**轻质泡沫土轨道交通填筑技术规程**

**（征求意见稿）**

**《轻质泡沫土轨道交通填筑技术规程》编制组**

2015年1月

 **前 言**

为指导轻质泡沫土轨道交通填筑工程的设计与施工，确保轨道交通轻质泡沫土的填筑施工质量，根据中国工程建设标准化协会“2013年第一批工程建设协会标准制订、修订计划”要求，制订本规程。

本规程结合轻质泡沫土填筑技术，经过广泛调查研究，认真总结工程实践经验，并在广泛征求意见的基础上编制完成的。

规程的主要内容包括总则、术语、材料、设计、施工及验收。

根据国家计委计标的要求，推荐给工程建设，设计，施工等实用单位及工程技术人员采用。本规程由河南华泰建材开发有限公司负责解释。

 本规程负责起草单位：中铁隧道勘测设计院有限公司、华泰恒生科技发展（北京）有限公司。

 本规程参加起草单位：河南华泰建材开发有限公司、中国中铁二院工程集团有限公司、中铁第四勘察设计院集团有限公司、合诚工程咨询股份有限公司、中国铁工建设有限公司、中铁第三勘察设计院集团有限公司、中铁第五勘察设计院集团有限公司、南阳理工学院、上海欧凝工程有限公司

 本规程主要起草人员（排名不分先后）：杜道龙、宋仪、翟可、江水德、林东明、杨华东、杜昌锦、姚长春、朱志勇、季大雪、苏奇、宣景伟、赵学军、李源潮、钱恒宇、严涛、刘永中、边大勇、何杰、姜林波、李岩、张建华、楚风臣、岳志成、许言言、李玉商。

**目 录**

[1 总 则 3](#_Toc408853713)

[2 术语、符号 4](#_Toc408853714)

[2.1 术语 4](#_Toc408853715)

[2.2 符号 4](#_Toc408853716)

[3 材 料 6](#_Toc408853717)

[3.1 原材料 6](#_Toc408853718)

[3.2 性能 6](#_Toc408853719)

[3.3 配合比 7](#_Toc408853720)

[3.4 辅助材料 8](#_Toc408853721)

[4 设 计 9](#_Toc408853722)

[4.1 一般规定 9](#_Toc408853723)

[4.2 材料性能设计 9](#_Toc408853724)

[4.3 结构断面设计 10](#_Toc408853725)

[5 工程施工 12](#_Toc408853726)

[5.1 施工准备 12](#_Toc408853727)

[5.2 设备与拌合制作 12](#_Toc408853728)

[5.3 输送与浇筑 12](#_Toc408853729)

[5.4 辅助工程施工 13](#_Toc408853730)

[5.5 硬化后的整体养护 13](#_Toc408853731)

[5.6 施工注意事项 14](#_Toc408853732)

[6 质量检验与验收 15](#_Toc408853733)

[6.1 一般规定 15](#_Toc408853734)

[6.2 质量检验 15](#_Toc408853735)

[6.3 质量验收 16](#_Toc408853736)

[附录A 泡沫密度试验 18](#_Toc408853737)

[附录B 适应性试验 20](#_Toc408853738)

[附录C 湿密度试验补充 21](#_Toc408853739)

[附录D 流动度试验 22](#_Toc408853740)

[附录E 干密度、最大密度试验 23](#_Toc408853741)

[附录F 抗压强度试验 25](#_Toc408853742)

[附录H 配合比试配参考表 26](#_Toc408853743)

[附录G 工程质量检验验收用表 27](#_Toc408853744)

[附表G.1 配合比设计报告表 27](#_Toc408853745)

[附表G.2 密度、流动度试验记录表 28](#_Toc408853746)

[附表G.3 轻质泡沫土浇筑过程质量检查记录表 29](#_Toc408853747)

[附表G.4 强度检验报告单 30](#_Toc408853748)

[附表G.5 轻质泡沫土检验批质量评定表 31](#_Toc408853749)

[本规程用词说明 32](#_Toc408853750)

[条文说明 33](#_Toc408853751)

# 1 总 则

1.0.1 为了轻质泡沫土在轨道交通填筑工程应用中做到安全、适用、经济，保证质量，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于轨道交通工程填筑领域的轻质泡沫土的设计、施工、质量检验。

