

**T/CECS ×××－202×**

**中国工程建设标准化协会标准**

**硅热法镁渣基土壤固化剂应用技术规程**

Technical specification for magnesium slag made by silicothermic reduction based soil stabilizer

（征求意见稿）

**XXXX出版社**

中国工程建设标准化协会标准

**硅热法镁渣基土壤固化剂应用技术规程**Technical specification for magnesium slag made by silicothermic reduction based soil stabilizer

**T/CECS ×××－202X**

主编单位：陕西建科岩土工程有限公司

陕西省建筑科学研究院有限公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

施行日期：202**×**年**××**月1日

**XXXX出版社**

202× 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会【关于印发《2023年第一批协会标准制订、修订计划》的通知】（建标协字[2023]10号）的要求，编制组经过深入调查研究，结合工程实践和专项研究，认真总结经验，参考国内相关标准，并在广泛征求意见的基础上，制订本规程。

本规程共分为 8章和4个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、固化剂、固化剂配合比、回填工程、固化土垫层及路基和固化土挤密桩等。

本规程的某些内容涉及一种应用于黄土地基处理的镁渣土制备方法（ZL 2021 1 0573703.3）、一种环保再生回填料及其制备方法（ZL 2022 1 0710323.4）、一种适用于硅热法炼镁镁渣基胶凝材料的外加剂及其应用（ZL 2022 1 0710314.5）等专利。涉及专利的问题，使用者可直接与主编单位及专利权人协商处理。除此之外，部分内容仍有可能直接或间接涉及其他专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会湿陷性黄土专业委员会归口管理，由陕西建科岩土工程有限公司负责具体技术内容的解释。本规程在执行过程中，如有需要修改或补充之处，请将有关资料寄送至解释单位（地址：陕西省西安市莲湖区环城西路北段272号；邮编710082；联系电话029-88644520；Email：jkyt88644520@163.com），以供修订时参考。

**主编单位：**陕西建科岩土工程有限公司

陕西省建筑科学研究院有限公司

**参编单位：**唐山盾石建筑工程有限责任公司

宁夏建筑设计研究院有限公司

山西省建筑科学研究院集团有限公司

甘肃省建筑科学研究院（集团）有限公司

河南省博瑞地质工程有限公司

陕西中祥基础工程有限责任公司

西北农林科技大学

府谷县泰达煤化有限责任公司

**主要起草人：**

目 次

[1 总 则 （1](#_Toc184716713)）

[2 术 语 和 符 号 （2](#_Toc184716714)）

[2.1 术 语 （2](#_Toc184716715)）

[2.2 符 号 （3](#_Toc184716716)）

[3 基 本 规 定 （4](#_Toc184716717)）

[4 固 化 剂 （5](#_Toc184716718)）

[5 固 化 土 配 合 比 （8](#_Toc184716719)）

[5.1 一 般 规 定 （8](#_Toc184716720)）

[5.2 配 合 比 设 计 （9](#_Toc184716721)）

[6 回 填 工 程 （16](#_Toc184716722)）

[6.1 一 般 规 定 （16](#_Toc184716723)）

[6.2 设 计 （16](#_Toc184716724)）

[6.3 施 工 （17](#_Toc184716725)）

[6.4 质 量 检 验 与 验 收 （19](#_Toc184716726)）

[7 固化土垫层及路基 （20](#_Toc184716727)）

[7.1 一 般 规 定 （20](#_Toc184716728)）

[7.2 设 计 （20](#_Toc184716729)）

[7.3 施 工 （21](#_Toc184716730)）

[7.4 质 量 检 验 与 验 收 （21](#_Toc184716731)）

[8 固化土挤密桩 （23](#_Toc184716732)）

[8.1 一 般 规 定 （23](#_Toc184716733)）

[8.2 设 计 （23](#_Toc184716734)）

[8.3 施 工 （25](#_Toc184716735)）

[8.4 质 量 检 验 与 验 收 （26](#_Toc184716736)）

[附录A 固化剂净浆流动度的测试方法 （28](#_Toc184716737)）

[附录B 增强剂的抗压强度比测试方法 （29](#_Toc184716738)）

[附录C 流态固化土立方体抗压强度测试方法 （30](#_Toc184716739)）

[附录D 流态固化土拌合物流动扩展度测试方法 （31](#_Toc184716740)）

[用词说明 （33](#_Toc184716741)）

[引用标准名录 （34](#_Toc184716742)）

Contents

1 General provisions （1）

2 Terms and symbols （2）

2.1 Terms （2）

2.2 Symbols （3）

3 Basic requirements （4）

4 Stabilizer （5）

5 Mix proportion of stabilized soil （8）

5.1 General requirements （8）

5.2 Mix design （9）

6 Backfilling engineering （16）

6.1 General requirements （16）

6.2 Design （16）

6.3 Construction （17）

6.4 Quality inspection and acceptance （19）

7 Replacement layer of stabilized soil and Subgrade treatment （20）

7.1 Subgrade treatment （20）

7.2 Design （20）

7.3 Construction （21）

7.4 Quality inspection and acceptance （21）

8 Compaction pile of stabilized soil （23）

8.1 General requirements （23）

8.2 Design （23）

8.3 Construction （25）

8.4 Quality inspection and acceptance （26）

Appendix A Test method for fluidity of stabilizer （28）

Appendix B Test method for compressive strength increaseratio of reinforcing agent （29）

Appendix C Test method for compressive strength of fluidized stabilized soil （30）

Appendix D Test method for fluidity of premixed fluidized stabilized soil mixture （31）

Explanation of wording in this specification （33）

List of quoted standards （34）

1 总 则

**1.0.1** 为了规范硅热法镁渣基土壤固化剂的工程应用，做到安全可靠、技术先进、低碳环保、节约资源，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于使用硅热法镁渣基土壤固化剂的回填工程、路基处理和建筑地基处理的设计、施工、质量检验与验收。

**1.0.3** 硅热法镁渣基土壤固化剂应用，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准及中国工程建设标准化协会标准的规定。

2 术 语 和 符 号

2.1 术 语

**2.1.1** 硅热法镁渣基土壤固化剂 magnesium slag made by silicothermic reduction based soil stabilizer

硅热法镁渣基土壤固化剂是利用硅热法炼镁镁渣为基材，加工后和其它掺合料复配而成的土壤固化剂，简称固化剂。

**2.1.2** 基土 original soil

尚未掺入固化剂的天然土、地铁盾构渣土、工程弃土和建筑垃圾再生料等。

**2.1.3** 添加剂 additive

能改变流态固化土性能的少量泡沫剂、增强剂和防水剂等。

**2.1.4** 镁渣基固化土 stabilized soil made by magnesium slag

基土中加入硅热法镁渣基土壤固化剂后形成的具有一定强度、水稳定性和低渗透性的岩土工程材料。分为流态固化土和非流态固化土。

**2.1.5** 流态固化土 fluidized stabilized soil

具有一定流动性和自密实性，可采用浇筑方式施工的固化土。

**2.1.6**  非流态固化土 non-fluidized stabilized soil

不具有流动性和自密实性，采用压（击）实后养护成型等传统施工工艺的固化土。

**2.1.7** 拌合土 mixed soil

固化剂等与基土充分拌合，尚未发生物理变化和化学反应的拌合物。

**2.1.8** 掺量 mixing ratio

固化剂质量与干燥基土的质量之比，以百分数表示。

**2.1.9** 配合比 mixing proportion

拌合土组成材料的质量比例关系。

**2.1.10** 水固比 water-solid ratio

固化土中水的质量和其它固态材料总质量之比，以百分数表示。

**2.1.11** 流动扩展度 fluidity of mixture

流态固化土拌合物从内径75 mm、高150 mm的圆柱形测试筒中塌落后扩展形成饼状体的直径。

**2.1.12**  拌合物湿密度 wet density of fluidized stabilized soil mixture

流态固化土拌合物在硬化前的单位体积质量。

**2.1.13** 立方体抗压强度 cube compressive strength of reinforced soil

流态固化土立方体试件在无侧限压力条件下，抵抗轴向压力的极限强度。

**2.1.14** 水稳系数 water-related stability coefficient

在7 d或指定龄期时，一组试件提前浸水24 h后的抗压强度平均值与一组未浸水试件的抗压强度平均值的比值。

**2.1.15** 固化土垫层 replacement layer of stabilized soil

将土壤固化剂与基土按比例拌合均匀，并夯压密实形成的垫层。

**2.1.16** 固化土桩 compaction pile of stabilized soil

将土壤固化剂与基土按比例拌合均匀采用夯填或灌注流态固化土固化成型的桩体。

2.2 符 号

α——固化剂掺量；

mc——掺入的固化剂质量；

md——流态固化土所用土料的干燥质量。

3 基 本 规 定

**3**.**0**.**1** 采用固化土填筑的工程应进行专项设计，由设计根据工程实际要求确定并提出固化土的性能指标。

**3**.**0**.**2** 沟槽、防空洞和采空区等空间的回填宜采用流态固化土，地基处理和路基处理工程可采用非流态固化土或流态固化土。

**3**.**0**.**3** 固化剂不得混入危险废弃物。污染土壤未经专项研究并获准允许使用，不得作为固化土的基土。

【条文说明】**3.0.3** 硅热法镁渣pH值为11-12，不满足直接排放的要求。但其碱性较高，能够与粉煤灰、白灰、水泥、矿粉和石膏等胶凝材料及工业固废产生协同增强的作用，能够制备对环境无污染的镁渣基土壤固化剂。固化剂在土壤中含量不超过20%时即可产生优异的固化作用。在固化过程中，固化剂能够有效吸附并固定污染土壤中的重金属离子，具有一定的环保效益。然而，未经处理的危险废弃物对环境危害较大，在镁渣基固化剂的原材料选取中，不应纳入考虑范围。

