

中国交通运输协会团体标准项目

《固化剂混合料设计与施工技术指南》制订 (征求意见稿)

主编单位：北京国道通公路设计研究院股份有限公司

北京中德建基路桥工程技术有限公司

浙江交工宏途交通建设有限公司

参编单位：甘肃省陇南公路局

浙江交工集团股份有限公司

北京市政路桥管理养护集团有限公司

浙江交工金筑交通建设有限公司

越秀（中国）交通基建投资有限公司

北京市燃气集团有限责任公司工程建设管理分公司

湖南省交通科学研究院有限公司

河南万里交通科技集团股份有限公司

湖南省辰波建设有限公司

二〇二〇年十一月

ICS 93.080.30
P 66

CCTAS

中国交通运输协会团体标准

T/CCTAS XXX—XXXX

固化剂混合料设计与施工技术指南

Design and construction technology guide for soil stabilizer mixture

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX-XX实施

中国交通运输协会 发布

目次

前言.....	II
1 总则.....	1
2 术语与符号.....	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	2
3 材料.....	3
3.1 一般规定.....	3
3.2 固化剂.....	3
3.3 原材料.....	4
4 混合料设计.....	5
4.1 一般规定.....	5
4.2 配合比设计.....	5
4.3 混合料性能要求.....	6
5 施工.....	10
5.1 一般规定.....	10
5.2 试验段.....	10
5.3 施工准备.....	11
5.4 固化剂混合料路拌法.....	11
5.5 固化剂混合料厂拌法.....	12
5.6 施工要求.....	13
5.7 养生.....	15
5.8 特殊季节施工.....	15
6 质量控制与验收.....	17
6.1 一般规定.....	17
6.2 材料进场验收.....	17
6.3 运输和贮存.....	18
6.4 施工过程质量控制.....	18
6.5 交工验收.....	19
本指南用词说明.....	20
附录 A 固化土路用指标试验检测数据.....	21

附录 B 固土技术应用步骤及案例.....26

前言

为推广固化剂混合料在道路和地基处理等工程中的应用，促进技术的标准化、规范化和精细化，提高固化剂处理地基工程的质量，加快其规模化应用，在广泛调研、征求意见、认真总结室内外试验和以往固化剂混合料应用技术的设计、施工、质量检验等实践经验基础上，参考有关国内外标准，制定本指南。

本指南按照《中国交通运输协会团体标准》相关要求编制，共分为6章，2个附录，主要内容包括：1. 总则；2. 术语与符号；3. 材料；4. 混合料设计；5. 施工；6. 质量控制与验收。

本指南实施过程中，如有发现的问题和对指南的意见，请将建议反馈至北京国道通公路设计研究院股份有限公司（地址：北京市丰台区莲花池西里10号北京市政路桥大厦；联系电话：010-63969120 转 8503；电子邮箱：stabilizer2020@163.com），供修订时参考。

本指南由北京国道通公路设计研究院股份有限公司提出，受中国交通运输协会委托形成团体标准，由北京国道通公路设计研究院股份有限公司负责具体解释工作。

本指南主编单位：北京国道通公路设计研究院股份有限公司、北京中德建基路桥工程技术有限公司、浙江交工宏途交通建设有限公司。

本指南参编单位：甘肃省陇南公路局、浙江交工集团股份有限公司、北京市政路桥管理养护集团有限公司、浙江交工金筑交通建设有限公司、越秀（中国）交通基建投资有限公司、北京市燃气集团有限责任公司工程建设管理分公司、湖南省交通科学研究院有限公司、河南万里交通科技集团股份有限公司、湖南省辰波建设有限公司。

本指南主要起草人员：

本指南主要审查人员：

1 总则

- 1.0.1 为规范固化剂混合料在工程中的应用，提高其设计及施工质量，制定本指南。
- 1.0.2 本指南固化剂混合料适用于公路路基、二级及二级以下公路基层、场站地基、管线及基坑回填工程。当用于一级公路及以上基层时宜参照本指南并经充分试验验证。
- 1.0.3 固化剂混合料的使用应遵循因地制宜、就地取材、有利施工的原则。
- 1.0.4 固化剂混合料的设计、施工应符合环境保护的有关规定。
- 1.0.5 固化剂混合料的设计、施工及质量检验除应符合本指南的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 固化剂 stabilizer

用于处理软弱土体的液体或粉体材料，其与基质土和水泥、石灰、粉煤灰等无机材料（掺加与否根据应用方式决定）充分拌和后，通过其自身各组分之间以及与基质土和无机材料之间的物理、化学反应，可显著改善土的物理力学性质。

2.1.2 基质土 original soil

未经处理的建设工程用土，包括细粒类土、盐渍土，以及淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等。

2.1.3 固化剂混合料 stabilizer mixture

由固化剂、水、无机材料（水泥、石灰、粉煤灰等，掺加与否根据应用方式决定）与基质土按比例均匀拌和而成的混合料。

2.1.4 固化土 stabilized soil

固化剂混合料在充分拌和、压实和养生后，形成的符合工程性能要求的固化土体。

2.1.5 路拌法 road mixing method

在施工现场就地拌和制备固化剂混合料的施工方法。

2.1.6 厂拌法 plant mixing method

集中设置拌和基地，采用专用设备拌和制备固化剂混合料的施工方法。

2.1.7 连续式振动搅拌机 Continuous vibration mixer

在搅拌装置振动作用下搅拌固化土的连续式搅拌机。

2.2 符号

I_p ——塑性指数

R ——固化剂混合料无侧限抗压强度

CBR——最小承载比

E_c ——抗压回弹模量

3 材料

3.1 一般规定

1 固化剂及其他材料运至现场后应取样试验，符合工程对质量、强度的要求，经评定合格后方可使用。

2 固化剂及其他材料在运输存储时应避免潮湿和玷污，保持外包装完好无损，并应存放于干燥、通风处，杜绝火种。

3 材料的选择应料源调查，宜就地取材，应注意环境保护。

3.2 固化剂

3.2.1 分类及适用性

常见固化剂根据主要化学成分宜分为三类，划分及适用性见表 3.2.1-1。

表 3.2.1-1 固化剂根据主要化学成分的划分标准及其适用性

常用固化剂分类		常见形态	适用性
无机固化剂	水泥； 粉煤灰； 石灰； 石膏； 矿渣微粉等	粉体	无特殊要求； 常规软弱基础的加固处理
有机固化剂	高聚类离子固化剂； 有机酶蛋白固化剂； 酸基化合物固化剂等	液体或粉体	较少单独使用； 早强或特殊土体等可部分采用
复合固化剂	有机类+无机类	液体或 液体+粉体	常规软弱土体和特殊软弱土体（腐殖质土、淤泥质土、泥炭质土和膨胀土等）的加固处理

