 CECS XXX:2019

中国工程建设协会标准

 **固化土道路应用技术规程**

Technical specification for application

of solidified soil in road

（征求意见稿）

“在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上”。

中国XX出版社

**前 言**

根据中国工程建设标准化协会关于印发《2017年第二批工程建设协会标准制订、修订计划》（建标协字[2017]031号）的要求，规程编制组在广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外现行标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共8章和2个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、原材料的技术要求、固化土的分类与等级、固化土混合料、固化土路面结构设计、固化土道路施工、质量控制与验收。

本规程某些内容可能涉及到附录B中所用设备与用于制作固化土试块的压制脱模机构及压力测试系统相关专利的使用。涉及专利的具体技术问题，使用者可直接与本规程的主编单位协商处理。本规程发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会城市交通专业委员会归口管理，由中城投集团第五工程局有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送中城投集团第五工程局有限公司 （地址： 北京石景山金顶北路69号院， 邮政编码：100041）。

本规程主编单位：中城投集团第五工程局有限公司

中铁北京工程局集团第一工程有限公司

本规程参编单位：中城永固科技发展（北京）有限公司、北京市政工程设计研究总院有限公司、苏交科集团股份有限公司、长安大学（公路学院）、西安公路研究院、北京建筑材料科学研究总院有限公司、葛洲坝中固科技股份有限公司、山东科达基建有限公司、南京路业环保科技有限公司、北京易路建通环保新技术有限公司、中国科学院南京土壤研究所、交通运输部科学研究院、江苏坤泽科技股份有限公司、广西盈益环保建材科技股份有限公司、中交路桥北方工程有限公司、中国路桥工程有限责任公司、中铁上海工程局集团有限公司、深圳市路桥建设集团有限公司、中国葛洲坝集团公路运营有限公司、宁波市政工程建设集团股份有限公司、济南城建集团有限公司、上海路域环保科技有限公司、青岛海恒实业有限公司、山东科达基建有限公司、深圳金铸固化剂地坪有限公司、北京中岩大地科技股份有限公司、中国葛洲坝集团国际工程有限公司、中国铁道科学研究院集团有限公司铁道建筑研究所

主要起草人：

主要审查人员：

**目次**

1 总则 1

2 术语和符号 2

2.1术语 2

2.2符号 2

3 原材料的技术要求 3

3.1 土料 3

3.3 外加剂 3

3.4 水 4

3.5 原材料试验 4

4 固化土混合料 5

4.1 一般规定 5

4.2 固化土分类与等级 5

4.3 固化土混合料的技术要求 6

4.4 固化土混合料的配合比设计 7

5 固化土道路结构设计 9

5.1 一般规定 9

5.2 固化土基层结构设计 9

5.3 固化土面层的结构设计 9

6 固化土道路施工 10

6.1 一般规定 10

6.2 施工准备 10

6.3 路拌法施工 10

6.4 厂拌法施工 11

6.5 道路面层固化土的施工 12

6.6 养护 12

7 质量控制与验收 13

7.1 一般规定 13

7.2 质量控制 13

7.3 检验与验收 15

附录A 固化土及相关材料设计参数 17

附录B 固化土混合料现场取样成型及无侧限抗压强度试验方法 18

本规程用词说明 20

引用标准名录 21

条 文 说 明 22

Contents

1 General Provisions 1

2 Terms and Symbols 2

2.1Terms 2

2.2Symbols 2

3 Technical Requirements for Raw Materials 3

3.1 Soil 3

3.3 Cementitious Material 3

3.4 Water 4

3.5 Raw Material Test 4

4 Solidified Soil Mixture 5

4.1 Solidified Soil Mixture 5

4.2 Classification and Grade of Solidified Soil 5

4.3 Technical Requirements of Solidified Soil Mixture 6

4.4 Mixture Design of Solidified Soil Mixture 7

5 Structural Design of Solidified Soil Pavemen 9

5.1 General Requirements 9

5.2 Structural Design 9

5.3 Structural Design of Solidified soil surface 9

6 Construction of Solidified soil road 10

6.1 General Requirements 10

6.2 Preparations for Construction 10

6.3 Road Mixing Construction 10

6.4 Plant Mixing Construction 11

6.5 Plant Mixing Construction 12

6.6 Curing 12

7 Quality Inspection and Acceptance 13

7.1 General Requirements 13

7.2 Quality Control 13

7.3 Inspection and Acceptance 15

Appendix A 17

Appendix B 18

Explanation of Wording in This Standard 20

List of Quoted Standards 21

Addition：Explanation of provisions 22

#

# 1 总则

**1.0.1**为了提高固化土道路工程的质量，规范固化土道路的原材料、设计、施工和验收，本着技术先进、生态环保、经济合理的原则制定本规程。

**1.0.2**本规程适用于新建和改建各等级公路和城镇道路的固化土基层、底基层及垫层。也适用于乡村道路、景区道路的基层和面层。停车场、地坪等工程可以参照执行。

**1.0.3**固化土道路的设计、施工和验收除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

# 2 术语和符号

## 2.1术语

**2.1.1 固化土solidified soil**

由土料、胶结料、外加剂和水经拌合，通过成型和养生后，性能符合工程要求的土体。

**2.1.2 压实型固化土compaction solidified soil**

是一种经碾压工艺成型的固化土，具有一定压实度。

**2.1.3 固化土混合料solidified soil mixture**

在土料中掺入适量的胶结料、外加剂和水，经拌合后得到的混合料**。**

**2.1.4 土料original soil**

待固化的工程用土。

**2.1.5 固化土外加剂 additive for solidified soil**

加入土料中，能够改善其物理力学性能的化学品。按其主要功能划分，包括增强剂、缓凝剂、防冻剂、膨胀剂以及其他的改性剂。

**2.1.6 土壤固化剂soil stabilizer**

是一种固化土增强剂，加入土料中，可以提高固化土的强度，改善其物理力学性能的外加剂，简称“土壤固化剂”。

**2.1.7 胶结料 binders**

能够胶结土粒的胶凝材料。如水泥、石灰、氧化镁、石灰-粉煤灰以及一些利用工业废渣制备的硅铝酸盐材料等。

## 2.2符号

R7d ——土工标准养护七天（6+1）的无侧限抗压强度（MPa）

E ——回弹模量（MPa）

 ——固化土混合料的代表性平均强度 （MPa）

Ia ——压实度（%）

Za ——目标可靠指标

Cv ——偏差系数

La ——代表弯沉值（0.01mm）

L ——标准车实测弯沉平均值（0.01mm）

# 3 原材料的技术要求

## 3.1 土料

**3.1.1** 固化土道路用土应符合现行国家标准《土的工程分类标准》（GB/T 50145）中低液限黏土的要求。土中有机质含量（重量比）不宜大于5 %，不应超过10%。

**3.1.2** 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，或现行行业标准《公路土工试验规程》JTG E40的规定。

**3.1.3** 固化土道路用土料不得使用“胶泥土”。特殊土、工业废渣等类型土料，必须经过处理和固化试验，使其符合技术要求,才可使用。

**3.1.4** 土料中包含粗粒土与细粒土，土料中砾石的最大粒径，道路底基层中不应大于40mm，道路基层中不应大于30mm，道路面层中不应大于10mm。

**3.2 胶结料**

**3.2.1** 固化土中的胶结料主要是水泥、石灰、石灰-粉煤灰和利用工业废渣配制的复合胶结料等无机胶凝材料。

**3.2.2** 水泥胶结料宜采用硅酸盐水泥。水泥强度等级宜为42.5，并应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB175的规定。采用的水泥应有出厂检验报告。没有出厂检验报告的或出厂超过3个月的水泥，必须重新检验合格后方能使用。不推荐使用含有石灰石、砂石等非活性混合材的水泥。

