、分析和试验等勘测和勘察工作，为设计和施工提供基础资料，浅层原位固化方案应遵循：“安全可靠、经济合理”的原则

6.1.2 浅层原位固化适用于软弱地基的浅层加固，适用于淤泥质土、淤泥，冲填土等高含水率软土地基加固。

6.1.3 固化土无侧限抗压强度和承载力应满足设计要求。

6.2 设计

6.2.1 浅层原位固化设计应结合地基软弱土的性能、处理后使用功能要求、经济和社会效益等进行综合经济技术比较，合理确定原位固化处理方案。

6.2.2 根据工程项目使用要求、加固范围和加固方法的不同，原位固化分为原位固化浅层处理和原位固化硬壳层复合地基两大类。

6.2.3 浅层原位固化处理常用形式为浅层软弱土全部固化处理、部分固化处理，其中浅层软弱土部分固化处理包括全断面固化、全断面固化组合格栅式固化和全断面固化组合点式固化处理等形式。

6.2.4 浅层固化设计前应进行现场取样和室内配合比或现场试验，确定岩土固化剂种类及固化土的各项设计技术参数；

6.2.5 浅层固化设计内容包括浅层固化厚度、宽度和加筋垫层等；计算内容包括原位固化层表面承载力、下卧层承载力验算、沉降验算，应符合《地基处理技术规范》JGJ79、《复合地基技术规范》GB/T50783 和《天津市岩土工程技术规范》DB/T29-20 相关规定。

6.3 施工

6.3.1 采用岩土固化剂进行浅层原位加固时，应按现行国家、行业、地方标准《复合地基技术规范》GB/T50783、《建筑地基处理技术规范》JGJ79、《天津市岩土工程技术规范》DB/T29-20。

6.3.2 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。

6.3.3 施工前应明确实验室固化土的配合比设计，根据设计确定的固化土配合比和设计强度要求，选取典型地块进行现场试验，单个配比试验地块不小于 25m²，进行现场固化土施工配合比的验证。

6.3.4 浅层原位固化施工采用分区施工，区块大小不宜小于 10m²。

6.3.5 浅层原位固化采用边固化边推进的形式进行，施工应保证搅拌均匀，各施工区块之间应有不小于 10cm 的复搅搭接宽度，避免漏搅；对一般软土宜采用原位垂直上下搅拌固化方式；对表层存在硬壳层的土体宜采用挖掘机翻松搅拌固化方式。

6.3.6 浅层原位搅拌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结合其他地基处理措施采取相应的预压措施，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，同时加强场地排水，减少雨水影响；

3 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。

6.3.7 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。

6.4 质量检验

6.4.1 浅层原位固化作为地基处理的一个分项工程进行检验评定，应按基本要求、实测项目、外观质量和质量保证资料等检验项目进行质量检验。

6.4.2 浅层原位固化处理实测项目见表 6.4.2。

表 6.4.2 浅层原位固化验收内容表

项次	检查项目	规定值或 允许偏差	检查方法和频率
1	浅层固化厚度 (mm)	≥设计值	静力触探：每 3000m ² 或每 300m 测试点不少于 3 处

2	浅层固化宽度 (mm)	≥设计值	尺量：每 3000m ² 或每 300m 测试点不少于 3 处
3	均匀性	符合设计要求	静力（或动力）触探试验：每 3000m ² 或每 300m 测试点不少于 3 处
4	岩土固化剂掺量 (%)	符合设计要求	查施工记录
5△	承载力 (kPa)	符合设计要求	荷载板试验：每 3000m ² 或每 300m 测试点不少于 1 处

6.4.3 固化土抽芯无侧限抗压强度根据实际工程需要进行有选择性测试；表 6.4.2 中以“△”标识的实测项目为关键项目，合格率应不低于 95%，且平均值满足设计要求；其余实测项目为一般项目，合格率应不低于 80%，且平均值满足设计要求；否则该检查项目为不合格。

7 岩土固化剂在流态固化土（泥态固化土）中的应用

7.1 一般规定

7.1.1 采用岩土固化剂生产的流态固化土可用于填筑工程,主要包括管廊、建筑、轨道交通等工程的基槽、孔洞、坑穴或其他狭窄空间的填筑,地下管线安装填埋,一般道路路基加固,桥头的台背及涵背和墙背部位回填。

7.1.2 生产流态固化土的土方宜就地取土,优先就地选用淤泥、淤泥质土、疏浚土、工程废弃泥浆及建筑垃圾再生料,土方中所含粗粒的最大粒径不宜超过 20mm,有机质含量不应超过 10%;当使用泥浆时,泥浆的重度低于 14kN/m^3 不宜直接使用。

7.1.3 采用流态固化土填筑的工程应进行流态固化土设计,流态固化土设计应包括材料选择、配合比、流动度、渗透系数及无侧限抗压强度要求等。

7.1.4 流态固化土配合比设计应以流动度合格为前提,以达到 28d 无侧限抗压强度标准为依据,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。

7.2 设计

7.2.1 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:

28 天抗压强度不宜小于 0.5MPa ,初始流动度不宜小于 170mm。流动度试验方法应符合附录 C。

7.2.2 流态固化土拌合物的岩土固化剂掺入比宜为 6%~20%,可根据试验确定。

7.2.3 当对回填材料的渗透指标有要求时,固化土的渗透指标应满足设计要求。

7.2.4 流态固化土的配合比设计应满足以下要求:

1 流态固化土试验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（7.2.4-1）和（7.2.4-2）计算：

$$m_c = \frac{\alpha m_0}{1 + \omega_0} \quad (7.2.4-1)$$

$$\alpha = \frac{m_f}{m_d} \times 100\% \quad (7.2.4-2)$$

式中： α —岩土固化剂掺量（%）；

ω_0 —试验用土方的含水率（%）；

m_f —掺入岩土固化剂的质量（kg）；

m_0 —试验用土方的质量（kg）；

m_d —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（7.2.4-3）和（7.2.4-4）计算；

$$m_w = \mu \frac{\alpha}{1 + \omega_0} m_0 - \frac{\omega_0}{1 + \omega_0} m_0 \quad (7.2.4-3)$$

$$m_a = \alpha_a \cdot m_c \quad (7.2.4-4)$$

式中： m_w —用水量的质量（kg）；

μ —固化剂浆剂水固比，根据施工条件和试拌确定；

m_a —外加剂的质量（kg）；

α_a —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 m_0 、含水率 ω_0 及计算所得岩土固化剂掺入质量 m_c 、固化剂水灰比 μ 、拌和用水 m_w 及外加剂的质量 m_a ，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。

7.3 施工

7.3.1 流态固化土的施工前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；当采用泥浆时，需要对泥浆进行持续搅拌的匀化处理。

4 施工按照施工技术方案，组织设备进场、安装与调试，并对填筑前的场地进行清除杂物与整理；

5 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。

7.3.2 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。

7.3.3 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，宜调整和控制固化土的凝结时间；

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 当流态固化土初始流动度小于 150mm，宜采取辅助振捣措施。

7.3.4 流态固化土浇注至设计厚度后，应对浇注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 7 天。

7.4 质量检验

7.4.1 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 7.4.1 进行，当涉及到其他指标检验时，根据设计要求进行验收。

表 7.4.1 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
--	--	------	------	--------

7.3.2 流态固化土质量验收应符合下列规定：

- 1 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；
- 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，不足规定要求，需采取措施进行整修处理。

7.3.3 对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。

8 岩土固化剂在碾压固化的应用

8.1 一般规定

8.1.1 固化土用于道路结构层时，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。

8.1.2 固化土混合料应根据工程用土料的种类和土工试验数据，进行配合比设计和试验。

8.1.3 固化土设计应根据不同道路等级和交通等级要求选择技术可靠、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的有关规定。