**3**.**0**.**4** 固化土应充分利用现场基土，并应根据设计要求、基土和施工条件选择固化剂种类和进行配合比设计。

**3**.**0**.**5** 固化土的质量检测应包括原材料性能检测、固化土性能检测和施工质量检测。

**3**.**0**.**6** 固化土填筑过程应保存完整的施工记录和试验报告。

**3**.**0**.**7** 固化土的原材料和施工应满足安全和环保要求。

4 固 化 剂

**4**.**0**.**1** 固化剂原材料应符合下列要求：

**1** 镁渣粉应满足现行国家标准《镁渣硅酸盐水泥》GB/T 23933中镁渣放射性和活性指数的规定。含水量不应大于1%，150 μm方孔筛筛余不应大于20%。

【条文说明】**4.0.1** 镁渣粉作为镁渣基土壤固化剂的主要成分，其成分中的MgO和游离CaO可在水化反应中产生膨胀，抵消黄土的湿陷性，和水泥水化产生的收缩，MgO和游离CaO属于有效成分。因此，本规程不再规定镁渣粉的MgO不大于8%。考虑环保因素，对镁渣粉的放射性进行规定。

**2** 水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB175的规定，强度等级不应低于42.5。不同等级、厂牌、品种和出厂日期的水泥不得混用。

**3** 粉煤灰应不低于现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596规定的Ⅱ级标准要求。

**4** 钢渣粉应不低于现行国家标准《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》GB/T20491规定的二级标准要求。

**5** 生石灰应符合现行行业标准《建筑生石灰》JC/T 479的规定；消石灰应符合现行行业标准《建筑消石灰》JC/T 481的规定。

**6** 再生微粉应不低于现行行业标准《混凝土和砂浆再生微粉》JG/T 573规定的Ⅱ级标准要求。

**7**  水泥窑灰、焚烧灰、烟尘灰等活性混合材应符合现行国家标准《用于水泥中的火山灰质混合材料》GB/T 2847的要求，附着水含量应不大于1%，80 μm方孔筛筛余不应大于30%，强度活性指数不应小于65%，需水量比不应大于115%。

**8** 脱硫灰、工业副产石膏、固废基活性混合材应符合现行国家标准《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》GB 18599的一般固体废物的要求。

**4**.**0**.**2** 添加剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076的规定。

**4**.**0**.**3** 固化剂的物理指标及测试方法应符合表4.0.3的规定。

**表4.0.3 固化剂物理指标**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 技术要求 | 测试方法 |
| 细度（150 μm） | ≤10% | 现行行业标准《软土固化剂》CJ/T 526 |
| 含水量 | ≤1% |
| 外观 | 色泽均匀，不结块 | 目测 |

【条文说明】**4.0.3** 根据实验结果可知，将镁渣基土壤固化剂过150 μm方孔筛和75 μm方孔筛后对同一土体进行改良，在相同的龄期下，使用过150 μm方孔筛固化剂的固化土抗压强度更高。因此，镁渣基土壤固化剂的物理指标中规定固化剂过直径150 μm的方孔筛筛余为10%。同时，适当放宽粒径可降低生产能耗，符合节能环保的要求。

**4**.**0**.**4** 固化剂的工艺指标及测试方法应符合表4.0.4的规定。

**表4.0.4 固化剂工艺指标**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | | 技术要求 | 测试方法 |
| 净浆流动度 | 初始 | ≥100 mm | 按本规程附录A执行 |
| 30 min | ≥90 mm |
| 60 min | ≥80 mm |
| 初凝时间 | | ≥45 min | 按现行国家标准《水泥标准稠度、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346执行 |
| 终凝时间（h） | | ＜48 h |

注：施工时从搅拌到浇筑时间不超过**1** h时，对净浆流动度可不做要求。

【条文说明】**4.0.4** 由于固化剂主要成分为镁渣，镁渣中含有20%左右的慢硬性水泥主要成分β-C2S。因此，在工程中，选择镁渣含量较大的固化剂配比，且外加胶凝活性较低的脱硫石膏、粉煤灰和高性能矿物掺合料时，固化剂的凝结时间变长。

**4**.**0**.**5** 添加剂使用前应进行适应性试验，对固化土的生产、施工和相关性能应无不良影响。采用新型添加剂前，应进行专项试验验证。

**4**.**0**.**6** 增强剂的性能指标及测试方法应符合表4.0.6的规定。

**表4.0.6 增强剂的性能指标**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 性能指标 | | 测试方法 |
| 外观 | 液体 | 粉体 |
| 密度/(g/cm3) | D±0.05 | D±0.1 | 按现行国家标准《土壤固化外加剂》CJ/T 486 |
| 含固量 | S±2.0% | -- |
| 含水率 | -- | ＜1% |
| pH值 | P±1.0 | -- |
| 抗压强度比 | ≥120% | | 本规程附录B |

注：表中D、S、P分别为密度、含固量、pH值的生产厂控制值。

**4**.**0**.**7** 泡沫剂应符合现行行业标准《泡沫混凝土用泡沫剂》JC/T 2199的规定。防水剂应符合现行行业标准《砂浆、混凝土防水剂》JC/T 474的规定，且防水剂受检砂浆的性能指标及测试方法应满足表4.2.5的要求。

**表4.0.7 防水剂受检砂浆的性能指标**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | | 性能指标 | 测试方法 |
| 凝结时间 | 初凝/min | ≥45 |
| 终凝/h | ≤10 | 现行行业标准《砂浆、混凝土防水剂》JC/T 474 |
| 抗压强度比/% | 28 d | ≥90 |
| 吸水量比/% | 48 h | ≤60 |
| 收缩率比/% | | ≤80 |

5 固 化 土 配 合 比

5.1 一 般 规 定

**5**.**1**.**1** 应根据可选用的基土种类、性质及固化土的设计和施工要求，比较其经济性、环保性等，确定固化土原材料种类和适宜的配合比。

**5**.**1.2** 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，基土的检验内容应包括含水量、粒径和有机质含量等。检验结果应符合本规程5.1.1条的规定。

**5**.**1**.**3** 基土宜采用粘性土、建筑垃圾再生料和地铁盾构渣土等。基土的有机质含量不宜超过5%，石料的最大粒径不应大于20 mm。污染土壤在未经专项研究并获准允许使用前，不得作为固化土的基土。

【条文说明】**5.1.3** 基土的选取应遵循“就近原则”。随着城市改扩建工程的增加，建筑垃圾再生料和地铁盾构渣土资源化利用已经成为亟待解决的重大问题。但由于建筑垃圾再生料自身强度的限制，在未经处理直接用于混凝土骨料时，往往无法在强度等级高的混凝土中应用。然而，回填工程对于强度的要求比混凝土砌筑工程低很多且用量大，为建筑垃圾再生料的有效消解创造了条件。而地铁盾构渣土在经过无害化处理后，含水率一般为30%左右，用于流态固化土时，可节约工程用水量。本条参考《土壤固化剂应用技术标准》CJJ/T 286中的规定，为保证固化土的稳定性，土中的有机质含量不宜超过10%；基土中石料的最大粒径不应大于20 mm，大于20 mm的石（土）料在流态固化土拌合物搅拌时会破坏搅拌机叶片，因此应在使用前先行筛除。

