

T/CECS XXXX-202X



**中国工程建设协会标准**

**道路工程固化土试验标准**

Test standard for solidified soil of road engineering

（征求意见稿）

2024-05-07

中国X X X出版社

**中国工程建设协会标准**

**道路工程固化土试验标准**

Test standard for solidified soil of road engineering

T/CECS ###-202X

（征求意见稿）

主编单位：河海大学

批准单位：中国工程建设标准化协会

实施日期：202X年 X 月 X 日

中国X X X出版社

2024 北京

**前 言**

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2023年第一批工程建设协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2023]23号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本标准。

本标准共分7章和1个附录，主要内容包括：总则、术语和符号、试样制备、土料物理性质试验、固化土物理/力学试验、耐久性试验以及浸出毒性试验。

本标准由中国工程建设标准化协会归口管理，由河海大学负责具体技术内容的解释。使用过程中如有意见或建议，请寄送解释单位（地址：江苏省南京市西康路1号土木与交通学院，邮政编码：210024，联系电话：025-83772015）

**主编单位**：河海大学、三峡大学

**参编单位**：【暂待定】

**主要起草人**：【暂待定】

**主要审查人**：【暂待定】

**目 录**

[1 总 则 1](#_Toc5847)

[2 术语和符号 2](#_Toc16585)

[2.1术 语 2](#_Toc7823)

[2.2 符 号 4](#_Toc21848)

[3 试样制备 7](#_Toc22489)

[3.1一般规定 7](#_Toc22067)

[3.2土料 7](#_Toc6722)

[3.3胶结料固化剂 7](#_Toc24244)

[3.4外加剂 8](#_Toc13742)

[3.5固化土制备及养护 9](#_Toc319)

[4 固化土道路基层 11](#_Toc13506)

[4.1一般规定 11](#_Toc136)

[4.2弹性模量试验 11](#_Toc12152)

[4.3无侧限抗压强度试验 14](#_Toc23634)

[4.4劈裂强度 16](#_Toc6001)

[4.5承载比试验 17](#_Toc5375)

[4.6相对密度试验 21](#_Toc29636)

[4.7干燥收缩试验 23](#_Toc25753)

[4.8冻融试验 25](#_Toc28763)

[5 固化土道路面层 28](#_Toc24903)

[5.1一般规定 28](#_Toc1307)

[5.2无侧限抗压强度试验 28](#_Toc23626)

[5.3抗冲刷试验 28](#_Toc23402)

[5.4渗透系数试验 30](#_Toc10738)

[6 流态固化土路基填料 33](#_Toc3283)

[6.1一般规定 33](#_Toc8749)

[6.2无侧限抗压强度试验 33](#_Toc27609)

[6.3渗透系数 33](#_Toc26269)

[6.4干湿循环试验 33](#_Toc20523)

[6.5塌落度试验 35](#_Toc8796)

[6.6扩展度试验 36](#_Toc27114)

[6.7重金属浸出试验 36](#_Toc22736)

[7 固化土路基填料 38](#_Toc31640)

[7.1一般规定 38](#_Toc17479)

[7.2无侧限抗压强度试验 38](#_Toc6364)

[7.3相对密度试验 38](#_Toc2598)

[7.4颗粒分析试验 38](#_Toc14425)

[7.5压实度试验 42](#_Toc31226)

[附录A：试验记录表 49](#_Toc6423)

[本标准用词说明 60](#_Toc30126)

[引用标准名录 61](#_Toc16465)

[条文说明 62](#_Toc21667)

[1 总 则 63](#_Toc15019)

[2 术语和符号 64](#_Toc24720)

[3 试样制备 65](#_Toc25622)

[3.2 土料 65](#_Toc16974)

[3.3 胶结料固化剂 65](#_Toc21496)

[3.4外加剂 65](#_Toc9716)

[4 固化土道路基层 67](#_Toc14150)

[4.2 弹性模量试验 67](#_Toc22772)

[4.3 无侧限抗压强度试验 67](#_Toc28846)

[4.4 劈裂强度 69](#_Toc31263)

[4.5 承载比试验 69](#_Toc22298)

[4.6 相对密度试验 70](#_Toc21172)

[4.7 干燥收缩试验 72](#_Toc27897)

[5 固化土道路面层 73](#_Toc26847)

[5.3 抗冲刷试验 73](#_Toc32573)

[5.4 渗透系数试验 73](#_Toc8032)

[7 固化土路基填料 74](#_Toc20725)

[7.4 颗粒分析试验 74](#_Toc4906)

[7.5 压实度试验 75](#_Toc24798)

**Contents**

[1 General Provision 1](#_Toc13769)

[2 Terms and symbols 2](#_Toc24737)

[2.1 Terms 2](#_Toc18275)

[2.2 Terms 4](#_Toc18092)

[3 Sample preparation 7](#_Toc12760)

[3.1 General requirements 7](#_Toc27177)

[3.2 Original soil 7](#_Toc29923)

[3.3 Binders and curing agent 7](#_Toc5665)

[3.4 Admixture 8](#_Toc6358)

[3.5 Preparation and maintenance of solidified soil 9](#_Toc7513)

[4 Solidified soil road base 1](#_Toc27163)1

[4.1 General requirements 1](#_Toc13418)1

[4.2 Elasticity modulus text 1](#_Toc17775)1

[4.3 Unconfined compressive strength test 1](#_Toc32122)4

[4.4 Splitting strength test 16](#_Toc23234)

[4.5 Load-bearing ratio test 17](#_Toc17020)

[4.6 Relative density test 2](#_Toc1611)1

[4.7 Dry shrinkage test 2](#_Toc6164)3

[4.8 Freeze-thaw test 2](#_Toc8326)5

[5 Solidified soil road surface 2](#_Toc3452)8

[5.1 General requirements 2](#_Toc13479)8

[5.2 Unconfined compressive strength test 2](#_Toc12846)8

[5.3 Erosion resistance test](#_Toc26869) 28

[5.4 permeability coefficient text 3](#_Toc23874)0

[6 Fluidized solidified soil subgrade filler 33](#_Toc611)

[6.1 General requirements 33](#_Toc26900)

[6.2 Unconfined compressive strength test 33](#_Toc24116)

[6.3 Permeability coefficient 33](#_Toc16619)

[6.4 Wetting-drying test 33](#_Toc22902)

[6.5 Slump test 35](#_Toc30963)

[6.6 Expansibility test 36](#_Toc7572)

[6.7 Heavy metal leaching test 36](#_Toc11027)

[7 Solidified soil subgrade filler 38](#_Toc16988)

[7.1 General requirements 38](#_Toc26467)

[7.2 Unconfined compressive strength test 38](#_Toc31000)

[7.3 Relative density test 38](#_Toc15689)

[7.4 Particle analysis test 38](#_Toc20924)

[7.5 Compactness test 4](#_Toc19077)2

[Appendix A Text records 4](#_Toc29234)9

[Explanation of wording in this standard 6](#_Toc26559)0

[List of quoted standards 6](#_Toc6472)1

[Addition: Explanation of provisions 62](#_Toc1614)

[1 General Provision 63](#_Toc20942)

[2 Terms and symbols 64](#_Toc12614)

[3 Sample preparation 65](#_Toc8164)

[3.2 Original soil 65](#_Toc29730)

[3.3 Binders and curing agent 65](#_Toc401)

[3.4 Admixture 65](#_Toc15226)

[4 Solidified soil road base 67](#_Toc9483)

[4.2 Elasticity modulus 67](#_Toc10405)

[4.3 Unconfined compressive strength test 67](#_Toc2659)

[4.4 Splitting strength test 69](#_Toc22330)

[4.5 Load-bearing ratio test 69](#_Toc13167)

[4.6 Relative density test 7](#_Toc19406)0

[4.7 Dry shrinkage test 7](#_Toc23595)2

[5 Solidified soil road surface 7](#_Toc15708)3

[5.3 Erosion resistance test 7](#_Toc18144)3

[5.4 permeability coefficient 73](#_Toc17113)

[7 Solidified soil subgrade filler 74](#_Toc16286)

[7.4 Particle analysis test 74](#_Toc2415)

[7.5 Compactness test 75](#_Toc20174)

# 1 总 则

**1.0.1** 适应我国固化土应用建设的需要，推广土体固化技术，保证固化土技术在道路工程中应用的质量，规范道路工程固化土试验方法，特制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于就地固化土、集中厂拌固化土及流态固化土在道路工程底基层、面层以及路基填料等工程领域的应用，开展固化土的物理、力学试验，重金属浸出试验以及废弃土料等原材料试验。

**1.0.3** 本标准使用的仪器设备，均应经相应的计量部门或检测机构定期检定合格，测试精度应满足本标准及其他相关规范的要求。

**1.0.4** 计量单位应采用国家法定计量单位。国外进口或原有仪器设备不符合我国法定计量单位者，使用时应换算成法定计量单位。

**1.0.5** 固化土试验除应符合本标准规定外，尚应符合国家和行业现行相关标准及规范的规定。对本标准中未作规定的试验项目，可参照国内外有关标准试验方法。

# 2 术语和符号

## 2.1术 语

2.1.1 固化土 solidified soil

在土体中加入一定的固化剂得到的稳定（固化）土体。

2.1.2 废弃土 dumped soil

工程废弃土体。

2.1.3 胶结料 binders

用于胶结土料的胶凝材料。

2.1.4 固化剂 curing agent

由多种无机、有机材料合成的用于固化各类土体的工程材料。

2.1.5 外加剂 admixture

加入土料中，可以提高固化土的强度，改善物理力学性能的助剂。

2.1.6 含水率 moisture content

土料中水的质量与土颗粒质量之比，以百分率表示。

2.1.7 界限含水率 limit water content

黏性土从一个稠度状态过渡到另外一个稠度状态时的分界[含水](https://baike.baidu.com/item/%E5%90%AB%E6%B0%B4?fromModule=lemma_inlink)率。

2.1.8 颗粒分析试验 Grain distribution analysis test

用于测定土中各[粒组](https://baike.baidu.com/item/%E7%B2%92%E7%BB%84/2438680?fromModule=lemma_inlink)占土粒总质量百分数的试验，能够定量描述土粒中各个粒组的含量，为土的工程分类和了解土的工程性质提供依据。

2.1.9 无侧限抗压强度 unconfined compressive strength

试样在无侧向压力情况下，抵抗[轴向压力](https://baike.baidu.com/item/%E8%BD%B4%E5%90%91%E5%8E%8B%E5%8A%9B?fromModule=lemma_inlink)的[极限强度](https://baike.baidu.com/item/%E6%9E%81%E9%99%90%E5%BC%BA%E5%BA%A6/3482311?fromModule=lemma_inlink)。

2.1.10 劈裂强度 splitting strength

试样在规定的试验条件下，胶结试样产生分离时单位胶接宽度所需的拉伸载荷。

2.1.11 承载比试验 load-bearing ratio text

一种评定基层材料承载能力的试验方法，以材料抵抗局部荷载压入变形的能力表征；采用标准碎石的承载能力为标准，以相对值的百分数表示CBR值。

2.1.12 相对密度 relative density

试样的密度与参考物质的密度在各自规定的条件下之比。

2.1.13 干燥收缩 dry shrinkage

试样硬化后受到干燥或者外界高温的影响其内部水分不断蒸发流失，由内而外变干燥的现象。

2.1.14 自由膨胀率 free expansion rate

试样在水中膨胀增加的体积与原始体积之比，以百分率表示；表征土粒在无结构力影响下的膨胀特性，主要受土中粘粒含量和矿物成分支配；粘粒含量愈高，矿物亲水性愈强，自由膨胀率愈大。

2.1.15 压实度 compactness

压实度又称夯实度，指的是土或其他筑路材料压实后的[干密度](https://baike.baidu.com/item/%E5%B9%B2%E5%AF%86%E5%BA%A6/9003111?fromModule=lemma_inlink)与[标准最大干密度](https://baike.baidu.com/item/%E6%A0%87%E5%87%86%E6%9C%80%E5%A4%A7%E5%B9%B2%E5%AF%86%E5%BA%A6/8269198?fromModule=lemma_inlink)之比，以[百分率](https://baike.baidu.com/item/%E7%99%BE%E5%88%86%E7%8E%87/2484467?fromModule=lemma_inlink)表示。路基路面现场压实质量用压实度表示。对于路基土及路面基层，压实度是指工地实际达到的干密度与室内标准[击实试验](https://baike.baidu.com/item/%E5%87%BB%E5%AE%9E%E8%AF%95%E9%AA%8C/4350260?fromModule=lemma_inlink)所得的[最大干密度](https://baike.baidu.com/item/%E6%9C%80%E5%A4%A7%E5%B9%B2%E5%AF%86%E5%BA%A6/7054208?fromModule=lemma_inlink)的比值；对[沥青路面](https://baike.baidu.com/item/%E6%B2%A5%E9%9D%92%E8%B7%AF%E9%9D%A2/6590699?fromModule=lemma_inlink)，是指现场实际达到的密度与室内标准密度的比值。

2.1.16 耐久性 durability

材料抵抗自身和[自然环境](https://baike.baidu.com/item/%E8%87%AA%E7%84%B6%E7%8E%AF%E5%A2%83/5641146?fromModule=lemma_inlink)双重因素长期破坏作用的能力；即保证其经久耐用的能力，耐久性越好，材料的使用寿命越长。