注：工程应用前应根据土质情况进行室内实验，以确定其适用性。

3.2.2 要求

1 固化剂的技术性能要求应符合《土壤固化外加剂》（CJ/T 486）的相关规定。

2 液体固化剂应进行溶液中固体物含量测定，粉体固化剂应进行细度测定，相关技术性能指标符合表 3.2.2-1 的规定。

表 3.2.2-1 固化剂技术性能指标

固化剂形态	试验项目	技术指标
液体	固化物含量	≤3%，不得有沉淀或絮状现象
粉体	细度（0.074mm 标准筛筛余量）	≤15%

3.3 原材料

3.3.1 基质土

1 基质土的塑性指数宜为 10~12，并不得小于 6 或大于 25。当基质土的塑性指数小于 6 或大于 25 时，应采取压实混合料或粉碎土团粒措施。

2 基质土的有机质含量（重量比）应小于 10%，硫酸盐含量（重量比）宜小于 0.8%，路基石料的最大粒径应小于 40mm。

3 基质土的检测方法应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 的有关规定。

3.3.2 水

1 固化剂混合料拌和用水应符合《混凝土用水标准》（JGJ63）规定。

2 宜采用清洁的地面水、地下水、自来水或 PH 值大于 6 的水。

3.3.3 水泥

1 水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的规定。

2 水泥应采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，强度等级不应低于 42.5 级，不同等级、厂牌、品种、出厂日期的水泥不得混用。

3.3.4 石灰

1 石灰应符合现行行业标准《建筑生石灰》JC/T 479 的规定。

2 消石灰应符合现行行业标准《建筑消石灰》JC/T 481 的规定。

3.3.5 粉煤灰

1 粉煤灰应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 的规定。

2 粉煤灰化学成分中的 $SiO_2+Al_2O_3$ 总量宜大于 70%；细度（45um 方孔筛）筛余不大于 45%，在温度为 700~800℃ 的烧失量宜小于或等于 10%。当烧失量大于 10% 时，应做试验，当其混合料强度符合要求时方可采用。

3 $SiO_2+Al_2O_3$ 总量和烧失量符合要求的新排放或陈年堆积的粗颗粒和细颗粒粉煤灰均可采用。

4 混合料设计

4.1 一般规定

- 1 进行固化剂混合料的设计时，应综合考虑公路等级、场站条件、荷载要求、气候条件和经济等因素，结合基质土的种类和性质，确定所选用的土壤固化剂。
- 2 固化剂混合料的设计应充分调研已有应用情况，借鉴成功经验。
- 3 固化剂混合料配合比应采用质量比表示。
- 4 固化剂混合料配合比设计应在各项原材料满足使用要求和技术要求的前提下进行。

4.2 配合比设计

4.2.1 设计要求

- 1 配合比设计应根据工程设计要求，结合生产施工条件进行，并依据试验段确定施工配合比和各项参数。
- 2 固化剂混合料应试配三组配合比，首先确定一组基准配合比，另外两组配合比的固化剂掺量应比基准值分别适量增加和减小。
- 3 当固化剂混合料需掺配水泥、石灰等无机材料时，无机材料掺量应试配三组掺量值，首先确定一组无机材料掺量为基准值，基准值可根据使用经验确定，一般介于 3%~16%，另外两组掺量值应比基准值分别增加和减小 1~2%。
- 4 基准配合比的确定、配合比设计程序可参考本指南附录 A、附录 B。

4.2.2 设计步骤

- 1 测定基质土性能应参照《土工试验方法标准》GB/T 50123 或《公路土工试验规程》JTG 3430 的规定，一般要求测定基质土的含水率及最佳含水率，当有特殊要求时，应增加基质土其他相关性能的测定。
- 2 拟定固化剂混合料基准配合比（需掺配无机材料的拟定无机材料基准掺量值）。
- 3 计算各原材料用量。
- 4 拟定多组配合比，并计算各组配合比对应的各原材料用量。
- 5 进行不同配合比固化剂混合料试配和试件性能对比试验。
- 6 调整并重复步骤 2-5 直至确定固化剂混合料目标配合比。
- 7 结合试验段的设计和施工，确定施工配合比和其他参数。

4.2.3 参数确定

- 1 固化剂混合料的设计参数应包括固化剂掺量、无机材料掺量、最佳含水率和最大干密度

等指标。

2 固化剂混合料作为公路路基及基层时，应通过重型击实试验确定不同配合比对应的固化剂混合料的最佳含水率和最大干密度，并按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51 等现行行业标准进行试件制备、成型及养护。

3 固化剂混合料作为场站地基时，其最佳含水率和最大干密度应通过击实试验确定，试验标准应参照《土工试验方法标准》GB/T 50123 的有关规定，并符合相应的压实度要求。

4 固化剂混合料作为管网回填材料时，宜采用轻型击实试验确定不同配合比对应的固化剂混合料的最佳含水率和最大干密度，试验标准参照《土工试验方法标准》GB/T 50123 等相关规范执行。

5 根据试配结果，宜选择符合设计要求、经济指标较好的固化剂和无机材料掺量所对应的配合比。当试配结果不满足设计要求时，应调整基准配合比，并重新进行试验。

6 采用集中厂拌法或路拌法施工时，固化剂与无机材料掺量应在室内试验参数基础上，根据实际情况进行适当的调整。

4.3 混合料性能要求

4.3.1 性能指标

1 固化剂混合料的等级划分及基本性能指标应符合表 4.3.1-1 的规定。

表 4.3.1-1 固化剂混合料等级划分及性能指标

项目	性能指标				检测方法
	一级	二级	三级	四级	
固化剂混合料等级					
7d 无侧限抗压(MPa)	$1.0 \leq R < 2.0$	$2.0 \leq R < 3.0$	$3.0 \leq R < 4.0$	$R \geq 4.0$	JTG E51
4h 凝结时间影响系数 (%)	≥ 90				CJ/T 486
水稳系数(%)	≥ 80				CJ/T 486
28d 抗冻性能(%)	抗冻指数 ≥ 80 质量损失率 ≤ 5				JTG E51