8.1.4 固化土道路结构施工质量的控制与检验按本规程规定进行。

8.2 设计

8.2.1 固化土配合比设计宜采用质量比，岩土固化剂掺量宜采用占干燥土质量的百分率表示。

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

8.2.3 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8.2.3-1~表8.2.3-3的规定。固化土基层、底基层设计厚度不应小于15cm，不宜大于25cm。

表 8.2.3-1 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 8.2.3-2 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 8.2.3-3 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

8.2.4 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 ($\Delta\varepsilon$)，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8.2.4要求：

$$\varepsilon_1 = \Delta\varepsilon \leq \varepsilon_d \quad (8.2.4)$$

3干缩应变值 (ε_1) 不应大于 1000×10^{-6} 。

8.2.5 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。

8.2.6 固化土道路基层和底基层设计时，固化土材料性能有条件时应根据《公路路基路面现场测试规程》JTG E60规定的试验进行测试，无条件时可按表8.2.6取值。

表 8.2.6 固化土材料性能参数 (MPa)

序号	无侧限抗压强度	回弹模量E (弯沉计算用)	回弹模量E (弯拉应力计算用)	劈裂强度 σ
1	2~5	800~1300	2000~3200	0.5~0.7

2	0.5~2	400~1000	1000~2000	0.2~0.6
3	0.3~0.5	200~400	400~1000	0.1~0.2

8.3 施工

8.3.1 固化土路床、基层、底基层应在5℃以上的环境温度下进行施工，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。

8.3.2 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。

8.3.3 施工准备应按下列内容进行。

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、填洼铲高、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。

8.3.4路拌法施工宜按图8.3.4所示流程进行。

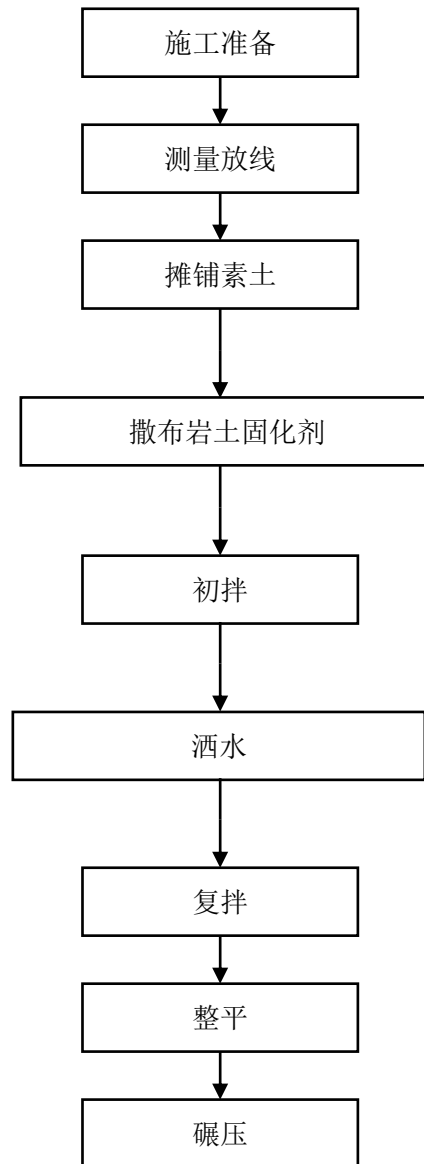


图 8.3.4 路拌法施工主要工艺流程示意图

8.3.5 路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。

8.3.6 路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，并应与下一段施工段同时碾压；
- 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。

8.3.7 厂拌法施工宜按图8.3.7所示流程进行。



图 8.3.7 厂拌法施工主要工艺流程示意图

8.3.8 厂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。

8.3.9 厂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。

8.3.10 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。

8.4 质量验收

8.4.1 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和《公路工程质量检验评定标准》JTGF80/1的有关规定。

8.4.2 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。

8.4.3 固化土道路施工中的质量控制检测频度应符合表8.4.3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 8.4.3 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 1000m ² ，每压实层抽检 1 组	应符合表 8.4.7	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 1000m ² ，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。

8.4.4 每个施工单元在完成碾压工序后应选取1个~3个点测定压实度。测定结果应符合表8.4.4-1至表8.4.4-3的规定。

表 8.4.4-1 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	≥93

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 8.4.4-2 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	≥93

表 8.4.4-3 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

8.4.5 固化土施工质量检验的主控项目应包括原料质量、压实度和强度，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 固化土的压实度应符合本规程第8.4.4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。

3 固化土无侧限抗压强度代表值应符合本规程第8.2.3条的规定:

- (1) 检查数量:施工现场每1000m²随机抽检混合料1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。

8.4.6 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第8.4.4条的规定。

8.4.7 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。

9 岩土固化剂在港口工程中的应用

9.1 一般规定

9.1.1 岩土固化剂可应用于港口中小型水工建筑物的基础、软土地基处理及岸坡加固、防冲刷结构、防渗封堵结构等,其中软土地基处理应符合第6章相关技术要求。

9.1.2 港口地基及水工结构中岩土固化剂的选择,应综合考虑堆场陆域形成方式、材料来源、使用要求、结构型式及潮间带海洋自然环境影响等确定。

9.1.3 固化设计方案应根据结构形式、使用要求、地质条件、施工条件、材料来源、波浪水流条件、工程投资、环保要求等因素,选择合适的固化处理方案。应根据使用要求及使用荷载对固化土地基或结构进行地基承载力验算、地基变形验算、岸坡整体稳定验算等,必要时应采用空间有限元分析对结构进行数值模拟分析。对于有耐久性、防渗、防冲刷等要求的水工结构,应采取有效的工程措施,必要时可对岩土固化剂进行专门的试验研究。对于有环保要求的结构,应请有资质的第三方环境评估机构进行评估。

9.2 设计

9.2.1 港口工程固化土可根据工程使用条件、地质条件、水文条件、施工条件、工期需求等选用一种或多种固化材料,固化材料的掺入比例应通过固化土室内试验确定。

9.2.2 港口工程固化土无侧限抗压强度、抗剪强度指标宜选择28d龄期的强度。强度应根据工程结构使用要求,根据现场试验确定,试验之前可根据理论计算进行估算,最终指标的确定建议综合考虑施工工艺影响。

9.2.3 港口堆场的固化土地基承载力特征值一般不应小于80kPa;集装箱重箱堆场堆高五层及以上时不应小于150kPa,散货堆场地基处理可综合承载力及稳定控制原则确定处理标准。

9.2.4 港口工程水工建筑物固化土基础的地基承载力应按照《水运工程地基设计规范》(JTS147)有关规定执行,并应通过现场载荷试验确定。

9.2.5 对于存在软弱下卧层的港口堆场和水工建筑物固化土地基,尚应验算下卧

层地基承载力，具体要求参见第 6 章相关规定。

9.2.6 固化土基础地基沉降要求应根据上部结构的使用要求确定，对于无特殊要求的，固化土基础沉降不宜大于 0.3m。

9.2.7 港口固化土的处理范围及深度应综合考虑使用荷载、地质条件、施工工艺、地基沉降、地基承载力和变形、土坡和地基稳定等因素而确定。

9.2.8 固化土用于港口中小型水工建筑物的基础时（多以重力式结构为主），可代替砂石、替换基床，固化土基础可就地取材、节能环保，设计时建议采取工程措施使固化土和上部结构可靠连接形成良好整体。

9.2.9 固化土用于软土地基处理及码头、护岸等岸坡加固时应根据上部结构对土坡和地基稳定、变形的要求确定强度指标及施工方式。平面布置可根据土的性质、加固目的、上部结构形式及对地基或岸坡作用的荷载条件、施工工艺等综合分析后采用柱式、壁式、格栅式或块式等加固形式。