**3.2.3** 利用工业废渣配制的复合胶结料，经过试验，符合技术经济要求时，可用于固化土道路工程。

**3.2.4** 固化土道路基层和底基层，不应使用快硬水泥、早强水泥作为胶结料。

**3.2.5**  石灰胶结料，应采用消石灰或生石灰粉，石灰等级应符合现行行业标准《建筑生石灰》 JC/T479和《建筑消石灰》JC/T481的规定。

**3.2.6** 用于石灰—粉煤灰胶结料中的粉煤灰，应符合国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T1596-2017中的有关规定。

## 3.3 外加剂

**3.3.1**  配制固化土应按土料的性能、工程的技术要求和经济比较来选用外加剂。一般加入量不超过5%。

**3.3.2** 所用土壤固化剂的技术性能指标应符合现行行业标准《土壤固化外加剂》CJ/T486的规定。

**3.3.3** 在有冻害的地区，按防冻设计要求的固化土工程，应考虑抗冻性能，必要时应加入固化土防冻剂。

**3.3.4** 固化土道路的面层和基层，受到温度和干湿变化的作用，容易出现较大收缩变形。必要时可加入膨胀剂或收缩补偿剂，以控制固化土总收缩变形。膨胀剂应符合《混凝土膨胀剂》GB/T23439的有关规定。

## 3.4 水

**3.4.1** 固化土用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JTJ 63的规定。

## 3.5 原材料试验

**3.5.1** 配制固化土的土样必须具有代表性。应在每个工程土源均匀布点3～5个挖取土样，应去除表层耕植土或杂质土，向下挖取土样，各点取样后混合均匀，选取试验土样50kg左右。

**3.5.2** 配制道路工程固化土混合料的代表性土样，应进行下列土工试验：

 1、测定土样天然含水率；

 2、测定土样PH值。

 3、颗粒分析；

 4、测定液限、塑限和塑性指数；

 5、测定土中有机质含量；

**3.5.3** 特殊土应根据其特性，按照《公路土工试验规程》 JTG E40，检测相应指标。

**3.5.4** 胶结料应提供该批次产品的出厂质量检验报告，到场检验应符合技术要求。

**3.5.5** 土壤固化剂应符合现行行业标准《土壤固化外加剂》CJ/T486。由于现场工程土的变异，应进行土壤固化剂对现场工程土的适应性试验，并以配制的固化土的无侧限抗压强度比来判定：

 （1）当无侧限抗压强度比≧120%，土壤固化剂适用；

 （2）当无侧限抗压强度比≧110%，土壤固化剂可用；

 （3）当无侧限抗压强度比＜110%，土壤固化剂不适用。

**3.5.5** 对于固化土道路工程可能用到的其他外加剂，必须通过试验，确定品种和用量。

# 4 固化土混合料

## 4.1 一般规定

**4.1.1** 根据道路与荷载等级，确定所需固化土的等级和技术要求。

**4.1.2** 根据工程用土的种类和土工试验数据，进行配合比的设计和试验。

**4.1.3**  固化土混合料的配合比采用质量比。

## 4.2 固化土分类与等级

**4.2.1 固化土的分类**

 固化土按所用固化胶结料的类型，可分为水泥固化土（C），石灰固化土（L），石灰-水泥固化土（LC），石灰-粉煤灰固化土（LF），复合胶结料固化土（SA）。

**4.2.2 固化土的等级**

固化土按照土工试验标准养护7天的无侧限抗压强度分为四个等级，如表4.2.2所示。

表4.2.2 固化土等级划分

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 固化土等级 | 无侧限抗压强度R7d（MPa） | 适用范围 |
| 一级 | 0.5≤R7d<2 | 垫层、下基层、基层 |
| 二级 | 2≤R7d<4 | 下基层、上基层、面层 |
| 三级 | 4≤R7d | 上基层、面层 |

**4.2.3 固化土的标记：**

固化土按其胶结料类别和强度等级可标记为：

固化土（xx x.x）

标准养护7天无侧限抗压强度

 固化土类别

固化土强度等级按0.5MP分级递增。

例如：标准养护7天无侧限抗压强度为2.5MPa的水泥固化土，标记为：

 固化土（C 2.5）

**4.3 固化土混合料的技术要求**

**4.3.1** 固化土混合料，必须通过击实试验，测定最佳含水率和最大干密度。

**4.3.2** 固化土混合料应在最大干密度和最佳含水率下成型试件。

**4.3.3**  试件成型后，经标准养护7天龄期的无侧限抗压强度应符合表4.3.3.1、表4.3.3.2和表4.3.3.3的规定。固化土混合料无侧限抗压强度试验方法应符合现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》（JTGE51）的有关规定。

表4.3.3.1 公路固化土混合料无侧限抗压强度标准（单位：MPa）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 类别 | 结构层 | 道路等级 | 荷 载 等 级 |
| 极重、特重交通 | 重交通 | 中、轻交通 |
| 水泥固化土 | 基层 | 高速、一级公路 | ≥5.0 | ≥4.0 | ≥3.0 |
| 二级及二级以下公路 | ≥4.0 | ≥3.0 | ≥2.0 |
| 底基层 | 高速、一级公路 | ≥3.0 | ≥2.5 | ≥2.0 |
| 二级及二级以下公路 | ≥2.5 | ≥2.0 | ≥1.0 |
| 石灰固化土 | 基层 | 高速、一级公路 | - | - | - |
| 二级及二级以下公路 | - | - | ≥0.8 |
| 底基层 | 高速、一级公路 | - | - | ≥0.8 |
| 二级及二级以下公路 | - | - | ≥0.6 |
| 石灰粉煤灰固化土 | 基层 | 高速、一级公路 | ≥1.1 | ≥1.0 | ≥0.9 |
| 二级及二级以下公路 | ≥0.9 | ≥0.8 | ≥0.7 |
| 底基层 | 高速、一级公路 | ≥0.8 | ≥0.7 | ≥0.6 |
| 二级及二级以下公路 | ≥0.7 | ≥0.6 | ≥0.5 |

 表4.3.3.2. 城镇道路固化土混合料无侧限抗压强度标准（单位：MPa）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 类别 | 结构层 | 特重交通 | 重、中交通 | 轻交通 |
| 水泥固化土 | 上基层 | ≥4.5 | ≥4.0 | ≥3.0 |
| 下基层 | ≥3.0 | ≥2.5 | ≥2.0 |
| 石灰固化土 | 上基层 | - | - | ≥0.8 |
| 下基层 | - | ≥0.8 | ≥0.7 |
| 石灰粉煤灰固化土 | 上基层 | ≥0.8 | ≥0.8 | ≥0.6 |
| 下基层 | ≥0.6 | ≥0.6 | ≥0.5 |

表4.3.3.3 乡村道路与景区道路固化土混合料无侧限抗压强度标准（单位：MPa）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 类别 | 结构层 | 干路 | 支路 | 巷路 |
| 水泥固化土 | 面层 | ≥3.0 | ≥2.5 | ≥2.0 |
| 基层 | ≥1.5 | ≥1.0 |  |

註：复合胶结料固化土混合料的无侧限抗压强度可参照水泥固化土指标试行。

**4.3.4** 在寒冷地区和严寒地区，对固化土可能发生冻害，应考虑防冻措施。可以加入固化土防冻剂，并按现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51 和《无机结合料稳定材料冻融试验方法) T0858进行试验。对固化土抗冻性和冻融试验方法如表5.3.4所示。

表 5.3.4 固化土的抗冻性指标及其试验方法

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 地域分类 | 冻融试验条件 | 试件尺寸mm | 试件养护期 天 | 冻融循环 次 | 强度损失% | 质量损失% |
| 寒冷地区 | -18±1℃；20±1℃ | Φ150x150 | 30 | 10 | ＜20 | ＜5 |
| 严寒地区 | -30±1℃；20±1℃ | Φ150x150 | 90 | 10 | ＜20 | ＜5 |

##  4.4 固化土混合料的配合比设计

**4.4.1** 土壤固化剂选取试验应按下列步骤进行：

（1）选用的土壤固化剂应符合产品标准《土壤固化外加剂》CJ/T486。

（2）采用候选的土壤固化剂进行固化土试配时，宜采用三个配合比，其中基准配合比的土壤固化剂掺量为产品要求量，另外两个配合比的土壤固化剂掺量宜比产品要求量波动±25%。