注：R 为固化剂混合料无侧限抗压强度；有抗冻性要求的地区，固化剂混合料应进行 28d 抗冻性能检测。

2 固化剂混合料用于二级及以下公路基层、底基层时，应以 7d 龄期无侧限抗压强度、90d 或 180d 龄期弯拉强度为设计性能指标。

3 固化剂混合料用于公路路基时，应以路基最小承载比为设计性能指标。

4 固化剂混合料用于场站地基时，应以地基承载力为设计性能指标。

5 固化剂混合料用于管线及基坑回填时，应以回填区域的压实度为设计性能指标。

6 固化剂混合料结构层厚度不应小于 150mm，具体厚度应经设计验算后确定。

4.3.2 混合料用于二级及以下公路基层的性能要求

1 固化剂混合料用于二级及以下公路基层、底基层时，其 7d 龄期无侧限抗压强度应符合表 4.3.2-1 的规定，强度试验的平行试验最小试件数量，不得低于 6 组。

表 4.3.2-1 固化剂混合料用于二级及以下公路基层、底基层的 7d 龄期抗压强度 (MPa)

层位	公路等级	7d 龄期抗压强度 (MPa)
基层	二级公路	≥ 3.5
	三级公路	≥ 3.0
	四级公路	≥ 2.5
底基层	二级公路	≥ 2.5
	三级公路	≥ 2.0
	四级公路	≥ 1.0

注：试件在温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 和湿度大于 95% 条件下，7d 的饱水抗压强度。

2 固化剂混合料用于二级及以下公路基层、底基层时，其 90d 或 180d 龄期弯拉强度应符合表的规定，强度试验的平行试验最小试件数量，不得低于 6 组。

表 4.3.2-2 固化剂混合料用于二级及以下公路基层、底基层的弯拉强度 (MPa)

层位	无机材料种类	弯拉强度 (MPa)
基层	掺加水泥类 (90d)	≥ 0.7
	掺加石灰类 (180d)	≥ 0.5
底基层	掺加水泥类 (90d)	≥ 0.4
	掺加石灰类 (180d)	≥ 0.3

3 固化剂混合料用于二级及以下公路基层时，宜在面层与固化剂混合料基层之间加铺连接层，连接层宜为沥青碎石混合料。

4 固化剂混合料用于二级及以下公路基层、底基层时，应进行公路路面结构计算，确保公路结构设计合理，并满足相应公路等级的指标要求。计算参数宜通过材料试验确定。

4.3.3 混合料用于公路路基的性能要求

固化剂混合料用于公路路基时，其最小承载比应符合表 4.3.3-1 的规定。

表 4.3.3-1 固化剂混合料用于公路路基的最小承载比要求

路基部位		路面底面以下深度 (m)	最小承载比 (CBR) (%)		
			高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
上路床		0~0.3	8	6	5
下路床	轻、中等及重交通	0.3~0.8	5	4	3
	特重、极重交通	0.3~1.2	5	4	-

4.3.4 混合料用于场站地基的性能要求

1 固化剂混合料用于场站地基时应满足场站地基承载力、变形和稳定性要求。场站的地基承载力、变形和稳定性的计算方法和参数取值应参照《建筑地基基础设计规范》GB 50007 执行。

2 场站内建筑地基的设计和材料要求应满足《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的相应规定。

3 场站内供车辆行驶和停放区域，应满足不同车辆荷载的强度要求，可根据实际情况参照固化剂混合料用于基层或地基的要求执行。

4.3.5 混合料用于管网及基坑回填的性能要求

1 固化剂混合料用于管网回填时，应考虑管网抢修及更换时易开挖的压实度，其压实度应大于等于 90%。

2 当管网铺设于公路、城市道路、建筑、场站等具有强度要求的设施下方时，应同时满足管网及基坑回填及相应设施对该区域的强度要求。

3 固化剂混合料用于基坑回填时，应满足建筑物或构筑物对地基承载力、变形和稳定性要求。

4.3.6 应用推荐

1 固化剂混合料应用于不同区域时应符合其行业相关的规范要求，如《公路沥青路面设计规范》JTG D50、《公路水泥混凝土路面设计规范》JTG D40、《公路路基设计规范》JTG D30、《建筑地基基础设计规范》GB 50007 等规范文件，并进行技术经济比较。

2 固化剂混合料用于公路路基和二级及以下公路基层时，基于固化剂混合料不同强度等级的应用推荐可参照表 4.3.6-1。

表 4.3.6-1 固化剂混合料推荐应用表

交通等级	二级及以下公路基层		公路路基	
	基层	底基层	高速公路、一级公路	二级及以下公路
轻、中等交通	二级固化土	一级固化土	二级固化土	一级固化土
重交通	三级固化土	二级固化土	三级固化土	二级固化土
特重、极重交通	四级固化土	三级固化土	四级固化土	三级固化土

5 施工

5.1 一般规定

1 固化剂混合料的施工工艺应符合 5.1-1 规定。

表 5.1-1 施工工艺选择表

项目	公路等级	结构层位	拌和工艺	
			推荐	可选择
公路基层	二级及二级以下	基层、底基层	厂拌法	路拌法
公路路基	高速公路、一级公路	路基	厂拌法	-
	二级及二级以下		厂拌法	路拌法
场站地基	-	-	厂拌法	路拌法
管网及基坑回填	-	-	厂拌法	路拌法