**5.1.4** 当基土为重金属污染土时，28d固化土浸出液中重金属含量最大限值应符合现行国家标准《城市污水再生利用 绿地灌溉水质》GB/T 25499的规定。

**5.1.5** 固化土拌合用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63中关于钢筋混凝土用水的规定。

**5**.**1**.**6** 设计流态固化土前应确定固化土拌合物流动扩展度和凝结时间等指标。

**5**.**1.7** 固化土配合比设计应按下列步骤进行：

**1** 测定基土的含水率及最优含水量，当有特殊要求时，增加基土相关性能的试验；

**2** 确定固化剂掺量；

**3** 计算配合比中各材料用量；

**4** 进行固化土试配；

**5** 调整和确认固化土配合比。

**5**.**1.8** 固化土配合比应采用质量比，基土质量应按照土的干质量计算。

**5**.**1.9** 应根据土料的成分和固化土的性能指标要求确定固化剂的掺入。固化剂掺比应按式（5.1.9）计算，固化剂掺入比的基准值可按设计要求的固化剂掺入比执行。固化剂掺比宜为基土质量的5%~20%。

 （5.1.9）

式中：——固化剂掺量（%）；

——掺入固化剂的质量（kg）；

——基土的干质量（kg）。

【条文说明】**5.1.9** 当固化剂掺量少于基土质量的5%时，固化效果不明显，当固化剂掺量超过基土质量的20%时，经济性下降，因此综合考虑，固化剂掺量宜为基土质量的5%~20%。

**5**.**1**.**10** 当固化土有环境控制要求时，应明确固化土的重金属浸出物毒性的限值，测试方法宜符合现行国家标准《水泥胶砂中可浸出重金属的测定方法》GB/T 30810的规定。

5.2 配 合 比 设 计

Ⅰ 流态固化土配合比设计

**5**.**2**.**1** 流态固化土立方体抗压强度、流动扩展度、凝结时间和拌合物湿密度等性能指标应根据填筑工程的设计和施工要求确定。流态固化土的立方体抗压强度的测试方法应按照本规程附录C执行。

**5.2.2** 流态固化土配合比设计的试块抗压强度不应小于要求强度值的1.2倍，当流态固化土的服役环境位于地下水位以下或水位变动区时，试配的流态固化土试块抗压强度不应小于设计抗压强度的1.3倍。

【条文说明】**5.2.2** 考虑到固化土服役的安全性，固化土强度应在设计强度的基础上至少提高30%。

**5.2.3** 当填筑体有抗渗性要求时，28 d龄期的流态固化土渗透系数不宜大于1.0×10-5 cm/s；有防治污染物扩散等特殊要求时，28 d龄期流态固化土渗透系数不宜大于1.0×10-7 cm/s。流态固化土渗透系数的测试方法可按照现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123中变水头渗透试验方法进行。

**5.2.4** 流态固化土固化剂的类型及其掺量、土料用量和用水量应通过试验确定，并应表达为1 m3流态固化土的各种材料的组成质量。

【条文说明】**5.2.4** 流态固化土的水固比应通过试拌确定，并确定拌合物流动扩展度，应保证运输和施工泵送的技术指标，流动扩展度的试验方法应按照本规程附录D的规定执行。当无明确要求时，流态固化土拌合物的工作性可按表1确定。

**表1 流态固化土拌合物的工作性能**

|  |  |
| --- | --- |
| 工程应用类别 | 施工时拌合物工作性 |
| 管廊、建筑、轨道交通工程等基槽、空洞或其它狭窄空间的建筑；  建筑结构空间内的非承重填筑；  交通工程的台背、涵背和墙背等部位回填 | 根据工程需要的流动扩展度如下划分：  一般流动性拌合物宜为160 mm~220 mm；  大流动性拌合物宜为大于220 mm |
| 地下管线安装填埋 | 根据工程需要确定，流动扩展度不小于160mm |

**5**.**2**.**5** 添加剂的种类和用量应符合下列规定：

**1** 设计的流态固化土28 d立方体抗压强度大于0.5 MPa或有抗渗、抗冻等特殊要求时，宜掺入增强剂，其种类和掺量应通过试验确定；

**2** 设计的流态固化土拌合物湿密度要求小于1000 kg/m3时，宜掺入泡沫剂，其种类和掺量应通过试验确定；

**3** 设计的流态固化土有低吸水率或憎水等特殊要求时，宜掺入防水剂，其种类和掺量应通过试验确定；

**4** 其它添加剂的使用应经过试验验证，满足设计和施工要求且对流态固化土性能和环境无不良影响时方可使用。

**5.2.6** 流态固化土的试配拌合物应测试拌合物的初始流动扩展度、经时流动扩展度、拌合物湿密度、凝结时间，以及设计指定龄期的抗压强度及设计要求的其他技术指标。流态固化土的初凝和终凝时间测试可按现行国家标准《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346执行。

**5.2.7**  用水量和添加剂用量应考虑拌合物从搅拌设备运送到填筑点过程中的流动扩展度损失以及凝结时间的变化。

**5.2.8** 配制的流态固化土拌合物应保持良好的和易性，不得出现离析和明显泌水。

**5.2.9** 流态固化土首次进行试配时，可先固定用水量和必要的添加剂用量，按照间隔2%~3%的固化剂掺量，进行不少于3组流态固化土的试配，以确定合适的固化剂掺量。

**5.2.10** 设计配合比应根据试配结果选择满足要求的配合比。当有一组以上配合比满足要求时，应选择较为经济的配合比；当3组配合比都不能满足要求，或土料来源和性质发生显著变化时，应重新设计配合比。

**5.2.11** 首次采用的流态固化土配合比应进行开盘鉴定。施工配合比应根据基土的实际含水率等变化因素，对设计配合比进行必要调整，计算出施工配合比。

**5.2**.**12** 对于非地下环境中的填筑工程，应提出固化土的长期强度、抗冻融和干湿循环等性能要求。

Ⅱ 非流态固化土配合比设计

**5.2.13** 试配的固化土试块抗压强度不应小于设计抗压强度的1.30倍。非流态固化土的抗压强度的测试方法应按照现行行业标准《[水泥土配合比设计规程](https://www.baidu.com/link?url=AsHASG1IB5rYt2ocgtcPoAN-kTXaM02guL9gQ2fHZzlNd12N7XqMEw_IcvloC0373ENnGAVYDNwBvWSycOXtu_&wd=&eqid=f444b1530003521b0000000666f6256c)》[JGJT233](https://www.baidu.com/link?url=AsHASG1IB5rYt2ocgtcPoAN-kTXaM02guL9gQ2fHZzlNd12N7XqMEw_IcvloC0373ENnGAVYDNwBvWSycOXtu_&wd=&eqid=f444b1530003521b0000000666f6256c)执行。

【条文说明】**5.2.13** 硅热法镁渣基固化剂配制的非流态固化土水稳系数大约为0.8，为保证试块浸水后的强度仍然能够达到设计要求，将试配试块的强度定为0.8的倒数，即1.25倍，固化土试配试块的抗压强度应大于设计抗压强度，以消除实验室制样和施工现场施工养护的条件差异带来的强度差距。综合考虑水稳性和工程实践中养护条件差异的因素，将实验室抗压强度定为设计强度的1.30倍。本条实验依据如下：表2为非流态固化土水稳系数实验结果，基土选取宁夏盐碱土和榆林黄土，其水稳系数均大于80%。且在同一掺量下，固化剂对宁夏盐碱土水稳系数的提高效果优于对榆林黄土的提高，说明固化剂对盐碱土水稳性优化效果更佳。

**表2 非流态固化土水稳系数**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 配合比编号 | 水稳系数 | 配合比编号 | 水稳系数 |
| 宁夏盐碱土-5 | 89.7% | 榆林黄土-9 | 88.8% |
| 宁夏盐碱土-6 | 85.1% | 榆林黄土-10 | 82.0% |
| 宁夏盐碱土-7 | 96.6% | 榆林黄土-11 | 85.6% |
| 宁夏盐碱土-8 | 90.9% | 榆林黄土-12 | 90.0% |