2.1.17 冻融试验 freeze-thaw test

用于测试材料抗冻性的试验，通常用于测量材料反复冻融造成的破坏的承载力。

2.1.18 疲劳试验 fatigue test

采用载荷控制、非对称正弦波动态载荷变化方式对固化土进行疲劳载荷试验。

2.1.19 抗冲刷试验 erosion resistance test

水流经过固化土时，会对土层造成破坏，固化土抵抗水流破坏的能力，即为抗冲刷能力。

2.1.20 渗透试验 Permeabilitytest

固化土渗透系数的测定试验。

2.1.21 有机质试验 organic matter test

通过灼失量法或重铬酸钾法等试验方法对土体中有机质的含量进行测定。

2.1.22 阳离子交换量 cation exchange capacity

土体中吸附离子的容量，是在一定温度和pH条件下由试样中离子与土体表面反应吸附的离子总量。

## 2.2 符 号

|  |  |
| --- | --- |
| *E*c | 抗压回弹模量（MPa） |
| *p* | 单位压力（MPa） |
| *h* | 试件高度（mm） |
| *l* | 试件回弹形变（mm） |
| *σ* | 轴向应力（kPa） |
| *C* | 测力计率定系数（N/0.01mm） |
| *R* | 测力计读数（0.01mm） |
| *A*a | 试样剪切时的面积（cm2） |
| *ε*1 | 轴向应变 |
| *S*t | 灵敏度 |
| *q*u | 原状试样的无侧限抗压强度（kPa） |
| *q*u' | 重塑试样的无侧限抗压强度（kPa） |
| *R* | 无侧限抗压强度代表值（MPa） |
| *R*7d | 试件无侧限抗压强度实测平均值（MPa） |
| *R*n | 第*n*个试件的无侧限抗压强度实测值（MPa） |
| *n* | 试验样本数 |
| *C*v | 变异系数 |
| *σ* | 标准差 |
| *k* | 压实度 |
| *Z*a | 目标可靠指标 |
| *σ*p | 劈裂抗拉极限强度 |
| *d* | 试样直径（mm） |
| *h* | 试样高度（mm） |
| *δ*w | 浸水后试样的膨胀率（%） |
| *h*w | 浸水后试样的膨胀量（mm） |
| *h*0 | 试样的初始高度（mm） |
| *CBR*2.5 | 贯入量为2.5mm时的承载比（%） |
| *CBR*5.0 | 贯入量为5.0mm时的承载比（%） |
| *ρ*dmin | 最小干密度（g/cm3） |
| *V*max | 松散状态时试样的最大体积（cm3） |
| *e*max | 最大孔隙比 |
| *ρ*dmax | 最大干密度（g/cm3） |
| *V*min | 松散状态时试样的最小体积（cm3） |
| *e*min | 最小孔隙比 |
| *D*r | 相对密度 |
| *e*0 | 天然孔隙比或填土的相应孔隙比 |
| *w*i | 第*i*次失水率（%） |
| *m*i | 第*i*次标准试件称重质量（g） |
| *ε* | 第*i*次干缩应变（%） |
| *α* | 第*i*次干缩系数（%） |
| *BDR* | 经*n*次冻融循环后试件的抗压强度损失（%） |
| *R*nc | *n*次冻融循环后试件的抗压强度（MPa） |
| *R*c | 对比试件的抗压强度（MPa） |
| *W*a | *n*次冻融循环后的试件质量变化率（%） |
| *m*0 | 冻融循环前试件的质量（g） |
| *m*a | *n*次冻融循环后试件的质量（g） |
| *P* | 冲刷质量损失（%） |
| *m*f | 冲刷物质量 |
| *m*0 | 试件质量 |
| *C*w | 渗水系数（mL/ min） |
| *K* | 干湿强度系数 |
| *f*'ts | 经15次干湿循环后试件劈裂抗拉强度平均值（MPa） |
| *f*ts | 平行试件劈裂抗拉强度平均值（MPa） |
| *X* | 小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分数（%） |
| *m*A | 小于某粒径的试样质量（g） |
| *m*R | 当细筛分析时或用密度计法分析时所取试样质量（g） |
| *d*x | 粒径小于2mm或粒径小于0.075mm的试样质量占总质量的百分数（%） |
| *C*u | 不均匀系数 |
| *d*60 | 限制粒径（mm） |
| *d*10 | 有效粒径（mm） |
| *C*c | 曲率系数 |
| *d*30 | 中值粒径 |
| *m*dx | 吸取悬液中（25ml）土粒的干土质量（g） |
| *V*x | 悬液总体积 |
| *V*x' | 移液管每次吸取的悬液体积 |
| *M*a | 标定罐中砂的质量（g） |
| *M*1 | 灌砂筒装入标定罐前，筒内砂的质量（g） |
| *M*2 | 灌砂筒下部圆锥体内砂的质量（g） |
| *M*3 | 灌砂筒装入标定罐后，筒内剩余砂的质量（g） |
| *r*s | 量砂的单位质量（g/cm3） |
| *V* | 标定罐的体积（cm3） |
| *ω* | 材料的含水率（%） |
| *ρ*d | 试样的干密度（g/cm3） |

# 3 试样制备

## 3.1一般规定

**3.1.1** 固化土配合比设计时，应根据基土的种类和性质，确定所选用的土体固化剂类型，再通过配合比设计试验，进行分析计算并经过技术经济比较，选用最适宜的配合比。

**3.1.2** 固化土配合比设计时，固化土混合料配合比宜采用质量比。无机结合料掺量和土体固化剂掺量宜采用占干土质量的百分率表示。

## 3.2土料

**3.2.1** 土料应根据工程实际情况选择。所采集的土样，应采用密封包装，以保持天然含水率。

**3.2.2** 土料中有机质含量不宜超过10%，土样中石料或团聚的颗粒的最大粒径不应大于40mm。

**3.2.3** 土料使用前应进行颗粒分析、液塑限和塑性指数、有机质含量、pH值、天然含水率、最大干密度和最优含水率试验等，土料的基本性质试验方法可按现行国标《土工试验方法标准》GB/T 50123有关规定执行。

## 3.3胶结料固化剂

**3.3.1** 土体固化剂按形态分为液体和粉体。

**3.3.2** 胶结料应包括水泥、石灰、石灰-粉煤灰和复合胶结料等无机胶凝材料。

**3.3.3** 水泥宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。水泥强度等级宜为42.5级，并应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175的有关规定。不应使用快硬水泥、早强水泥。

**3.3.4** 石灰应采用消石灰或生石灰粉，并应符合现行行业标准《建筑消石灰》JC/T 481和《建筑生石灰》JC/T 479的有关规定。

**3.3.5** 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的有关规定。

**3.3.6** 利用工业废渣复合配制的复合胶结料的物理指标应符合表1的规定。

**表1 复合胶结料的物理指标**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 指标 |
| 1 | 细度（80μm方孔筛筛余量）（%） | ≤10 |
| 2 | 含水率（%） | ≤1 |
| 3 | 凝结时间 | 初凝≥45min；终凝≤10h |

**3.3.7**软土固化剂工艺指标应符合表2的规定。

**表2 软土固化剂工艺指标**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | | 指标 |
| 净浆流动度/mm | 初始 | ≥100 |
|  | 30min | ≥90 |
|  | 60min | ≥80 |
| 初凝时间/min | | ≥45 |
| 流动度指标只适用于S类软土固化剂 | | |

**3.3.8**配置固化土前应对固化剂的细度、含水率、净浆流动度、凝结时间、重金属含量进行测定，试验方法可按现行行业标准《软土固化剂》CJ/T 526执行。

## 3.4外加剂

**3.4.1** 外加剂应按照土料的性能、工程技术要求和经济合理性选用。每种外加剂的加入量不宜大于5%。

**3.4.2** 配置固化土前应对土体固化外加剂的细度、含水率、密度、pH值、稳定性、重金属离子含量、凝结时间、水温系数进行测定，试验方法及技术性能指标应符合现行行业标准《土壤固化外加剂》CJ/T 486的有关规定。

**3.4.3** 固化土用于道路的面层和基层时，可加入膨胀剂或收缩补偿剂。膨胀剂应符合现行国家标准《混凝土膨胀剂》GB/T 23439的有关规定。

## 3.5固化土制备及养护

**3.5.1**采用候选的土体固化外加剂进行固化土试配时，宜选用3个不同固化剂掺量进行对比试验，其中基准配合比的土体固化外加剂掺量应为产品使用说明书中的推荐用量，另外两个配合比的土体固化外加剂掺量宜比产品推荐用量分别增加和减少5%。

**3.5.2**应按设定的胶结料用量，将土体固化外加剂按选定的不同配比加入拌和水中或水稀释后直接加入混合料中，进行试件制备及标准养护。

**3.5.3**试件成型应按下列步骤进行：

1、胶结料的用量选取应符合下列规定：

1）采用水泥作为胶结料时，应先对土料进行击实试验，确定土料的最大干密度和最佳含水率。

2）采用石灰作为胶结料时，石灰用量可选取以土料干基质量5%~10%内的3个对比用量。

3）采用石灰-粉煤灰作为胶结料时，石灰用量可选取以土料干基质量5%~10%内的3个对比用量，获得石灰：粉煤灰3个不同的配比。

4）采用石灰-水泥混合胶结料时，石灰用量宜选取土料干基质量2%±0.5%（有效氧化钙），水泥用量可在4%~8%内选取3个用量，得到石灰水泥3个不同配比。

5）采用复合胶结料时，复合胶结料用量可选取厂家的推荐用量及增加和减少20%的3个对比用量。

2、按本标准第3.4条试验确定的土体固化外加剂型号及用量，以土料的干基质量比例计算各原料的实际加量，配制3组不同配比的混合料。

3、采用石灰、石灰-水泥、石灰-粉煤灰胶结料时，石灰与土料应闷料 4~12h。

4、测定固化土最佳含水率和最大干密度，试验方法可参照现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51的有关规定。

5、按混合料的最佳含水率和最大干密度进行试件的成型。

**3.5.4**试件成型后，应按现行行业标准《公路工程无机结合稳定材料试验规程》JTG E51的有关规定进行养护和检测，对比各组试件的无侧限抗压强度的测定结果，选定胶结料的最佳用量。

**3.5.5**在选取土体固化外加剂和胶结料用量以后，应根据工程要求的压实度和施工条件进行综合强度试验。

# 4 固化土道路基层

## 4.1一般规定

**4.1.1**固化土道路基层和底基层每层结构设计厚度不应小于15cm，不宜大于25cm。

**4.1.2**固化土道路基层结构设计时，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。

## 4.2弹性模量试验

**4.2.1**一般规定

本方法适用于在室内对固化土试件进行抗压回弹模量试验。

**4.2.2**仪器设备

1、压力机或万能试验机（也可用路面强度试验仪和测力计）：压力机除符合《液压式压力试验机》（GB/T 3722）及《试验机通用技术要求》（GB/T 2611）中的要求，其测量精度为±1%，同时应具有加荷速度指示装置或加荷速度控制装置。上下压板平整并有足够刚度，可以均匀地连续加荷卸荷，可以保持固定荷载。开机停机均灵活自如，能够满足试件吨位要求，且压力机加载速率可以有效控制在1mm/min。

2、测形变装置：圆形金属平面加载顶板和圆形金属平面加载底板，板的直径应大于试件的直径，底板直径线两侧有立柱，立柱上装有千分表夹，也可以直接利用直径152mm击实筒的底座。

3、千分表（1/1000mm）：2只（或相同精度的位移传感器，2个），也可采用数据采集系统，包括荷载传感器（1个）、位移传感器（2个）、荷载计数器以及数据采集仪。

4、标准养护室：一般温度为20温度℃、相对湿度在90%以上。

5、水槽：深度应大于试件高度50mm。

6、天平：量程4000g，感量0.01g；量程15kg，感量0.1g。

7、机油：若干。

8、球形支座。

9、适合测试范围的测力计。

10、圆形钢板。

**4.2.3**试件制备和养护

1、确定固化土的最佳含水率和最大干密度。

2、细粒式和中粒式混合料成型Φ100mm×100mm试件，粗粒式混合料成型Φ150mm×150mm试件。

3、试件数量：对于细粒固化土，应制备不少于6个试件，并要求模量试验结果的变异系数不超过10%；对于无机结合料稳定中粒式材料，应制备不少于9个试件，并要求模量试验结果的变异系数不超过10%；对粗粒固化土，应制不少于15个试件，并要求模量试验结果的变异系数不超过15%。

4、进行试样养护，水泥稳定类土养生龄期为90d，石灰或粉煤灰稳定类土养生龄期180d。

5、圆柱形试件的两个端面应用水泥净浆彻底抹平。将试件直立桌上，在上端面用早强高强水泥净浆薄涂一层后，在表面撒少许量0.25~0.5mm的细砂，用直径大于试件的平面圆形钢板放在顶面，加压旋转圆钢板，使顶面齐平。边旋转边平移并迅速取下钢板。如有净浆被钢板粘去，则重新用净浆抹平，并重复上述步骤。一个端面整平后，放置4h以上，然后将另一端面同样整平。整平应该达到：加载板放在试件顶面后，在任一方向都不会翘动。试件整平后放置8h以上。

6、将端面已经处理平整的试件饱水24h，水面高于试件顶面约25mm。

**4.2.4**试验步骤

1、根据试验材料的类型和一般的工程经验，选择合适量程的测力计和试验机，对被测试件施加的压力应在量程的20%~80％范围内。如采用压力机系统，需调试设备，设定好加载速率。

2、加载板上的计算单位压力的选定值：对于基层材料，用0.5~0.7MPa；对于无机结合料稳定底基层材料，用0.2~0.4MPa。实际加载的最大单位压力应略大于选定值。

3、将试件浸水24h后从水中取出，用布擦干后放在加载底板上，在试件顶面撒少量0.25~0.5mm的细砂，并手压加载板在试件顶面边加压边旋转，使细砂填补表面微观的不平整，并使多余的砂流出，以增加顶板与试件的接触面积。

4、安置千分表，使千分表的脚支在加载顶板直径线的两侧并离试件中心距离大致相等。

5、将带有试件的测形变装置放到路面材料强度试验仪的升降台上（也可以先将测形变装置放在升降台上再安置试件和千分表），调整升降台的高度，使测力环下端的压头中心与加载板的中心接触。

6、预压：先用拟施加的最大载荷的一半进行两次加荷卸荷预压试验，使加载顶板与试件表面紧密接触。每两次卸载后等待1min，然后将千分表的短指针调到中间位置，并将长指针调到0，记录千分表的原始读数。

7、回弹形变测量：将预定的单位压力分成5~6等份，作为每次施加的压力值。实际施加的荷载应较预定级数增加1级。施加第1级荷载（如为预定最大荷载的1/5），待荷载作用达1min时，记录千分表的读数，同时卸去荷载，让试件的弹性形变恢复。到0.5min时记录千分表的读数，施加第2级荷载（为预定最大荷载的2/5），同前待荷载作用1min，记录千分表的读数，卸去荷载。卸荷后达0.5min时，再记录千分表的读数，并施加第3级荷载。如此逐级进行，直至记录下最后一级荷载下的回弹形变。

**4.2.5**数据分析

1、按式（4-1）计算每级荷载下的回弹形变*l*。

*l* =加荷时读数－卸荷时读数 （4-1）

2、以单位压力*p*为横坐标（向右），以回弹形变*l*为纵坐标（向下），绘制*p*与*l*的关系曲线，修正曲线开始段的虚假形变。修正时，一般情况下将第1个和第2个试验点取成直线，并延长此直线与纵坐标轴相交，此交点即为新原点。

3、用加载板上的计算单位压力*p*以及与相应的回弹形变*l*按式（4-2）计算回弹模量。

*E*c= *ph/l* （4-2）

式中：*E*c*——*抗压回弹模量（MPa）；

*p——*单位压力（MPa）；

*h*——试件高度（mm）；

*l*——试件回弹形变（mm）。

4、抗压回弹模量用整数表示。

5、同一组试件试验中，采用3倍均方差方法剔出异常值，大试件2~3个异常值。异常值超过上述规定的试验重做。

6、对于细粒固化土、中粒固化土，变异系数不超过10%；粗粒固化土，变异系数不超过15%。如不能保证变异系数小于上述规定，则还应按允许误差10%和90%概率重新计算增加试件数量，并另做新试验。新试验结果与老试验结果一并重新进行统计评定，直到变异系数满足上述规定。