（3）按照设定的胶结料用量（PO425水泥6%），将土壤固化剂加入拌合水中或直接加入混合料中，进行试件制备、成型及标准养护。

（4）测定固化土7d无侧限抗压强度和抗压强度比，根据试配结果进行比较，确定选用的土壤固化剂及其掺量。如不符合要求，重新进行新一轮试验。

**4.4.2** 水泥胶结料用量选取：

1对工程土样进行土性试验，确定土料的最大干密度和最佳含水率。

2配制固化土混合料。按照4.4.1确定的固化剂型号及掺量，通过表4.4.2初选水泥掺量，按照土料的干基比例内掺计算实际加量，加入土料中，配制混合料。

表4.4.2 水泥固化土中水泥推荐用量（%）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 固化土等级土样干密度/g/cm3 | 一级0.5～2.0MPa | 二级2～4 MPa | 三级4～6 MPa |
| ≤1.8 | 3～6 | 5～8 | 8～12 |
| 1.8～2.0 | 3～5 | 5～8 | 8～10 |
| ≥2.0 | 3～4 | 4～7 | 6～8 |

3对配制的固化土混合料进行击实试验，确定其最大干密度和最佳含水率。

4配合比试验。按上述款项2确定的配比，选取水泥掺量波动±1%配制不少于3组混合料，按最佳含水率和最大干密度，进行成型。

 5试件标准养生7天，最后1天浸水。测定各组试件的无侧限抗压强度。对比试验结果，选定最佳水泥掺量。

 6试件的成型、养生及检测应符合《公路工程无机结合稳定材料试验规程》 JTG E51有关规定执行。

**4.4.3** 石灰胶结料用量的确定

1对工程土样进行土性试验，确定土料的最大干密度和最佳含水率。

2配制固化土混合料。按照4.4.1确定的固化剂型号及掺量，石灰胶结料掺量可以选取干土质量的5%～10%范围内三个量进行试验，按照土料的干基比例内掺计算实际加量，加入土料中。

3通过击实试验确定已经初选石灰胶结料掺量的混合料的最大干密度和最佳含水率。

4石灰类固化土混合料配制后，均需闷料4至12小时后再进行成型试件。

5试件养生7天，最后1天浸水。测定各组试件的无侧限抗压强度。对比试验结果，选定最佳水泥掺量。

5试件的成型、养生及检测应符合《公路工程无机结合稳定材料试验规程》 JTG E51有关规定执行。

**4.4.4** SA类胶结料及其用量的确定

1对工程土样进行土性试验，确定土料的最大干密度和最佳含水率。

2配制固化土混合料。按照4.4.1确定的固化剂型号及掺量，（SA）类固化土胶结料用量可参考生产厂家推荐的用量，波动±20%范围内选取三个量进行试验，按照土料的干基比例内掺计算实际加量，加入土料中。复合胶结料可以不用另加土壤固化剂。

3配制混合料后，通过击实实验确定最佳含水率和最大干密度，进行成型试件。

4试件养生7天，最后1天浸水。测定各组试件的无侧限抗压强度。对比试验结果，选定最佳SA胶结料掺量。

5试件的成型、养生及检测应符合《公路工程无机结合稳定材料试验规程》 JTG E51有关规定执行。

# 5 固化土道路结构设计

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 固化土道路基层、底基层和路基结构设计，应贯彻“科学合理、节能环保、就地取材、经济优质”的设计理念，注重现场调查，根据道路功能、道路等级、交通量、工程地质等条件，选择技术可靠，经济合理，施工方便的路面结构方案。

**5.1.2** 固化土道路的路基及顶面回弹模量，公路应符合《公路沥青路面设计规范》JTG D50

和《公路水泥混凝土路面设计规范》JTG D40的有关规定；城镇道路应符合《城镇道路路面

设计规范》CJJ169的有关规定。当不能满足上述要求时，应采取压实、换填或固化等措施提高路床顶面回弹模量。

**5.1.3** 固化土混合料宜用于道路基层、底基层和垫层；基层上面，可以铺设沥青混凝土类、水泥混凝土类和路面砖类等面层材料。

**5.1.4** 按现行《《乡村道路工程技术规范》GB/T 51224，对于乡村道路和类似的园林景区道路可以采用固化土作为基层和面层。

## 5.2 固化土基层结构设计

**5.2.1** 固化土道路路面结构设计时，其设计方法应符合现行规范的有关规定。城镇道路基层和底基层结构设计应符合《城镇道路路面设计规范》CJJ169；公路基层和底基层结构设计应符合《公路沥青路面设计规范》JTG D50-2006的有关规定。

**5.2.2** 采用固化土作为道路基层和底基层时，单层结构设计厚度不应小于15cm，不宜大于25cm，根据需要可以设置多层。

**5.2.3**, 固化土道路基层在寒冷和严寒地区应考虑抗冻性的要求，必要时应加入防冻剂；

**5.2.4** 固化土道路路面结构设计时应考虑干燥收缩的影响，必要时应加入纤维配筋、膨胀剂或收缩补偿剂。

**5.2.3** 固化土道路设计时，固化土材料性能的参考值，参见附录A。

## 5.3 固化土面层的结构设计

**5.3.1**在乡村道路和景区道路，为了维护生态环境的要求，可采用固化土面层。

**5.3.2** 固化土面层的强度应符合表4.3.3.3的技术要求。固化土面层的厚度不应小于15cm。

**5.3.3** 固化土面层要根据地区和气候特点设计，当收缩变形值超过500x10-6，以上，应加入适量砂石料，所用砂石料应符合《建设用砂》 GB/T 14684 和《建筑用卵石、碎石》GB/T 14685 ；必要时可以加入固化土膨胀剂或收缩补偿剂以控制收缩变形量。固化土面层宜设置伸缩缝，间距宜为6～20m。

**5.3.4** 在有冻害的地区，要考虑固化土的抗冻性能。应适当加入固化土防冻剂。

**5.3.5**固化土面层宜做表面处理，设封层，或加设磨耗层及其它功能层。

**5.3.6**固化土面层应具有抗滑性。按照JTJ073.1-2001《公路水泥混凝土路面养护技术规范》进行试验，抗滑值指标（摆值BPN）应大于35。

# 6 固化土道路施工

## 6.1 一般规定

**6.1.1** 固化土道路必须要有稳固的路基。压实土基的弹性模量必须符合5.1.2的技术要求。如有淤泥、坑洼等情况必须换填或固化处理。

**6.1.2** 施工用原材料和机具必须符合相关要求。原材料经验收合格才能入库存储，存储条件必须符合相关规范要求。机具功能齐备，满足使用要求。

**6.1.3** 土源应储量充足，试验结果必须符合技术要求。更换土源，必须重新进行试验。

**6.1.4** 施工前应测绘、划线、分块。每一块施工必须在固化土混合料凝结时间内完成。

**6.1.5** 在工程施工时，宜先做试验段，由建设单位、设计单位、监理单位、施工单位共同验收，明确施工的控制要点。

## 6.2 施工准备

**6.2.1** 现场踏勘，对拟用的客土或原地土，铲去表层土或耕植土20－50cm，布点挖取代表性土样，每份30~50kg，送实验室检测并试验。

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

**6.2.3** 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。

**6.2.4** 施工人员就位。进场材料、机械设备必须符合施工技术要求。大型工程项目应设立现场实验室；小型工程项目也可以委托专业实验室承担试验检测工作。

**6.2.5** 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，采用流水作业，每一流水作业单元面积宜为1000～3000m2，保证在工艺规定时间内完成拌合到碾压。

**6.2.6** 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 路拌法施工

**6.3.1** 路拌法施工主要工艺流程如下：

****

**6.3.2** 固化土施工时，先要挖出路床，压实路床基土，构筑稳固的基底，达到施工的技术要求。

**6.3.3** 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、水泥、外加剂和拌合水的用量。 施工现场采用的水泥用量、石灰用量或土壤固化外加剂用量应高于室内试验确定用量：水泥用量应增加干土重量的0.5%～1%，石灰应增加干土重量的1%～2%；土壤固化外加剂应比配合比设计值增加1%～5%。现场施工用水量，宜比最佳含水率的用水量增加2～4%左右，视气候与施工条件而异。