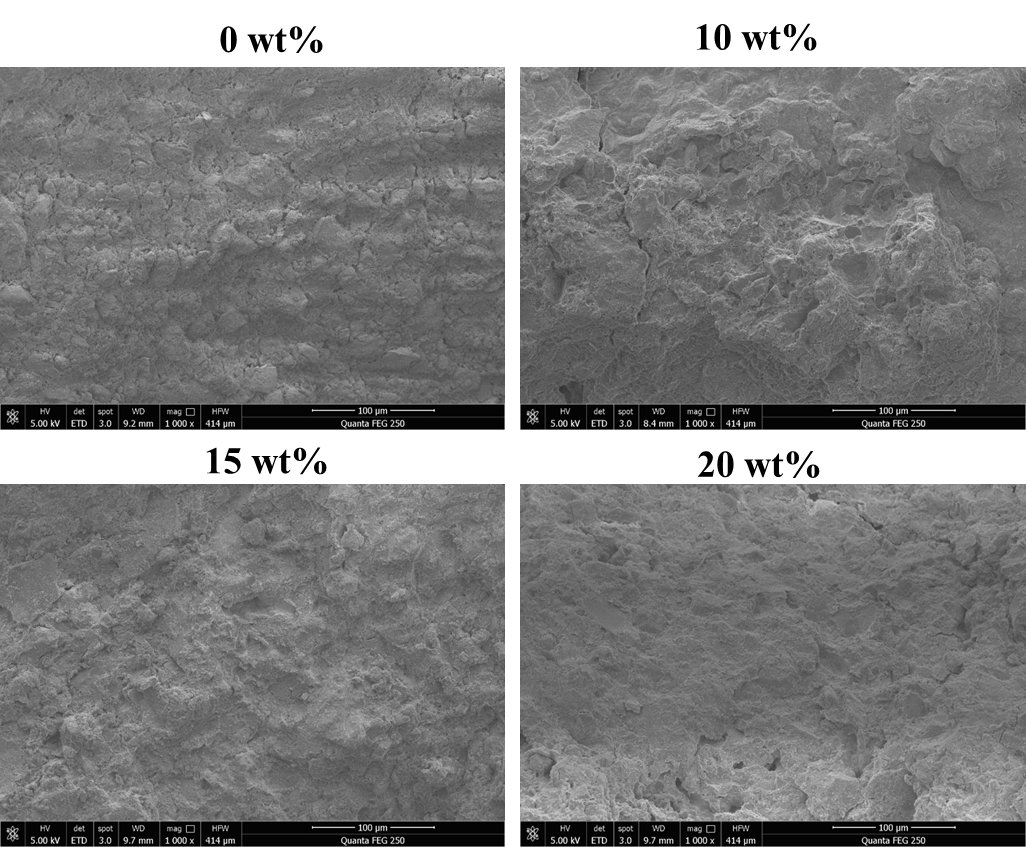
**5.2.14** 非流态固化土的具体性能指标应满足设计要求，无设计要求时，可按表5.2.16确定。

**表5.2.14 非流态固化土性能**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 性能指标 | 检测方法 |
| 28 d无侧限抗压强度（MPa） | 0.5~5 | 《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51 |
| 早强剂增强比（%） | ≥120 | 《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51 |
| 水稳系数（%） | ≥80 | 《土壤固化外加剂》CJ/T 486 |
| 28 d抗冻性能（%） | 抗冻指数≥80  质量损失≤5 | 《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51 |
| 无侧限抗压强度比（%） | ≥120 | 《土壤固化外加剂》CJ/T 486 |
| 4 h凝结时间影响系数（%） | ≥90 | 《土壤固化外加剂》CJ/T 486 |

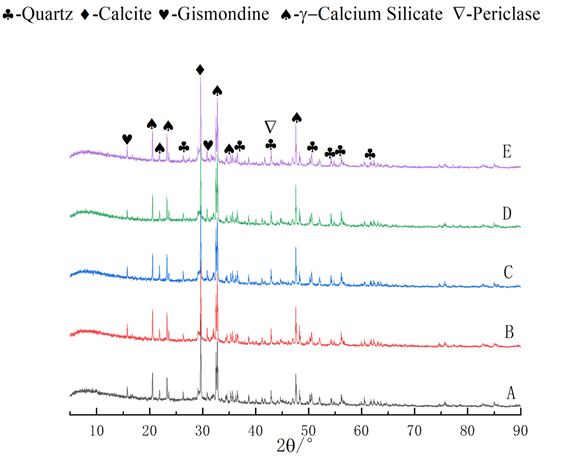
注：有抗冻性要求的地区，固化土应进行28d抗冻性能检测。

【条文说明】**5.2.14** 根据非流态固化土的实验数据，同一配比时，加入早强剂后，固化土的7 d无侧限抗压强度至少为未加早强剂固化土的1.2倍，考虑到不同施工工程的设计要求和成本预算的差异，对早强剂的性能要求较为宽泛；同时，在未作设计要求时，根据工程设计和施工要求灵活选取配比。抗冻性能的实验应根据《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51要求进行养生28 d后，冻融5次。本条实验依据如下：28 d无侧限抗压强度的性能指标依据为实验室无侧限抗压强度值。根据实验结果可知，随着固化剂掺量从5%增加到20%，非流态固化土的抗压强度可由0.4MPa增加至5.8MPa。图1为固化剂掺量对非流态固化土微观形貌的影响，由图1可以看出，固化剂掺量的增加能够提高黄土基体的致密度，使其具有一定的胶凝性，进而提高土体强度；且随着固化剂掺量的增加，对土体强度的提高越显著。



**图1 固化剂掺量对非流态固化土微观形貌的影响**

不同配比固化剂的微观晶体结构对比如图2所示。通过对XRD测试结果分析可知，随着有机-无机激发剂配比的变化，在同一掺量和龄期下，固化剂中的方解石（CaCO3）和斜方钙沸石（Ca-fau）的含量改变。由于黄土引入带来了新的水化产物，激发剂引起的晶型变化在固化剂掺入土体后更加复杂，不同有机-无机激发剂造成的宏观力学性能变化，是由于激发剂引起了固化剂和土体化合物反应生成了不同的晶型引起。激发剂的配比不同，造成了固化土强度、流动扩展度和凝结时间的不同。因此，可通过调整固化剂的配比实现固化土各种性能的调整。



**图2 不同配比固化剂的改性效果**

表3为非流态固化土28 d抗冻性能实验数据，主要针对西北寒冷地区的榆林黄土和宁夏盐碱土进行实验。掺入固化剂的非流态固化土抗冻性能均满足表2中的抗冻性能指标要求。

**表3 非流态固化土28 d抗冻性能**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 配合比编号 | 28 d抗冻性能 | |
| 抗冻指数 | 质量损失 |
| 榆林黄土-1 | 89.52% | 0.00% |
| 榆林黄土-2 | 88.33% | 0.09% |
| 榆林黄土-3 | 84.72% | 0.13% |
| 榆林黄土-4 | 86.54% | 0.05% |
| 宁夏盐碱土-1 | 82.84% | 0.05% |
| 宁夏盐碱土-2 | 90.12% | 0.09% |
| 宁夏盐碱土-3 | 82.30% | 0.04% |
| 宁夏盐碱土-4 | 90.50% | 0.04% |

表4为非流态固化土无侧限抗压强度比和4 h凝结时间影响系数实验数据，掺入固化剂可有效提高榆林黄土的无侧限抗压强度比和4 h凝结时间影响系数，使固化土满足表5.2.16中的性能指标要求。

**表4 非流态固化土无侧限抗压强度比和4 h凝结时间影响系数**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 配合比编号 | 无侧限抗压强度比 | 4 h凝结时间影响系数 |
| 榆林黄土-5 | 1150% | 113% |
| 榆林黄土-6 | 1500% | 100% |
| 榆林黄土-7 | 1650% | 103% |
| 榆林黄土-8 | 2950% | 105% |

**5.2.15** 非流态固化土首次进行试配时，可先固定用水量和必要的添加剂用量，按照间隔2%~3%的固化剂掺量，进行不少于3组固化土的试配。

【条文说明】**5.2.15** 按照《土壤固化外加剂》CJ/T 486的规定，“当采用B类土壤固化剂时，固化土试配宜采用三个配合比，其中一个配合比的土壤固化剂掺量应为基准值，另外两个配合比的土壤固化剂掺量宜比基准值分别增加和减小2%”，试配应采用三个配合比；考虑到镁渣基土壤固化剂所采用的原材料种类和性能差异，根据具体固化剂的类型确定2%~3%的掺量间隔：采用高活性固化剂时，可采用接近2%的间隔，采用低活性固化剂时，可采用接近3%的间隔。

**5.2.16** 根据试配结果，宜选择符合设计要求、较小无机结合料掺量所对应的配合比。当试配结果不满足设计要求时，应调整配合比，重新进行试配试验。

**5.2.17** 无设计要求时，应测定固化土7 d无侧限抗压强度；当有设计要求时，可测定固化土7 d、28 d无侧限抗压强度。

【条文说明】**5.2.17** 非流态固化土实验室配合比设计，当无设计要求时，可结合所做实验数据的强度发展规律和7 d无侧限抗压强度，估算出固化土的28 d、60 d和90 d无侧限抗压强度。同时镁渣中具有水化活性的β-C2S，属于慢硬性胶凝物质，其水化反应产生强度通常可以维持到90 d龄期时，因此，当有设计要求时，为了准确掌握强度，可测定较长龄期的无侧限抗压强度。