9.2.10 固化土用于防冲刷结构和防渗封堵结构时建议外设混凝土包封结构，以增强耐久性。

9.2.11 固化土用于防渗和封堵时应给出渗透系数要求，并结合土质分析和现场试验结果确定可达到的防渗指标。

9.2.12 潮间带或海上施工时建议适当提高岩土固化剂掺入比。

9.3 施工

9.3.1 港口工程固化土地基施工方式的选择应根据设计要求、地基土性质及场地条件等选择确定，应合理安排施工顺序，编制专项施工方案，并进行施工监测和检测。

9.3.2 固化土施工时建议进行典型施工以最终确定大规模施工的施工工艺及固化土指标。

9.3.3 对于软土、盐渍土、泥炭土和液化土等特殊土质区域以及吹填区、水浸区的堆场地基，宜选用可在上述软土地基行走的机械设备进行施工。潮间带或外海施工时，应选择适宜的施工方式。

9.3.4 固化技术应用于港口水工建筑物施工时，建议充分考虑施工措施及费用。

9.4 质量检验

9.4.1 固化土施工过程中，应针对来源不同、性质不同的陆域形成材料进行取样试验，试验内容按结构工程部位和有关技术要求确定，指标应满足设计和相关标准要求。

9.4.2 固化土地基应进行取芯试验和原位测试等，并应符合现行行业标准《水运工程地基基础试验检测技术规程》(JTS237)的相关规定，试验检验结果应满足设计要求。

9.4.3 水工固化土检测需结合上部结构形式、荷载要求等确定检验频率，对于有抗剪强度要求的工程，还应进行抗剪试验。

9.4.4 对有防渗要求的固化土应进行渗透性检测。

10 施工安全与环境保护

10.1 施工安全

10.1.1 施工前应平整场地，场地承载力应满足桩机平稳行走、移动的要求。场地低洼时应回填粘性土料，不得回填杂填土。地表过软时，应采取防止施工机械失稳的措施。在边坡附近施工时，应考虑施工对边坡的影响，并采取确保边坡稳定的措施。

10.1.2 输浆管路应满足输浆压力要求，在桩机上的管路做好防护措施。认真检查高压泥浆泵，防止泵体、管路内残渣存在造成堵塞。

10.1.3 施工现场应配置备用动力，当搅拌施工中发生断电，立即启动备用动力提升搅拌钻具。

10.1.4 在重要管线和建筑物附近施工，应采取保护措施，避免桩机自重、震动的挤压影响。

10.2 环境保护

10.2.1 施工中做好废浆液处理，在现场短期堆放，硬化后运出。

10.2.2 高压注浆施工挤土影响较为明显，应对周边建筑物及重要管线进行动态观测，避免注浆压力的侧向挤压影响，避免固化土在搅拌后、初凝前的强度弱化间隔期影响。

10.2.3 在靠近住宅、学校、重要生产线等敏感建筑物附近施工，应采取有效措施，阻隔震动、噪声影响。

10.2.4 粉体搅拌施工，应采取有效措施消除粉尘污染。

附录 A 固化土无侧限抗压强度试验

A.0.1 试验仪器

- 1 压力试验机：最大加载应大于加载值 20%，加荷速率 0.03-0.15kN/s，精度不应低于±1%；
- 2 电子称：最大量程 10 kg，精度±0.1g；
- 3 钢直尺：尺长 500mm，分度值为 0.1mm；
- 4 试验用试模：立方体试模：尺寸：100mm×100mm×100mm 或 70.7mm×70.7mm×70.7mm；
- 5 除试模外，配合比试验采用的其他仪器设备符合下列规定：
 - (1) 捣棒宜采用直径为 10mm 且端部磨圆的光滑钢棒；
 - (2) 搅拌机宜采用转速可调搅拌机，转速宜为 60-300r/min；
 - (3) 振动台应符合现行行业标准《混凝土试验用振动台》JG/T3020 的规定；
- 6 所有设备均应满足计量要求。

A.0.2 试件制备

试件的搅拌、成型与养护符合现行标准《水泥土配合比设计规程》JGJ/T233，具体制备流程如下：

- 1 按照配比称取原状湿土、岩土固化剂和拌合水备用；
- 2 岩土固化剂和拌合水应先搅拌 1min，再将原状湿土加入搅拌机进行搅拌，土体搅拌时间不少于 4min，搅拌转数不少于 300r；
- 3 拌合后尽快成型，分三层振捣，捣棒宜采用直径为 10mm 且端部磨圆的光滑钢棒，每层装料高度宜相等；每层应按螺旋方向从边缘向中心均匀插捣 15 次，在插捣底层拌合物时，捣棒应达到试模底部，插捣上层时，捣棒应贯穿该层后插入下一层 5mm-15mm，插捣时捣棒应保持竖直；若拌和后土样含水率较低，分三层将混合料装入立方体模具（钢模）中，每装入一层，先锤击捣实，后表面拉毛；控制混合料的均匀程度及排气，抹平表面盖上塑料薄膜；
- 4 试模应附着或固定在振动台上振实，振实时间不少于 2min，振实后固化土应高出试模上沿口，若制备流态固化土或土样较干时则不需要振实；
- 5 试模抹平后，薄膜覆盖养护，静置 2d 拆模，试块放入 20℃±2℃的水中养护；若需测试 1d 强度，试模抹平后，标准养护 24h 拆模，水溶液/养护箱中养护

至 7 天、28 天；水面高出试件不应小于 20mm。

A.0.3 岩土固化剂用量为质量比，岩土固化剂掺入比及掺量按公式 A.0.3-1、A.0.3-2 计算：

$$\alpha_{\omega} = \frac{m_c}{m_s} \times 100 \quad (\text{A.0.3-1})$$

$$\alpha = \frac{m_c}{V} \quad (\text{A.0.3-2})$$

式中： α_{ω} —岩土固化剂掺入比(%)；

m_c —掺入的岩土固化剂质量 (kg)；

m_s —原土质量 (kg)；

α —岩土固化剂掺入量 (kg/m³)；

V —被加固土体体积 (m³)。

A.0.4 无侧限抗压强度试验步骤

- 1 应检查每块试件外观，试件表面必须平整，不得有裂缝或明显缺陷；
- 2 应测量每块试件尺寸，并应计算试件的承压面积；
- 3 取 1 块试件放在压力试验机下压板的中心位置，试件承压面应与成型的顶面垂直；
- 4 开动压力试验机，当上压板与试件接近时，应确保试件接触均衡；
- 5 根据固化土的强度选择以 0.03kN/s-0.15kN/s 速度连续均匀地加荷，直至试件破坏，并应记录破坏荷载；
- 6 应重复 (1) - (5) 的试验步骤，并应测定记录试件的横截面积、破坏荷载；
- 7 试件的无侧限抗压强度应按式 A.0.4-1 计算：

$$q_u = \frac{P}{A} \quad (\text{A.0.4-1})$$

式中： q_u —试件无侧限抗压强度(MPa)，精确至 0.01MPa；

P —试件的破坏荷载(N)；

A —试件的横截面积(mm²)。

A.0.5 应取 3 块试件无侧限抗压强度的算术平均值作为固化土无侧限抗压强度，并绘制岩土固化剂不同掺入比 7 天龄期及 28 天龄期试样无侧限抗压强度曲线图。

附录 B 固化土搅拌桩芯样抗渗试验

B.0.1 目的及适用范围：从固化土搅拌桩上钻取芯样，制备抗渗试件，测定固化土搅拌桩芯样的相对渗透系数。

B.0.2 仪器设备

- 1 取芯设备：取芯机；
- 2 切割设备：可选用岩石切割机；
- 3 抗渗设备：混凝土抗渗仪；
- 4 卡尺或钢直尺：分度值不大于1mm；
- 5 试模：规格为上口直径175mm，下口直径185mm，高150mm的截头圆锥体；
- 6 密封材料：抗渗密封胶圈、环氧或其它密封材料等；
- 7 天平：分度值不大于1g；
- 8 真空饱水装置：全自动混凝土真空饱水机或其他类似设备；
- 9 辅助器具：压力机、钢垫条、记号笔等。