本试验的记录格式应符合本标准附录A表A.1的规定。

## 4.3无侧限抗压强度试验

**4.3.1** 一般规定

1、土样为固化土。

2、本试验方法加荷方式为应变控制。

**4.3.2** 仪器设备

1、应变控制式无侧限压缩仪：应包括负荷传感器或测力计，加压框架及升降螺杆等。应根据土的软硬程度选用不同量程的负荷传感器或测力计；

2、位移传感器或位移计（百分表）：量程30mm，分度值0.01mm；

3、天平：称量1000g，分度值0.1g。

**4.3.3** 试验步骤

1、试样制备应符合GB/T 50123第19.3.1条的规定；

2、细粒式材料，试模的直径×高＝Φ50mm×50mm；中粒式材料，试模的直径×高＝Φ100mm×100mm；粗粒式材料，试模的直径×高＝Φ150mm×150mm；

3、将试样两端抹一薄层凡士林，当气候干燥时，试样侧面亦需抹薄层凡士林防止水分蒸发。

4、将试样放在下加压板上，升高下加压板，使试样与上加压板刚好接触。将轴向位移计、轴向测力读数均调至零位；

5、下加压板宜以每分钟轴向应变为1%~3%的速度上升，使试验在8~10min内完成；

6、轴向应变小于3%时，每0.5%应变测记轴向力和位移读数1次；轴向应变达3%以后，每1%应变测记轴向位移和轴向力读数1次；

7、当轴向力的读数达到峰值或读数达到稳定时，应再进行3%~5%的轴向应变值即可停止试验；当读数无稳定值时,试验应进行到轴向应变达20%为止；

8、试验结束后，迅速下降下加压板，取下试样，描述破坏后形状，测量破坏面倾角；

9、当需要测定灵敏度时，应立即将破坏后的试样除去涂有凡士林的表面，加入少量切削余土，包于塑料薄膜内用手搓捏，破坏其结构，重塑成圆柱形，放入重塑筒内，用金属垫板，将试样挤成与原状样密度、体积相等的试样。然后应按第4条~第8条的规定进行试验。

**4.3.4** 数据分析

1、试样的轴向应变应按式（4-3）计算：

 （4-3）

2、试样的平均断面面积应按式（4-4）计算：

（4-4）



3、试样所受的轴向应力应按式（4-5）计算：

 （4-5）

式中：*σ*——轴向应力（kPa）；

*C*——测力计率定系数（N/0.01mm）；

*R*——测力计读数（0.01mm）；

*A*a——试样剪切时的面积（cm2）。

4、以轴向应力为纵坐标，轴向应变为横坐标，绘制应力应变曲线。取曲线上的最大轴向应力作为无侧限抗压强度*q*u。最大轴向应力不明显时，取轴向应变为15%对应的应力作为无侧限抗压强度*q*u。

本试验的记录格式应符合本标准附录A表A.2的规定。

5、目标可靠度指标按式（4-7）~（4-9）计算：

*R*=*kR*7d(1-*Z*a*C*v) （4-7）

*R*7d=(*R*1+*R*2+...+*R*n)/n （4-8）

*C*v=*σ*/*R*7d （4-9）

式中：*R*——无侧限抗压强度代表值（MPa）；

*R*7d——试件无侧限抗压强度实测平均值（MPa）；

*R*n——第*n*个试件的无侧限抗压强度实测值（MPa）；

*n*——试验样本数；

*C*v——变异系数；

*σ*——标准差；

*k*——压实度；

*Z*a——目标可靠指标。

## 4.4劈裂强度

**4.4.1** 一般规定

试样为固化土，参照混凝土劈裂强度测定方法。

**4.4.2** 仪器设备

1、压力机或万能试验机：其负荷能力能满足试件破型吨位要求。精确度应在±2%以内，其量程应能使试件的预期破坏荷载值不小于全量程的20%，也不大于全量程的80%；

2、劈裂夹具和木质三合板垫层或纤维板垫层：木质三合板宽度为0~25mm，厚3m+0.2nm，长度不短于试件圆柱长，垫层不得重复使用。

**4.4.3** 试验步骤

1、将已浸水一昼夜的试件从水中取出，用软布吸去试件表面的可见自由水，并称试件的质量；

2、用游标卡尺测量试件的高度*h*，精确至0.1mm；

3、将劈裂夹具放在压力机上，放好下垫层，再将试件放入夹具内，放好上垫层，借助夹具两侧杆，将试件对中；

4、开动压力机。当上压板与夹具垫条接近时，调整球座使接触均衡。压力加到5kN时，将夹具两侧杆抽出，以每秒钟60±40N的速度连续而均匀加荷，直至试件劈裂为止。

**4.4.4** 数据分析

1、劈裂抗拉极限强度按式（4-10）计算：

 （4-10）

式中：*σ*p——劈裂抗拉极限强度；

*p*——极限荷载；

*d*——试样直径（mm）；

*h*——试样高度（mm）。

2、取三个试件测定值的算术平均值为该组试件的抗压强度值，如三个试件中的任一个测定值与中值差值超过中值的15%时，取中值为测定值；如有两个测定值与中值的差值均超过15%时，则该组试测结果无效。

本试验的记录格式应符合本标准附录A表A.3的规定。

## 4.5承载比试验

**4.5.1** 一般规定

1、土样为固化土，土样粒径应小于20mm；

2、本试验应采用重型击实法将扰动土在规定试样筒内制样后进行试验。

**4.5.2** 仪器设备

1、本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定：

1）击实仪应符合GB/T 50123第13.2.1条的规定，其主要部件的尺寸应符合下列规定：

a）试样筒：内径152mm，高166mm的金属圆筒；试样筒内底板上放置垫块，垫块直径为151mm，高50mm，护筒高度50mm；

b）击锤和导筒：锤底直径51mm，锤质量4.5kg，落距457mm；

击锤与导筒之间的空隙应符合现行国家标准《土工试验仪器击实仪》GB/T 22541的规定。

2）贯入仪应符合下列规定：

a）加荷和测力设备：量程应不低于50kN，最小贯入速度应能调节至1mm/min；

b）贯入杆：杆的端面直径50mm，杆长100mm，杆上应配有安装百分表的夹孔；

c）百分表：2只，量程分别为10mm和30mm、分度值0.01mm。

3）标准筛：孔径为20mm、5mm；

4）台秤：称量20kg，分度值1g；

5）天平：称量200g，分度值0.01g。

2、本试验所用的其他仪器设备应符合下列规定：

1）膨胀量测定装置：由百分表和三脚架组成；

2）有孔底板：孔径宜小于2mm，底板上应配有可紧密连接试样筒的装置；带调节杆的多孔顶板；

3）荷载块：直径150mm，中心孔直径52mm；每对质量1.25kg，共4对，并沿直径分为两个半圆块；

4）水槽：槽内水面应高出试件顶面25mm；

5）其他：刮刀、修土刀、直尺、量筒、土样推出器﹑烘箱、盛土盘。

**4.5.3** 试验步骤

1、试样制备应按下列步骤进行：

1）试样制备应符合GB/T 50123第13.3.1条的规定。其中土样需过40mm筛，以筛除粒径大于40mm的颗粒，并记录超径颗粒的百分数；按需要制备数份试样，每份试样质量约为6.0kg；

2）进行重型击实试验，求取最大干密度和最优含水率；

3）应按最优含水率备料，进行重型击实试验制备3个试样，击实完成后试样超高应小于6mm；

4）卸下护筒，沿试样筒顶修平试样，表面不平整处宜细心用细料修补，取出垫块，称试样筒和试样的总质量。

2、浸水膨胀应按下列步骤进行：

1）将一层滤纸铺于试样表面，放上多孔底板，并应用拉杆将试样筒与多孔底板固定好；

2）倒转试样筒，取一层滤纸铺于试样的另一表面，并在该面上放置带有调节杆的多孔顶板，再放上8块荷载块；

3）将整个装置放入水槽，先不放水，安装好膨胀量测定装置，并读取初读数；

4）向水槽内缓缓注水，使水自由进入试样的顶部和底部，注水后水槽内水面应保持在荷载块顶面以上大约25mm；通常试样要浸水4d；

5）根据需要以一定时间间隔读取百分表的读数。浸水终了时，读取终读数。膨胀率应按下式计算：

 （4-11）

式中：*δ*w——浸水后试样的膨胀率（%）；

*h*w——浸水后试样的膨胀量（mm）；

*h*0——试样的初始高度（mm）。

6）卸下膨胀量测定装置，从水槽中取出试样，吸去试样顶面的水，静置15min让其排水，卸去荷载块、多孔顶板和有孔底板，取下滤纸，并称试样筒和试样总质量，计算试样的含水率与密度的变化。

3、贯入试验应按下列步骤进行：

1）将浸水终了的试样放到贯入仪的升降台上，调整升降台的高度，使贯入杆与试样顶面刚好接触，并在试样顶面放上8块荷载块；

2）在贯入杆上施加45N荷载，将测力计量表和测变形的量表读数调整至零点；

3）加荷使贯入杆以1.0~1.25mm/min的速度压入试样，按测力计内量表的某些整读数（如20、40、60）记录相应的贯入量，并使贯入量达2.5mm时的读数不得少于5个，当贯入量读数为10.0~12.5mm时可终止试验；

4）应进行3个试样的平行试验，每个试样间的干密度最大允许差值应为±0.03g/cm3。当3个试样试验结果所得承载比的变异系数大于12%时，去掉一个偏离大的值，试验结果取其余2个结果的平均值；当变异系数小于12%时，试验结果取3个结果的平均值。

**4.5.4**数据分析

1、以单位压力*p*为横坐标，贯入量*l*为纵坐标，绘制*p*-*l*曲线（图1）。图1中，曲线1是合适的，曲线2的开始段是凹曲线，应进行修正。修正的方法为：在变曲率点引一切线，与纵坐标交于O点，这О点即为修正后的原点。

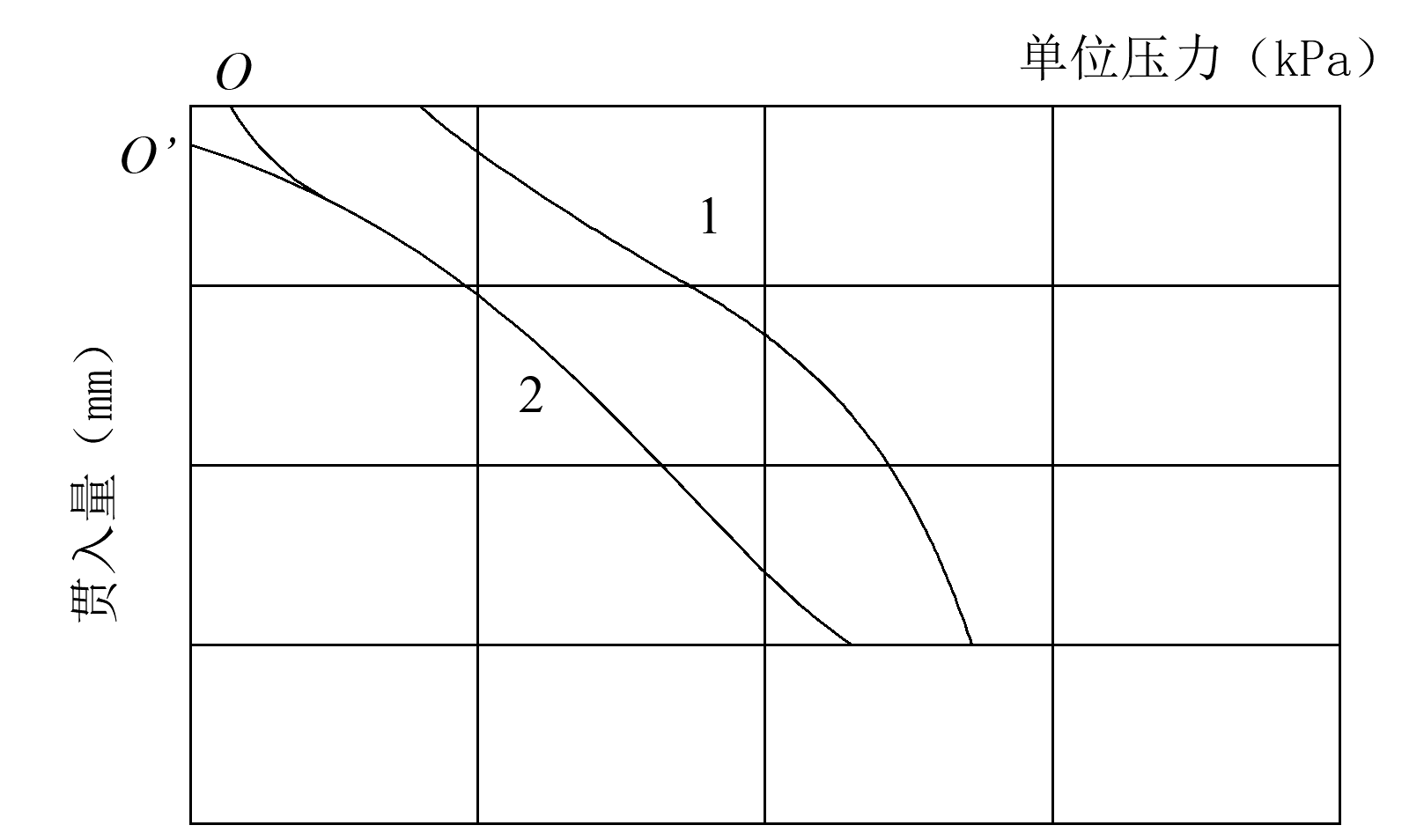


图1 贯入量曲线图

2、由*p*-*l*曲线上获取贯入量为2.5mm和5.0mm时的单位压力值，各自的承载比应按下列公式计算。承载比一般是指贯入量为2.5mm时的承载比，当贯入量为5.0mm时的承载比大于2.5mm时，试验应重新进行。当试验结果仍然相同时，应采用贯入量为5.0mm时的承载比。