# 2 术语、符号

## 2.1 术语

2.1.1 轻质泡沫土 Foamed Lightweight Soil

将泡沫剂制备的泡沫按比例引入胶凝材料、集料、外加剂和水制成的浆料中，形成均匀稳定的流体泡浆拌和物，经浇注成型、固结养护而成的轻质微孔固态填筑材料。

2.1.2 泡沫剂 Foaming agent

可通过物理或化学方法产生大量均匀稳定的泡沫，可用于制备轻质泡沫土的一种添加剂。

2.1.3 湿密度 wet density

新拌轻质泡沫土流体状态下的单位体积质量。

2.1.4 干密度 dry density

轻质泡沫土固化28d，表面自然气干状态下的单位体积的质量。

2.1.5 最大密度 Maximum density

轻质泡沫土在使用环境状态下，经浸水等条件影响后的最大单位体积质量。

2.1.6 泡沫密度 Foam Density

泡沫剂经制备发泡后，泡沫的单位体积质量。

2.1.7 浆料固化沉降率 The sedimentation rate with concrete slurry solidification

新拌轻质泡沫土在100mm×100mm×100mm的立方体试模中固化后，其表面沉降的比率。

2.1.8 流动度 flow value

新拌轻质泡沫土流动性的量值。

## 2.2 符号

ƒ***c***——轻质泡沫土28d方体抗压强度设计值，单位MPa；

ƒ***7d***——轻质泡沫土7d立方体抗压强度检测值，单位MPa；

ƒ***28d***——轻质泡沫土28d立方体抗压强度检测值，单位MPa；

***ρw*** ——轻质泡沫土湿密度，单位kg/m3；

***ρd*** ——轻质泡沫土干密度，单位kg/m3；

***ρmax*** ——轻质泡沫土最大密度，单位kg/m3；

*M****c*** —— 每立方轻质泡沫土中水泥的质量，单位kg/m3；

*M****s*** —— 每立方轻质泡沫土中集料的质量，单位kg/m3；

*M****w*** —— 每立方轻质泡沫土中水的质量，单位kg/m3；

*M****f*** —— 每立方轻质泡沫土中泡沫的质量，单位kg/m3；

*M****x*** —— 每立方轻质泡沫土中外加剂质量，单位kg/m3；

***ρf*** —— 泡沫密度，单位kg/m3；

***ρc*** —— 水泥密度，单位kg/m3；

***ρs*** —— 集料密度，单位kg/m3；

***ρx*** —— 外加剂密度，单位kg/m3。

# 3 材 料

## 3.1 原材料

3.1.1 制备轻质泡沫土宜采用水泥作为胶凝材料，其中普通水泥应符合《通用硅酸盐水泥》GB175-2007的规定，其它胶凝材料应符合国家有关标准的规定。

3.1.2 拌和水不应含有影响泡沫稳定性、轻质泡沫土的强度及耐久性的有机物、油渍等杂质，符合《混凝土用水标准》JGJ63-2006的规定。

3.1.3 泡沫剂应对环境无不良影响，宜采用界面活性类泡沫剂，轻质泡沫土的固化沉降率应不大于5%，其他性能应符合《泡沫混凝土用泡沫剂》JC/T2199-2013的规定。

3.1.4 集料宜采用粉煤灰、细砂，也可采用砂性土等，集料最大粒径不应大于5mm，其中粉煤灰应符合《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T1596-2005 的规定，其他集料应符合《公路工程集料试验规程》JTG E42-2005的规定。

3.1.5 外加剂性能应符合《混凝土外加剂》 GB8076-2008 的规定。

## 3.2 性能

3.2.1 轻质泡沫土的密度等级*ρ*按湿密度划分。轻质泡沫土湿密度*ρw*、最大密度*ρmax*不应大于表3.2.1中的规定值；干密度*ρd*不应大于湿密度且不小于表3.2.1中的规定值。

表3.2.1 密度等级

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 密度等级***ρ*** | W400 | W500 | W600 | W700 | W800 | W900 | W1000 | W1200 |
| 湿密度***ρw***，（kg/m3） | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1200 |
| 干密度***ρd***，（kg/m3） | 320 | 400 | 500 | 600 | 700 | 820 | 930 | 1130 |
| 无渗水接触最大密度***ρmax***，（kg/m3） | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1200 |
| 有渗水接触，有防排水措施最大密度***ρmax***，（kg/m3） | 430 | 530 | 650 | 730 | 820 | 900 | 1000 | 1200 |
| 有渗水接触，无防排水措施最大密度***ρmax***，（kg/m3） | 460 | 560 | 675 | 760 | 850 | 920 | 1000 | 1200 |