 **6.3.4**摊铺土料。按计算土量摊铺土层，并采用人工或机械进行平整，达到预定松铺厚度和宽度。土层松铺厚度应等于压实厚度乘以松铺系数。

**6.3.5** 摊铺水泥。按每袋水泥能够拌合的土层面积划出方格，在方格内摊铺水泥，均匀铺满方格。有条件宜采用粉料撒布机来撒布水泥或其他胶结料。

**6.3.6** 宜采用高效路拌机拌和水泥和土料，拌和时应由低到高、由两侧向中心，达到固化底层。不得漏拌，拌和不宜少于三遍，达到混合料颜色一致。

**6.3.7** 将土壤固化剂和拌合水混合稀释，用喷洒机具将其中90%喷洒在干拌混合料上，其余10%应在碾压成型后喷洒，喷洒应均匀、不遗漏。

**6.3.8 宜**采用高效路拌机将混合料拌和，也可采用机组联合作业。拌和时由低到高、由两侧到中间，拌和不宜少于三遍，至混合料颜色均匀一致。拌合必须达到下层，层底不得留有未掺拌的“土料”夹层，边缘不得留有土料或混合料未拌合的空白区。局部采用人工补拌。混合料一次摊铺厚度不宜超过30cm.

**6.3.9** 用压路机初压一遍后，再用平地机刮平整型。在直线段，应由两侧向路中心进行整平；平曲线段，应由内侧向外侧整平。局部人工修补。

**6.3.10** 根据土质、现场情况、气候条件，采用压路机碾压2～4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。在碾压过程中必须注意：

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

（2）在碾压过程中出现路段“局部过湿”、“翻浆”、“起皮”、“弹簧”等现象要及时采取处理措施。必要时进行加拌和补压。

（3）施工横接缝处，应搭接拌和，搭接部位留出5～8m不进行碾压，未碾压段应添加水泥或石灰、土壤固化外加剂重新拌和，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，应当保持潮湿状态，进行拉毛处理后，方可进行摊铺基层拌合料施工。

**6.3.11** 固化土路面基层、底基层施工应避免纵向接缝。分两幅施工时，纵缝应垂直相接，前一幅施工时，靠中央一侧支设模板支撑。在铺筑后一幅前拆除支撑，后一幅铺筑结束后，相接处应人工补充拌合，再一起整形碾压。

## 6.4 厂拌法施工

**6.4.1** 厂拌法施工主要工艺流程如下



**6.4.2**  在压实的路基上测量放线，布设中线，边线，设置标桩，确定松浦厚度，标出填筑高程。

 **6.4.3** 在固化土拌和站将土料粉碎，按照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，达到固化土混合料技术指标。

**6.4.4** 将固化土混合料运输到施工现场，运输过程中的应采取苫盖措施。

**6.4.5** 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**，**采用摊铺机、装载机或平地机等进行摊铺，局部人工配合修整。

**6.4.6** 整平、碾压及接缝处处理工艺同6.3.10～6.3.11款规定。

## 6.5 道路面层固化土的施工

**6.5.1** 面层固化土所用土料必须符合设计和技术要求。应按粒度要求过筛处理。土料中不得含有胶泥块、过大的石块、草筋、树根等杂物。

**6.5.2** 路基或基层工作面完成施工并验收合格，表面需进行拉毛和润湿。

**6.5.3** 面层固化土设计试验并确定配合比后，施工工艺可按照本规程第6.3章节或第6.4章节执行。但在刮平整形时，应该用平杷或竹扫帚清除坑槽沟豁，喷水润湿，再行碾压。

**6.5.4** 固化土路面养护5～7天后，即可锯切伸缩缝。采用切缝机进行锯缝，缝宽3-5mm，深度10cm左右。扫清锯缝两侧锯出的土屑，用灌缝土浆填缝。

**6.5.5** 养护结束后干燥4～8小时，清理杂物后，喷洒封层剂。宜喷撒2~3遍，每次间隔4～6小时，每次喷洒方向与前一次相垂直，前一次干后，再喷第二遍。在晴阴天气条件下干燥3～5天，应封闭交通。

**6.5.6** 固化土道路面层有较高外观或耐磨性要求时，可以增设上面层或磨耗层。磨耗层混合料在面层固化土混合料初碾刮平后布撒，并与面层固化土一起碾压养护，形成性能更好的复合面层。

## 6.6 养护

**6.6.1** 固化土层施工完成后，应及时养护。

**6.6.2** 应根据工程所在地气候条件可采取洒水、薄膜覆盖、土工布覆盖、草帘覆盖等养护方法。

**6.6.3**  养护期不宜少于7d。

**6.6.4**  养护期间应封闭交通，除洒水外严禁其他车辆通过。

**6.6.5** 固化土基层养护7天以后，可以进行道路面层施工。

# 7 质量控制与验收

## 7.1 一般规定

**7.1.1** 按照本技术规程、行业相关标准《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 和[《公路工程质量检验评定标准》](http://www.baidu.com/link?url=D3jbSUCTFNwbs1RX8fITaxmltmkRY5YK8oa7K8qYVS_oQqnWjmwIKCggbjEFWpi1aRe_hxgk7VR5Yz10991aDq" \t "https://www.baidu.com/_blank)JTG F80/1对施工道路进行质量控制、质量检测和验收。。

**7.1.2** 按照本技术规程相关技术要求对所用原材料、机械设备进行检查。做到原料质量合格，设备机具规格型号符合要求，设备完好，操作人员持证上岗。

**7.1.3** 应建立健全工地试验、质量检查以及工序间的交接验收等规章制度。试验、检测、验收应做到原始记录齐全、数据准确和资料完整。

**7.1.4** 施工单位应设有土工实验室，工地也要有必要的检测设备和仪器，能对工程所用土源，材料，施工过程和固化土质量进行必要的检测。也可以委托第三方专业检测机构进行检测。

**7.1.5**  项目工程必须设有专职技术和质量检验员。负责工程质量管控。

**7.1.6** 施工过程中，每道工序完成后，均应检查验收合格后方可进行下道工序。经检测不合格的，应进行及时返修，并重新验收合格。

## 7.2 质量控制

**7.2.1** 固化土道路施工中的质量控制项目，包括：

（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。

质量控制检测频度应符合表7.2.1的要求

表7.2.1 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% | 含水量多时晾晒，少时补水 |
| 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 | 应符合表7.2.4 | 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，按需要增加水泥或石灰用量及固化剂掺量，调整配合比，提高压实度或采用其他措施 |

**7.2.2** 道路外形尺寸及质量控制检测频率应符合现行规范要求。固化土乡村道路的外形尺寸与质量控制检测频度应符合表7.2.2的要求。

 表7.2.2 固化土乡村道路外形尺寸及检测频度的要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 结构层位 | 项 目 | 外形尺寸技术要求 | 控制检验频度 |
| 基层 | 纵断高程（mm） | +10 -30 | 每20延米一个断面，每个断面3～5个点 |
| 厚度（mm） | 均值：-15；单个值：-30 | 每1500～2000m2, 取6个点 |
| 宽度 (mm) | 不小于设计值 | 每40延米 1处 |
| 横坡度 (%) | 0.6且不反坡 | 每100延米4处 |
| 平整度(mm) | 20 | 每200延米2处（3M直尺） |
| 面层 | 中线偏差（mm） | 10 | 每100延米1处 |
| 纵断高程（mm） | +20～-10 | 每50延米一个断面，每个断面3～5个点 |
| 厚度（mm） | 均值：20；单个值：25 | 每1500～2000延米，6个点 |
| 宽度 (mm) | 不小于设计值 | 每40延米1处 |
| 横坡度 (%) | 0.5且反坡 | 每100延米4处 |
| 平整度(mm） |  | 每200延米2处，每处连续10尺（3m直尺） |
| 外观 | 表面硬实平整，没有明显轮迹；每平米内不大于2x2cm凹坑不超过2处；裂纹不超过2条 | 每200延米检查一次 |