2 固化剂混合料结构层施工时，固化剂混合料的拌和、整形及碾压终了时间不应超过 4h。

3 固化剂混合料结构层施工时，施工人员应遵守相关国家行业规范的质量安全环保规定，采取必要的防护措施。

5.2 试验段

1 施工前，应铺筑现场试验路段，调整和验证混合料配合比，记录固化剂混合料的松铺厚度、碾压机具和碾压遍数，确定松铺系数和施工技术参数，编制施工技术方案。

2 试验段施工长度不宜小于 150m。

3 试验段铺筑应分试拌、试铺两个阶段。应进行如下验证：

(1) 确定拌和、摊铺、碾压等施工机具的类型、数量、组合方式是否匹配。

(2) 对固化剂混合料配合比进行验证，提出施工适宜的标准配合比、最佳含水量、最大干密度等指标。

(3) 对试验段进行试件强度试验、压实度检测等，确保满足混合料各项性能指标要求。

(4) 试验段铺筑应由有关各方共同参加，及时商定有关事项，明确试验结论，优化设计施工方案。

4 试验段总结报告应包括以下内容：

(1) 试验段检测报告。

(2) 试验段总体效果评价。

(3) 施工关键参数的推荐值, 包括配合比、含水率、松铺系数、碾压工艺等。

(4) 确定每一作业段的合适长度。

5.3 施工准备

5.3.1 场地准备

1 松土摊铺前, 场地内应无构造物、树木、草皮、乱石等杂物。

2 路基表面应平整、坚实、稳定, 应具有足够的强度、稳定性、压实度、抗变形能力和耐久性。

3 地基表层碾压处理压实度控制标准为: 二级及二级以上公路一般土质应不小于 90%; 三、四级公路应不小于 85%。

5.3.2 施工放样

1 应在施工段上放线并设置标桩, 直线段应每 15m~20m 设一桩, 平曲线段应每 10m~15m 设一桩, 并应在两侧路肩边缘外设置指示桩。

2 在两侧指示桩上应采用明显标记标出固化土结构层边缘的设计高度。

5.4 固化剂混合料路拌法

路拌法施工工艺流程应包括场地准备、施工放样、摊铺、拌和、整形、碾压和养生。

5.4.1 基质土摊铺

1 基质土不得有树木、草皮、大块颗粒, 粒径大于 40mm 的石料应清除。

2 基质土松铺厚度应根据压实厚度乘以松铺系数确定, 且每层不得大于 300mm。

3 基质土摊铺长度宜根据从固化剂混合料拌和开始至碾压成型在一个工作日内完成确定。

4 统一水平面应采用同一种固化剂混合料。

5.4.2 固化剂混合料拌和

1 水泥拌和

根据试验结果计算出水泥剂量进行机械撒布摊铺或人工摊铺。人工摊铺时水平的纵横间距摆放按照单位面积计算准确。

2 液体固化剂拌和应符合下列规定:

(1) 喷洒液体固化剂水溶液, 宜采用喷洒装置, 喷洒应均匀, 不得遗漏, 中途不得停车, 不得在洒水段内掉头, 且宜平均分成 3 次~4 次喷洒。

(2) 液体固化剂喷洒完后应及时进行拌和。

3 粉体固化剂拌和应符合下列规定:

根据试验结果计算出粉体固化剂剂量进行机械撒布摊铺或人工摊铺。人工摊铺时水平的纵横间距摆放按照单位面积计算准确。

4 固化剂混合料拌和应符合下列规定：

- (1) 固化剂混合料含水率宜比固化剂混合料最佳含水率高 1%~2%。
- (2) 拌和深度应根据施工结构层厚度的要求确定。
- (3) 宜采用路拌机械由两侧向中心进行拌和，每次拌和应有重叠和翻透，不得漏拌。
- (4) 当分层施工时，应先处理下层的表面，其处理深度宜为 10mm，再进行上层施工，两层间不得留有杂物及未掺拌的素土夹层。
- (5) 固化剂混合料应均匀，干湿和颜色基本一致。

5.4.3 整平

1 拌和结束后，使用钢轮压路机或胶轮压路机静压一遍，使刮平机更易按照设计标高进行测量刮平。

2 固化剂混合料拌和均匀后，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整平；在平曲线段，平地机应由内侧向外侧进行整平。

3 当采用人工整形时，应先用锹或耙将固化剂混合料摊平，再用路拱板整形。

5.4.4 压实

1 整形后的固化剂混合料结构层应在最佳含水率时按试验段确定的碾压方案进行全宽碾压；当表层含水率不足时，应洒水再进行碾压。

2 根据压路机的轮宽和轮距的不同，制定碾压方案，应使各部分碾压到的次数相同。压路机应先轻后重，先快后慢，先两边后中间进行碾压，直到使每层结构整个厚度完全均匀的达到规定的压实度为止。振动压路机碾压结束后，视情况是否表面补水后使用胶轮压路机收面。

3 压路机不得在已完成的或正在碾压的路段上掉头或紧急制动。

4 不得出现弹簧、松散、起皮等现象。

5 碾压应达到规定的压实度，不得有明显的轮迹。

5.5 固化剂混合料厂拌法

厂拌法施工工艺流程应包括场地准备、施工放样、拌和、运输、摊铺、整形、碾压和养生。

5.5.1 拌和

1 固化剂混合料可采用强制式搅拌机或连续式振动搅拌机均匀拌和。

2 拌和应按固化剂混合料配合比设计确定的材料规格及配比进行。

3 固化剂混合料拌和时基质土最大尺寸不应大于 15mm。

4 固化剂混合料含水率宜比最佳含水率高 1%~2%。

5.5.2 运输

1 宜采用自卸式运输车。

2 宜根据工程量的大小和运距的长短，配备足够数量的运输车。

3 装料前，应清理车厢，不得存有杂物；装料后，宜采用篷布将厢体覆盖严密，直到准备卸料时方可打开。

5.5.3 摊铺

1 固化土混合料应根据松铺系数均匀摊铺。

2 摊铺机械的选用应符合国家现行相关标准的规定。

5.5.4 整平

整平符合本规范 5.4.3 节的相关规定。

5.5.5 压实

压实符合本规范 5.4.4 节的相关规定。

5.6 施工要求

5.6.1 公路基层

1 固化剂混合料用于基层施工的工艺宜参照 5.6.1-1 选择。对于边角部位的施工，混合料拌和方式应与主线相同，可采用摊铺机摊铺、平地机整平的人工方式进行摊铺，并与主线同步碾压成型。