1）贯入量为2.5mm时的承载比应按式（4-12）计算：

 （4-12）

式中：*CBR*2.5——贯入量为2.5mm时的承载比（%）；

*p*——单位压力（kPa）；

7000——贯入量为2.5mm时的标准压力（kPa）。

2）贯入量为5.0mm时的承载比应按式（4-13）计算：

 （4-13）

式中：*CBR*5.0——贯入量为5.0mm时的承载比（%）；

10500——贯入量为5.0mm时的标准压力（kPa）。

承载比试验的记录格式应符合本标准附录A表A.4的规定。

## 4.6相对密度试验

**4.6.1** 一般规定

1、土样为能自由排水的砂砾土，粒径不应大于5mm，其中粒径为2~5mm的土样质量不应大于土样总质量的15%。最大干密度试验宜采用振动锤击法。

2、本试验应进行两次平行测定，两次测定值其最大允许平行差值应为±0.03g/ cm3，取两次测值的算术平均值为试验结果。

**4.6.2** 最小干密度试验

1、本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定：

1）量筒：容积为500mL和1000mL两种，后者内径应大于6cm；

2）长颈漏斗：颈管内径约1.2cm，颈口磨平；

3）锥形塞：直径约1.5cm的圆锥体，焊接在铜杆下端；

4）天平：称量1000g，分度值lg；

5）砂面拂平器。

2、最小干密度试验应按下列步骤进行：

1）取代表性的烘干或充分风干试样约1.5kg，用手搓揉或用圆木棍在橡皮板上碾散，并应拌和均匀；

2）将锥形塞杆自漏斗下口穿入，并向上提起，使锥体堵住漏斗管口，一并放入1000mL量筒中，使其下端与筒底接触；

3）称取试样700g，应准确至lg，均匀倒入漏斗中，将漏斗与塞杆同时提高，然后下放塞杆使锥体略离开管口，管口应经常保持高出砂面l~2cm，使试样缓缓且均匀分布地落入量筒中；

4）试样全部落入量筒后，取出漏斗与锥形塞，用砂面拂平器将砂面拂平，勿使量筒振动，然后测读砂样体积，估读至5mL；

5）用手掌或橡皮板堵住量筒口，将量筒倒转，然后缓慢地转回原来位置，如此重复几次，记下体积的最大值，估读至5mL；

6）从4）和5）两种方法测得的体积值中取体积值较大的一个，为松散状态时试样的最大体积。

2、最小干密度应按式（4-14）计算，计算至0.01g/cm3：

 （4-14）

式中：*ρ*dmin——最小干密度（g/cm3）；

*V*max——松散状态时试样的最大体积（cm3）。

3、最大孔隙比应按式（4-15）计算：

 （4-15）

式中：*e*max——最大孔隙比。

本试验的记录格式应符合本标准附录A表A.9的规定。

**4.6.3** 最大干密度试验

1、本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定：

1）金属容器有两种：

a）容积250ml，内径5cm，高12.7cm；

b）容积1000ml，内径10cm，高12.75cm。

2）振动叉；

3）击锤：锤质量1.25kg，落高15cm，锤底直径5cm；

4）台秤：称量5000g，分度值1g。

2、最大干密度试验应按下列步骤进行：

1）取代表性的试样约4kg；

2）分3次倒入容器进行振击。先取代表性试样600~800g（其数量应使振击后的体积略大于容器容积的1/3）倒入1000mL容器内，用振动叉以每分钟各150~200次的速度敲打容器两侧，并在同一时间内，用击锤于试样表面每分钟锤击30~60次，直至砂样体积不变为止，一般击5~10min。敲打时要用足够的力量使试样处于振动状态；锤击时，粗砂可用较少击数，细砂应用较多击数；

3）进行后两次的装样、振动和锤击，第3次装样时应先在容器口上安装套环；

4）最后1次振毕，取下套环，用修土刀齐容器顶面刮去多余试样，称容器内试样质量，准确至1g，并记录试样体积，计算其最小孔隙比。

3、最大干密度应按下式计算，计算至0.01g/cm3；

  （4-16）

式中：*ρ*dmax——最大干密度（g/cm3）；

*V*min——松散状态时试样的最小体积（cm3）。

4、最小孔隙比应按下式计算：

 （4-17）

式中：*e*min——最小孔隙比。

5、相对密度应按下列公式计算：

 （4-18）

 （4-19）

式中：*D*r——相对密度，计算至0.01；

*e*0——天然孔隙比或填土的相应孔隙比。

本试验的记录格式应符合本标准附录A表A.5的规定。

## 4.7干燥收缩试验

**4.7.1** 一般规定

1、本方法用于测定无机结合料稳定材料的失水收缩的程度和干缩系数计算；

2、该试验方法是将室内成型的梁式试件放置在收缩仪上，在收缩仪的两端安置LVDT位移传感器，通过传感器采集试件失水后的整体收缩变形值。

**4.7.2** 仪器设备

1、收缩仪：两端设计为装LVDT位移传感器，中间能放置不同尺寸的试件。

2、LVDT数据采集系统：包括LVDT位移传感器和数据采集仪，如图2所示。

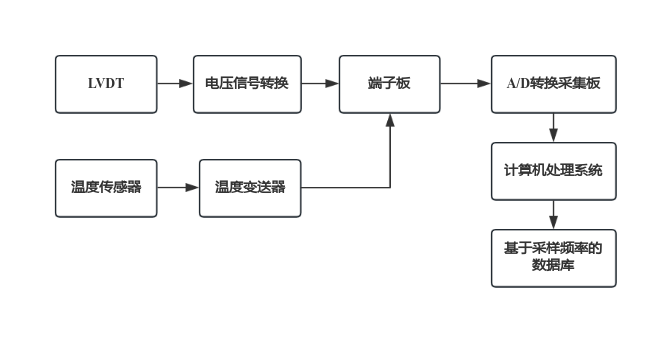


图2 LVDT-温缩试验采集系统示意图

3、干缩室（箱）：室（箱）内控温度为20℃±1℃，相对湿度为60%±5%。室（箱）内配有温度、湿度自动记录仪，记录温度、湿度变化。置于恒温室中的干缩箱内须放干燥剂用于除湿；

4、支脚：采用薄的玻璃片，如载玻片；

5、玻璃棒：若干，长度应大于试件宽度1cm；

6、电子天平：量程4000g，感量0.01g；量程15kg，感量0.1g；

7、游标卡尺：分度0.01mm；

8、502胶。

**4.7.3** 试验步骤

1、试件成型后在标准温度与湿度下养生7d后，将饱水后的试件表面水擦干；采用游标卡尺测定初始长度，长度应重复测定3次，取算术平均值作为基准长度的测定值；至无明显水迹后称取试件初始质量*m*0；

2、取出试件，将试件长轴端磨平并在端面上使用502胶粘结有机玻璃片，待502胶凝结后将LVDT位移传感器夹具固定在收缩仪上，在收缩仪上安放涂有润滑剂的玻璃棒，使试件在收缩时减少与收缩仪的摩擦；

3、收缩仪连同试件一起放入干缩室；

4、从移入干缩室的时间起计算，在试验开始后的第2h→6h→12h→24h→48h→72h→96h→120h→144h分别称取其质量*m*i；

5、在干缩观测结束后，将标准试件放到烘箱内烘干至恒重*m*p。

**4.7.4** 数据分析

失水率：

 （4-20）

干缩系数：

 （4-21）

总干缩系数：

 （4-22）

式中：*w*i——第*i*次失水率（%）；

*m*i——第*i*次标准试件称重质量（g）；

*ε*i——第*i*次干缩应变（%）；

*α*——第*i*次干缩系数（%）。

1、干缩系数保留4位有效数字；

2、每种混合料进行3个样本的平行试验。当3个试件的级差与3个试件的平均值不超过30%时，为有效试验，取平均值作为这种混合料的干缩系数；否则重新进行试验。

本试验的记录格式应符合本标准附录A表A.6的规定。

### 4.8冻融试验

**4.8.1** 一般规定

1、本方法适用于固化土的抗冻性评价；

2、抗冻性为试样在经过数个冻融循环后的饱水无侧限抗压强度与冻前饱水无侧限抗压强度之比。

**4.8.2** 仪器设备

1、游标卡尺；

2、低温箱：控温-18℃，控温精度±1℃；

3、控温水槽：控温20℃、控温精度±1℃；

4、天平：感量0.01g；

5、压力机或万能试验机（也可用路面强度试验仪和测力计）：压力机除符合《液压式压力试验机》（GB/T 3722）及《试验机通用技术要求》（GB/T 2611）中的要求，其测量精度为±1%。同时应具有加荷速度指示装置或加荷速度控制装置。上下压板平整并有足够刚度，可以均匀地连续加荷卸荷，可以保持固定荷载。开机停机均灵活自如，能够满足试件吨位要求，且压力机加载速率可以有效控制在1mm/min。

**4.8.3** 试验步骤

1、浸水完毕后，取出试件，用湿布擦除表面的水分，称重，用游标卡尺测量试件的高度，精确到0.1mm；

2、取其中一组试件按本标准T 0805方法测定非冻融条件下的无侧限抗压强度*R*c；

3、取其中冻融的一组试件，按编号置入低温箱开始冻融试验。低温箱的温度为-18℃，冻结时间为16h，保证试件周围至少留有20mm空隙，以利于冷空气流通。冻结试验结束后，取出试件，量高、称重；然后立即放入20℃的水槽中进行融化，融化时间为8h。槽中水面应至少高出试件表面20mm，融化完毕，取出试件擦干后量高、称重，即为该次冻融循环结束。然后放入低温箱进行第二次冻融循环；

4、如试件的平均失重率超过5%，即可停止其冻融循环试验；

5、试件达到规定的冻融循环次数后，按照本标准T 0805方法进行冻融后的抗压强度（*RDC*）试验。抗压试验前应称重并进行外观检查。详细记录试件表面破损、裂缝及边角缺损情况。

**4.8.4** 数据分析

半刚性材料的抗冻性指标：

 （4-23）

 （4-24）

式中：*BDR*——经*n*次冻融循环后试件的抗压强度损失（%）；

*R*nc——*n*次冻融循环后试件的抗压强度（MPa）；

*R*c——对比试件的抗压强度（MPa）；

*W*a——*n*次冻融循环后的试件质量变化率（%）；

*m*0——冻融循环前试件的质量（g）；

*m*a——*n*次冻融循环后试件的质量（g）。

本试验的记录格式应符合本标准附录A表A.7的规定。

# 5 固化土道路面层

## 5.1一般规定

**5.1.1**面层固化土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。

**5.1.2**固化土面层宜设置伸缩缝，间距宜为6~10m，宽度宜为3~8mm，深度宜为面层厚度的1/3~1/2。伸缩缝应采用弹性材料填充处理。

**5.1.3**固化土面层应进行表面封层处理，也可设置磨耗层或其他功能层。

## 5.2无侧限抗压强度试验

需对固化土道路面层材料无侧限抗压强度进行测定，试验方法同4.3。

## 5.3抗冲刷试验

**5.3.1** 一般规定

本方法适用于水泥稳定类、石灰稳定类、二灰稳定类等基层材料进行抗冲刷试验。

**5.3.2** 仪器设备

1、MTS平台；

2、冲刷桶；

3、橡皮垫：具有纵横和向连通孔隙，减少刚性压头对试件的冲击，同时模拟轮胎的泵吸作用。采用邵氏硬度80±2的橡皮垫，尺寸根据冲刷试的小用Φ150mm × 20mm和Φ100mm × 20mm，平面孔距为10mm，厚度方向的孔距为5mm孔的直径为Φ3mm；

4、电子天平：量程4000g，感量0.01g；量程15kg，感量0.1g；

5、试模；

6、脱模器；

7、量筒拌和工具等。

**5.3.3** 试验步骤

1、试件准备

1）试件为圆柱形径高比为1:1。在冲刷试验中无机结合料定细粒中粒粗粒土均采用Φ150mm × 150mm的圆柱形试件。按照室内击实试验所确定的最大干密度和最佳含水量及要求的压实度，采用静力压实或振动成型法制备试件；

2）确定结合料种类、最优含水量、最大干密度；

3）细粒固化土每种配比应平行成型3试件，固化中、粗粒则应平行成型6个试件；

4）为避免冲刷试验中试件垮塌，试件需要达到一定的强度，水泥稳定固化土需养护28d，二灰类固化土需养护90d；

5）试件养护结束后，将试件浸水24h备用。

2、将饱水后的试件从水中取出，拭干表面的水分称其质量*m*0；

3、把准备好的试件放入冲刷桶内。用夹具将试件固定于冲刷桶的底面（为保护试件免受来具的损伤，在试件与钢夹之间沿着径向垫上一层胶皮垫），然后将装有试件的冲刷桶牢固地安置在试验机上；

4、向冲刷桶中注入清水，水面应高于试件顶面5mm，在试件上垫上有纵横竖向孔的橡皮垫；

5、调整好试验机的施力状态冲击力峰值为0.5MPa，冲刷频率为10Hz；

6、冲刷时间为30min；

7、冲刷完成后，将冲刷桶从试验机底板上卸下，把桶中混浊的水连同冲刷物小心地倒入金属盆中进行沉淀；

8、冲刷物沉淀12h后，将盆中上部的清水小心地倒出，剩下的沉淀物放入烘箱中烘干，然后称其质量，得到30min的累计冲刷量*m*f。

**5.3.4** 数据分析

按式（5-1）计算试件的冲刷质量损失。

 （5-1）

式中：*P*——冲刷质量损失（%）；

*m*f——冲刷物质量；

*m*0——试件质量。

同一组试验的变异系数*C*v（%）符合下列规定，方为有效试验：细粒*C*v≤10%，粗粒土*C*v≤15%。

当试验结果满足要求时，将几个平行试件的试验结果取平均值作为最终结果。

## 5.4渗透系数试验

**5.4.1** 一般规定

材料的抗渗性测试分为两种：对孔隙较大的断级配粒料基层或排水基层，本试验用于测定其渗水系数；对孔隙较小的密实型无机结合料基层，本试验用于测定其在一定压力下的渗水性能。

**5.4.2** 仪器设备

1、渗水仪：渗水仪的底座直径100mm（可在路面材料渗水仪基础上进行改造，底座的直径改为100mm）；

2、水桶及大漏斗；

3、密封材料：如石蜡（内掺松香约2%）；

4、接水容器；

5、渗透仪：应能使水压按规定的方法稳定地作用在试件上；

6、螺旋加压器、烘箱、电炉；

7、其它：水、红墨水、粉笔、扫帚等。

**5.4.3** 试验步骤

1、透水性基层

1）在洁净的水桶内滴入几点红墨水，使水变成淡红色；

2）试件到龄期后取出，擦干表面，用钢丝刷刷净两端面；待表面干燥后，在试件侧面滚涂一层熔化的密封材料；然后立即在螺旋加压器上压入经过烘箱或电炉预热过的试模中，使试件底面和试模底平齐；

3）在试件表面沿渗水仪底座圆圈位置抹一薄层密封材料，边涂边用手压紧，一直抹到试模壁。使密封材料嵌满试件表面混合料的缝隙，且牢固地粘结在试件上。密封料圈的内径与底座内径相同，约100mm；

4）将渗水仪底座用力压在试件密封材料圈上，再加上铁圈压重压住仪器底座；

5）用适当的垫块放在试件下，将试件垫起，试件下方放置一个接水容器。关闭渗水仪细管下方的开关，向仪器的上方筒中注入淡红色的水至满刻度，总量为600mL；

6）迅速将开关全部打开，水开始从细管下部流出；待水面下降100mL时，立即开动秒表，每间隔60s，读记仪器管的刻度一次；至水面下降500mL时为止，并记录所需时间。测试过程中，应观察渗水的情况，正常情况下，水应该通过混合料内部空隙从试件的反面及四周渗出，如水是从底座与密封材料间渗出，说明底座与试件密封不好，应另采用干燥试件重新操作。如水面下降速度很慢，从水面下降至100mL开始，测得3min的渗水量即可停止；