**7.2.3** 拌合均匀度应控制色度一致；含水率应控制在最佳含水率允许偏差范围内。

**7.2.4** 每个施工单元在完成碾压工序后应选取1～3个点测定压实度。测定结果应符合表7.2.4

表7.2.4 固化土道路各层位压实度标准（单位：%）

|  |  |
| --- | --- |
| 层位 | 道路等级 |
| 高速、一级公路；城市快速路和主干路 | 二级及二级以下公路；城市次干路和支路 | 乡村道路干路 | 乡村道路支路和巷路 |
| 底基层 | 95% | 93% | 93% | - |
| 基层 | 97% | 96% | 95% | 93% |
| 面层 | - | - | 96% | 95% |

**7.2.5** 每个施工单元应选取完成拌和的混合料样1～3组，送到实验室成型或现场采用便携式成型试验机进行试件成型留样，成型后立即封袋，在20±2℃条件下养护6天泡水1天，测定无侧限抗压强度。便携式成型试验机见附录B。

7.2.6 现场施工时混合料的强度应考虑目标可靠度。试验时混合料平均强度指标，应符合式（7.2.6）的要求：。

 ≥IaR7d （7.2.6）

 式中 ——混合料平均无侧限抗压强度 （MPa）

 R7d——无侧限抗压强度实测值 （MPa）

 Za——目标可靠指标。由表7.2.6查得

 Ia——压实度 （%）

 Cv——偏差系数 Cv=**σ**/**σ—**标准差

表7.2.6 目标可靠度和目标可靠指标

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 公路等级 | 高速公路 | 一级公路 | 二级公路 | 三级公路 | 四级公路 | 乡村道路 | 乡村道路面层 |
| 可靠度（%） | 95 | 90 | 85 | 80 | 70 | 70 | 80 |
| 可靠指标 | 1.65 | 1.28 | 1.04 | 0.84 | 0.52 | 0.52 | 0.84 |

註：上表除乡村道路面层外，其他均为道路基层和下基层。

## 7.3 检验与验收

**7.3.1 检验主控项目：**

**1原材料质量**检验应符合下列要求：

1）土壤固化外加剂应符合本规程第3.3条规定。

2）水泥、石灰应符合本规程第3.2条规定。

3）土类材料应符合本规程第3.1条规定。

4）水应符合本规程第3.4条规定。

检查数量：按不同材料进场批次，每批次抽查1次。

检查方法：查阅检验报告、必要时复验。

**2固化土压实度**。固化土道路各结构层的**压实度**应符合表7.2.4的要求：

检查数量：每1000m2测定1组，每组测定3个点，均匀布点。

检查方法：灌砂法或环刀法。

**3固化土强度**。固化土道路各结构层混合料施工的同时应预留试件测定7d无限抗压强度，按（7.2.6）式计算固化土代表性平均无侧限抗压强度应符合表4.3.3.1的规定。

检查数量：每施工单元抽检一组，由便携式成型试验机现场制作试件，每组6～9个试件，养护后，由具有资质的检测单位检验试件测定值。

**7.3.2 检验一般项目**：**外观检查**

（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表7.2.2的规定。

**7.3.3 弯沉值评定**：对于道路基层有设计弯沉值要求的工程，路基顶面、固化土基层顶面弯沉值均应符合设计要求。在交工时检测固化土基层顶面弯沉值。顶面代表弯沉值Lr应小于等于设计弯沉值.

Lr ≤ Ls

**7.3.4** 检验批合格质量应符合下列规定：

1主控项目的质量经抽样检验合格率100%。

2外观项目的质量经抽样检验合格率应达到85%及以上；且不合格点的最大偏差值不得大于规定允许偏差值的1.5倍。

3对等级公路和城镇道路基层顶面弯沉值应小于等于设计弯沉值。乡村道路，景区道路不设弯沉值要求。

4具有完整的施工原始资料和质量检查记录。

##

# 附录A 固化土及相关材料设计参数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 强度等级 | 无侧限抗压强度MPa | 抗压回弹模量E（Mpa）（弯沉计算用） | 抗压模量E（MPa）（拉应力计算用） | 劈裂强度σ（MPa） |
| 一级固化土 | 4～6 | 1000～1800 | 3000～4500 | 0.6～1.0 |
| 二级固化土 | 2～4 | 800～1300 | 2000～3200 | 0.5～0.7 |
| 三级固化土 | 0.5～2 | 400～1000 | 1200～2000 | 0.4～0.6 |
| 水泥稳定碎石 |  | 1300～1700 | 3000～4200 | 0.4～0.6 |
| 水泥粉煤灰碎石 |  | 1300～1700 | 2400～3000 | 0.4～0.55 |
| 二灰土 |  | 600～900 | 2000～2800 | 0.2～0.3 |
| 石灰土 |  | 400～700 | 1200～1800 | 0.2～0.25 |

# 附录B 固化土混合料现场取样成型及无侧限抗压强度试验方法

**B.0.1试验设备**

便携式无侧限抗压强度试验一体设备如图B1。

### **B.0.2试件制备及检测过程**

便携式固化土试件成型、脱模及强度试验机主要有四部分组成及工具箱。四个部分包括：门架、制块脱模模具、千斤顶、压力检测器。其中制块脱模模具包括圆形套筒、圆形薄垫块、T型垫块、圆柱型脱模垫块。

操作过程：

 设备有三种工作模式，制块模式如图B2、脱模模式如图B3和压力检测模式如图B4。均需将千斤顶放置门架下部平台上，适量调整千斤顶，使得千斤顶顶头对准门架升降平台下的凹槽。根据不同工作模式的需求，按照图中所示放置模具及压力检测器。操作步骤如下：

1、将现场拌和均匀的混合料称量后，放入已垫好垫块的模具中，用“T”型垫块初步压紧模具中的混合料。

2、松开千斤顶的气阀，将中间台板调整到初始位置后，拧紧气阀。将装好混合料的模具，薄垫块面向下放置模具。

3、加压过程中扶稳门架的同时给千斤顶加压，防止门架翻倒。加压过程中，需观察压力表指针读数在量程范围内，临近量程则不可再用力加压。同时观察垫块与模具筒的间隙闭合后，停止加压，放置2分钟后，松开气阀，待平台下落取下模具。

4、将“T”型垫块取下，将圆柱型脱模垫块边转动边顶入模具中，将薄垫块向上对准门架孔洞放置。确保垫块和试件均可顺利从孔洞中顶出，并且不会蹭壁损坏试件。固化土试件脱出后放入塑料袋密封，放在室内空调温度20±2℃环境养护6天，然后浸入水中泡水一天。7天后从水中取出试件，檫干表面水分，进行压力检测。

5、压力检测时，将试件、压力测试块、凸型垫块从下向上按顺序叠放至门架平台，将压力显示器清零。使凸型垫块可以抵住门架压力后，加压。加压过程中需一直观测压力显示器上的读数变化，在破坏前读取最大值，单位为千牛，换算成兆帕即可。



图B 1 门架及构件示意说明图

|  |  |
| --- | --- |
| 图B2 制块过程示意图1554361105(1) | 图B3 脱模过程示意图1554361149 |
| 图B4 检测过程示意图1554361176(1) |

**本规程用词说明**

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词用“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。