表 5.6.1-1 施工工艺选择表

结构层位	拌和工艺		摊铺工艺	
	推荐	可选择	推荐	可选择
基层、底基层	厂拌法	路拌法	摊铺机摊铺	推土机摊铺 平地机整平

2 固化剂混合料用于基层的压实标准应符合表 5.6.1-2 的规定。

表 5.6.1-2 固化剂混合料结构层压实度

结构层位	等级	压实度 (%)
基层	二级和二级公路以下	≥97
底基层	二级和二级公路以下	≥95

5.6.2 公路路基

1 固化剂混合料应水平分层，分段填筑，分层压实。同一路基应采用同一种配合比，不得混合填筑。

2 固化剂混合料用于公路路基的压实标准应符合表 5.6.2-1 的规定。

表 5.6.2-1 公路工程路基压实度

填筑部位（路面底面以下深度）（m）			压实度（%）			
填方路基	上路床		0~0.3	高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
	下路床	轻、中等及重交通	0.3~0.8	≥96	≥95	≥94
		特重、极重交通	0.3~1.2	≥96	≥95	≥94
	上路堤	轻、中等及重交通	0.8~1.5	≥96	≥95	-
		特重、极重交通	1.2~1.9	≥94	≥94	≥93
	下路堤	轻、中等及重交通	1.5 以下	≥94	≥94	-
		特重、极重交通	1.9 以下	≥93	≥92	≥90
	零填及挖方路基	上路床		0~0.3	≥96	≥95
下路床		轻、中等及重交通	0.3~0.8	≥96	≥95	-
		特重、极重交通	0.3~1.2			

5.6.3 场站地基

1 固化混合料用于场站地基时，承载力应满足设计要求且需要详细落实地勘资料，必要时应对关键节点进行补堪，承载力宜通过现场静载荷试验确定。

2 固化剂混合料的施工方法、分层铺填厚度、每层压实遍数宜通过现场试验确定。分层铺填厚度宜为 200~300mm。为保证分层压实质量，应控制机械碾压速度。

3 固化剂混合料的压实标准应符合设计要求。

5.6.4 管网及基坑回填

1 固化剂混合料用于管网周边回填时，其压实度应满足设计要求。设计没有要求时，应大于等于 90%。

2 管网周边 50cm 内的回填压实宜采用轻型压实机械，并尽量降低对管网安全的不利影响。

3 管网回填应加强对开挖接触面的回填压实，必要时可通过开挖台阶（台阶宽度≥50cm）、铺设土工格栅等措施防止接触面滑移。

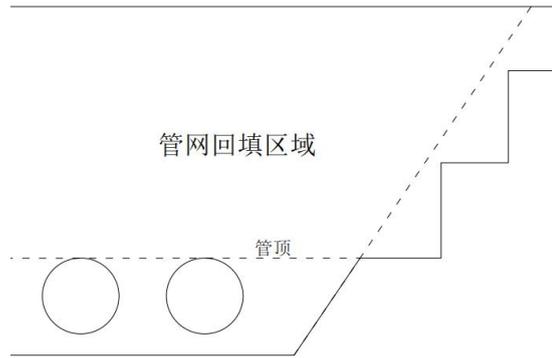


图 5.6.4-1 管网回填接触面开挖台阶示意图

4 基坑回填应分层、水平夯实。

5 基坑回填时机械或机具不得碰撞结构以及防水保护层。结构顶板 50cm 范围内以及管线周围采用宜使用小型机具夯填，夯与夯之间重叠不小于 1/3 夯实宽度。采用机械碾压时，要薄填、慢行、先轻后重、反复碾压，碾压时搭接宽度不小于 20cm。

5.7 养生

- 1 固化土混合料结构层碾压完成后，应及时覆盖养生。
- 2 多层固化剂混合料结构层根据试验段的情况可考虑连续施工。
- 3 养生期根据试验段的情况确定，一般不少于 7d，养生过程中应适当补水。

5.8 特殊季节施工

固化剂混合料结构层宜选择有利的季节施工。当日平均气温低于 5℃时，不宜施工。遇冬、雨期等特殊情况，应结合工程实际情况，制定专项施工方案，并经审批程序批准后实施。

5.8.1 冬季施工

- 1 应集中力量分段施工，确保各段土基或结构层在降温前碾压密实，外掺材料用量宜取上限，并应合理增加固化剂剂量，也可采用氯盐降低混合料冰点。
- 2 在非重冰冻地区，路段水文条件良好时，压实混合料从结冻至解冻过程中，不应在外力（如行车、冻胀等）作用下使结构受到破坏。
- 3 低温时采用固化剂材料施工，应符合下列规定：
 - (1) 在三、四级公路、场站上可铺筑混合料垫层、底基层和基层；
 - (2) 在二级以上公路上可铺筑混合料垫层和底基层。

5.8.2 雨季施工

- 1 雨季施工应做好防雨和排水工作，不应在雨天施工。

2 雨季施工应集中力量分段施工，各段路基或结构层应在下雨前碾压密实。对软土地段或低洼之处，应在下雨前先行施工。路床应开挖临时排水沟。

3 因下雨造成路基湿软地段，可采取晾晒、换土或掺加固化剂、集料等措施处理。雨天及雨后应封闭交通。

4 粉煤灰、土等原料一次备料不宜太多，并应大堆存放，材料堆周围应设排水沟。

5 固化剂混合料拌和后应及时摊铺和压实。对已摊铺好的混合料，应在下雨前进行初压，雨前完成压实。

6 质量控制与验收

6.1 一般规定

1 固化土结构层施工质量要求与检查验收除应符合本标准规定外，尚应符合现行行业标准《公路工程质量检验评定标准》JTGF80/1 的规定。

2 固化土施工前，应进行现场技术交底，明确各工序施工要点。

3 固化土施工应建立健全施工现场规章制度。施工、试验、检测、验收的原始记录应齐全、数据准确和资料完整。

4 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。当对固化土性能有异议时，宜进行实体检测。

6.2 材料进场验收

1 固化剂性能应符合本标准第 3.2 条的规定。细度检测方法应按现行国家标准《水泥细度检验方法筛析法》GB/T 1345 执行；含水率检测方法应按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 执行；固化土无侧限抗压强度检测应按现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTGE51 执行。其他检测方法应按现行行业标准《土壤固化外加剂》CJ/T 486 执行。

2 基质土应符合本标准第 3.3.1 条的规定。检测方法应按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 执行。

检查数量：相同土质每个工程项目至少检验一次。

检验方法：核查检测报告。

4 水泥应符合本标准第 3.3.3 条的规定。检测方法应按现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB175 执行。

检查数量：按同一生产厂家、同一等级、同一品种、同一批号且连续进场的水泥，袋装水泥不超过 200t 为一检验批，散装水泥不超过 500t 为一检验批，每个检验批检验一次。