7）按以上步骤对同一种材料制作的6块试件测定渗水系数，取其平均值，作为检测结果。

2、密实型的半刚性基层材料

1）试件到龄期后取出，擦干表面，用钢丝刷刷净两端面；待表面干燥后，在试件侧面滚涂一层熔化的密封材料；然后立即在螺旋加压器上压入经过烘箱或电炉预热过的试模中，使试件底面和试模底平齐。待试模变冷后，即可解除压力，装在渗透仪上进行试验；

2）渗水仪的上面加上施压装置，在试件的下方放上接水容器，水压控制恒定为0.8MPa±0.05MPa；

3）加上水压的同时开始记录时间（精确至1min），并观察水从试件下流出的时间。若试件透水，记录24h内流出水的量；若试件不透水，24h后停止试验，取出试件。

**5.4.4** 数据分析

1、透水性试验结果是以水面从100ml下降至500ml所需的时间为标准；若渗水时间过长，亦可采用3min通过的水量计算。

 （5-2）

式中：*C*w——渗水系数（mL/min）；

*V*1——第一次读数时的水量（mL），通常为100mL；

*V*2——第二次读数时的水量（mL），通常为500mL；

*t*1——第一次读数的时间（s）；

*t*2——第二次读数的时间（s）。

# 6 流态固化土路基填料

## 6.1一般规定

**6.1.1**流态固化土填筑工程设计应明确固化土的强度等性能要求。对于特殊工程，可根据工程特点，经过专项研究和论证，提出流态固化土的长期性能，必要的环保性能及其他要求。

**6.1.2**采用流态固化土的填筑工程，应以立方体抗压强度要求作为设计、施工质量控制和验收的主要技术指标，并根据工程特点明确流态固化土强度测试的龄期要求。

**6.1.3**流态固化土所采用的土料不得混入危害性废物。污染土体在未经专项研究并获准允许使用时，不得作为流态固化土的土料。

## 6.2无侧限抗压强度试验

需对流态固化土路基填料无侧限抗压强度进行测定。试样制备流程如下：

1. 将固化剂和土料充分搅拌均匀，并倒入试验模具中；
2. 试样倒入模具后，用锤子轻敲模具排出气泡，然后在室温下养护24小时。

试验方法同4.3。

## 6.3渗透系数

需对流态固化土路基填料渗透系数进行测定，试验方法同5.4。

## 6.4干湿循环试验

**6.4.1**一般规定

本试验用于测定固化土经历干湿循环后的强度变化，以反映固化土在干湿循环作用下的长期承载能力。

**6.4.2**仪器设备

1. 电热鼓风干燥箱：最高温度200℃；
2. 恒温水槽或水箱：水温(20士5)℃；
3. 托盘天平或磅称：称量2000g，感量：1g；
4. 钢板直尺：规格为300mm，精度为05mm。

**6.4.3** 试验步骤

1、试件制备：试件表面应平整，不得有明显缺陷，尺寸允许偏差应为±lmm，平整度应不大于0.5mm，垂直度应不大于0.5mm。试件应逐块编号，每组试样不少于3个；

2、试件尺寸：100mm×100mm×100mm；

3、取试件放入电热鼓风干燥箱内，在（60±5）℃下烘至恒重，用游标卡尺或者数显卡尺测量长、宽、高的轴线尺寸，精确至0.1mm。平行试件密封置于室内；

4、将试件在（20±5）℃的室内冷却20min，然后放入恒温水槽内，并浸入水温为（20±5）℃的水中，液面高出试件上表面30mm，试样达到饱和后取出，放入室内晾干30min，放入电热鼓风干燥箱内，在（60±5）℃下烘烤7h，在室内冷却30min，记为一次循环，一次干湿循环15次。当试验中断时，试件应以烘干状态置于室内等待继续试验；

5、经15次干湿循环后的试件，继续在（60±5）℃下烘至恒重，并密封冷却至室温；

6、将干湿循环后的试件按4.3的有关规定进行无侧限抗压强度试验，并计算各组抗压强度的平均值。

**6.4.4**数据分析

干湿循环性能以干湿强度系数表示，干湿强度系数按式（6-1）计算：

*K*=*f*'ts/*f*ts （6-1）

式中：

*K*——干湿强度系数；

*f*'ts——经15次干湿循环后试件劈裂抗拉强度平均值，单位为兆帕（MPa）；

*f*ts——平行试件劈裂抗拉强度平均值，单位为兆帕（MPa）。

试验结果精确至0.01。

## 6.5塌落度试验

**6.5.1**一般规定

本试验方法宜用于骨料最大公称粒径不大于40mm、坍落度不小于10mm的流态固化土。

**6.5.2**仪器设备

1、坍落度仪应符合现行行业标准《混凝土坍落度仪》JG/T248的规定；

2、应配备2把钢尺，钢尺的量程不应小于300mm，分度值不应大于1mm；

3、底板应采用平面尺寸不小于1500mm×1500mm、厚度不小于3mm的钢板，其最大挠度不应大于3mm。

**6.5.3**试验步骤

1、塌落度筒内壁和底板应润湿无明水，底板应放置在坚实水平面上，并把塌落度筒放在底板中心，然后用脚踩住两边的脚踏板，塌落度筒在装料时应保持在固定的位置；

2、流态固化土试样应分三层均匀地装入塌落度筒内，每装一层流态固化土，应用捣棒由边缘到中心按螺旋形均匀插捣25次，捣实后每层流态固化土试样高度约为筒高的1/3；

3、插捣底层时，捣棒应贯穿整个深度，插捣第二层和顶层时，捣棒应插透本层至下一层的表面；

4、顶层流态固化土装料应高出筒口，插捣过程中，流态固化土低于筒口时，应随时添加；

5、顶层插捣完后，取下装料漏斗，应将多余流态固化土刮去，并沿筒口抹平；

6、清除筒边底板上的流态固化土后，应垂直平稳地提起塌落度筒，并轻放于试样旁边，当试样不再继续塌落或坍落时间达30s时，用钢尺测量出筒高与坍落后混凝土试体最高点之间的高度差，作为该流态固化土的塌落度值。

**6.5.4**数据分析

1、塌落度筒的提离过程宜控制在35~70s，从开始装料到提塌落度茼的整个过程应连续进行，并应在150s内完成；

2、将塌落度筒提起后流态固化土发生一边崩坍或剪坏现象时，应重新取样另行测定，第二次试验仍出现一边崩坏或剪坏现象，应予记录说明；

3、流态固化土塌落度值测量应精确至1mm，结果应修约至5mm。

## 6.6扩展度试验

**6.6.1**一般规定

本试验方法宜用于骨料最大公称粒径不大于40mm、塌落度不小于160mm流态固化土扩展度的测定。

**6.6.2**仪器设备

1、坍落度仪应符合现行行业标准《混凝土坍落度仪》JG/T248的规定；

2、钢尺的量程不应小于1000mm，分度值不应大于1mm；

3、底板应采用平面尺寸不小于1500mm×1500mm、厚度不小于3mm的钢板，其最大挠度不应大于3mm。

**6.6.3**试验步骤

1、试验设备准备、流态固化土装料和插捣应符合本标准第6.5.3条中第1~5款的规定；

2、清除筒边底板上的流态固化土后，应垂直平稳地提起坍落度筒，塌落度筒的提离过程宜控制在3~7s，当流态固化土不再扩散或扩散持续时间已达50s时，应使用钢尺测量流态固化土展开扩展面的最大直径以及与最大直径呈垂直方向的直径；

3、当两直径之差小于50mm时，应取其算术平均值作为扩展度试验结果，当两直径之差不小于50mm时，应重新取样另行测定。

**6.6.4**数据分析

1、发现粗骨料在中央堆集或边缘有浆体析出时，应记录说明；

2、扩展度试验从开始装料到测得流态固化土扩展度值的整个过程应连续进行，并应在4min内完成；

3、流态固化土扩展度值测量应精确至1mm。

## 6.7重金属浸出试验

**6.7.1**一般规定

当流态固化土与饮用水接触或有环境控制要求时，应明确流态固化土的重金属浸出物毒性的限值，试验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。

# 7 固化土路基填料

## 7.1一般规定

**7.1.1**固化土路基填料设计应贯彻“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，施工方便的回填方案。

## 7.2无侧限抗压强度试验

需对固化土路基填料无侧限抗压强度进行测定，试验方法同4.3。

## 7.3相对密度试验

需对固化土路基填料相对密度进行测定，试验方法同4.6。

## 7.4颗粒分析试验

**7.4.1** 一般规定

1、本试验方法分为筛析法、密度计法、移液管法；

2、本试验根据土的颗粒大小及级配情况，可分别采用下列4种方法：

1）筛析法：适用于粒径为0.075~60mm的土；

2）密度计法、激光粒度仪：适用于粒径小于0.075mm的土；

3）移液管法：适用于粒径小于0.075mm的土；

4）当土中粗细兼有时，应联合使用筛析法和密度计法或筛析法和移液管法。

**7.4.2** 筛析法

1、从风干﹑松散的土样中，用四分法按下列规定取出代表性试样：

1）粒径小于2mm的土取100~300g；

2）最大粒径小于10mm的土取300~1000g；

3）最大粒径小于20mm的土取1000~2000g；

4）最大粒径小于40mm的土取2000~4000g；

5）最大粒径小于60mm的土取4000g以上。

2、砂砾土筛析法应按下列步骤进行：

1）称量应准确至0.1g；当试样质量大于500g时，应准确至lg；

2）将试样过2mm细筛，分别称出筛上和筛下土质量；

3）若2mm筛下的土小于试样总质量的10%，则可省略细筛筛析；若2mm筛上的土小于试样总质量的10%，则可省略粗筛筛析；

4）取2mm筛上试样倒入依次叠好的粗筛的最上层筛中；取2mm筛下试样倒入依次选好的细筛最上层筛中，进行筛析。细筛宜放在振筛机上震摇，震摇时间应为10~15min；

5）由最大孔径筛开始，顺序将各筛取下，在白纸上用手轻叩摇晃筛，当仍有土粒漏下时，应继续轻叩摇晃筛，至无土粒漏下为止。漏下的土粒应全部放入下级筛内。并将留在各筛上的试样分别称量，当试样质量小于500g时，准确至0.1g；

6）筛前试样总质量与筛后各级筛上和筛底试样质量的总和的差值不得大于试样总质量的1%。

3、含有黏土粒的砂砾土应按下列步骤进行：

1）将土样放在橡皮板上用土碾将黏结的土团充分碾散，用四分法取样，置于盛有清水的瓷盆中，用搅棒搅拌，使试样充分浸润和粗细颗粒分离；

2）将浸润后的混合液过2mm细筛，边搅拌边冲洗边过筛，直至筛上仅留大于2mm的土粒为止。然后将筛上的土烘干称量，准确至0.1g，并进行粗筛筛析；

3）用带橡皮头的研杵研磨粒径小于2mm的混合液，待稍沉淀，将上部悬液过0.075mm筛。再向瓷盆加清水研磨，静置过筛。如此反复，直至盆内悬液澄清。最后将全部土料倒在0.075mm筛上，用水冲洗，直至筛上仅留粒径大于0.075mm的净砂为止；

4）将粒径大于0.075mm的净砂烘干称量，准确至0.01g，并进行细筛筛析；

5）将粒径大于2mm的土和粒径为2mm~0.075mm的土的质量从原取土总质量中减去，即得粒径小于0.075mm的土的质量；

6）当粒径小于0.075mm的试样质量大于总质量的10%时，应按移液管法测定粒径小于0.075mm的颗粒组成。

4、小于某粒径的试样质量占试样总质量百分数应按式（7-1）计算：

 （7-1）

式中：*X*——小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分数（%）；

*m*A——小于某粒径的试样质量（g）；

*m*B——当细筛分析时或用密度计法分析时所取试样质量（粗筛分析时则为试样总质量）（g）；

*d*x——粒径小于2mm或粒径小于0.075mm的试样质量占总质量的百分数（%）。

5、以小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分数为纵坐标，颗粒粒径为横坐标，在单对数坐标上绘制颗粒大小分布曲线。

6、级配指标不均匀系数和曲率系数*C*u、*C*c应按式（7-2）和（7-3）计算：

1）不均匀系数：

 （7-2）

式中：*C*u——不均匀系数；

*d*60——限制粒径（mm），在粒径分布曲线上小于该粒径的土含量占总土质量的60%的粒径；

*d*10——有效粒径（mm），在粒径分布曲线上小于该粒径的土含量占总土质量的10%的粒径。

2）曲率系数：

 （7-3）

式中：*C*c——曲率系数；

*d*30——在粒径分布曲线上小于该粒径的土含量占总土质量的30%的粒径（mm）。

7、本试验的记录格式应符合本标准附录A表A.8的规定。

**7.4.3** 移液管法

1、本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

1）移液管：容积25mL；

2）小烧杯：容积50mL；

3）天平：称量200g，分度值0.001g；

4）温度计：刻度0~50℃，分度值0.5℃；

5）洗筛漏斗：直径略大于洗筛直径，使洗筛恰可套入漏斗中；

6）搅拌器：轮径50mm，孔径约3mm；杆长约400mm，带旋转叶；

7）煮沸设备：附冷凝管；

8）其他：秒表、锥形瓶﹑研钵﹑木杵、电导率仪。

2、试验步骤：

1）取代表性试样，黏土为10~15g，砂土为20g，并制取悬液；

2）将盛试样悬液的量筒放入恒温水槽中，测记悬液温度，准确至0.5℃。试验中悬液温度允许变化范围应为±0.5℃；

3）可按土工试验方法标准(8.3.5-2)推算出粒径小于0.05mm、0.01mm、0.005mm、0.002mm和其他所需粒径下沉一定深度所需的静置时间；

4）准备好移液管，将二通阀置于关闭位置，三通阀置于移液管和吸球相通的位置；

5）用搅拌器沿悬液上、下搅拌各30次，时间1min，取出搅拌器；

6）开动秒表，根据各粒径的静置时间，提前约10s，将移液管放入悬液中，浸入深度为10cm，用吸球吸取悬液，吸取悬液量不应少于25mL；

7）旋转三通阀，使与放流口相通，将多余的悬液从放流口放出，收集后倒入原量筒内的悬液中；

8）将移液管下口放入已称量过的小烧杯中，由上口倒入少量纯水，开三通阀使水流入移液管，连同移液管内的试样悬液流入小烧杯内；

9）每吸取一组粒径的悬液后必须重新搅拌，再吸取另一组粒径的悬液；

10）将烧杯内的悬液蒸发浓缩半干，在105~l10℃下烘至恒量，称小烧杯连同干土的质量，准确至0.001g。

3、小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分数应按式（7-4）计算：

 （7-4）

式中：*m*dx——吸取悬液中（25mI）土粒的干土质量（g）；

*V*x——悬液总体积，*V*x=1000ml；

*V*x'——移液管每次吸取的悬液体积，*V*x'=25mL。

4、以小于某粒径的试样质量百分数为纵坐标，粒径为横坐标，在单对数横坐标纸上绘制颗粒大小分布曲线。

5、本试验记录格式应符合本标准附录A表A.9的规定。

## 7.5压实度试验

**7.5.1** 一般规定

1、压实度试验通常采用挖坑灌砂法、环刀法；

2、挖坑灌砂法：挖坑灌砂法是检测压实度最常用的试验方法之一，本方法适用于在现场测定基层（或者底基层）、砂石路面以及路基土的各种材料压实层的密度和压实度；

3、环刀法：本方法适用于测定细粒土及无机结合料稳定细粒土的压实度。

**7.5.2** 挖坑灌砂法

1、本试验需要下列仪器设备：

1）灌砂筒：有大小两种，为一金属圆筒（可用镀锌铁皮制作），上部为储砂筒（小筒容积为2120cm3，大筒容积为4600cm3），筒底中心有一个圆孔。下部装一倒置的圆锥形漏斗，漏斗上端开口，直径与储砂筒的圆孔相同，漏斗焊接在一块铁板上，铁板中心有一圆孔与漏头上开口相接。自储砂筒筒底与漏斗顶端铁板之间设有开关。开关为一薄铁板，一端与筒底及漏斗铁板铰接在一起，另一端伸出筒身外，开关铁板上也有一个相同直径的圆孔；