**引用标准名录**

《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

《乡村道路工程技术规范》GB/T 51224

《城镇道路路面设计规范》CJJ 169

《土壤固化外加剂》CJ/T 486

《土壤固化剂应用技术标准》CJJ/T286

《通用硅酸盐水泥》GB 175

《土的工程分类标准》GB/T 50145

《建筑生石灰》JC/T 479

《混凝土用水标准》JGJ 63

《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG/ E51

《公路土工试验规程》JTG E40

《建设用砂》 GB/T 14684

《建筑用卵石、碎石》GB/T 14685

《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1

《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20

[《公路工程质量检验评定标准》](http://www.baidu.com/link?url=D3jbSUCTFNwbs1RX8fITaxmltmkRY5YK8oa7K8qYVS_oQqnWjmwIKCggbjEFWpi1aRe_hxgk7VR5Yz10991aDq" \t "https://www.baidu.com/_blank)JTG F80/11.0.2

2019-4-1

中国工程建设协会标准

 **固化土道路应用技术规程**

Technical specification for application

of solidified soil in road

条 文 说 明

**目次**

1 总则 1

2 术语和符号 2

2.1术语 2

2.2符号 2

3 原材料的技术要求 3

3.1 土料 3

3.3 外加剂 3

3.4 水 4

3.5 原材料试验 4

4 固化土混合料 5

4.1 一般规定 5

4.2 固化土分类与等级 5

4.3 固化土混合料的技术要求 6

4.4 固化土混合料的配合比设计 7

5 固化土道路结构设计 9

5.1 一般规定 9

5.2 固化土基层结构设计 9

5.3 固化土面层的结构设计 9

6 固化土道路施工 10

6.1 一般规定 10

6.2 施工准备 10

6.3 路拌法施工 10

6.4 厂拌法施工 11

6.5 道路面层固化土的施工 12

6.6 养护 12

7 质量控制与验收 13

7.1 一般规定 13

7.2 质量控制 13

7.3 检验与验收 15

附录A 固化土及相关材料设计参数 17

附录B 固化土混合料现场取样成型及无侧限抗压强度试验方法 18

**前 言**

《固化土道路应用技术规程》（CECSXX:XXXX）经中国工程建设标准会协会XXXX年XX月XX日以第XX号文件公告批准发布。

本规程制订过程中，编制组广泛的调查研究了我国城市道路建设中，应用三合土、稳定土和“土壤固化剂”等方面的情况，同时总结了我国对“土壤固化剂”和固化土的研究和应用的经验，参考了国内外先进技术标准，并在广泛征求意见的基础上，制订本规程。

为便于广大设计、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，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、依据以及使用执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

**1 总则**

**1.0.1**固化土是利用少量水泥或其他胶结料胶结土粒，并采用化学方法激发土粒活性，使土粒共同参与固化反应，形成的一个整体性硬化土体，从而使土体的物理力学性能得到的提升，成为一种生态友好的新型岩土工程材料，是对古老三合土和传统稳定土等材料的继承和发展，是对混凝土材料的补充。固化土按成型工艺，可以分为压实型、灌塑型、流态型、喷涂型等。道路工程建设主要采用压实型固化土。

**1.0.2**固化土可以应用于公路和城乡道路建设。可以替代传统稳定土和水泥稳定碎石，而且可充分利用原地土源进行固化，避免挖土外弃和购土回填；大大减少砂石料的使用，保护青山绿水；无毒无害无污染、绿色环保；而且可以复垦修复。具有良好的社会效益和经济效益。为了规范固化土道路的设计、施工和验收，特编制本规程。

**1.0.3** 本规程规范了固化土在新建和改建的各种道路基层、底基层、垫层和路床处理，以及乡村道路面层的设计、施工及验收。除了本规程涵盖的道路工程外，其他铁路、水利、防渗、建筑等工程也可应用。

**2 术语和符号**

2.1.1～2.1.2 固化土按照成型工艺，分为压实型固化土、浇筑型固化土，本规程所指固化土为压实型固化土。

2.1.3为了规范行业术语，将固化土的各种原料混合之后的材料定义为固化土混合料，是拌和之后、成型之前的状态。

2.1.5~2.1.6 为了规范固化土各种原料定义，有助于澄清业内一些混乱的名称。 固化土外加剂是一类化学助剂，可以改善固化土多方面性能。所谓“土壤固化剂”只是固化土增强剂的一种，应符合行业标准《土壤固化外加剂》CJ/T486-2015。固化土还可能有其他外加剂，如防冻剂、膨胀剂、缓凝剂、处理剂等。

2.1.7明确了胶结料是一种胶凝材料，具有水化胶结性能。利用工业废渣开发的也是一类含有硅铝酸盐的胶结料。这类胶结料在生产过程中可以与某些粉状外加剂复合，因而可以组成兼具胶凝性和助剂作用的复合胶结料。

**3 原材料的技术要求**

3.1 土料

**3.1.1**由于土料是固化土的基础材料，其组成、液限、塑限、塑性指数、有机质含量会影响固化土的强度，需要选用土质符合要求的土料。一般应是低液限黏土。

**3.1.3** 在工程中遇到具有特殊性质的土，如经处理后能满足固化要求的，也可作为固化土的原料使用。建筑垃圾土和经过无害化处理的工业废渣、尾矿，经过试验检测符合固化和环保要求，也可作为固化土原料使用。胶泥土由于目前的机械难以拌合，还不能用于固化土。

3.2 胶结料

3.2.1～3.2.2 为了保证固化土混合料的质量，推荐使用42.5普通硅酸盐水泥，但不宜使用掺有大量非活性混合材的复合硅酸盐水泥。石灰和石灰-粉煤灰亦可作为固化土的胶结料，但是，早期强度偏低。

3.2.3利用工业废渣研究的复合胶结料是一类无熟料水泥，在道路工程建设中，只要具有良好的技术经济性，应该积极采用。也是保护环境，大量消纳工业废渣的有效途径。

3.3 外加剂

3.3.1～3.3.5 固化土可以通过化学外加剂来提高强度，改善物理力学性能。例如，土壤固化剂，是一种改性增强剂；收缩补偿剂是控制固化土收缩变形的外加剂；还有防冻剂等。由于土性的变异，一种外加剂并不一定适合所有的土料，需要根据土性、技术要求和经济性比较来选取外加剂品种及其用量。

3.4 水

3.4.1 规定了固化土的原材料中拌和水的要求。

3.5 原材料试验

**3.5.1～3.5.2** 固化土原材料的试验主要是土料、胶结料和外加剂。其中特别重要的是土样。试验的土样必须具有工程土源的代表性，而且，必须在工程施工前，复验实际工程土与送检土样的一致性。

**3.5.3** 胶结料要有正式的质量检验报告作为质量可靠性的保证。以采用正规品牌水泥为好，利用工业废渣研制的复合胶结料可以用于固化土，参考供应厂家推荐的用量，通过配合比试验，确定复合胶结料的合理用量，进行经济技术评估后方可采用。经对国内几个公司的复合胶结料产品进行试验，用量在10～15%，固化土强度可以达到2～4MPa。

**3.5.4** 由于土质的复杂性，工程中经常遇到土质的变异：一种土壤固化剂对某土质有较好的增强效果，但对另一种土质却没有显著的效果，甚至有负作用。因此规范了工程选用土壤固化剂的适用性原则。按照《土壤固化外加剂》CJ/T486的要求进行试验，以无侧限抗压强度比来确定土壤固化剂对现场工程土的适应性。界定无侧限抗压强度比小于110%为不适用。

**4 固化土混合料**

**4.1 一般规定**

**4.1.1**固化土混合料是由土料、外加剂、胶结料与水组成，经配料而未成型的混合物，混合料的配料是固化土最终性能的基础。混合料配合比是依据道路与荷载等级，所选定的固化土等级和有关技术要求来确定的。

**4.1.2** 根据工程可能选取的土料及其土性试验数据，工程设计需要固化土的等级和无侧限抗压强度等技术要求，进行固化土配合比的设计和试验。确定工程所需要固化土的配合比，确保固化土的质量。

**4.2 固化土的分类与等级**

**4.2.1** 本规程采用了以胶结料来进行固化土的分类。主要应用的无机胶结料为水泥、石灰、石灰-粉煤灰和利用工业废渣研制的复合胶结料四类。石灰-粉煤灰是“二灰”胶结料。单独粉煤灰只能是路基填料，不能成为胶结料。

生物酶虽然多家国外公司在国内推广多年，经查阅历史资料和我们实际试验，生物酶固化剂对土壤确有显着固化作用，但是 生物酶固化土耐水性和耐久性不足，泡水坍塌，不能作为道路固化土使用，因而没有列入固化土的类别。