B.0.3 试件尺寸

- 1 依据JGJ 106进行现场取芯，钻头外径不得小于100mm；
- 2 芯样应加工成高度为150mm的圆柱体；
- 3 以6个试件为1组抗渗。

B.0.4 试验步骤

1 将抗渗芯样试件立于试模中央，四周以快硬水泥砂浆填充并振捣密实，1天后拆模，试件擦拭干净。待表面晾干后，在试件侧面上、下部各套上1个抗渗密封胶圈，然后将试件压入抗渗仪模套，使试件与模套底部平齐；

2 启动抗渗仪，开通六个试位的阀门，使水从孔中渗出充满试位坑。关闭抗渗仪，将装好试件的模套安装紧固在试位上；

3 将抗渗仪水压力一次加到0.3MPa，同时开始记录时间（精确至分钟）。在此压力下恒定24h，然后降压停机。在恒压过程中，如有试件端面出现渗水，即停止该组试件的试验，并记下出水时间（精确至分钟）。透水试件的渗水高度即为试件的高度（150mm），其他试件的渗水高度按步骤4测量。当固化土搅拌桩中岩土固化剂含量较高时，可将水压力改为0.4MPa或0.5MPa；

4 从模套中钻取出芯样试件，在试件两端面沿直径方向各平行放置一根钢垫条，用压力机将试件劈开。过2min 即可在试件劈开面看出水痕，用笔划出水痕线位置，沿劈开面的底边10等分，在各等分点处量出渗水高度（ D_i ，精确至1mm）；

5 试件吸水率的确定：将同批固化土搅拌桩芯样加工成高径比为1：1的试件3个，置于温度为（105±5）℃烘箱中烘至恒量，冷却至室温后称出烘干试件的质量（ m_d ）。将烘干试件置于真空饱水装置进行饱水程序，水饱和后取出试件并用湿布擦除表面附着水，立即称量试件质量（ m_s ）。

B.0.5 试验结果处理

- 1 以各等分点处渗水高度 D_i 的平均值作为该试件的渗水高度 D_m ；
- 2 固化土芯样渗透系数按照公式（B.0.5-1）计算：

$$K_r = \frac{aD_m^2}{2tH} \quad (\text{B.0.5-1})$$

式中： K_r —固化土芯样的渗透性系数（cm/s）；

a —固化土芯样的吸水率（%）；

D_m —试件的渗水高度（cm）；

t —恒压时间（s）；

H —水压力，以水柱高度表示（cm），

注：1MPa 水压力以水柱高度表示为10200cm；以6个试件测值的平均值作为试验结果。

- 3 固化土芯样的吸水率按照公式（B.0.5-2）计算（精确至1%）：

$$a = \frac{m_s - m_d}{m_d} \times 100 \quad (\text{B.0.5-2})$$

式中： m_s —饱和面干试件的质量（g）；

m_d —干燥试件的质量（g）；

以3个试件测值的平均值作为试验结果。

B.0.6 编制说明

1 根据固化土芯样情况，也可参照《水泥土配合比设计规程》JGJ/T233-2011渗透试验方法或《土工试验方法标准》GB/T 50123-2019中的变水头渗透试验方法的规定执行；

2 由于固化土的渗透系数非常小，参照GB/T 50123-2019中的变水头渗透装

置,存在某些固化土试件基本不能渗水,试验时间周期长且测定的数据不够准确,而混凝土抗渗仪与JGJ/T233-2011中的固化土渗透仪类似,能够提供稳定的渗水压力,这样不仅更具有可操作性,而且更符合实际工程使用情况;

3 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106-2014规定现场取芯的钻头外径不得小于100mm,而混凝土抗渗试件的高度为150mm,为了便于加工制作试件而作此规定;

4 密封材料有多种,混凝土抗渗试件早期大多用用石蜡加松香或水泥加黄油密封;在试件侧面滚涂一层熔化的石蜡松香混合物,然后将试件压入经过烘箱或电炉预热过的模套中,用水泥加黄油密封时,其用量比为(2.5~3):1,用三角刀均匀刮涂1~2mm厚在试件侧面上,然后将试件压入模套。但这两种密封材料经常密封不好,致使试件周边渗水;近年来有专用的抗渗密封胶圈,效果不错;

5 试验表明,采用此种方法测出的渗透系数与JGJ/T 233-2011中的固化土、GB/T 50123-2019土工试验方法结果相差不大。此方法对固化土搅拌桩芯样破坏最小,接近实际工程情况。

附录 C 流态固化土流动度试验

C.0.1 试验仪器

- 1 圆筒由金属或硬质塑料制成, 内径 80 mm, 净高 80 mm, 筒壁厚 2~5mm;
- 2 电子秤量程 3000 g, 精度 0.1 g;
- 3 平板塑料板或光面瓷砖, 厚度 1 cm, 边长 30 cm;
- 4 游标卡尺量程不小于 300 mm, 精度 0.1 mm;
- 5 秒表。

C.0.2 流动度试验按以下步骤进行:

- 1 将平板表面、圆筒内外壁用湿抹布擦拭干净, 并将圆筒置于平板上。向圆筒内轻轻倒入事先制备好的流态固化土, 至淤泥固化土略高出筒口。刮平圆筒筒口, 使淤泥固化土料与筒口平齐, 擦拭干净筒外壁及平板;
- 2 轻轻将圆筒向高处提起, 直至圆筒内所有样料落在平板上, 并同时用秒表开始计时; 此时, 样料在平板上会形成圆饼状;
- 3 当秒表计时达到 1 min 时, 用游标卡尺量测平板上的样料圆饼直径, 沿互相垂直的两个方向分别量测(其中一个方向为最大直径方向), 取其算术平均值作为本次流动度试验结果, 流动度精确至 1 mm。

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”。

引用标准名录

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- 1 《土工试验方法标准》 GB/T 50123
- 2 《建筑地基处理技术规范》 JGJ79
- 3 《建筑施工组织设计规范》 GBT50502
- 4 《建筑工程施工质量验收资料管理规程》 DB/T29-209
- 5 《软土固化剂》 CJ/T 526
- 6 《建筑砂浆基本性能试验方法标准》 JGJT 70
- 7 《土壤固化剂应用技术标准》 CJJ/T 286
- 8 《水泥取样方法》 GB12573
- 9 《复合地基技术规范》 GB/T50783
- 10 《水泥土配合比设计规程》 JGJ/T233
- 11 《劲性复合桩技术规程》 JGJ/T327
- 12 《天津市劲性搅拌桩技术规程》 DB/T29-102
- 13 《岩土工程勘察规范》 GB50021
- 14 《高压喷射注浆施工操作技术规程》 HG/T20691
- 15 《天津市岩土工程技术规范》 DB/T29-20
- 16 《建筑基桩检测技术规范》 JGJ 106
- 17 《型钢水泥土搅拌墙》 JGJ/T199
- 18 《渠式切割水泥土连续墙技术规程》 JGJ/T303
- 19 《建筑基坑支护技术规程》 JGJ120
- 20 《天津市铣削式水泥土地下连续墙技术规程》 DB-T29-267
- 21 《普通混凝土拌合物试验方法标准》 GB/T50080
- 22 《城镇道路路面设计规范》 CJJ169
- 23 《公路沥青路面设计规范》 JTGD50
- 24 《公路水泥混凝土路面设计规范》 JTGD40
- 25 《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》 JTGE51