2）金属标准罐：用薄铁板作的金属罐，上端周围均有一罐缘；

3）基板：用薄铁板制作金属方盘，盘的中心有一圆孔；

4）玻璃板：边长约500mm~600mm的方形板；

5）试样盘：小筒挖出的试样可用饭盒存放、大筒挖出的试样可用300mm×500mm×400mm的搪瓷盘存放；

6）天平或台称：称量10~15kg，感量不大于1g，用于含水率测定的天平精度，对细粒土、中粒土、粗粒土宜分别为0.01g、0.1g、1.0g；

7）含水率测定器具：如铝盒、烘箱等；

8）量砂：粒径0.30~0.60mm清洁干燥的砂，约20~40kg，使用前须洗净、烘干，并放置足够的时间，使其与空气的湿度达到平衡；

9）盛砂的容器：塑料桶等；

10）其它：凿子、改锥、铁锤、长把勺、长把小簸箕、毛刷等。

2、试验方法

1）3.1按现行试验方法对检测对象试样用同种材料进行击实试验，得到最大干密度（*ρ*c）及最佳含水率；

2）选用适宜的灌砂筒；

3）标定灌砂筒下部圆锥体内砂的质量，步骤如下：

在灌砂筒筒口高度上，向灌砂筒内装砂至筒顶的距筒顶的距离15mm左右为止。称取筒内砂的质量*m*1，准确至1g，以后每次标定及试验都应该维持装砂高度与质量不变；

将开关打开，使灌砂筒筒底的流砂孔、圆锥形漏斗上端开口圆孔及开关铁板中心的圆孔上下对准重叠在一起，让砂自由流出，并使流出砂的体积与工地所挖试坑内的体积相当（或等于标定罐的容积），然后关上开关；

不晃动灌砂筒的砂，轻轻地将灌砂筒移至玻璃板上，将开关打开，让砂流出，直到筒内砂不再下流时，将开关关上，并细心地取走灌砂筒；

收集并称量留在玻璃板上的砂或称量筒内的砂，准确至1g，玻璃板上的砂就是填满筒下圆锥体的砂（*m*2）；

重复上述测量三次，取其平均值。

4）标定量砂的单位质量*r*s（g/cm3）其步骤如下：

用水确定标定罐的容积*v*，准确至1ml；

在灌砂筒中装入质量为*m*1的砂，并将灌砂筒放在标定罐上，将开关打开，让砂流出。在整个流砂过程中，不要碰动灌砂筒，直到灌砂筒内的砂不再下流时，将开关关闭，取下灌砂筒，称取筒内剩余砂的质量（*m*3），准确至1g；

按式（7-5）计算填满标定罐所需砂的质量*M*a（g）：

*M*a=*M*1-*M*2-*M*3 （7-5）

式中：*M*a——标定罐中砂的质量（g）；

*M*1——灌砂筒装入标定罐前，筒内砂的质量（g）；

*M*2——灌砂筒下部圆锥体内砂的质量（g）；

*M*3——灌砂筒装入标定罐后，筒内剩余砂的质量（g）。

重复上述测量三次，取其平均值。

按式（7-）6计算量砂的单位质量*r*s（g/cm3）

*r*s=*M*a/*V* （7-6）

式中：*r*s——量砂的单位质量（g/cm3）；

*V*——标定罐的体积（cm3）。

5）在试验地点，选一块平坦表面，并将其清扫干净，其面积不小于基板面积；

6）将基板放在平坦表面上，当表面粗糙度较大时，则将盛有量砂（*m*5）的灌砂筒放在基板中间的圆孔上。将罐砂筒的开关打开，让砂流入基板的中孔内，直到储砂筒内的砂不再下流时关闭开关。取下灌砂筒，并称量筒内砂的质量（*m*6），准确至1g；

注：当需要检测厚度时，应先测量厚度后再进行这一步骤。

7）取走基板，并将留在试验地点的量砂收回，重新将表面清扫干净；

8）将基板放回清扫干净的表面上（尽量放在原处），沿基板中孔凿洞（洞的直径与灌砂筒一致）。在凿洞的过程中，应注意不使凿出的材料丢失，并随时将凿松的材料取出装入塑料袋中，不要使水分蒸发。也可放在大试样盆内。试洞的深度应等于测定层厚度，但不得有下层材料混入，最后将洞内的全部凿松材料取出。对土基或基层，为防止试样盘内材料的水份蒸发，可分几次称取材料的质量，全部取出材料的总质量为*M*W，准确至1g；

注：当需要检测厚度时，应先测量厚度再进行这一步骤。

9）从挖出的全部材料中取有代表性的样品，放在铝盒或洁净的搪瓷盒内，测定其含水率（*W*以%计）。样品的数量如下：用小灌砂筒测定时，对于细粒土，不少于100g，对于各种中粒土，不少于500g。用大灌砂筒测定时，对于细粒土，不少于200g，对于各种中粒土，不少于是1000g，对于粗粒土或水泥、石灰，粉煤灰等无机结合料稳定材料，宜将取出的全部材料烘干，且不少于2000g，称其质量（*m*d）；

注：如沥青表面处治或沥青贯入式结构类材料，则省去测定含水量步骤。

10）将基板安放在试坑上，将灌砂筒安放在基板中间（储砂筒内放满砂到要求质量*m*1），使灌砂筒的下口对准基板的中孔及试洞。打开灌砂筒的开关，让砂流入试坑内。在此期间，应注意勿碰动灌砂筒。直到储砂筒内的砂不再下流时，关闭开关。仔细取走灌砂筒，并称量筒内剩余砂的质量（*m*4）准确至1g；

11）如清扫干净的平坦表面的粗糙度不大，也可省去2）和3）的操作。在试洞挖好后，将灌砂筒的下口直接对准放在试坑上，中间不需要放基板。打开筒的开关，让砂流入试坑内。在此期间，应注意勿碰动灌砂筒。直到储砂筒内的砂不再下流时，关闭开关。仔细取走灌砂筒，并称量筒内剩余砂的质量（*m*’4），准确至1g；

12）仔细取出试筒内的量砂，以备下次试验时再用。

3、数据分析

1）按式（7-7）或（7-8）计算填满试坑所用的砂质量*m*b（g）：

灌砂时，试坑上放基板时：

*m*b=*m*1－*m*4－(*m*5－*m*6) （7-7）

灌砂时，试坑上不放基板时：

*m*b=*m*1－*m*’4－*m*2 （7-8）

式中：*m*——填满试坑的砂的质量（g）；

*m*——灌砂前灌砂筒内砂的质量（g）；

*m*2——灌砂筒下部圆锥体内砂的质量（g）；

*m*4、*m*’4——灌砂后，灌砂筒内余砂的质量（g）；

*m*5——灌砂筒下部圆锥体及基板和粗糙表面间砂的合计质量（g）。

2）按式（7-9）计算试坑材料的湿密度（湿容重）*ρ*W。

*ρ*W=*M*w/*M*b×*r*s （7-9）

式中：*M*W——试坑中取出的全部材料的质量（g）；

*r*s——量砂的单位质量（g/cm3）。

3）按式（7-10）计算试坑材料的干密度*ρ*a（g/cm3）：

*ρ*a＝*ρ*W/（1+0.01*ω*） （7-10）

式中：*ω*——试坑材料的含水率（%）。

4）当以水泥、石灰、粉煤灰等无机结合料稳定土的场合，可按式（7-11）计算干密度*ρ*d（g/cm3）。

*ρ*d=*M*d/*M*b×*r*s （7-11）

式中：*M*d——试坑中取出的稳定土的烘干质量(g)。

5）按式7-12计算施工压实度（*K*）

*K*=*ρ*d/*ρ*c×100 （7-12）

式中：*K*——测试地点的施工压实度（%）；

*ρ*d——试样的干密度（g/cm3）；

*ρ*c——由击实试验得到的试样的最大干密度（g/cm3）。

注：当试坑材料组成与击实试验的材料有较大差异时，可以试坑材料作标准击实，求取实际的最大干密度。

1. 报告中各种材料的干密度均准确至0.01g/cm3。
2. 本试验的记录格式应符合本标准附录A表A.10的规定。

**7.5.3** 环刀法

1、本试验需要下列仪器设备：

1）取土器：包括环刀、环盖，定向筒和击实锤系统（导杆、落锤、手柄）。环刀内径6~8cm，高2~3cm，壁厚1.5~2mm；

2）天平：感量0.1g（用于取芯头内径小于70mm样品的称量）；

3）其它：镐、小铁锹、修土刀、直尺、木板、毛刷、钢丝锯、凡士林及测定含水率设备等。

2、试验步骤

1）按有关试验方法对检测对象试样用同种材料进行击实试验，得到最大干密度（*ρ*c）及最佳含水率；

2）用人工取土器测定黏性土及无机结合料稳定细粒土密度的步骤：

擦净环刀，将取环刀质量*m*2。准确至0.1g；

在试验地点，将面积约30cm×30cm的地面清扫干净，并将压实层铲去表面浮动及不平整的部分，达一定深度，使环刀打下后，能达到要求的取土深度，但不得将下层扰动；

将定向筒齿钉固定于铲平的地面上。顺次将环刀、环盖放入定向筒内与地面垂直；

将导杆保持垂直状态，用取土器落锤将环刀打入压实层中，至环盖顶面与定向筒上口齐平为止；

去掉击实锤和定向筒，用镐将环刀及试样挖出；

轻轻取下环盖，用修土刀自边至中削去环刀两端余土，用直尺检测直到修平为止；

擦净环刀外壁，用天平称取出环刀及试样合计质量*m*1，准确到0.1g；

自环刀中取出试样，取具有代表性的试样，测定其含水率（*w*）。

3）用人工取土器测定砂性土或砂层密度的步骤：

如为湿润的砂土，试验时不需使用击实锤和定向筒，在铲平的地面上，细心挖出一个直径较环刀外径略大的砂土柱，将环刀刃口向下，平置于砂土柱上，用两手平稳地将环刀垂直压下，直至砂土柱突出环刀上端约2cm时为止；

削掉环刀口上的多余砂土，并用直尺刮平；

在环刀上口盖一块平滑的木板，一手按住木板，另一手用小铁锹将试样从环刀底部切断，然后将装满试样的环刀反转过来，削去环刀刃口上部的多余砂土，并用直尺刮平；

擦净环刀外壁，称环刀与试样合计质量（*M*1）准确到0.1g；

自环刀中取具有代表性的试样测定其含水率*W*；

干燥的砂土不能挖成砂土柱时，可直接将环刀压入或打入土中。

4）本试验须进行两次平行测定，其平行差值不得大于0.03g/cm3。求其算术平均值。

按式（7-13）和（7-14）计算试样的湿密度及干密度。

*ρ*＝4×（*M*1-*M*2）/*π*×*d*2×*h* （7-13）

*ρ*=*ρ*d/（1＋0.01*ω*） （7-14）

式中：*ρ*——试样的湿密度（g/cm3）；

*ρ*d——试样的干密度，（g/cm3）；

*M*1——环刀或取芯套筒与试样合计质量（g）；

*M*2——环刀或取芯套筒质量（g）；

*d*——环刀或取芯套筒直径（cm）；

*h*——环刀或取芯套筒高度（cm）；

*ω*——试样的含水率（%）。

按式（7-15）计算施工压实度。

*K*=*ρ*d/*ρ*c×100 （7-15）

式中：*K*——测试地点的施工压实度（%）；

*ρ*d——试样的干密度（g/cm3）；

*ρ*c——由击试验得到的试样的最大干密度（g/cm3）。

本试验的记录格式应符合本标准附录A表A.11的规定。

# 附录A：试验记录表

表A.1 室内抗压回弹模量试验记录表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程名称 | | | | | 试件尺寸 | | | | |
| 路段范围 | | | | | 试验方法 | | | | |
| 材料名称 | | | | | 试验者 | | | | |
| 试样编号 | | | | | 校核者 | | | | |
| 最大粒径 | | | | | 试验日期 | | | | |
| 荷载级数 | 单位压力*p*（MPa） | 千分表读数（1/1000mm） | | | | | | 回弹形变*l*（1/1000mm） | 抗压回弹模量*E*c（MPa） |
| 加载 | | | 卸载 | | |  |  |
| 左 | 右 | 平均 | 左 | 右 | 平均 |  |  |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

表A.2 无侧限抗压强度试验记录表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 任务单号 |  | | | 试验者 | |  |
| 试样编号 |  | | | 计算者 | |  |
| 试样编号 |  | | | 校核者 | |  |
| 试样说明 |  | | | 试验日期 | |  |
| 仪器名称及编号 |  | | | | | |
| 试验前试样高度*h*0 =\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ cm | | | | 试样破坏情况 | | |
| 试验前试样直径*D*0 =\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ cm | | | |
| 试验前试验面积*A*0 =\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_cm2 | | | |
| 试样质量*m*0 =\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_g | | | |
| 试样湿密度 *ρ* =\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_g/cm3 | | | |
| 轴向变形 Δ*h* =\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 0.01mm | | | |
| 测力计率定系数*C* =\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ N/0.01mm | | | |
| 原状试样无侧限抗压强度*q*u =\_\_\_\_\_\_\_\_ kPa | | | |
| 重塑试样无侧限抗压强度*q*'u=\_\_\_\_\_\_\_\_ kPa | | | |
| 灵敏度*S*t =\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | | | |
| 测力计量表读数  *R*  (0.01mm) | 轴向变形  Δ*h*  (0.01mm) | 轴向应变  *ε*1  (%) | 校正后面积  *A*a  (cm2) | | 轴向应力  *σ*  (kPa) | |
| (1) | (2) | (3) | (4) | | (5) = [(1) × C] / (4) × 10 | |
|  |  |  |  | |  | |
|  |  |  |  | |  | |