**4.2.2**根据无侧限抗压强度对固化土进行了等级的划分并推荐其可能的应用领域。按照强度范围分为普通、中强、高强和超高强四个等级。工程可按设计要求分级选用。一般情况下，普通固化土可以用于底基层；中强固化土可以用于基层和高等级道路的底基层；高强固化土可以用于各等级道路的基层。乡村道路固化土面层宜用中强或高强固化土。

**4.2.3** 为了简明扼要的表示固化土的分类与等级，统一标注方法。本规程规定了固化土的标注方法，以0.5MPa为一个级别标注固化土。为设计图纸标注、技术文件等提供统一的表示方法。

**4.3固化土混合料的技术要求**

**4.3.1～4.3.3**规定了不同道路等级和荷载等级的道路固化土混合料的技术要求。主要是混合料的无侧限抗压强度。调研了有关研究和试验的成果，总结和汇总了参编单位的试验的数据，提出了“固化土混合料无侧限抗压强度标准”，按照道路等级和荷载等级，规定了最低无侧限抗压强度标准值，按照设计要求，经过试验，确定可以满足各等级公路和城镇道路基层、底基层要求的强度值。固化土完全可以满足高速公路、各等级公路和城镇道路基层和底基层的技术要求。由于固化土在后期（45-90天以后）仍有较大的强度发展，因而只规定了标准养护7d的最低值，具体强度设计值，可由技术经济综合评估来确定。

对于石灰和石灰-粉煤灰胶结料的固化土，由于早期强度较低，强度发展较慢，列出了强度标准值，对于高等级路面结构,达不到最低标准值的技术要求的石灰和石灰-粉煤灰胶结料的固化土不宜使用。

本规程提出了乡村道路各等级固化土面层的无侧限抗压强度最低标准值。因外观和耐磨性等要求，可以施加封层剂，铺设磨耗层和其他上面层。

4.3.4 在研究试验的基础上提出了固化土抗冻性指标及其试验方法。都以抗压强度损失和质量损失为评定指标。由于我国存在冻害的主要有两类地区，冬季最低温度不同，因此设置的冰冻温度也有所不同：对于寒冷地区，设置最低冰冻温度为-18℃；对于严寒地区，设置最低冰冻温度为-30℃。融化温度都是20℃。标准冻融循环分别为5、10次。以冻融强度损失和质量损失来评定抗冻性能。在有冻害地区，有防冻设计要求的工程，应加入固化土防冻剂。曾对严寒地区固化土（28天养护龄期）进行的冻融试验，其强度损失结果列于表5.3.4。

**表4.3.4 几组水泥固化土的深冷冻融试验**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 固化土配比 | 冻融条件 | 龄期/天 | 五次冻融强度损失 | 十次冻融强度损失 |
| 1 |  水泥6% | -30℃，20℃ | 27+1 | 12.4% | 21.7% |
| 2 | 水泥6% GJL-1-2（0.02%） | -30℃，20℃ | 27+1 | 19.0% | 24.5% |
| 3 | 水泥6% GJL-1-2（0.02%）+YG-防冻剂1（1%） | -30℃，20℃ | 27+1 | 14.4% | 17.9% |
| 4 | 水泥8% GJL-1-2（0.02%）+YG-防冻剂1（1%） | -30℃，20℃ | 27+1 | 8.7% | -5.0% |

**4.4 固化土混合料的配合比设计**

**4.2.1**主要解决固化土混合料中胶结料掺量选取问题，包括水泥、石灰和复合胶结料。由于土质的复杂性，只提供了掺量的范围，但不做严格限定。固化土中胶结料的掺量并非越多越好，某些土质中胶结料掺量过高会引起严重的收缩开裂，故应合理选用胶结料的加入量。最终通过试验和经济技术综合评定来确定。

例如：当土料的最大干密度小于1.8g/cm3时，设计固化土无侧限抗压强度在2MPa

以下，可选用普通型固化土，则水泥胶结料掺量可选3%～6%。

在采用生石灰胶结料配制混合料时，土料先加入石灰胶结料并混合以后需要闷料4～12小时，然后继续配料。

**5.2.2** 土壤固化剂应按产品标准《土壤固化外加剂》CJ/T486选用。由于工程土质的变异性，一种土壤固化剂不是对所有土质都能适应。本规程规范了土壤固化剂对土质的适应性和掺量的试验。在选用土壤固化剂时可参考厂家提供的掺量，并在掺量波动范围内选取三个掺量，进行强度试验，比较无侧限抗压强度比，确定土壤固化剂的适应性和掺量。

 **5 固化土道路结构设计**

**5.1 一般规定**

5.1.1～5.1.2固化土道路的基层、底基层和路基结构的设计可参考现行的道路设计规范。公路设计可参照《公路沥青路面设计规范》（JTGD50）和《水泥混凝土路面设计规范》（JTG40）等。城镇道路可参照《城镇道路路面设计规范》（CJJ169）执行。

5.1.3增强路基的稳固性是固化土道路设计的基本要求。可以参考上述三个规范对路基的要求，设计选取路床顶面回弹模量值。如下表所示（MPa）：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  荷载等级规程 | 极重 | 特重 | 重交通 | 中、轻交通 | 乡村交通 |
| JTG D50—2017 | 70 | 60 | 50 | 40 | —— |
| CJJ37—2012CJJ169—2011 |  主干路≮30 次干路≮20 |

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。

5.1.4 根据研究和试验，固化土可以用于各级道路基层、底基层和垫层。在固化土基层上面可以铺设沥青混凝土、水泥混凝土和路面砖。固化土可以达到高等级公路基层所要求的物理力学性能。由于其半刚性和板结性的特点，对于固化土基层上的沥青路面的稳定性十分有利。工程调查发现固化土基层上的沥青面层很少出现反射性裂缝。

5.1.5 等级道路以下的乡村道路、园林景区道路和矿区道路等，由于各类原因，多年来就已经在进行土基路面的施工应用，例如 农村的泥屑路等，只是强度和耐水等路面性能不好，还不能满足乡村道路的需求。因此固化土的出现，解决了土基路面强度、耐水等问题，很快就得到了应用。乡村应用固化土道路的趋势刚刚兴起，有必要在总结初步经验的基础上规范乡村固化土道路应用的一些基本的原则和施工方法，有利于今后的完善和发展。

**5.2 结构设计**

5.2.1 固化土用于城镇道路的基层与底基层，进行路面结构设计时可以参照《城镇道路路面设计规范》（CJJ169）有关规定；用于公路基层和底基层，可参考《公路沥青路面设计规范》（JTG D50）和《水泥混凝土路面设计规范》（JTG D40）,结构计算可以暂行《公路沥青路面设计规范》（JTG D50-2006）版本有关方法。有关固化土材料性能的参考值参见附录A.