水泥储存期超过 3 个月或受潮，应进行性能试验，合格后方可使用。

检验方法：核查产品合格证、出厂检验报告和进场复验报告。

5 石灰、消石灰应符合本标准第 3.3.4 条的规定。生石灰性能检测方法应按现行行业标准《建筑生石灰》JC/T 479 执行；消石灰性能检测方法应按现行行业标准《建筑消石灰》J1C/T 481 执行。

检查数量：以班产量或日产量为一个检验批，每个检验批检验一次。

检验方法：核查产品合格证、出厂检验报告和进场复验报告。

6 粉煤灰应符合本标准第 3.3.5 条的规定。检测方法应按现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 执行。

检查数量：按同一生产厂家、同一等级、同一品种、同一批号且连续进场的粉煤灰，不超过 500t 为一检验批，每个检验批检验一次。

检验方法：核查产品合格证、出厂检验报告和进场复验报告。

6.3 运输和贮存

产品在运输和贮存过程中应防止包装破损、防潮、防火。不同型号的产品应避免混杂；应存放在专用仓库或固定的场所妥善保管。粉体产品堆放高度应不大于 12 包，桶装液体产品不应倒置。

6.4 施工过程质量控制

6.4.1 公路基层

- 1 施工过程中的质量控制应包括外形尺寸检查及内在质量检验两部分。
- 2 外形尺寸检查项目、频度和质量控制应符合《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20。
- 3 施工过程中的内在质量控制应分为原材料质量控制、拌和质量控制、摊铺及碾压质量控制等四部分。

6.4.2 公路路基

- 1 施工过程中，每一压实层均应进行压实度检测，检测频率为每 1000m² 不少于 2 点。压实度可采用灌砂法、环刀法等方法，检测应符合现行《公路路基路面现场测试规程》的有关规定。
- 2 施工过程中，每填筑 2m 宜检测路线中线和宽度。
- 3 公路路基、填筑至设计高程并整修完成后，其施工质量应符合《公路路基施工技术规范》JTG/T 3610 规定。

6.4.3 场站地基

- 1 压实系数可采用灌砂法、灌水法或其他方法进行检验。
- 2 固化剂混合料用于场站地基的施工质量检验应分层进行，并应在每层的压实度符合设计要求后铺填上层。
- 3 竣工验收应采用静载荷试验检验承载力，且每个单体工程不少于 3 个点；对于大型工程应按单体工程的数量或工程划分的面积确定检验点数。

6.4.4 管网及基坑回填

- 1 质量控制与检验应在项目实施过程中及完工后进行，修复路面质量要求应不低于原路面

质量验收标准。

2 路基压实度、基层强度及压实度、沥青面层强度及压实度应符合设计要求。其他质量控制指标要求可参见《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1 相关内容。

3 修复区域公路路面外观应与原路面协调一致。

路面平整密实，不得有泛油、松散、脱落、掉渣、裂缝、推挤、烂边、明显离析等现象。

接缝处应紧密、平顺、顺直、无跳车，高差符合要求，不得有积水或漏水现象。

井框、井盖安装必须平稳，井口周围不得有积水。

面层与路缘石、平石及其他构筑物应衔接平顺，不得有积水等现象。

边坡边沟必须平整、坚实、稳定，不得有松散土和其他杂物，排水畅通。

检查井井盖与相邻路面高差要求：雨水井高差（mm）[0，-4]；检查井高差[0，+4]。

4 以上指标检查数量根据工程规模确定，修复长度大于 200m 的工程，每 20~50m 测一点，修复长度小于 200m 的工程，每 10m 测 1 点，不足 10m 的以 10m 算。

5 其他指标要求见本指南对应章节及其他公路相关规范的规定，材料要求及试验方法参见相关规范的规定执行。

6 压实度检测方法：灌砂法，试验要求见《公路路基路面现场测试规程》JTGE60。

6.5 交工验收

1 应随机进行抽样检查。检查时施工原始记录应齐全完整。

2 二级及以下公路基层、公路路基的交工验收应符合《公路工程施工质量验收标准》DG/TJ08-119 规定。

3 场站地基的交工验收应符合《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 规定。

4 管网回填后的路面结构、基层及路基的交工验收应符合《公路工程施工质量验收标准》DG/TJ08-119 规定。

本指南用词说明

1 为便于在执行本指南条文时区别对待，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：正面词应采用“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”。

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

附录 A 固化土路用指标试验检测数据

1、抗压强度

按照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》中对于无机结合料稳定材料制件的相关规定，制备成型 50mm*50mm 的圆柱形试件，其压实度标准按 97%；养生条件为标准养生条件，且养生期完成前最后 1 小时进行浸水处理；采用路面强度试验仪测得不同龄期和配比条件下试件的无侧限抗压强度。

试验数据表明，固化土各龄期的无侧限抗压强度均强于相同材料、相同配合比的常规混合料（即下列各表中固化剂剂量为 0 的材料）。

表 A-1 不同龄期下水泥类固化土试件的无侧限抗压强度

材料配合比			无侧限抗压强度/ (Mpa)		
原状土	水泥：土	固化剂用量/ (%)	7d	28d	90d
粉质土	4：96	0	1.40	1.82	2.8
		0.015	1.54	2.20	5.0
		0.020	1.90	2.80	5.80
		0.025	2.00	2.70	5.60
	6：94	0	2.30	2.70	3.90
		0.015	2.60	4.40	6.20
		0.020	2.80	4.70	7.80
		0.025	2.80	4.50	8.10
	8：92	0	2.90	3.0	4.60
		0.015	3.10	4.70	6.80
		0.020	3.30	5.10	8.0
		0.025	3.52	5.20	8.30
粘质土	4：96	0	0.83	1.20	2.60
		0.015	1.71	2.0	5.30
		0.020	2.0	2.60	5.90
		0.025	2.0	2.80	6.0
	6：94	0	0.86	1.24	2.80
		0.015	1.73	2.20	5.90
		0.020	2.10	3.0	6.00

材料配合比			无侧限抗压强度/ (Mpa)		
原状土	水泥: 土	固化剂用量/ (%)	7d	28d	90d
	8: 92	0.025	2.40	3.10	6.50
		0	1.20	2.10	3.90
		0.015	1.85	3.00	5.90
		0.020	2.40	3.10	6.50
		0.025	2.90	3.50	7.20