- 26 《建设工程项目管理规范》 GB/T50326
- 27 《城镇道路工程施工与质量验收规范》 CJJ1
- 28 《公路工程质量检验评定标准》 JTGF80/1
- 29 《水运工程地基设计规范》 JTS147
- 30 《水运工程质量检验标准》 JTS257
- 31 《水运工程地基基础试验检测技术规程》 JTS237
- 32 《公路路基路面现场测试规程》 JTG3450
- 33 《泥态固化土道路填筑技术规程》 DB12/T 1179

团 体 标 准

岩土固化剂应用技术规程 Technical specification for application of the Geotechnical stabilizer

条文说明

2023-**-**发布

2023-**-**实施

天津市勘察设计协会发布

目次

1 总 则	46
2 术语、符号	47
3 基本规定	48
4 岩土固化剂	51
5 岩土固化剂在搅拌桩（墙）中的应用	52
5.1 一般规定	52
5.2 设计	52
5.3 施工	54
5.4 质量检验	56
6 岩土固化剂在浅层原位加固的应用	57
6.1 一般规定	57
6.2 设计	57
6.3 施工	58
7 岩土固化剂在流态固化土（泥态固化土）中的应用	59
7.1 一般规定	59
7.2 设计	59
8 岩土固化剂在碾压固化的应用	61
8.1 一般规定	61
8.2 设计	61
8.3 施工	61
8.4 质量验收	63
9 岩土固化剂在港口工程中的应用	64
9.1 一般规定	64
9.2 设计	64
9.3 施工	65
9.4 质量检验	66

1 总 则

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：复合地基加固、浅层固化、止水帷幕、流态固化土。

2 术语、符号

2.1.1 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，岩土固化剂的土壤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：主要针对含水率对于 60%以下，固化后可以碾压或压实的土体，岩土固化剂与土体拌和均匀后，经机械作用后压实土体，减少土体的空隙率，增加密实度，降低渗水性，为水化反应打好基础。

(2) 水化反应：岩土固化剂中活性胶凝材料与土体中的水分发生一系列水化水解反应，产生大量的水化产物（C-S-H 凝胶）和结晶物质，这些水化产物起到了控制土壤颗粒间的胶结作用、孔隙中填充作用和土颗粒包裹作用，并以此在土壤内部形成骨架支撑，使土体具有一定的结构强度。

(3) 微膨胀作用：岩土固化剂因为水化反应中产生了少部分的水化产物钙矾石（AFt）晶体，这些晶体在土体中具有微膨胀作用，使土体存在的孔隙变得更加密实。

(4) 激发作用：岩土固化剂中含有大量的工业废渣，这些工业废渣在激发剂的作用下，破坏了工业废渣的硅氧网络结构，使非活性的玻璃体发生解体，其水化反应活性大大提高，内部的大量硅铝物质参与到水化反应进程中，产生更多种类的水化胶凝产物，为土壤加固提供更多的骨架强度，满足更多泥质的固化需求。

(5) 土体颗粒表面改性：一个是离子交换（物理作用）及团粒化和硬凝反应（化学作用），离子交换是指“中岩大地”岩土固化剂水化反应产生的钙离子（ Ca^{2+} ），与土壤颗粒表面所带的单价阳离子 Na^+ 、 K^+ 进行等当量交换，降低了土壤颗粒表面的水膜厚度和 Zeta 电位，使土颗粒之间的斥力随之降低，促使颗粒凝聚，形成较大的土颗粒团聚，提高土体强度；硬凝反应是指岩土固化剂在工业废渣和激发剂的作用下，改变了土颗粒表面结构，使土壤颗粒表面的硅铝物质反应活性提高，参与到水化反应进程中，生成水化产物直接与岩土固化剂的水化产物胶结，形成的胶凝结构更为牢固。

3 基本规定

3.0.1 本条明确了岩土固化剂可以应用的相关场景,岩土固化剂主要作用于土体,涉及到土体性能提升都可以使用岩土固化剂。岩土固化剂与土体作用后,通过一些列物理化学反应,增强土体力学性能,提高土体整体作用效果,满足工程建设需要。

3.0.2 场地详细水文地质、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。

1 加固处理的主体是被加固土体,其工程性质的好坏及分布、变化规律直接决定加固处理效果是否满足设计要求和使用的;

2 场地地下潜水分布情况直接影响道路和堆场结构加固设计方案和施工是否需要采取降排水措施;地下潜水的腐蚀性直接影响深层搅拌、浅层加固桩体成桩质量;

3 重型击实试验是在标准击实方法下测定土的最大干密度和最优含水率,具体试验过程按照《土工试验方法标准》(GB/T50123)进行。重型击实试验采用TDJ-III型多功能电动击实仪,击实筒内径为152mm,筒高116mm,击锤质量为4.5kg,落距为457mm,单位体积击实功为2684.9kJ/m³,分3层击实,每层94击。试验时预估最优含水率,加水湿润制备不少于5个含水率的试样,含水率一次相差为2%左右,5个土样击实试验完成后,以干密度为纵坐标,含水率为横坐标,绘制干密度与含水率关系曲线。曲线上峰值点的纵、横坐标分别代表土的最大干密度和最优含水率。根据《土工试验方法标准》(GB/T50123),重型击实试验适用于粒径不大于20mm的土;

4 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 确定加固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。

3.0.4 施工方案应根据工程概况、重点难点、施工工艺、材料供应、进度计划、

质量控制要求、安全施工和环境保护等进行综合、全面和有针对性编制，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》GB/T50502 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 $\beta < 0.5$ 。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 回填固化土要求扩展度不宜小于 170mm，如果扩展度不满足要求重新进行配置，重新进行试验，直至满足要求。

3.0.8 碾压固化施工时包含路拌法和厂拌法，实施施工时根据现场条件进行选择使用。路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；厂拌法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。

3.0.9 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，对深层搅拌、浅层原位加固桩体成桩质量影响很大，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。

3.0.10 一类用地主要是居住用地、公共管理与公共服务用地等,是建设用地环境要求最严格的用地;二类用地主要是工业用地、物流仓储用地等。在进行地基加固处理前,应落实用地性质,岩土固化剂重金属含量应严格按一类/二类用地筛选值要求控制,具体可执行《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600)。

3.0.12 地基承载力检验时,静载试验最大加载量不应小于设计要求的承载力特征值的 2 倍,静载试验的压板面积不宜小于 1.0m^2 ;相对于其它检验方法,钻孔取芯的检验方法最直接反映地基加固工程的质量,无侧限抗压强度是加固土最重要的技术指标。

3.0.13 为贯彻国家和天津市建筑行业环境保护的有关政策,施工现场应对扬尘等采取相应控制措施,渣土的清运应避免二次污染,渣土处理应符合天津市有关部门的要求。

3.0.14 施工单位应按《建筑工程施工质量验收资料管理规程》DB/T29-209 的有关规定,在工程施工质量验收过程中提供真实、有效、完整的工程资料。

4 岩土固化剂

4.4.2 道路基层，固化土 7 天无侧限抗压强度需达到 3MPa -5MPa，岩土固化剂掺入比可在 15%~35%范围内进行试验验证，确定满足设计要求后进行使用。

5 岩土固化剂在搅拌桩（墙）中的应用

5.1 一般规定

5.1.1 岩土固化剂属于无机水硬性胶凝材料，通过与岩土进行搅拌并完成系列物理、化学、物理—化学反应，改善物理力学性质，形成具有一定强度和抗渗性的固化土。

5.1.2 当地下水具有一定的流动性时，搅拌后还未固化的固化剂被流动水体携带走，影响一系列物化反应，最终影响固化土的物理力学性质，难以实现固化目的，可选择早强型岩土固化剂。当地下水含有硫酸盐，具有结晶侵蚀性时，会破坏普通固化土的固化，可选择功能型固化剂，通过试验确定岩土固化剂适用性。泥炭土含有机质，含水量高，影响固化效果，可选择功能型固化剂并通过试验确定合理掺入比，达到固化效果。对于 PH 值小于 4 的酸性土，严重影响固化剂的水化反应，阻碍固化剂与土颗粒的物化反应，难以达到固化效果。松散填土固结度过低时，土颗粒间充满空隙，常规掺入比很难完全填充空隙，需要通过原位试桩确定合理掺入比，实现固化效果。