6.2.2 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15 cm,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。

6.2.3 固化土道路基层的结构设计，在寒冷和严寒地区要考虑固化土的防冻措施；在干燥地区，要考虑干湿变形，防止出现干燥收缩裂缝。必要时可以加入固化土防冻剂和干燥收缩补偿剂。用量可根据供应商推荐值经试验而定。

**5.3 固化土面层的结构设计**

5.3.1：在乡村道路、园林景区道路、停车场和矿区道路等设计中，固化土可以应用于道路面层结构.并区分乡村干路、支路与巷路及不同荷载情况，采用二级固化土或三级固化土。干路或矿区干路也可采用一级固化土。

5.3.2 面层固化土要保证必要的厚度和结构层。一般厚度不应小于20cm；步行道也不宜小于15cm。

5.3.3 面层固化土需要考虑温度和干湿变形问题，典型固化土的干湿变形如图6.3.3。

尤其在北方干旱地区，干湿收缩较大，容易引起收缩裂缝。因此需要在面层固化土配比设计和试验时，测定干燥收缩值。降低干燥收缩值低于500x10-6。必要时可以加入膨胀剂或收缩补偿剂。一般应在固化土面层切锯伸缩缝，间距视配合比和地域不同而异，一般为6～20m。

5.3.4在寒冷和严寒地区，需要考虑面层固化土的冻害问题。根据试验，参照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》（JTG E51-2009）T0858-2009》<无机结合料稳定材料冻融试验方法>，寒冷地区采用标准养护30天试件，-18℃/20℃的冻融制度；严寒地区采用标准养护90天试件，-30℃/20℃的冻融制度，进行模拟试验。以强度损失率和质量损失率来评定固化土的抗冻性能。

5.3.6 固化土作为道路面层，需要考虑表观性、强度、抗滑性和耐磨性等，综合设计固化土面层结构。可以进行表面的封层处理、可以在面层添加砂石料或耐磨骨料、也可以增设磨耗层作为上面层等。这三种方法都有使用，在不同条件下都具有良好的效果。几种道路固化土面层的抗滑技术指标—摆式值（BPN）测定结果如表6.3.5。由测试结果可以看到，固化土面层具有良好的抗滑性能，满足路面抗滑性要求。参考JTJ073.1-2001《公路水泥混凝土路面养护技术规范》中水泥混凝土路面养护质量标准对抗滑的指标要求。

表5.3.5 道路固化土面层抗滑性指标，摆式值（BPN）测试结果

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 温度 | 温度修正值 | 实测值 | 摆式值（BPN） | 技术要求值 |
| 北京通州广渠路东延线固化土基层，压实度：96% | 25℃ | +2 | 64+64+65+65+65 | 66.6 | ≥42（JTJ073.2-2001）≥45(JTJ073.1-2001) |
| 北京房山黄山店景区停车场固化土面层，压实度：96% | 25℃ | +2 | 69+68+70+70+68 | 71 |
| 固化土表面涂刷封层剂 | 25℃ | +2 | 53+53+54+55+54 | 55.8 |
| 固化土中粗砂面层 | 25℃ | +2 | 65+66+65+64+66 | 67.2 |

**6 固化土道路的施工**

**6.1 一般规定**

6.1.1 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，特殊土地区应根据《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》（JTG/TD31-02-2013）及《黄土地区公路路基设计与施工技术规范》（JTG/TD31-05-2017）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。

6.1.2 原材料作为道路施工的主体构成，其质量合格是实现工程质量合格的基础条件。原材料检验按照相应规范标准具体规定执行。

机具设备配置方案按照施工组织设计要求执行，做到功能齐备数量到位。这是确保工程施工质量的基本措施。有关配置和操作安全等事项根据《公路工程施工安全技术规范》JTG F90-2015中相关规定执行。

6.1.3 本规程特别对土源及其储量做出要求。为了保证工程的施工质量，必须要求土源充足，土质的基本稳定，从而保证固化土配比的稳定有效。改变土源必须重新进行土性和配合比的设计试验。非必要情况不宜更换土源。

6.1.4 固化土的施工，必须确保在固化土混合料凝结时间内完成。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。

6.1.5 固化土工程的施工要在完成试验段以后才能全面实施。具体根据《公路路基施工技术规范》JTG F10-2006相应规定和本规程要求执行。关于季节性施工按照现行相应规范标准执行。

**6.2 施工准备**

6.2.1～6.2.2 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。同时要落实土源，并采取代表性土样送实验室检验和复核固化土配比的可靠性。

6.2.3 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。

6.2.4 本条强调施工准备中对人、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。

6.2.5 本条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1000～3000 m2。

6.2.6 确定混合料摊铺量的因素和材料用量计算方法。

6.2.7 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 路拌法施工**

6.3.1 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。

6.3.2 本条强调固化土基底路床的重要性。要求压实路床基土，回弹模量达到设计要求值，以构筑稳固的基底。

6.3.3 土层松铺厚度应等于压实厚度乘以松铺系数。松铺系数是一个重要的技术参数，一般由项目试验段的填筑试验来确定。松铺系数的大小直接影响到铺筑厚度、平整度及压实效果。

 6.3.4～7.3.5 土料和和水泥的摊铺，不论是机械还是人工辅助摊铺，都必须摊铺厚薄均匀。否则都会影响混合的均匀性和性能的偏差。

6.3.6～7.3.8 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外加剂量，拌合的均匀度。

6.3.9～6.3.10 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。

**6.4 厂拌法施工**

6.4.3 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。

6.4.4～6.4.5 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4小时，就必须采用缓凝型固化土，凝结时间可以达到8小时。

**6.5固化土道路面层施工**

6.5.1 固化土作为道路面层，施工时土料中不得含有胶泥、草根、有机垃圾和石块，最大石块直径不得大于10mm。裸用固化土面层土料宜在施工前过筛处理。

6.5.3 面层固化土施工时要有压实度和平整度，因此，要正确执行压实工艺，避免坑洼沟槽和分层起皮。最好配置有胶轮压路机。

6.5.4 为了释放面层固化土的干湿收缩应力，避免或减少干缩裂缝的出现，可以在养护后期切锯伸缩缝。

6.5.5 裸用道路固化土表面，一般应作封层处理。封层剂可在固化土表面形成耐水薄膜，减少水分浸入或通过毛细渗透，可以提高固化土表面的耐久性及磨耗性。

6.5.6 在表面封层处理不能满足要求时，可以在表面增设磨耗层或上面层，例如铺设砂石层。

**6.6 养护**

6.6.1～6.6.4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，对固化土强度的发展有利。

**7 质量检验与验收**

**7.1 一般规定**

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。

为此，规定工程现场必须设有专职的技术与质量检验人员；设有必要的质量检验机具设备，或委托第三方专业检测机构跟踪检验；对施工过程有完备的记录和档案。

除本规程规定以外，原材料、施工机具及施工过程还必须满足设计及相关规范标准要求。

**7.2 质量控制**

7.2.1 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；路拌法施工要特别关注混合料的拌合均匀性，尤其是边缘拐角出的拌合物。

7.2.2 参照现行相关规范标准，提出了固化土道路的外形尺寸要求。

对于面层固化土的外观标准提出了初步要求，有待在施工中丰富完善。

7.2.3 根据大量项目施工经验，拌合料色度的均匀性，与拌和均匀度具有强相关性。

7.2.4 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。

7.2.5 在强度检测中，由于混合料的均质性偏差，导致满足保证率或目标可靠度的条件下，现场取样制作的试件强度比设计强度要高出20-30%。由于固化土施工现场没有混合料取样制作试件的机具和条件，设计了“別携式成型试验机”和成型养护方法，实现了现场取样制作试件，并进行养护和测定强度。这对于固化土施工现场的强度检测控制十分重要。具体方法参见附录B

**7.3 检查验收**

7.3.1 本规程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。无侧限抗压强度以现场混合料取样制作试件，经养护后测定强度值，并以取芯测定强度验证之。

7.3.3 参考公路等相关道路规范，对道路结构层的弯沉值有一定的标准要求，当设计要求检测弯沉值时，需按照要求检测验收。当设计不做要求时，固化土道路一般不做弯沉值检测。

**附录A**

**固化土及相关材料设计参数**

在编制过程中，编制组收集了大量固化土的相关数据，参考其他技术标准中的材料数据，同时进行了试验检测，根据检测结果及调研结果进行汇总，提出该表中的固化土性能数据。

**附录B**

**固化土混合料现场取样无侧限抗压强度试验方法**

固化土混合料现场检测的必要性在于检验现场混合料配比是否达到设计要求，是检验现场施工质量的一项措施。现场也可参考此方法制作平行试件，通过检测平行试件的强度了解现场固化土强度发展情况。此设备由中城永固科技发展（北京）有限公司的专利提供。