表A.3 劈裂强度试验记录表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程名称 |  | 试件尺寸  （cm） |  | 养生龄期（天） |  |
| 路段范围 |  | 加载速度  （mm/min） |  | 固化剂含量（%） |  |
| 最大干密度  （g/cm3） |  | 压实度  （%） |  |  |  |
| 试件号 |  |  |  |  |  |
| 试件制备方法 |  |  |  |  |  |
| 制件日期 |  |  |  |  |  |
| 养生前试件质量  *m*2（g） |  |  |  |  |  |
| 浸水前试件质量  *m*3（g） |  |  |  |  |  |
| 浸水后试件质量  *m*4（g） |  |  |  |  |  |
| 养生期间质量损失*m*2-*m*3（g） |  |  |  |  |  |
| 吸水量  *m*4-*m*3（g） |  |  |  |  |  |
| 养生前试件高度  *h*0（cm） |  |  |  |  |  |
| 浸水后试件高度  *h*（cm） |  |  |  |  |  |
| 破坏荷载  *P*（N） |  |  |  |  |  |
| 劈裂强度（MPa） |  |  |  |  |  |
| 平均值（MPa） |  | 变异系数（%） |  | 代表值（MPa） |  |

表A.4 承载比试验记录表(膨胀量)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 任务单号 | |  | | 试验者 |  | | | | | |
| 试检日期 | |  | | 计算者 |  | | | | | |
| 仪器名称及编号 | |  | | 校核者 |  | | | | | |
| 试样筒体积V(cm) | |  | | | | | | | | |
| 试样编号 | | | (1) | - | 1 | | 2 | | 3 | |
| 击实筒编号 | | | (2) | - |  | |  | |  | |
| 含水率 | 盘加湿土质量 (g) | | (3) | - |  |  |  |  |  |  |
| 盒加干土质量 (g) | | (4) | - |  |  |  |  |  |  |
| 盒质量 (g) | | (5) | - |  |  |  |  |  |  |
| 含水率*w* (%) | | (6) | [[(3) – (5)] / [(4) – (5)] – 1] × 100 |  |  |  |  |  |  |
| 平均含水率 (%) | | (7) | - |  | |  | |  | |
| 密度 | 筒加试样质量*m*z (g) | | (8) |  |  | |  | |  | |
| 筒质量*m*l (g) | | (9) | - |  | |  | |  | |
| 湿密度 *ρ* (g/cm3) | | (10) | [(8) – (9)] / V |  | |  | |  | |
| 干密度*ρ*d (g/cm3) | | (11) | (10) / [1 + 0.01 × (7)] |  | |  | |  | |
| 干密度平均值 (g/cm3) | | (12) | - |  | | | | | |
| 膨胀率 | 浸水前试样高度*h*0(mm) | | (13) | - |  |  |  |  |  |  |
| 浸水后试样高度*h*w (mm) | | (14) | - |  |  |  |  |  |  |
| 膨胀率*δ*w (%) | | (15) | [(14) - (13) / (13) ] × 100 |  |  |  |  |  |  |
| 膨胀率平均值(%) | | (16) |  |  | | | | | |
| 吸水 | 浸水后筒加试样质量*m*3 (g) | | (17) | - |  |  |  |  |  |  |
| 吸水量*m*w (g) | | (18) | (17) - (8) |  |  |  |  |  |  |
| 吸水量平均值 (g) | | (19) | - |  | | | | | |

表A.5相对密度试验记录表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 任务单号 |  | | | 试验者 | | | |  | | |
| 试验日期 |  | | | 计算者 | | | |  | | |
| 试样编号 |  | | | 校核者 | | | |  | | |
| 相对密度仪编号 |  | | | 天平编号 | | | |  | | |
| 烘箱编号 |  | | |  | | | |  | | |
| 试验项目 | | | | 最大孔隙比*e*max | | | | 最小孔隙比*e*min | | 备注 |
| 试验方法 | | | | 漏斗法 | | 量筒法 | | 振打法 | |
| 试样加容器质量 (g) | | (1) |  | - | | | |  |  |  |
| 容器质量 (g) | | (2) |  | - | | | |  | |  |
| 试样质量 *m*d (g) | | (3) | (1) - (2) |  | | | |  |  |  |
| 试样体积*V* (cm3) | | (4) |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 干密度 *ρ*d (g/cm3) | | (5) | (3) / (4) |  |  |  |  |  |  |  |
| 平均干密度 (g/cm) | | (6) | - |  | |  | |  | |  |
| 比重*G*s | | (7) |  |  | | | | | |  |
| 孔隙比*e* | | (8) | - |  | |  | |  | |  |
| 天然干密度 (g/cm’) | | (9) |  |  | | | | | |  |
| 天然孔隙比*e*0 | | (10) | - |  | | | | | |  |
| 相对密度*D*e | | (11) | - |  | | | | | |  |

表A.6 干燥收缩试验记录表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程名称 |  | 试件标准长度 |  | |
| 路段范围 |  | 试件标准质量 |  | |
| 材料名称 |  | 试验者 |  | |
| 试样编号 |  | 校核者 |  | |
| 最大粒径 |  | 试验日期 |  | |
| 时间(d) | 试件质量(g) | 失水率(%) | 干缩系数(με/%) | 干缩应变(με) |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

表A.7 冻融试验记录表

工程名称\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 试件尺寸 (cm) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

路段范围\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 养生龄期 (d) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

混合料名称\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 加载速度 (mm/min)\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

结合料剂量 (%) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 冻融试验周期 (d) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

最大干密度 (g/cm3) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 非冻融强度代表值 (MPa)\_\_\_\_\_\_

试件压实度 (%)\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 试验日期 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

试验者\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 校核者\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试件编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 冻融前质量 (g) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 第一次冻融后质量 (g) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 第二次冻融后质量 (g) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 第三次冻融后质量 (g) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 第四次冻融后质量 (g) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

表A.8 颗粒分析试验记录表(筛析法)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 任务单号 |  | | 试验者 |  | |
| 试验日期 |  | | 计算者 |  | |
| 烘箱编号 |  | | 校核者 |  | |
| 试样编号 |  | | 天平编号 |  | |
| 风干土质量 = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_g 小于0.075mm的土占总土质量百分数*X* =\_\_\_\_\_\_%  2mm筛上土质量 =\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_g 小于2mm的土占总土质量百分数*X* =\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_%  2mm筛下土质量 =\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_g 细筛分析时所取试样质量*m*B = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_g | | | | | |
| 试验筛编号 | 孔径  (mm) | 累计留筛土质量 (g) | 小于某粒径的试样质量*m*A (g) | 小于某粒径的试样 质量百分数 (%) | 小于某孔径的试样质量 占试样总质量的百分数 *X* (%) |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| 底盘总计 |  |  |  |  |  |

表A.9 颗粒分析试验记录表(移液管法)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 任务单号 | |  | | | | 试验日期 |  | |
| 试样编号 | |  | | | | 试验者 |  | |
| 烘箱编号 | |  | | | | 计算者 |  | |
| 量筒编号 | |  | | | | 校核者 |  | |
| 移液管编号 | |  | | | | 天平编号 |  | |
| 三角烧瓶编号 | |  | | | |  |  | |
| 小于2mm颗粒土质量百分数\_\_\_\_\_\_ 小于0.075mm颗粒土质量百分数\_\_\_\_\_\_\_  干土总质量*m*d \_\_\_\_\_\_\_ 土粒比重*G* \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  移液管体积*V* \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | | | | | | | | |
| 粒径  *D*  (mm) | 杯号 | | 杯加干土质量  (g) | 杯质量  (g) | 吸管内悬液土粒的干土质量  *m*dt  (g) | 1000mL量筒内土质量  *m*d  (g) | 小于某粒径的土质量百分数  (%) | 小于某粒径土占总土质量百分数  *X* (%) |
| (1) | (2) | | (3) | (4) | (5) - (3) = (4) | (6) | (7) | (8) |
|  |  | |  |  |  |  |  |  |
|  |  | |  |  |  |  |  |  |
|  |  | |  |  |  |  |  |  |
|  |  | |  |  |  |  |  |  |

表A.10 土的压实度试验记录表(灌砂法)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程名称 | | | | 施工部位 | | |
| 取样深度(cm) |  | 最大干密度(g/cm3) |  | 最佳含水率(%) |  |  |
| 灌入试筒内固化土质量 | g | *m*1 |  |  |  |  |
| 灌砂筒下部圆锥体内固化土平均质量 | g | *m*2 |  |  |  |  |
| 灌固化土入试筒后筒内剩余固化土质量 | g | *m*4 |  |  |  |  |
| 灌固化土筒下部圆锥体内及基板和地面粗糙表面间固化土的合  计质量 | g | *m*5-*m*6 |  |  |  |  |
| 填满试筒所需固化土质量  试洞上放板时：*m*b=*m*1-*m*4-(*m*5-*m*6)  试洞不上放基板时：*m*b=*m*l-*m*4-*m*2 | g | *M*b |  |  |  |  |
| 固化土湿质量 | g | *M*w |  |  |  |  |
| 固化土湿密度 | g/cm3 | *ρ*m=(*M*w-*M*b)*ρ*s |  |  |  |  |
| 固化土含水量 | g | *W* |  |  |  |  |
| 固化土干密度 | g/cm3 | *ρb*＝*ρ*m/（1+0.01*W*） |  |  |  |  |
| 压实度 | % | *K*=*ρ*b/*ρ*dmax×100 |  |  |  |  |

表A.11 土的压实度试验记录表(环刀法)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 取样部位 |  |  | | | | | |
| 取样深度 |  |  | |  | |  | |
| 环刀+土 | g |  | |  | |  | |
| 环刀质量 | g |  | |  | |  | |
| 土质量 | g |  | |  | |  | |
| 环刀容积 | cm3 |  | |  | |  | |
| 湿密度 | g/cm3 |  | |  | |  | |
| 盒号 |  |  |  |  |  |  |  |
| 盒+湿土质量 | g |  |  |  |  |  |  |
| 盒+干土质量 | g |  |  |  |  |  |  |
| 水质量 | g |  |  |  |  |  |  |
| 盒质量 | g |  |  |  |  |  |  |
| 干土质量 | g |  |  |  |  |  |  |
| 含水率 | % |  |  |  |  |  |  |
| 平均含水率 | % |  | |  | |  | |
| 干密度 | g/cm3 |  | |  | |  | |
| 平均干密度 | g/cm3 |  | | | | | |
| 最大干密度 | g/cm3 |  | | | | | |
| 压实度 | % |  | | | | | |
| 备注 |  | | | | | | |

本标准用词说明

为便于在执行本标准条文时区别对待，对于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，在条件许可时首先应这样做的用词：正面词采用“宜”或“可”，反面词采用“不宜”。

条文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”。非必须按所指定的标准、规范或其他规定执行时，写法为“可参照……”

# 引用标准名录

《土工试验方法标准》GBT50123

《软土固化剂》CJ/T 526

《土体固化剂应用技术标准》CJJ/T 286

《土体固化外加剂》CJ/T 486

《湖北省城镇道路土体固化剂稳定混合料基层技术规程》DB42/T 1014

《内蒙古自治区土体固化剂集流面工程技术规程》DB15/T 403

《福建省土体固化剂应用技术规程》DBJ/T 13-323

《预拌流态固化土填筑工程技术标准》T/B GEA 001

《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTGE 51

《软土固化施工技术及验收规程》T/CES 088

《河湖淤泥固化土资源化利用技术导则》T/GDAEPI 10

《复合固化土》T/JSAS 030

**中国工程建设协会标准**

**道路工程固化土试验标准**

Test standard for solidified soil of road engineering

条文说明

# 1 总 则

**1.0.1** 为测定道路固化土的基本工程性质，统一试验方法，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于固化土在道路工程应用中的基本性质试验。

**1.0.3** 试验资料的整理，应通过对样本（试验测得的数据）的研究来估计土体单元特征及其变化的规律，使试验的成果为道路固化土工程设计和施工提供准确可靠的土性指标。试验成果的分析整理应按土工试验方法标准GB/T 50123附录A进行。

**1.0.4** 土样的要求与管理应符合土工试验方法标准GB/T 50123附录B的规定，土的分类应符合土工试验方法标准GB/T 50123附录C的规定。

**1.0.5** 试验方法除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

# 2 术语和符号

**2.1.1** 固化土是混合料经成型和养护以后具有工程所需性能的硬化土体。按成型工艺的不同，可以分为压实型固化土、灌注型固化土、流态型固化土、喷播型固化土等。按用途分又可分为道路固化土、墙体固化土、防渗固化土、淤泥固化土、桩基固化土等。

**2.1.2** 土料泛指待固化的工程用土。不仅指原地土体及附近的土源，也包括经处理后满足要求的特殊土、建筑垃圾和工业废渣等。

**2.1.3** 胶结料是一种胶凝材料，具有水化胶结性能。包括利用工业废渣开发的含有硅铝酸盐的胶结料。胶结料可以与粉状外加剂复合，可以组成兼具胶凝性和助剂作用的复合胶结料。

**2.1.4** 固化土外加剂是一类能够改善固化土物理力学性能的化学品，具有与混凝土不同的技术系列。

**2.1.5** 土体固化外加剂（筒称“土体固化剂”）是一类化学助剂，可以激发土粒活性，提高固化土的强度和改善多方面性能，但不是胶凝材料。固化土还可能有其他外加剂，如防冻剂、膨胀剂、缓凝剂等。

# 3 试样制备

## 3.2 土料

**3.2.2** 由于土料是固化土的基础材料，包括细粒组和粗粒组。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，一般采用低液限黏土，有机质含量不宜大于5%，不超过10%。

在工程中遇到具有特殊性质的土，如膨胀土、黄土、盐渍土、建筑垃圾渣土和一些工业废渣，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。黏土由于目前的机械难以拌和，还不能用于固化土。

## 3.3 胶结料固化剂

**3.2.2、3.2.3** 胶结料对于固化土的早期强度和后期的固化反应有着重要的作用。为了保证固化土的质量，推荐使用强度等级为42.5级的普通硅酸盐水泥，不建议使用掺有大量非活性混合材的复合硅酸盐水泥。

**3.2.4、3.2.5** 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。

**3.2.6** 利用工业废渣研究配制的复合胶结料是一类无熟料或少熟料水泥。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。这也是保护环境，大量消纳工业废渣的有效途径。

## 3.4外加剂

**3.4.1~3.4.3** 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，土体固化外加剂是一种改性增强剂；膨胀剂或收缩补偿剂是控制固化土收缩变形的外加剂，应用某些混凝土膨胀剂有一定补偿收缩效果；防冻剂是改善固化土抗冻性能的外加剂；另外，还有其他可改善固化土性能的外加剂等。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。