**5**.**2**.**18** 应通过击实试验确定非流态固化土混合料的最优含水率和最大干密度，击实试验按照现行《土工试验方法标准》GB/T50123执行。试件的制备、成型及养护按照现行《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51执行。

【条文说明】**5.2.18** 我国现行《土工试验方法标准》GB/T50123中规定，轻型击实试验适用于粒径小于5 mm的黏性土，重型击实试验采用三层击实时，最大粒径应小于20 mm。通常，水库、堤防、铁路路基填土均采用轻型击实试验，高等级公路填土和机场跑道等采用重型击实较多。

**6 回 填 工 程**

6.1 一 般 规 定

**6**.**1**.**1** 施工前应根据设计要求及回填对象特点进行配合比设计，并编制专项施工方案，通过试验性施工确定施工工艺和方法。

**6**.**1**.**2** 填筑前应将回填区底部的积水和有机杂物清除干净。

6.2 设 计

**6**.**2**.**1** 流态固化土设计应包括配合比设计、填筑设计和质量控制要求，配合比设计按本规程5.2（Ⅰ）执行。

**6**.**2**.**2** 填筑设计中性能指标要求应包含强度、流动扩展度、凝结时间等要求，无特殊要求时可采用表6.2.2指标。可根据工程需要规定收缩率、抗冻指数、渗透系数和耐久性等。

**表6.2.2 流态固化土设计指标**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 技术要求 | 测试方法 |
| 28 d抗压强度 | 0.2 MPa～3.0 MPa | 本规程附录C |
| 流动扩展度 | 160 mm～240 mm | 本规程附录D |
| 初凝时间 | ＜12 h | 《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346 |
| 终凝时间 | ＜48 h |

【条文说明】**6.2.2** 表5为固化剂与榆林黄土、西安黄土、西安地铁盾构渣土、再生骨料和宁夏盐碱土制备的流态固化土的28 d抗压强度、流动扩展度和初凝时间实验数据，终凝时间均在24~48h以内。由表4可知，固化剂对以上各种类型基土的固化效果均良好。通过选择合理的固化剂配方和配合比均满足28d 抗压强度、流动扩展度和凝结时间等设计指标。可通过调整固化剂配比和添加剂种类实现28d抗压强度、流动扩展度和凝结时间的调整，在工程实践中，根据使用要求，可就近选取经济的掺合料，通过调整流态固化土配比，获得最佳经济效益。

**表5 流态固化土实验数据28 d抗压强度、流动扩展度和凝结时间**

| 配合比  编号 | 样本数（个） | 28d抗压强度（MPa）范围值/平均值 | 流动扩展度（mm）范围值/平均值 | 初凝时间（min）范围值/平均值 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 榆林黄土 | 15 | (0.35~3.26)/0.756 | (172~246)/219.3 | (194~350)/271.7 |
| 西安黄土 | 13 | (0.95~2.99)/1.406 | (168~251)/234.8 | (113~618)/299.0 |
| 西安地铁盾构渣土 | 4 | (0.32~0.64)/0.485 | (178~187)/182.8 | (200~410)/307.5 |
| 再生骨料 | 6 | (0.50~3.11)/1.257 | (195~225)/213.2 | (260~360)/300.0 |
| 宁夏盐碱土 | 8 | (0.42~3.26)/1.131 | (181~283)/239.0 | (220~480)/264.0 |

**6**.**2**.**3** 流态固化土应分段分层进行回填，分层厚度应根据流态固化土浇筑时侧向压力以及浮力对埋入管线等结构的影响综合确定。一次性回填时，应对周边结构进行验算。

【条文说明】**6.2.3** 一次性回填厚度较大时，将对周边地下室外墙、支挡结构、管沟结构等侧壁构筑物产生较大的侧压力，应考虑侧压力对周边结构的影响，对结构稳定性进行验算。

**6**.**2**.**4** 有后期开挖需求的流态固化土回填工程，采用机械开挖的固化土设计强度不宜高于3.0 MPa，人工开挖的不宜高于1.0 MPa。

6.3 施 工

**6.3.1** 流态固化土施工工艺流程应包括现场准备、基土筛分、固化剂浆液制备、搅拌、浇筑、养护。工艺流程如图2所示。

基土筛分shaifen

现场准备

固化剂浆制备shaifen

搅 拌

浇 筑

养 护

**图6.3.1 流态固化土施工工艺流程图**

**6.3.2** 进入现场的固化剂应有合格检验报告，现场储存应采取防潮隔潮措施，出现结块不得使用。

**6.3.3** 施工前应测定拌合土料含水量，当与设计含水量不同时，应调整拌合用水量。

**6.3.4** 搅拌好的流态固化土宜采用溜槽或泵送浇筑方式，具体浇筑方式应根据场地条件及工程特点确定。

**6.3.5** 施工过程应采取防尘、降尘措施。

Ⅰ 沟槽回填

**6.3.6** 沟槽回填施工前应进行清槽，并应确保沟槽支护安全性达到设计要求。

**6.3.7** 回填宜分段分层，一次浇筑高度不宜大于1.5 m。上层浇筑施工退台不宜小于2 m，上下层浇筑的时间间隔不应小于流态固化土的初凝时间。

**6.3.8** 施工中应做好流态固化土的防护工作，遇大雨或持续小雨、高温、低温等极端天气时，应对未硬化的填筑体表层进行覆盖，气温低于0℃时应采取防冻措施。

**6.3.9** 施工中应采取防止地面水流入沟槽内的措施。流态固化土遭受雨淋、浸泡应及时清理积水及松软土。

**6.3.10** 施工完成后流态固化土应采用覆膜养护，养护时间不宜少于 7 天。

Ⅱ 防空洞回填

**6.3.11** 可采用在防空洞顶部钻孔，将流态固化土浆液由钻孔灌入洞中的施工方法。浇筑宜采用直接泵送或配管泵送方式；当浇筑量较小时也可采用溜槽方式进行施工。

**6.3.12** 防空洞填筑应进行浇筑区、浇筑层划分。划分应符合下列规定：

**1**  单个浇筑区顶面面积不应大于400 m2；

**2** 单个浇筑区长轴方向长度不宜大于20 m；

**3** 相邻浇筑区可用10 mm～20 mm厚的夹板支挡间隔分缝，夹板为临时支档模板并兼做变形缝填充材料，不得抽掉；

**4** 单层浇筑厚度宜控制在0.3 m～1.0 m。单层浇筑厚度超过1 m时，应采取防止分层离析、塌落、降低水化热等控制措施；单个浇注区宜在2 h内一次性浇注完成，最长不得超过4 h。

**6.3.13** 防空洞填筑施工前及施工过程中应对回填流态固化土的拌合物湿密度和流动扩展度进行检测，并填写检测记录。

Ⅲ 采空区回填

**6.3.14** 应根据采空区的形态和特征，确定回填方案。

**6.3.15** 采空区回填施工前应进行试验性施工，确定施工工法、设备和参数。

**6.3.16** 拟回填采空区场地周边存在正在使用的地下井巷，应砌筑止浆墙，对于条件限制不能砌筑止浆墙的，应根据实际工况采取其他措施；回填宜自采空区标高最低处开始浇注。

**6.3.17** 回填浇筑施工时，当压力恒定而单位时间流态固化土浇筑量突增时，可对流态固化土的施工配合比进行调整，同时检查拌合设备。

【条文说明】**6.3.17**当压力恒定而浇筑量突增，一般是由于流态固化土流动扩展度过大，将影响浇筑浆液的充填效果，可能是由于施工配合比与设计配合比不符，此时需对流态固化土的施工配合比进行检查，同时检查拌合设备。