表 A-2 不同龄期下石灰类固化土试件的无侧限抗压强度

材料配合比			无侧限抗压强度/ (Mpa)			
原状土	水泥: 土	固化剂用量 / (%)	7d	28d	90d	
粉质土	4: 96	0	0.60	0.84	1.08	
		0.015	1.02	2.00	2.50	
		0.020	1.16	2.30	2.70	
		0.025	1.08	1.90	2.40	
	6: 94	0	0.74	0.94	1.12	
		0.015	1.14	2.20	2.60	
		0.020	1.26	2.40	2.90	
		0.025	1.20	1.96	2.70	
	8: 92	0	0.82	1.06	1.32	
		0.015	1.18	2.30	2.70	
		0.020	1.30	2.60	3.10	
		0.025	1.34	2.50	2.70	
	粘质土	4: 96	0	-	-	-
			0.015	2.0	2.0	6.1
			0.020	1.71	2.6	4.0
			0.025	2.0	2.8	3.5
6: 94		0	0.86	1.24	2.8	
		0.015	1.76	2.2	3.6	
		0.020	2.44	3.1	6.9	

材料配合比			无侧限抗压强度/ (Mpa)		
原状土	水泥：土	固化剂用量 / (%)	7d	28d	90d
		0.025	1.73	2.2	3.9
	8：92	0	-	-	-
		0.015	1.87	2.7	7.0
		0.020	1.14	1.6	3.5
		0.025	1.1	1.58	3.4

无论是水泥类固化土还是石灰类固化土，掺加固化剂的固化效果均优于仅利用水泥和石灰的固化效果；且固化剂加固粘质土的效果优于粉质土，这是因为粘质土中粘土颗粒含量大，固化剂反应快且完全，土壤颗粒之间的联结强度提高较大，固化土强度更大。

相同土质和胶结料配比条件下，固化土在不同龄期下的无侧限抗压强度随着固化剂掺加量的增加而逐渐增大；当掺加量由 0.015%变化至 0.02%时，其无侧限抗压强度的增加幅度要远大于掺量由 0.02%变化至 0.025%时的增大幅度，且掺量变化区间为 0.02%~0.025%时，固化土的无侧限抗压强度增加微小或小幅减小，说明固化剂的最佳掺量应不大于 0.02%。

相同土质和固化剂掺量条件下，固化土在不同龄期下的无侧限抗压强度随着胶结料掺量的增加而不断变大，但当胶结料的掺量由 6%到 8%变化时，其增长幅度减小，考虑综合成本，推荐胶结料掺量不大于 6%。

相比于石灰类固化土，同等配比和养护周期条件下，水泥类固化土的固化效果更佳。

水泥类固化土和石灰类固化土的无侧限抗压强度均随着养护龄期的增长而不断增大，且其 28d 和 90d 的后期强度提高幅度更大。

2、水稳定性

固化剂混合料试件的水稳定性试验结果见表 A-3，不同养护龄期下，掺加固化剂能够显著改善石灰类和水泥类固化剂混合料的水稳定性；随着养护龄期的增长，两类固化剂混合料的水稳定系数越来越大，即水稳定性越来越好，且养护后期水稳定系数的增长幅度大于前期增长幅度，说明固化剂混合料的后期水稳定性越来越好。

在相同胶结材料下，粘质土的水稳定性更优；相同土质条件下，水泥类固化土的水稳定性好于石灰土类的水稳定性。

表 A-3 固化剂混合料试件的水稳定性

材料配合比		饱水抗压强度/ (Mpa)			干抗压强度/ (Mpa)			水稳定性系数/ (%)		
胶结材料：土	固化剂用量 / (%)	7d	28d	90d	7d	28d	90d	7d	28d	90d
=6：94										

石灰	粉质土	0	0.63	0.84	0.98	1.13	1.19	1.25	55.8	70.6	78.4
		0.02	1.16	2.3	2.7	1.46	2.6	3.0	79.5	88.5	90.0
	黏质土	0	0.74	0.94	1.12	1.20	1.22	1.34	68.3	77.0	83.6
		0.02	1.26	2.4	2.9	1.54	2.7	3.2	81.8	88.9	90.6
水泥	粉质土	0	1.2	0.9	1.8	1.7	1.1	2.4	70.6	81.8	75.0
		0.02	1.90	2.8	5.8	2.2	3.2	6.3	86.4	87.5	92.1
	黏质土	0	2.3	2.7	3.9	2.8	3.1	4.3	82.1	87.1	90.7
		0.02	2.8	4.7	7.8	3.2	5.2	8.2	87.5	90.4	95.1

3、冻稳定性

根据《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTG-E51 2009)对养护龄期为 28d 和 90d 的试件分别进行 5 次冻融循环, 试验得不同配比下固化剂混合料的耐冻指数, 见表 A-4。

表 A-4 固化剂混合料试件的冻稳定性

材料配合比		无侧限抗压强度/(Mpa)				耐冻指数		
胶结材料: 土=6: 94	固化剂用量/(%)	28d	90d	28d (5次)	90d (5次)	28d (5次)	90d (5次)	
		石灰	粉质土	0	2.0	2.5	1.02	1.12
0.02	2.3			2.7	1.30	1.30	0.48	0.56
黏质土	0		2.2	2.6	1.34	1.24	0.48	0.61
	0.02		2.4	2.9	1.54	1.68	0.58	0.64
水泥	粉质土	0	2.2	5.0	1.46	2.75	0.55	0.66
		0.02	2.8	5.8	2.10	3.71	0.64	0.75
	黏质土	0	4.4	6.2	3.16	3.72	0.60	0.72
		0.02	4.7	7.8	3.80	5.46	0.70	0.81

表 A-5 传统路面基层材料的冻稳定性

材料名称		无侧限抗压强度/(Mpa)				耐冻指数	
		28d	90d	28d (5次)	90d (5次)	28d (5次)	90d (5次)
		二灰碎石(石灰: 粉煤灰: 碎石)	5: 15: 80	1.86	3.72	0.57	1.97
8: 32: 60	2.79		4.83	0.33	1.94	0.12	0.40
10: 40: 50	-		4.66	-	1.84	-	0.39
	8: 45: 47	-	0.93	-	0.48	-	0.52