5.1.3 对于塑性指数大于 25 的黏土，对强制搅拌机械有“糊钻头”现象，经常造成搅拌钻头翼翅糊成球状，不能对原土进行充分搅拌，可改造搅拌钻头为多向搅拌，并通过现场试验，为设计提供依据。

5.1.4 通过固化土试块抗冻试验，负温情况对固化土结构破坏有限，但是对物化反应阻滞明显，温度上升到常温，固化土无侧限抗压强度可继续增长，长时间低温对固化土养护时间明显延长。

5.1.5 深层搅拌法一般形式包括双轴搅拌桩、三轴搅拌桩、多轴搅拌桩等；高压喷射注浆法一般形式包括高压旋喷桩、RJP 工法、MJS 工法等；等厚水泥土搅拌墙一般形式包括渠式切割水泥土搅拌墙、铣削式深搅水泥土搅拌墙等。

止水帷幕施工时应连续，作为止水帷幕的水泥土搅拌桩、等厚水泥土搅拌墙的垂直度、桩（墙幅）间的搭接尺寸应保证深层止水帷幕的连续、截水可靠。止水帷幕自身应具有一定的强度，满足设计要求的围护结构变形的要求。

5.2 设计

5.2.2 岩土固化剂搅拌法可适用于处理淤泥、淤泥质土、粉土、黏性土和素填土

等地基。当地下水具有侵蚀性时,应通过试验确定其适用性。设计前必须进行室内岩土固化剂搅拌土体的抗压强度试验。搅拌土试块龄期应取 90 天。针对现场地基土的性质选择合适的外加剂,为设计提供所需相应龄期的参数。

岩土固化剂掺入量一般为被加固土重的 10%~20%,应根据室内配比试验、现场试验性桩检测结果综合确定。复合地基桩长超过 10m 时,可采用岩土固化剂变掺量设计。在全长桩身岩土固化剂总掺量不变的前提下,桩身上部 1/3 桩长范围内,可适当增加岩土固化剂掺量及搅拌次数。

当应用于劲性复合桩时,应保证桩身范围内岩土固化剂掺入量均匀,拌合均匀。

岩土固化剂进行地基处理常用设备包括 SJB 系列单、双轴搅拌桩机、PH 系列单轴粉喷桩机以及高压旋喷桩机等。多轴系列的工法桩机、双重及多重管高压旋喷桩机、CSM 工法桩机、TRD 工法桩机、RJP 工法桩机、MJS 工法桩机等在特殊地基处理中也有应用,应结合不同设备特点制定相应的工艺措施。

5.2.4 当搅拌桩仅作为止水帷幕时,一般对其强度要求不高,对于常见的单轴、两轴、三轴、五轴等搅拌桩,其 28d 龄期无侧限抗压强度一般在 0.5Mpa~0.8Mpa 即可满足要求,影响止水效果的更多在于其搅拌的均匀性。对帷幕可能受力的区域,强度过高也有可能产生脆性开裂,不利于止水。当搅拌桩兼做支护挡土结构或与挡土结构合并时,如重力式挡土墙,SMW 工法桩等,搅拌桩 28d 龄期无侧限抗压强度一般要求在 0.8Mpa~1.0Mpa。

5.2.5 目前止水帷幕施工工艺形式较多,一般单轴、两轴搅拌桩水泥掺量约在 15%左右,三轴、五轴搅拌桩一般在 20%左右。渠式切割水泥土连续墙和铣削式深搅水泥土搅拌墙水泥掺量约在 20%左右。所以一般帷幕中,岩土固化剂掺量可参考水泥掺量取值 15%~20%。对于高压旋喷、RJP 工法、MJS 工法等施工工艺的帷幕,岩土固化剂掺量可参考水泥掺量取值 30%~40%。

5.2.6 松散土,尤其是填垫年限小于 10 年的素填土,土颗粒胶结程度低,孔隙大,岩土固化剂与原土搅拌过程中,岩土固化剂浆液填充孔隙需求量多,部分流失,应提高掺量,保证固化效果。

5.2.7 岩土工程是理论与经验紧密结合的工程,在欠缺岩土固化剂使用经验的地区,通过室内配合比试验和现场试验桩试验以及两者的数据对比,获得岩土固化

剂掺入比、水灰比（岩土固化剂浆液水灰比）、强制搅拌次数等参数，获得固化土室内试验和现场试验的无侧限抗压强度及两者关系，为设计提供充分依据。为使室内试验结果更接近现场试验，室内试验采用现场湿土完成。

《岩土工程勘察规范》GB50021-2001（2009 年版）对盐渍土的规定为易溶岩含量超过 0.3%。盐渍土对水硬性胶凝材料水化反应可能产生影响，应进行现场试验。

5.3 施工

5.3.2 查明地质条件、土层性质，拟定相应的施工设备和施工工艺，对存在回坑塘、地下障碍物等，应换填处理。

5.3.3 为实现促凝、早强、加快初凝、提高强度、防腐、抗渗等不同需求，在施工中需要添加不同类别外加剂。添加外加剂在岩土固化剂浆液拌合过程中添加，掺加比例可由生产厂家提供，也可遵照设计要求或工程经验。在高压喷射注浆法施工中，可参照《高压喷射注浆施工操作技术规程》HG/T20691 中常用外加剂浆液配方表使用。

5.3.3 施工设备宜配置固化液自动拌合设备、自动计量设备，搅拌深度和浆液流量、浆液压力实时监控。当实现不了实时监控时，也必须做到前后台联系紧密，后台供浆连续，一旦因故停浆，立即通知前台，为防止断桩和缺浆，宜将搅拌机降至停浆点以下 0.5m，待恢复供浆时再提升喷浆。如因故停机超过 2h，为防止浆液硬结堵管，宜先拆卸输浆管路，妥为清洗。

搅拌机喷浆宜设置中心管喷浆方式。岩土固化剂颗粒相对较大，采用叶片喷浆方式，因喷浆口过小易造成堵塞。如因工艺需要采用叶片喷浆方式时，合理设计喷浆口直径，保证浆液流畅喷出。

5.3.5 根据岩土固化剂性状、类型及密度、设计掺量、水灰比等计算出单根桩、单幅墙体、单延米墙体岩土固化剂灰浆消耗量，通过调整灰浆泵流量及压力、下钻及提升（水平推进）速度，使得各施工参数匹配得当，确保整根桩（整幅墙体）的岩土固化剂掺量满足设计要求，尤其是应重视提钻过程中的返浆情况，适当返浆可以充分保证桩体（墙体）岩土固化剂掺入的均匀性、饱满度。施工过程中应控制返浆量，减少因返浆量过大而造成岩土固化剂掺量无法满足设计要求，同时造成岩土固化剂的不必要浪费。

对提升速度的控制,是为了保证固化土的搅拌均匀性,搅拌次数越多,拌合越均匀,固化土无侧限抗压强度的离散性越小,桩体整体强度越高。但是搅拌次数越多,施工时间越长,工效越低。根据搅拌翼片的数量、宽度、与搅拌轴垂直夹角、搅拌轴转速和提升速度相匹配,实现固化范围内任何一个点均能经过 20 次以上搅拌,固化土可以实现较高强度。

表 5.3.5 中提升速度数值,是基于常用单、双轴搅拌桩机、高压旋喷钻机以及铣削式搅拌桩机提出。随搅拌设备和工艺不断更新,多向搅拌钻头的出现,提升速度可以参考如下公式:

$$N = \frac{h \cos \beta \sum Z}{V} n$$

式中: h —搅拌叶片的宽度 (m);