**6.3.18** 回填过程中应监测沉降和位移，根据监测结果及时调整施工方案。

6.4 质 量 检 验 与 验 收

**6.4.1** 施工中应按设计要求的频率检验流态固化土的各项性能技术指标，设计无规定时，现场应预留同条件试块，每200 m³为一个检验批，小于200 m³按1 个检验批计，每个检验批取1组试件。

**6.4.2** 流态固化土的同条件试块抗压强度评定采用28天立方体抗压强度，试验测定方法按本规程附录C执行。

**6.4.3** 当留置试块强度不合格时，宜采用钻芯法进行验证，并以取芯试验强度作为最终固化土强度评定依据。

**6.4.4** 有抗渗要求的回填工程，应根据《土工试验方法标准》GB∕T50123有关规定测定渗透系数。

**6.4.5** 采空区回填质量检验可采用物探、钻芯等技术手段进行。

**6.4.6** 流态固化土施工验收应具备下列资料：

**1**经审定的施工方案；

**2** 原材料的质量合格证和检验报告；；

3 施工记录及隐蔽工程验收文件；

4强度检测报告；

5工程验收记录；

6 其他必须提供的文件和记录。

7 固化土垫层及路基

7.1 一 般 规 定

**7.1.1** 固化土垫层用于适用于浅层软弱土、填土、湿陷性黄土以及不均匀土层的地基处理，厚度不宜大于3 m。

【条文说明】**7.1.1** 采用换填垫层处理较深的软弱土层时，施工土方量大、工程费用高、工期长、对环境的影响大、安全风险隐患大，因此规定换填垫层法适用于浅层软弱地基，一般不大于3 m更为经济合理；

**7.1.2** 固化土垫层应根据工程建设场地条件，因地制宜、就地取材。

**7.1.3** 固化土垫层处理工程除应符合本技术规程要求外，尚应符合国家和行业现行有关标准。

7.2 设 计

**7.2.1** 固化土垫层原材料的选取，应符合本规程第4章要求。

**7.2.2** 固化土垫层用于建筑与市政工程时，垫层厚度的确定应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的有关规定。

【条文说明】**7.2.2** 采用垫层法处理软弱地基，垫层厚度应满足软弱下卧层验算。对于浅层软土采取全部置换处理；对于换填后需进行软弱下卧层验算的，采用压力扩散角法，按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007中方法验算，非流态固化土垫层应力扩散角宜通过试验确定，无试验资料时可取23°

**7.2.3** 固化土垫层用于建筑与市政工程时，垫层顶面每边超出基础底边缘不小于400 mm，垫层底面宽度应满足基础底面应力扩散的要求，固化土垫层应力扩散角宜通过试验确定，无试验资料时可取23°。

**7.2.4** 固化土进行路基处理时，处理宽度在路堤段应处理至坡脚排水沟外侧不小于1 m，且距离坡脚不小于3 m，在路堑段应为路基的断面宽度。小型构造物处的处理宽度应与相邻路基相同。

**7.2.5** 固化土垫层压实系数不应小于0.95。

**7.2.6** 路基换填后的压实度应符合现行行业标准《公路路基设计规范》JTG D30的规定。

**7.2.7** 固化土垫层用于建筑与市政工程时，处理后地基变形量可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的规定进行计算。在规定计算深度范围内，对一般建筑物可忽略垫层自身的变形量，对地基沉降有严格限制的建筑，应计算垫层自身的变形量。

【条文说明】**7.2.7** 非流态固化土垫层施工完成后，达到设计要求的压实系数其自身的压缩变形已基本完成，可再压缩量值很小，因而一般建筑在地基变形计算中，可以忽略垫层自身的变形值；对地基沉降有严格限制的建筑需要计算垫层压缩沉降时，固化土垫层压缩模量值应根据试验确定，初步设计是可按15 MPa进行沉降计算。

**7.2.8** 固化土换填用作小型构筑物的基础地基处理时，设计计算应符合现行行业标准《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG3363的相关规定。

7.3 施 工

**7.3.1** 固化土垫层，施工宜采用平碾、振动碾或羊足碾，也可采用蛙式夯、柴油夯等。

**7.3.2** 固化土垫层的施工方法、分层铺填厚度、每层压实遍数宜通过现场的试验确定，分层铺填厚度宜为200 mm～300 mm。

**7.3.3** 固化土垫层施工含水量宜控制在ωop±2％的范围内，最优含水量ωop可通过击实试验确定，也可按当地经验选取。

**7.3.4** 固化土垫层施工时，避免基底土层受扰动，可保留 200 mm～300 mm厚的土层暂不挖去，待铺填固化土垫层前再由人工挖至设计标高。

**7.3.5** 固化土垫层施工时，应保证基底干燥，不得在浸水条件下进行。

**7.3.6** 固化土垫层底面宜设在同一标高上，如深度不同，基底土层应挖成阶梯或斜坡搭接，并按先深后浅的顺序进行垫层施工，确保搭接处换填质量。

**7.3.7** 固化土垫层宜当日压实，每层验收合格后应及时铺填上一层，并应禁止车辆碾压通行，垫层施工竣工验收合格后，应及时进行基础或路面施工。

**7.3.8** 固化土进行路基处理施工前应修筑固化土路基处理试验路段，以获取各种施工参数。

**7.3.9** 路基换填验收合格后，应及时填筑路堤或作临时遮盖，防止日晒雨淋。

7.4 质 量 检 验 与 验 收

**7.4.1** 固化土垫层的施工质量可选用环刀取样、静力触探、轻型动力触探或标准贯入试验等方法进行检验，压实系数可采用灌砂法、灌水法或其他方法进行检验。

**7.4.2** 固化土垫层的施工质量检验应分层进行，并应在每层的压实系数符合设计要求后铺填上层。

**7.4.3** 固化土垫层用于建筑与市政工程时，采用环刀法检验垫层的施工质量，取样点应选择位于每层垫层厚度的2/3深度处。检验点数量，条形基础下垫层每10 m～20 m不应少于1个点，独立柱基、单个基础下垫层不应少于1个点，其他基础下垫层每50 m2～100 m2不应少于1个点。采用标准贯入试验或动力触探法检验垫层的施工质量时，每分层平面上检验点的间距不应大于4 m。

**7.4.4** 固化土垫层用于建筑与市政工程时，竣工验收应采用静载荷试验检验垫层承载力，每500m2检测1个点，不足500m2按500m2计，且每个单体工程不应少于3个点。

**7.4.5** 固化土换填用作路基小型构造物的基础时，应采用静载荷试验检测其承载力。测点数量，每个独立工点或分项工程不应少于3处。

**7.4.6** 固化土进行路基处理时，填筑压实施工过程中，每填筑压实一层，应及时测定压实度，压实度应满足路基相应层位的要求值，检测频率应符合现行《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ1的有关规定。

**7.4.7** 固化土垫层施工完成并经质量检验后,应由监理单位或建设单位组织施工单位进行验收,通过正式验收合格后,才能进行基础工程的施工。

**7.4.8** 固化土垫层地基的质量控制与验收，除符合本规程相关规定和设计要求外，尚应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202的有关规定。

8 固化土挤密桩

8.1 一 般 规 定

**8.1.1** 固化土挤密桩适用于处理地下水位以上的粉土、黏性土、湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基及路基，处理地基的深度宜为3 m～15 m。

**8.1.2** 含水率大于24%、饱和度大于65%时，或土的含水率小于12%时，应通过现场试验确定固化土挤密桩的适用性。

【条文说明】**8.1.2** 挤密桩法是否适用于拟建场地，主要看能否成孔，一般情况下地基土含水率、饱和度超过一定值时成孔和拔管过程中，桩孔及其周边土容易隆起和缩颈，地基土含水率低于某一定量时成孔难度大，故规程提出“应通过现场试验确定其适用性”。