二灰土（石灰： 粉煤灰：土）	10：40：50	-	1.12	-	0.87	-	0.78
	12：45：43	-	2.21	-	1.29	-	0.58

掺加固化剂的固化剂混合料的耐冻指数高于未掺加固化剂混合料，说明固化剂有利于提高固化土的冻稳定性；且在相同胶结材料下，粘质固化土的冻稳定性优于粉质土；相同土质条件下，水泥类固化土的冻稳定性好于石灰土类的冻稳定性。

相同冻融循环次数下，养护龄期越长，固化剂混合料的耐冻指数越大，说明固化剂混合料的后期冻稳定性越好；随着冻融循环次数的增加，试件开始发生松散和塌落现象，表明冻稳定性会随着冻融周期的变大而减弱，这里由于试件许多散落，未在数据上体现。

在推荐配合比条件下，水泥类固化土耐冻系数参考值约为 0.6~0.8，石灰类固化土耐冻系数参考值约为 0.45~0.65，对比传统路面基层材料二灰碎石和二灰土，明显大于它们的耐冻指数区间（0.3~0.5），说明固化土基层材料抗冻性能更优越。

附录 B 固土技术应用步骤及案例

1、应用步骤

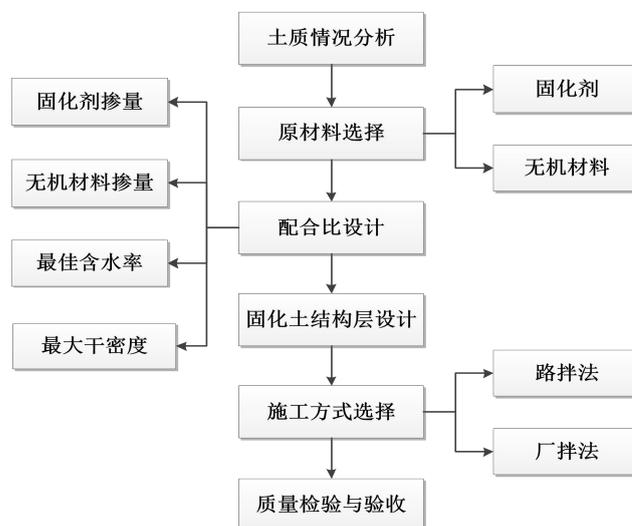


图 B-1 固土技术应用步骤

2、配合比设计流程

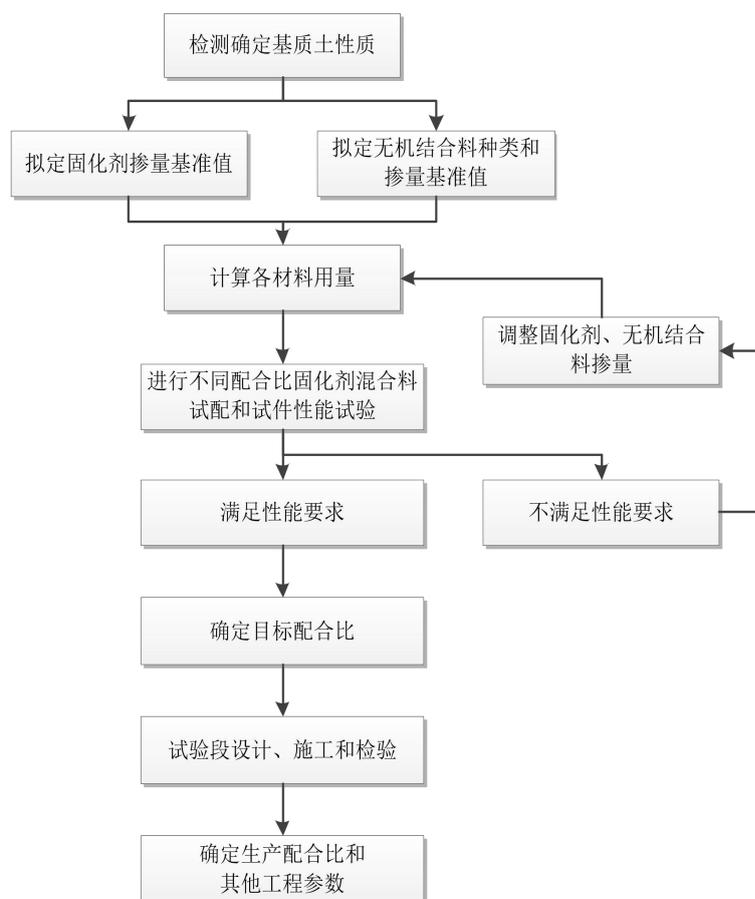


图 B-2 固土技术配合比设计步骤

3、应用案例

某地某项目 K52+080-K52+170、K65+680-K65+800 两段 1470m² 需处治软土地基。对 K52+080-K52+170、K65+680-K65+800 两段软基采用环保型高强稳定固化剂处理。

实验室对现场取样的砂石料进行不同配合比试验，得到各材料配合比的 7d 无侧限抗压强度。

表 B-1 不同材料配合比下的 7d 无侧限抗压强度

序号	配合比	7d 无侧限抗压强度		
		平均强度 Mpa	标准差 Mpa	变异系数%
1	水泥：砂石料：固化剂=8%：92%：0.02%	3.5	0.08	2.2
2	水泥：砂石料：固化剂=7%：93%：0.02%	2.8	0.07	2.5
3	水泥：砂石料：固化剂=6%：94%：0.02%	2.1	0.08	3.8

室内配合比击实试验结果见表 B-2。

表 B-2 不同配合比室内击实试验结果

序号	配合比	最佳含水量%	最大干密度
1	水泥：砂石料：固化剂=8%：92%：0.02%	8.99	2.20
2	水泥：砂石料：固化剂=7%：93%：0.02%	9.4	2.23
3	水泥：砂石料：固化剂=6%：94%：0.02%	10.2	2.28

以上配合比都能满足设计要求，从经济角度考虑选择水泥：砂石料：固化剂=6%：94%：0.02% 这种配合比作为施工材料配合比。

采用路拌法施工，经过 2019 年霜冻期与 2020 年春融期，与往年同期处治的普通水泥稳定土基层相比，路面使用情况良好，路面基本无病害。