β —搅拌叶片与搅拌轴的垂直夹角 ($^{\circ}$);

$\sum Z$ —搅拌叶片的数量;

n —搅拌头的回转数 (r/min);

V —搅拌头的提升速度 (m/min)。

5.3.6 浆液在搅拌机中应持续不断搅拌,直至倒入集料斗。浆液倒入集料斗时进行过滤,避免损伤泵体和造成喷浆管路堵塞。

岩土固化剂应用于地基处理工程时,采用单、双轴搅拌桩形式,施工时岩土固化剂配制浆液的水灰比宜为 0.5~0.8;止水帷幕采用三轴搅拌桩形式,施工时岩土固化剂配制浆液的水灰比宜为 1.2~2.0;止水帷幕采用水泥土搅拌墙形式时,施工时岩土固化剂配制浆液的水灰比宜为 1.0~2.0。在止水帷幕内插入型钢、预制桩等劲性材料时,制浆的水灰比宜大于 1.0,达到 1.5~2.0 时才方便插入,并能与土体搅拌均匀。

5.3.7 冲水会增加固化土含水量,降低固化土无侧限抗压强度,研究显示土体含水量增加 50%,固化土抗压强度可降低 45%,因此应尽量避免冲水下沉。喷浆前将喷浆管内的水排清,保证到达钻头喷浆孔是岩土固化剂浆液后,再开始搅拌提升,保证浆液与桩身充分搅拌。

5.3.8 当采用铣削式深搅水泥土搅拌墙施工工艺时,该工艺施工设备具备较强的铣削切削能力,搅拌墙搭接施工时间大于 24h 时,可依靠设备自身性能保证搭接施工的质量。

5.4 质量检验

5.4.1 质量检验，是岩土固化剂进场后，根据产品参数及工艺要求，进行使用前的复检，以保证用于工程的产品达到设计参数，满足工程要求。

6 岩土固化剂在浅层原位加固的应用

6.1 一般规定

6.1.1 浅层原位固化方案制定前,要掌握原土的性状,如土体含水量、液塑限、有机质含量、PH 值等相关指标;要明确工程规模,使用要求,加固范围等。

6.1.2 淤泥具有天然含水量高、天然孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低、固结系数小、固结时间长、灵敏度高、扰动性大、透水性差、土层层状分布复杂、各层之间物理力学性质相差较大等特点。若地基由软土层构成,其上的填方及构造物稳定性差且容易发生沉降,因此在工程施工前,往往先对软基进行加固处理。岩土固化剂是根据岩土特点和工程性能要求,开发的一系列特殊复合胶凝材料。岩土固化剂与淤泥拌合后,一方面胶体性质即刻被破坏,毛细管通道迅速建立,增加和扩散,使淤泥内部水向外扩散挥发通道打开,利于淤泥的迅速干化;另一方面,岩土固化剂和淤泥中的游离态水分和破胶释放的水分进行水解和水化反应,产生大量胶凝物质和链状结晶物质,使淤泥整体形成一个密实又略有空隙的整体微观蜂窝状的结构,改变了泥土性质,使淤泥具备一定的结构强度、防水、快速干化等特性。

6.2 设计

6.2.1 浅层原位固化适用范围如下:

- 1 鱼塘、池塘、河道、暗浜和山坳软弱土等需清淤换填的不良地质地基;
- 2 泥浆池、沼泽地、滩涂或围海造陆吹填土等无硬壳层地基;
- 3 中厚层至深厚层软弱土地基;
- 4 地基强度不满足结构物基础承载力要求的浅层软弱土处治地基;
- 5 当地基处理施工机械行走困难,也可考虑先采用浅层固化处理形成硬壳层,为施工提供条件;
- 6 废弃土体需进行就地固化,达到资源化利用作为路基填料使用的地基。

6.2.2 就地固化硬壳层复合地基常用形式,主要分为预应力管桩等刚性桩复合地基和水泥搅拌桩等柔性桩复合地基两大类。

6.2.3 浅层原位固化形式根据以下不同场景进行选用:

- 1 地基表层厚度不大于 3m 的软弱土地基,采用浅层软弱土全部固化处理;

2 地基表层软弱土厚度大于 3m 且小于 5m 的软土地基,根据地基使用要求采用浅层软弱土全部固化或部分固化处理;

3 常年积水的河塘、洼地、滩地、沼泽地、泥浆池、污染池和欠固结吹填土等地基表层无硬壳层地基,需要清淤和换填处理时,根据地基使用要求及软弱土厚度,采用全部固化处理或部分固化处理;

4 对于厚度大于 5m 的中厚层至深厚层软土地基,采用部分固化浅层处理,就地固化硬壳层与软弱土形成双层地基。

6.3 施工

6.3.2 施工准备还应熟悉当地气象、水文、地质、地震等自然条件,交通储运等适应施工建设情况,岩土固化剂材料供应及运输。摸清存在的困难和问题;施工方案应包括:组织机构方案、人员组成方案、技术方案、安全方案、材料供应方案,此外,根据项目大小还有现场保卫方案、后勤保障方案等。

6.3.3 通过试验段的总结,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。

6.3.5 浅层原位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,应立即进行预整平,使用挖机将表面进行初步平整,避免场地积水。

7 岩土固化剂在流态固化土（泥态固化土）中的应用

7.1 一般规定

7.1.1 流态固化土的应用领域较为宽泛，主要用于地下空间填筑工程，包括市政管廊的基槽回填、市政管网埋设的回填、建筑物深基坑的回填、市政工程对质量要求较高部位的回填、狭窄或异形空间的回填等，也包括矿山工程中的矿山充填，也可用于临时地坪硬化，临时或低等级道路、路基工程等。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。

7.1.2 制备流态固化土的土方宜就地取材，选用当地的较差的土方，如淤泥、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；而有机质含量过高会导致固化难度增加。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。并且对于采用泥浆直接使用时，需要控制泥浆的重度不得低于 14kN/m^3 ，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。

7.1.3 采用流态固化土的填筑配合比设计，包括在设计图纸中明确流态固化土的无侧限抗压强度以及施工可根据填筑空间形状和实施条件，提出流态固化土的施工性能要求，包括流动度、渗透系数等指标。为达到此目标，应根据实际土方和其他原材料情况，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。

7.2 设计

7.2.1 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。固化土没有压实系数，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 0.5MPa。

固化土目前可作为空洞、肥槽回填，也可作为路基的回填，其应用类别不同，对固化土的强度要求也不同。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。肥槽和采空区填筑受场地限制，宜采用流动性大的固化土，其扩展度选用大于 170mm、强度大于 0.5MPa。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，可控制为 120mm~150mm。

7.2.2 固化土中岩土固化剂的掺合量是影响固化土最终强度的最重要的指标。掺合量越大，其强度也越大。因为流态固化土含水率较高，选用强度等级较低的岩土固化剂，流态固化土的早期强度很难得到保证，岩土固化剂宜选用强度等级为 2.0 及以上型号，当对流态固化土的早期强度有要求时，可以采用强度等级 2.0R 和 3.0R 进行试配试验，无早期强度要求时，可以采用强度等级为 2.0 和 3.0 进行试配试验。

7.2.3 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 $1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ，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。

7.2.4 流态固化土制备时，为了满足一定的泵送施工要求，需要通过添加水来进行调节，但添加过多的水后又会导致固化效果下降，需要确定合适用水量，而且这种水灰比的确定需要根据现场土样试验确定。

7.3.3 流态固化土施工时，需要关注环境温度，一般施工当天平均温度在 $5^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ 时，可以正常施工，当平均温度不在该温度范围内，如需施工，需增强对流态固化土过程保护和养护。