**8.1.3** 固化土挤密桩应采用挤土成孔工艺，孔内填料可采用非流态固化土夯填或流态固化土浇筑。

**8.1.4** 施工前应选择地质条件有代表性的地段进行试验性施工。

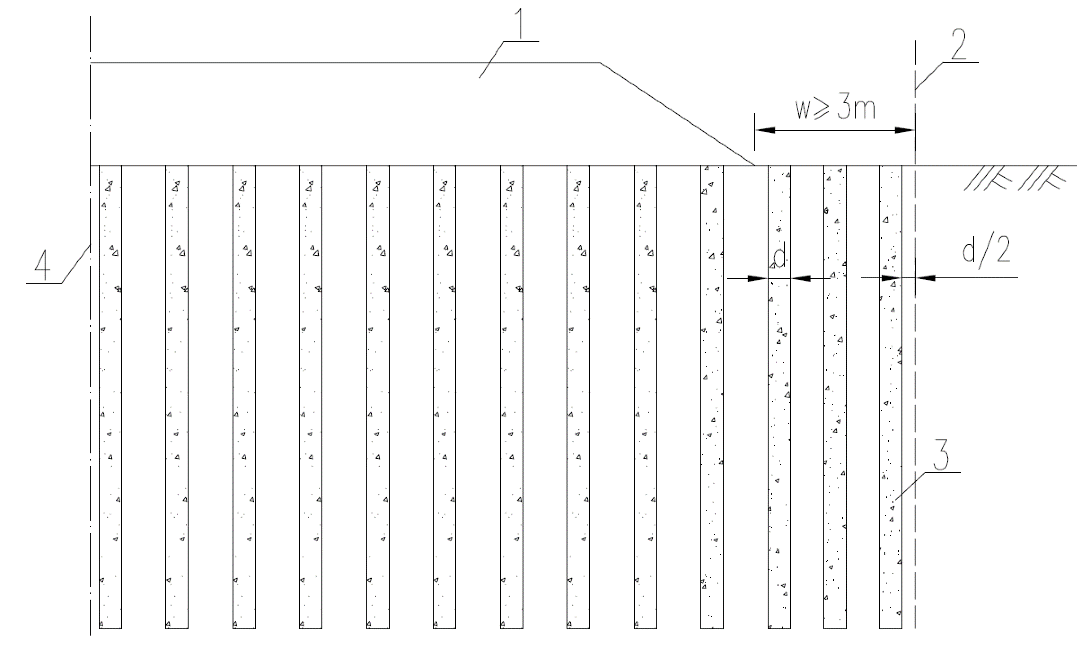
8.2 设 计

**8.2.1** 固化土挤密桩处理建（构）筑物地基的平面面积，应大于建（构）筑物基础的平面面积。

**1** 当采用整片处理时，超出建（构）筑物外墙基础底面外缘的宽度，每边不宜小于处理土层厚度的1/2，且不应小于2 m。

**2** 当采用局部处理时，对非自重湿陷性黄土地基、素填土和杂填土等地基，每边不应小于基础底面宽度的25%，且不应小于0.5 m；对自重湿陷性黄土地基，每边不应小于基础底面宽度的75%，且不应小于1.0 m。

**8.2.2** 固化土挤密桩进行路基处理时，处理宽度在路堤段应处理至坡脚排水沟外侧不小于1 m，且距离坡脚不小于3 m，在路堑段应为路基的断面宽度。小型构造物处的处理宽度应与相邻路基相同。路堤处理宽度范围尚应按图8.2.2所示计算，即宽度以最外一排桩之外桩径的一半为界，超出路堤坡脚的宽度不小于3 m。



**1-路堤；2-处理界限；3-挤密桩；4-道路中心线**

**图8.2.2 固化土挤密桩布置范围示意图**

**8.2.3** 固化土挤密桩处理厚度应按路基或建筑物地基承载力及变形允许值确定，对湿陷性黄土地基，当以消除地基土的湿陷性为主要处理目的时，应符合现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025的有关规定。

**8.2.4** 桩孔直径宜为300 mm～600 mm，可根据当地常用成孔机械的类型、规格确定；桩孔宜按等边三角形，桩间距可为桩孔直径的（2～3）倍，也可按下式估算：

** （8.2.3）

式中：s—桩孔之间的中心距离（m）；

d—桩孔直径（m）；

—桩间土的最大干密度（t/m3）；

—地基处理前土的平均干密度（t/m3）；

—桩间土经成孔挤密后的平均挤密系数，不宜小于0.93。

**8.2.5** 桩孔内的填料可采用非流态固化土或流态固化土，应根据工程要求进行配比试验，并应符合本规程第5章要求。

**8.2.6** 孔内填料采用非流态固化土时，应分层回填夯实，填料的平均压实系数λc不应低于0.97，压实系数最小值不应低于0.93。

**8.2.7**  孔内填料采用流态固化土时，流态固化土的立方体抗压强度应通过现场试验确定，并不宜小于0.5MPa。

**8.2.8** 桩顶标高以上应设置300 mm～600 mm厚褥垫层，湿陷性黄土地区褥垫层不小于500 mm，垫层宽度不小于挤密桩处理宽度，垫层材料可采用固化土，其压实系数不应小于0.95。

【条文说明】**8.2.8** 褥垫层在复合地基中具有众多作用:保证桩土共同承担荷载、可使桩顶和桩间土找平、保证应力扩散、调整桩土的应力比、减小桩身应力集中等。故桩顶应设置褥垫层，规定厚度300 mm～600 mm，考虑到湿陷性黄土地区还有较高的防水要求，因此将湿陷性黄土地区褥垫层厚度定为不小于500 mm。

**8.2.9** 固化土挤密桩用于建筑与市政工程地基处理时，复合地基承载力特征值应按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79中有关规定确定，桩土应力比可按试验或地区经验取值，无经验时可取2～4；固化土挤密桩复合地基承载力特征值，不宜大于处理前天然地基承载力特征值的1.5倍，且不宜大于200 kPa。

**8.2.10** 固化土挤密桩用于建筑与市政工程地基处理时，复合地基的变形计算应符合现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79中相关规定。

【条文说明】**8.2.10** 复合地基沉降计算目前仍以经验法为主。本规程仍采用分层总和法为基础的计算方法。地基的沉降计算经验系数与沉降计算深度范围内压缩模量当量值有关，本规程采用国家标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79 中相关规定计算。

8.3 施 工

**8.3.1** 成孔应根据设计要求、现场土质和周围环境等，选用合适成孔工艺，优先选用挤土成孔工艺。

**8.3.2** 设计桩顶标高以上应预留一定厚度上覆土层：采用沉管成孔并用1.5t以上夯锤夯填时，厚度不宜小于1.0 m；采用旋挤法、冲击法等或钻孔夯扩法成桩并采用2.5t以上夯锤夯填时，厚度不宜小于2.0 m。

【条文说明】**8.3.2** 固化土挤密桩施工时，在成孔或拔管过程中，对桩孔(或桩顶)上部土层有一定的松动作用（俗称松动层），当桩顶预留覆盖层厚度较薄时，挤密桩施工完成后，松动层不能被完全挖除，则会留下安全隐患。大量实践证明旋挤法、冲击法及夯锤质量过高时，松动层厚度均会增大。

**8.3.3** 成孔和孔内回填应符合下列规定：

**1** 成孔及孔内回填夯实施工顺序：整片处理时，宜从内(或中间)向外，隔排隔桩依次施工，大型工程可分段施工；局部处理时，宜从外向内，隔排隔桩依次施工；

**2** 向孔内填料前，孔底应夯实；分层夯填时，夯锤落距和填料厚度应满足夯填密实度的要求；

**3** 孔内填料应根据工程要求进行配比试验，并应符合本规程第4章和第5章的相关要求；

**4** 成孔经检验合格后，按设计要求，向孔内分层填入拌合好的镁渣固化土，并应分层夯实至设计标高，或采用流态固化土浇筑；

**5** 采用流态固化土浇筑时桩顶标高宜高出设计桩顶标高不少于0.5m；

**6** 成桩过程中应抽样做固化土试块；

**8.3.4** 铺设垫层前，应按设计要求将桩顶标高以上的预留土层挖除。垫层施工应避免扰动基底土层。

**8.3.5** 施工过程中，应有专人监理成孔及回填夯实的质量，并应做好施工记录。如发现地基土质与勘察资料不符，应立即停止施工，待查明情况或采取有效措施处理后，方可继续施工。

**8.3.6** 雨期或冬期施工，应采取防雨或防冻措施，防止填料受雨水淋湿或冻结。

8.4 质 量 检 验 与 验 收

**8.4.1** 成孔后，应及时对所用桩孔进行检验，并做好记录，检验合格或处理合格后方可进行夯填或浇筑施工。

**8.4.2** 非流态土夯填时桩长范围内的桩体平均压实系数应随机抽样检测，抽检的数量不应少于总桩数的1％，且不少于9根。

**8.4.3** 处理深度范围内的桩间土平均挤密系数应随机抽样检测，抽检探井数量不应少于总桩数的0.3％，且每个单体不少于3口。

**8.4.4** 固化土挤密桩采用流态土浇筑时，可采用开挖检查、钻孔取芯、标准贯入试验及动力触探试验对成桩质量进行检验。检验点数量不应少于成桩数量的2%，并不少于6点。流态固化土的同条件试块抗压强度评定采用90天立方体抗压强度，强度应满足设计要求。

**8.4.5** 当挤密桩用于消除黄土场地湿陷性时，试验检测尚应符合国家现行标准《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025中相关要求。

**8.4.6** 挤密桩复合地基承载力检验应采用单桩复合地基静载荷试验或多桩复合地基静载荷试验，非流态固化土挤密桩成桩后14d~28d进行，流态固化土挤密桩成桩后28d进行，检测数量不应少于桩总数的0.5％，且每项单体工程复合地基静载荷试验检验数量不应少于3点。