# 4 固化土道路基层

## 4.2 弹性模量试验

**4.2.3**试件制备和养护

整平试件的两个端面是本试验取得较好结果的关键，必须认真进行。首先，必须用平面加载刚性板放在试件顶面检查是否有翘动和脱空现象。实践证明，不需要用净浆整平的试件很少。

1、为了保证试验过程中试件变形测量的可靠性，一方面选择稳定的、有足够精度的变形测量仪器（如千分表或位移传感器）。另一方面选择合理的荷载级位，荷载级位过小，试件变形量小，测量误差大；如荷载级位过大，造成试件损伤，影响下级荷载施加后试件回弹变形的可靠性。

2、在回弹变形测量时，在试件顶面应至少放置两个相同精度的传感器或千分表，且二者应处在同一个直径的两端，距试件中心等距。在每级荷载作用下，两个传感器（或千分表）读数相差不宜超过50%，否则应重新试验。两个传感器测量变形的平均值作为该级荷载作用下的变形值。由于路面材料的非线性，在荷载作用时会出现应力松弛或蠕变现象，为此，当出现应力松弛时，应及时补加荷载，最好采用应力控制模式的自动加载系统以维持试验过程中荷载的稳定，当出现蠕变现象时，为减小蠕变对变形测量的影响，应严格按照本标准要求的时间和荷载速率加载、卸载，并在荷载稳定时间的最后一刻读取传感器的变形读数。

3、对于荷载施加的水平，宜不超过试件无侧限抗压强度的60%~70%，即施加的最大荷载为抗压强度的60%~70%，并以此为标准等间隔划分出5~6个荷载级位。因此，在进行模量试验时，应首先进行强度试验，根据强度试验结果确定模量的和荷载级位。

## 4.3 无侧限抗压强度试验

**4.3.3** 试验步骤

2、无侧限抗压强度试验是用圆柱试样，在无侧应力下，测定其最大的轴向力即抗压强度*q*u，并间接求得抗剪强度，它相当于不固结不排水强度*S*的一半：

 （4-1）

试样高度与直径的比值对无侧限抗压强度试验值有很大影响。比值较大的试样，在加荷后往往发生歪斜，得出较小的结果；反之，比值较小时，由于试样两端受加压板的约束，在两端附近各形成一锥状的不变形区域，致使试样内产生不均匀变形，影响试样中心部位的应力分布，从而歪曲了试验结果。因此，试样的高度与直径应有适当的比值。试验结果表明：当试样高度与直径的比值大于2时，两端加压板的约束对试样中心部位应力分布的影响就较小。采用试样高度与直径的比值不小于2是合适的，故本标准建议比值为2~2.5。

至于试样直径大小，根据国内试验单位的取土情况，建议采用3.5~4.0cm。重塑试样尺寸应与原状土尺寸相同，以避免由于试样尺寸不同而产生的误差。

3、当轴向荷载作用于试样时，试样与加压板之间即发生与侧向膨胀力方向相反的摩擦力。该力使两端土的侧向膨胀受到限制，故试样变成鼓状。垂直变形愈大，鼓状愈大。这样，试样内的应力分布就不均匀。为了减少该影响，可在试样两端抹一薄层凡士林。如果气候干燥，试样侧面也可涂一薄层凡士林，以防水分蒸发。但是在做重塑土试验时，应把抹凡士林的一层土刮去。

5、如试验的渗透性较小，试验历时较短，可认为试验前后的含水率不变。但历时过短，试验不便，故限制加荷时间约为8~10min。本标准规定应变速率为每分钟轴向应变为1%~3%。

9、天然结构的土经重塑后，它的结构凝聚力已全部消失但若放置时间较久，又可以恢复一部分。放置时间愈长，恢复程度愈大。所以，试样重塑后应立即进行试验。

**4.3.4** 数据分析

2、试验过程中试样面积的修正是假定试样体积在轴向变形过程中不发生改变的情况下求得其平均断面。三轴不固结不排水试验也是采用此方法进行试样面积修正的，也可以用某一轴向变形下试样最大的断面积来计算，但在试验过程中测定断面积较困难，所以目前很少采用该法。

4、试样受压破坏时，一般分脆性破坏及塑性破坏两种。脆性破坏具有明晰的破裂面，而塑性破坏时没有破裂面。应力应变关系曲线也大致有两种：一种是具有峰值或稳定值的，另一种是不具有峰值或稳定值而是应力随应变渐增的。选择破坏值时，对于有明显峰值或稳定值的，以峰值或稳定值为抗压强度对于没有峰值或稳定值的，以应变15%作为取值标准。

## 4.4 劈裂强度

安置试件时，应选择平顺的侧面放在压条上，尽可能保证试件与压条完全接触，无漏空处。为了提高试验的准确性，本标准建议采用加压条进行试验。在无压条时试验结果计算如下：

 （4-2）

式中：*R*i——试件破坏时的最大压力（N）；

*d*——试件的直径（mm）；

*h*——浸水后试件的高度（mm）。

## 4.5 承载比试验

**4.5.1** 一般规定

1、本试验的目的是采用贯入法，通过测定土在承受标准贯入探头贯入土中时相应的贯入阻力，求取扰动的承载比。本试验方法只适用于室内扰动土的CBR试验。由于本试验采用的试样筒高为166mm，除去垫块的高度50mm，实际试样高度为116mm，按三层击实，所以粒径宜控制为粒径不大于20mm的土。

**4.5.3** 试验步骤

2、浸水膨胀按下列步骤进行：

2）为了模拟地基土的上覆压力，在浸水膨胀和贯入试验时试样表面要加荷载块，尽管希望能施加与实际荷载或设计荷载相同的力，但对于黏质土来说，特别是上覆荷载较大时，荷载块的影响是无法达到上述要求的。因此，规定施加8块荷载块（5kg）作为标准方法。

4）为预估土料在现场可能出现的最不利情况，贯入试验前一般要将试样浸水使之吸水，国内外的标准均以浸水四昼夜作为浸水时间，本标准也参照使用。当然，也可根据不同地区、地形排水条件和工程结构等情况，适当改变浸水时间或不浸水，使试验结果更符合实际情况。

**4.5.4**数据分析

1、公式中的分母7000和10500是原来以kg/cm2表示时的70和105乘以换算系数（1kg/cm2≈100kPa）而得的。

2、绘制单位压力（*p*）与贯入量（*l*）的关系曲线时，如发现线起始部分呈反弯，则表示试验开始时贯入杆端面与表面接触不好，故应对曲线进行修正，以O’点作为修正的原点。

## 4.6 相对密度试验

**4.6.1** 一般规定

1、相对密度是砂类土紧密程度的指标，对于作为材料的建筑物和地基的稳定性，特别是在抗震稳定性方面具有重要的意义相对密度试验适用于透水性良好的无黏性土，对含细粒较多的试样不宜进行相对密度试验，美国ASTM规定粒径小于0075mm土粒的含量不大于试样总质量的12%。美国垦务局规定的宜做相对密度试验的土类如表4所示。如遇细粒土（粒径小于0.075mm）超过总质量的12%时，分别做相对密度和标准击实试验，当相对密度为70%对应的干密度小于击实最大干密度的95%时，则应用击实试验。关于颗粒粒径大于5mm的试验，参考粗颗粒标准。

表1 宜做相对密度试验的土类

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 土类 | 细粒含量（%）  <0.075mm | 土名 | 相对密度试验 |
| GW，GP，GS，SP | <5 | 各种级配的纯砂、纯砾 | 宜 |
| GW-GM，GW-GC，GP-GM，GP-GC | <8 | 砾石含粉土，砾石含黏土 | 宜 |
| SW-SM，SP-SM，SP-QC | <12 | 砂中含粉土，砂中含黏土 | 宜 |
| SM，SC | - | 砂与粉土混合料，砂与黏土混合料 | 是否适宜，需视级配及塑性而定，有些SM中细粒含量达到16%也宜 |

**4.6.2** 最小干密度试验

2、最小干密度试验应按下列步骤进行：

1）考虑到砂、砾质土的风干含水率很小，可以认为充分风干与烘干两种状态非常接近，对试验结果影响较小。但试验证明，含水率有少量的增加，对最大孔隙比的测定影响较大。故在标准中规定用烘干或充分风干的试样（即风干到稳定状态或近于烘干状态），避免产生误差。

6）关于最小干密度测定方法。测定最大孔隙比常用的方法有量筒法、漏斗法、松砂器法等。通过比较试验几种方法所得结果相差不大，而各种方法本身也存在不同的问题。因此，本标准选用漏斗法与量筒法，并规定取上述两种方法测得的较大体积值。试验中，试样能否达到最松状态，除试验方法外，还与土的性质、颗粒大小形状及操作熟练程度有关。

**4.6.3** 最大干密度试验

2、根据振动试验得出结论：当含水率相当于饱和度为0.8时，砂能得到最好的振动压实；同时，当砂的含水率为零时，与最优含水率时所得到的干密度极相近。美国材料试验学会（ASTM D2049）是同时采用干法和湿法两种，但在用湿法时还需与干法比较，选择最大的干密度。基于以上原因，本标准规定采用烘干或充分风干试样。

关于最大干密度试验方法问题。测定砂的最大干密度即最小孔隙比，国外采用振动台法，国内以往采用振动锤击法。在制订原标准时，对这两种方法进行了比较，振动台法按美国ASTM D2049规定，采用一定的频率、振幅、时间和加重物块，分别进行了干法和湿法试验，试样为均匀的标准砂（中砂）和级配良好的黄砂。试验结果表明：振动锤击法测定的最大干密度比振动台法测得的大。因此，本标准仍以振动锤击法作为最大干密度测定的标准方法。

## 4.7 干燥收缩试验

在试件成型过程中应注意插捣均匀，确保试件不出现明显离析，试件之间外观差别较小；测量含水率的标准试件应具有代表性，条件许可的情况下，可考虑增加标准试件的个数，以减少试验误差。

# 5 固化土道路面层

## 5.3 抗冲刷试验

试件成型后的养护方法、养护龄期对固化土材料抗冲刷性能影响很大。养护时间太短，试件强度不足就容易被冲散，养护时间太长，试件的强度太高，冲刷量很小，不同类型材料的试验结果的差别太小。

在成型试件的过程中，混合料是否拌均匀对试验的结果影响也很大。此外，在按规定的干密度用静力压实的方法制备试件时，应注意使试模两头的压柱同时等速地压入试模，因为这样所得的试件内部压实度最稳定，冲刷试验后所得的结果也最稳定，如果两头的压柱以不同的速度被压入试模，制成的试件内部压实度变化将无一定的规则，冲刷试验时所得结果的离散性会因此加大。试验结果表明，试件的压实度对冲刷量有很大的影响。

在冲刷量的计算方面应注意以下几点：

1. 经过冲刷试验后的试件除了受到冲刷作用的顶面有损失外、试件的其它部位不应有明显的破坏，否则该次试验无效；
2. 冲刷试验结束后的收集物中，稳定细粒式材料正常情况下应为细泥浆，如其中含有较大的块状物应将其取出对于稳定粒料土，若冲刷物中含有较大的石块，应将其取出，不将其计入冲刷物；
3. 在试验中应始终保持钢桶及试件的稳定性，若试验过程中钢桶或试件出现松动，立即停止试验。加固后方可继续试验。

## 5.4 渗透系数试验

本标准中透水性基层的渗水试验方法来自于《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTJO52）的T0730-2000沥青混合料渗水试验，并根据固化土的成型条件，对渗水仪的底径进行调整。密实型的固化土材料的渗水试验方法参照《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》（JTG E30）中T0568-2003水泥混凝土渗水高度试验方法，并根据固化土材料的成型条件对试件尺寸进行了调整。

# 7 固化土路基填料

## 7.4 颗粒分析试验

**7.4.1** 一般规定

2、颗粒大小分析的试验方法主要有两大类：一是机械分析法，如筛析法；二是物理分析法，如密度计法、移液管法、沉淀法等。本标准根据大规模生产的需要，除选入筛析法外增加移液管法，以便在细粒土的分析中更好地根据实际情况进行选择。

**7.4.2** 筛析法

2、筛析法试验应按下列步骤进行：

1）关于试样的用量。以往有的标准规定按粒径大于2mm的含量百分数来确定取样量。根据以往经验，按上述方法确定试样用量，在实际工作中是不便于掌握的。鉴于土样中粗颗粒的含量（以质量计）一般与颗粒的大小有关，因而以最大颗粒粒径为标准来确定试样的用量，比较直观易于掌握。

**7.4.3** 移液管法

2、移液管法试验应按下列步骤进行：

1）关于试样的用量。根据对移液管法进行研究的结果：当悬液浓度在0.5%~3%范围时，各粒组的含量没有显著出入；而当悬液浓度增至4%尤其是5%时，则0.25~0.05m粒组含量增加，并相应地减少了黏粒含量。因此，当用移液管法分析时，试样用量可酌情减少，规定用量黏土为10~15g，砂土为20g。

3）移液管法是根据各种粒径在一定时间后下沉距离的关系来计算吸取悬液的时间和距离。因此，本标准是固定粒径和吸取深度（10cm）来计算时间。但需要说明的是，在计算前还要确定土粒比重及悬液温度。为了方便，可事先制备土粒在不同温度静水中某一深度（10cm）沉降时间表，以便查阅。

3、移液管法主要是从量筒中吸取一定体积的悬液注入烧杯，然后烘干、称量。因此，在悬液中小于某一约定粒径的土粒质量*m*0等于被吸的土粒干质量*m*dx乘以悬液总体积*V*x与被吸悬液体积*V*,x之比，即：

 （7-1）

小于某一粒径的土粒质量的百分数为：

 （7-2）

## 7.5 压实度试验

**7.5.1** 一般规定

1、本试验法适用于现场测定基层（或底基层）、砂石路面及路基土的各种材料压实层的密度和压实度检测，但不适用于填石路堤等有大孔洞或大孔隙的材料压实层的压实度检测。

2、用挖坑灌砂法测定密度和压实度时，应符合下列规定：

1）最大粒径小于13.2mm，测定层的厚度不超过150mm时，宜采用φ100mm的小型灌砂洞测试。

2）土的最大粒径大于或等于13.2mm，但不大于31.5mm，测定层的厚度超过200mm时，应用φ150mm的大型灌砂筒测试。

环刀法法适用于测定细粒土及无机结合料稳定细粒土的密度。但对无机结合料稳定细粒土，其龄期不宜超过2天。且用于施工过程中的压实度检验。