7.3.4 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，阻止流态固化土内部的水分与外界交互，导致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 7 天。

8 岩土固化剂在碾压固化的应用

8.1 一般规定

8.1.1~8.1.2 混合料的配制是固化土最终性能的基础。需要根据工程可能选取的土料及其土性试验数据、工程设计需要的技术要求,进行固化土配合比的设计和试验。

本章所述用于道路结构层中的固化土为碾压式的施工方式,适用于原土含水量不大于30%的情况。若原土呈流塑状态、含水量超过50%时,可优先采用第8章所述的流态固化土施工方式,并按相应的规定执行。

8.1.3 稳固的路基是固化土道路设计的基础,应参考各规范对路基的要求,设计选取路床顶面回弹模量值。这对道路面层结构的稳定性十分重要,适当提高路床顶面回弹模量值对于提高道路稳定性、抗变形能力和耐久性是有利的。

8.1.4 固化土道路结构实施时不同于一般土质路基,而是按一定设计厚度的层次铺筑的,故施工时应保证相应的指标,相应要求参照本规程第8.4节。

8.2 设计

8.2.3 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和最高值。这是根据目前我国施工机具能力而定的。小于15cm,碾压时容易发生推搓现象,破坏层间结合;高于25cm搅拌深度难以达到,碾压难以达到高密实度。

8.3 施工

8.3.1 稳固的路基是道路工程施工的前提,直接影响到道路的使用质量和服务水平。应十分重视地基处理,软土地区应根据现行行业标准《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》JTG/TD31-02等相关规定执行。软土路基,压实度不足或回弹模量较低的路基,必须预先进行换填或固化处理。

8.3.2 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。

8.3.3 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 $1000\text{m}^2 \sim 3000\text{m}^2$ ；
- 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。

8.3.4 在固化土工程没有条件采取厂拌法集中搅拌的时候，可以采取路拌法施工。

8.3.5 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路拌法都要十分关注弊病。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量，拌合的均匀度。

8.3.6 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。

8.3.7 有条件应尽可能的采用厂拌法施工。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。

8.3.9 厂拌法作业，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。

8.3.10 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。

8.4 质量验收

8.4.1~8.4.2 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。

8.4.3 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。路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。

8.4.5 本条规定了固化土道路工程检查验收的主控项目是原材料质量、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。

9 岩土固化剂在港口工程中的应用

9.1 一般规定

9.1.1 根据应用实际,明确了岩土固化剂在港口软土地基及水工结构中的应用范围。

9.1.2 本条对采用固化土设计时如何选择岩土固化剂种类提出要求。港口堆场的陆域往往多采用吹填港池航道疏浚土方形成,土质情况复杂多变,需要在满足港口堆场对地基的使用要求的前提下,结合地基土质情况及造价综合考虑选用合适的岩土固化剂。

港口水工结构所处自然环境比较复杂,岩土固化剂的选择应考虑其在土质、地下水、波浪、水流等多种自然条件综合作用下的适应性,选择耐久性可靠、潮间带施工可行的岩土固化剂,北方地区还应考虑海水冻融对岩土固化剂的影响。

9.1.3 本条为固化技术应用于港口地基、水工结构时在设计中应重点考虑的内容。港口环境比较复杂,必要时应进行数值模拟研究和物理模型、现场模型试验研究。

9.2 设计

9.2.1 岩土固化剂掺入比例一般通过室内试验确定,当有工程设计要求或相关工程经验时,也可以直接初定固化材料配合比,再通过现场工艺性试验,根据取芯试样性能指标测试结果确定,选择效果最佳、造价经济的岩土固化剂类型及掺入比例。

9.2.2 港口工程固化土无侧限抗压强度最终建议以 28d 强度能达到要求为准,必要时可进行 90d 或周期更长的试验。7d 和 14d 的强度与 28d 抗压强度之间的对应关系,应根据所采用的岩土固化剂类型及土质情况进行试配试验初步确定,并最终根据现场试验检测结果确定。

固化土无论是做基础还是结构本身,均需考虑其具体使用用途和应用实际,固化土用于港口水工建筑物除承受垂直荷载之外,还会承受水平荷载作用,故增加抗剪强度的要求(c 和 Φ)。根据固化土结构具体用途参考相关行业规范进行估算,如用做固化土基础,可参照《水运工程地基设计规范》(JTS147)有关规定执行,应用于大规模施工的指标最终需结合室内和现场试验确定。

根据目前工程应用经验来看,固化土在施工时无论是原位固化还是异位固化,

受施工工艺影响,均匀程度存在一定的离散性,且在垂直方向上,上层结构强度一般大于下层结构,故现阶段建议适当提高设计强度要求以避免由于均匀性导致的强度检测不满足的问题。

9.2.3 港口堆场固化软土地基承载力的要求,可以根据堆场堆货使用荷载及构筑物使用要求通过结构计算确定。一般情况下,经过地基处理后,结合铺面结构下的堆场固化土层扩散垫层作用,均能满足本条提出的承载力要求,若地基承载力太低,则表明地基处理效果不理想,将造成使用期沉降及差异沉降较大,因此需对堆场固化土的处理效果提出要求。

9.2.4 港口水工建筑物固化土基础的地基承载力设计要求可根据上部结构使用荷载和使用要求通过结果计算确定,最终通过现场载荷试验检测是否达到设计要求。

9.2.6 港口水工建筑物的固化土基础地基沉降要求需结合上部结构使用要求,对于无特殊要求的固化土基础,结合目前工程应用实践经验,给出沉降不宜大于0.3m的要求。在设计固化土基础厚度时应考虑沉降影响。

9.2.7 根据目前工程应用经验来看,固化土在施工时无论是原位固化还是异位固化,均匀程度存在一定的离散性,且在垂直方向上上层一般大于下层结构,故在进行固化深度设计时,应考虑此方面影响。对于港口水工结构来说,使用荷载存在水平荷载,故需考虑土坡和地基稳定因素,建议浅层固化深度设置在最不利滑弧以下1m,深层固化深度设置在最不利滑弧以下2m。

9.2.9 对于以水平力为主的岸坡加固而言,应采用整体性较好的布置方式,不建议采用柱式布置。

9.2.10~9.2.11 港口水工结构受波浪和水流作用,固化土应用时为了保证耐久性,设置混凝土包封可有效防止固化土流失和淘刷。对于砂质含量较多的地质,防渗系数很难达到 10^{-6}cm/s ,设计时应注意。

9.2.12 港口水工结构受风浪、潮流等作用,会不同程度影响固化土指标,建议提高岩土固化剂掺入比。

9.3 施工

9.3.1 固化土地基施工质量是保证港口堆场强度、稳定性和耐久性的关键因素之一,施工检测与监测是施工的重要内容,是地基施工质量控制的基本要求,同时

施工检测和监测成果也是工程验收的重要基础。

9.3.2 固化土施工时应严格控制施工质量、优化施工工艺,确保固化土的均匀性。

根据目前工程应用经验来看,固化土在施工时无论是原位固化还是异位固化,均匀程度存在一定的离散性,且在垂直方向上上层一般大于下层结构,故应严格控制施工质量、优化施工工艺。

9.3.3 港口堆场陆域多为吹填软土地基,通常进行大面积地基处理至交工标高后,表层土体含水量仍较高,难以进行开挖土异位固化后分层回填和压实施工。可采用水陆两用挖机原位掺加岩土固化剂进行拌合,拌合固化深度以满足压路机施工为宜,同时符合堆场地基设计及相关指标要求。

潮间带施工时建议选用水陆两用挖机,施工时应充分考虑潮流作用对施工工艺及施工工期的影响,外海施工需要配备专用的船舶,可参考水上 CDM 施工方式。

9.4 质量检验

9.4.1~9.4.2 主要规定了固化土地基检验验收的主控项目及相关测试试验行业标准。