**8.4.7** 固化土挤密桩法处理地基施工完成并经质量检验合格后,应由监理单位或建设单位组织施工单位进行验收,通过正式验收合格后,才能进行基础工程的施工。

**8.4.8** 固化土挤密桩质量控制与验收，除符合本规程相关规定和设计要求外，尚应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202的有关规定。

**8.4.9** 工程验收时，应提交并检查下列资料：

1 桩孔位置偏差图、竣工平面图；

2 成孔及夯填（浇筑）施工记录汇总表；

3 桩间土挤密效果试验或施工自检记录汇总表及其结论；

4 场地土及桩孔填料的击实试验报告和具有资质的专业检测单位的正式检测报告；

5设计变更通知书、问题处理记录等其他相关文件资料。

附录A 固化剂净浆流动度的测试方法

**A.0.1** 试验材料应符合下列规定：

**1** 固化剂应符合本规程第4.2.1~4.2.2条的要求；

**2** 试验用水应符合本规程第4.2.7条的要求。

**A.0.2** 试验仪器应符合现行国家标准《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346的规定。

**A.0.3** 试验步骤应符合下列规定：

**1** 将玻璃板放置在水平位置，用湿布擦抹玻璃、截锥圆模、搅拌器及搅拌锅，使其表面湿而不带水渍。将截锥圆模放在玻璃板中央，并用湿布覆盖待用。

**2** 称取固化剂900 g，倒入搅拌锅内，加入540 g水，低速搅拌2 min，再高速搅拌2 min。

**3** 将拌好的浆体迅速注入截锥圆模内，用刮刀刮平，将截锥圆模按垂直方向提起，同时开启秒表计时，任浆体在玻璃板上流动，至30 s，用直尺量取流淌部分相互垂直的两个方向直径，取平均值作为浆体初始流动度。

**4** 将3中剩余的浆体分两份用保鲜袋密封放入标准养护箱中养护，分别在30 min和60 min时取出，高速搅拌1 min，按3的要求操作，获得30 min和60 min时的浆体流动度。

**A.0.4** 计算结果精确至1 mm。

附录B 增强剂的抗压强度比测试方法

**B.0.1** 试验材料应符合下列要求：

**1** 固化剂及添加剂应符合本规程第4.2.1~4.2.5条的要求；

**2** 试验用水应符合本规程第4.2.7条的要求；

**3** 增强剂应符合本规规程第4.2.4的要求。

**B.0.2** 试验方法应符合下列规定：

**1** 抗压强度试验方法应符合本规程附录C要求；

**2** 拌合物流动扩展度试验方法应符合本规程附录D的要求；

**3** 应按照表B.0.2设计试验方案。固化剂用量应为干土质量的10%。当土料为黏性土或淤泥质土时，固化剂用量可增加5%。固化剂用量确定后，基准组和试验组为相同掺量。

**表B.0.2 流态固化土配合比**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 固化土种类 | 固化剂用量 | 增强剂用量 | 流动扩展度/mm |
| 基准组 | 10% | **—** | 220±10 |
| 试验组 | 10% | 按推荐掺量且不应超过干土质量的0.5% | 220±10 |

**4** 应适当调整试验组的用水量，使得流动扩展度符合表C.0.2的要求；

**5** 基准组和试验组应分别按照7 d和28d龄期，各成型一组（3块）试件。在规定龄期测试试件抗压强度，取三块试件的平均值作为相应龄期的强度值；

**6** 流态固化土抗压强度比按下列公式计算（精确至1%）。

 （C.0.2）

式中：K——抗压强度比，%；

R——试验组7 d或28d龄期的流态固化土抗压强度，MPa；

R**0**——基准组7 d或28d龄期的流态固化土抗压强度，MPa。

附录C 流态固化土立方体抗压强度测试方法

**C.0.1** 试验材料应符合下列要求：

**1** 固化剂及添加剂应符合本规程第4.2.1~4.2.5条的要求；

**2** 试验用水应符合本规程第4.2.7条的要求；

**3** 试验土料应在现场进行土料取样，取样点不少于3个，每个取样点不少于10 kg。每个取样点取样时应从土体中部区域取样。取样后应充分混合，当有大颗粒时，应进行破碎，筛去10 mm以上颗粒。

**C.0.2** 试验设备应符合现行行业标准《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 233的规定。

**C.0.3** 试件制备应符合下列规定：

**1** 根据确定或设计的配合比，将各原材料按照一定的投料顺序加入搅拌机拌合均匀，获得流态固化土拌合物；流态固化土拌合物也可以从现场取样获得，取样应有代表性，取样量应不少于所有试件体积之和的1.5倍。

**2** 试模应采用70.7 mm×70.7 mm×70.7 mm的模具，试件的成型应按现行行业标准《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 233规定的方法执行。

**3** 试件成型后，应在初凝前后用抹刀抹压刮平试件，并采用塑料布或湿布覆盖；拆模后，应将试件移入混凝土标养室进行养护，养护过程不应泡水。

**C.0.4** 抗压强度试验方法应按现行行业标准《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 233规定的方法执行。

附录D 流态固化土拌合物流动扩展度测试方法

**D.0.1** 试验材料应符合下列要求：

**1** 固化剂应符合本规程4.2.1~4.2.2条的要求；

**2** 试验用水应符合本规程4.2.7条的要求；

**3** 试验土料应在现场进行土料取样，取样点不少于3个，每个取样点不少于10kg。每个取样点取样时应从土体中部区域取样。取样后应充分混合，当有大颗粒时，应进行破碎，筛去10mm以上颗粒。

**D.0.2** 试验设备与器材应符合下列规定：

**1** 搅拌设备等应符合现行行业标准《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 233的规定。



**图D.0.2测试筒尺寸示意**

**2** 边长不小于500 mm的玻璃平板1块。

**3** 水准仪1个。

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

**5** 钢尺1把，量程为500 mm，精度为1mm。

**D.0.3** 拌合物流动扩展度试验方法应符合下列规定：

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

**2** 应用湿毛巾擦拭玻璃平板，使其保持润湿状态。

**3** 应将塑料圆柱筒的一端竖直放置在玻璃平板中心位置处，让圆柱筒的一个断面与玻璃板紧密接触。

**4** 应将搅拌好或从现场取样的流态固化土拌合物，分两次装入圆柱筒中；每装入一次，应采用捣棒均匀插捣10次，并用捣棒轻敲圆柱筒外壁几次，促使排气。

**5** 最后应在圆柱筒上端面用抹刀将拌合物沿上端面刮平，擦去圆柱筒外壁和平板玻璃上的粘留物。

**6** 应将圆柱筒垂直向上一次性拔起，拌合物塌落后在玻璃平板上形成饼状物，用钢尺在最大直径方向及其垂直方向上分别测量饼状物的直径，精确到5mm，此即为流态固化土拌合物流动扩展度。

用词说明

**1** 执行本规程条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行区别对待。

l）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，在条件许可时首先应这样做的用词：

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”。

5）表示经过评审、评价、确定后，根据问题的重要程度、风险大小，决定要不要这样做，如果风险很低、影响很小，可以不做，否则，必做的用词，采用“必要时”。

**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**

《通用硅酸盐水泥》GB175

《混凝土外加剂》GB 8076

《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》GB 18599

《建筑地基基础设计规范》GB 50007

《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025

《水泥标准稠度、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346

《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596

《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》GB/T 20491

《镁渣硅酸盐水泥》GB/T 23933

《城市污水再生利用 绿地灌溉水质》GB/T 25499

《水泥胶砂中可浸出重金属的测定方法》GB/T 30810

《土工试验方法标准》GB/T 50123

《建筑地基检测技术规范》JGJ 340

《[水泥土配合比设计规程](https://www.baidu.com/link?url=AsHASG1IB5rYt2ocgtcPoAN-kTXaM02guL9gQ2fHZzlNd12N7XqMEw_IcvloC0373ENnGAVYDNwBvWSycOXtu_&wd=&eqid=f444b1530003521b0000000666f6256c)》[JGJ/T 233](https://www.baidu.com/link?url=AsHASG1IB5rYt2ocgtcPoAN-kTXaM02guL9gQ2fHZzlNd12N7XqMEw_IcvloC0373ENnGAVYDNwBvWSycOXtu_&wd=&eqid=f444b1530003521b0000000666f6256c)

《混凝土和砂浆再生微粉》JG/T 573

《砂浆、混凝土防水剂》JC/T 474

《建筑生石灰》JC/T 479

《泡沫混凝土用泡沫剂》JC/T 2199

《土壤固化外加剂》CJ/T 486

《软土固化剂》CJ/T 526

《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ1

《土壤固化剂应用技术标准》CJJ/T 286

《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363

《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51

《公路路基设计规范》JTG D30