3.2.2 轻质泡沫土强度 ƒ 按28d立方体抗压强度划分。每组试件抗压强度的平均值和最小值不应小于表3.2.2 的规定值；

表3.2.2 强度等级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 轻质泡沫土强度等级 | 28d立方体抗压强度（MPa） | 轻质泡沫土强度等级 | 28d立方体抗压强度（MPa） |
| 平均值不小于 | 最小值不小于 | 平均值不小于 | 最小值不小于 |
| C0.3 | 0.30 | 0.25 | C1.2 | 1.20 | 1.00 |
| C0.4 | 0.40 | 0.30 | C1.5 | 1.50 | 1.20 |
| C0.5 | 0.50 | 0.35 | C2.0 | 2.00 | 1.60 |
| C0.6 | 0.60 | 0.45 | C2.5 | 2.50 | 2.20 |
| C0.8 | 0.80 | 0.60 | C3.0 | 3.00 | 2.50 |
| C1.0 | 1.00 | 080 | C5.0 | 5.00 | 4.00 |

3.2.3 轻质泡沫土密度等级与强度的常规关系参见表3.2.3。

表3.2.3 密度等级与强度的常规关系表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 密度等级***ρ*** | W400 | W500 | W600 | W700 | W800 | W900 | W1000 | W1200 |
| 强度ƒ，（MPa） | 0.3～0.7 | 0.5～1.0 | 0.8～1.2 | 1.0～1.5 | 1.0～2.0 | 1.0～3.0 | 1.0～4.0 | 1.0～7.5 |

3.2.4 新拌轻质泡沫混凝土的流动度采用圆筒平板法测量，流动度宜控制在160mm～200mm。

3.2.5 轻质泡沫土与常规土体接触面的滑动摩擦系数可取0.4～0.6。

## 3.3 配合比

3.3.1 轻质泡沫土的配合比设计应满足设计密度、抗压强度、流动度的要求。

3.3.2 轻质泡沫土抗压强度试件尺寸为100mm×100mm×100mm的立方体试块。

3.3.3 轻质泡沫土试配28d强度应不低于设计要求，为避免强度试验导致工期延误，轻质泡沫土试配7d强度不低于0.5倍设计要求，即可施工。

ƒ7d≥0.5ƒc 或 ƒ28d≥ƒc （3.3.3）

3.3.4 轻质泡沫土的设计湿密度和各组分的关系应按下公式确定：

*ρw* = *Mc* + *Ms* + *Mw* + *Mf* + *Mx*  （3.3.4-1）

$M\_{f}=ρ\_{f}·\left(1-\frac{M\_{c}}{ρ\_{c}}-\frac{M\_{s}}{ρ\_{s}}-\frac{M\_{w}}{1000}-\frac{M\_{x}}{ρ\_{x}}\right) $ （3.3.4-2）

3.3.5 试配试验时，应进行湿密度、流动度试验，当湿密度、流动度满足要求时，应制取试件并进行养护。

3.3.6 当浆料固化沉降率或干湿密度比无法满足要求时，应调整泡沫剂的种类和稀释倍率，或调整配合比组成材料的种类和用量，重新进行试配试验。

3.3.7 当试配强度无法满足3.3.3的要求时，应调整胶凝材料的用量、标号或品牌，重新进行试配试验。

## 3.4 辅助材料

3.4.1 钢丝网

 钢丝网用的钢丝直径宜为2.5mm～3.2mm，网格间距100mm，钢丝网施工前不应有明显锈蚀。

3.4.2 沉降缝

 沉降缝之间的填缝材料宜采用20mm～30mm厚的聚苯乙烯板或10mm～20mm厚的夹板。

3.4.3防水土工膜

 防水土工膜的技术性能应满足表3.4.3要求。

表3.4.3 防水土工膜的技术性能指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 材料 | 技术性能 | 规定值 |
| 复合土工膜、土工膜 | 渗透系数，cm/s | ≤10-11 |
| 断裂强度，kN/m | ≥20 |
| CBR顶破强度，kN | ≥2.5 |
| 膜厚，mm | ≥0.3 |

# 4 设 计

## 4.1 一般规定

4.1.1 轻质泡沫土填筑设计应遵循安全性、适用性和经济性的原则。

4.1.2 轻质泡沫土一般应用于地铁顶板回填和基坑回填：

(1) 地铁车站顶板回填，减少结构顶板上作用压力；

(2) 地铁车站、区间基坑回填，增加构筑物综合刚度，弱化土压力作用；

(3) 既有地铁结构上方地面高程提高、附加荷载等，需要结构减载时换填；

(4) 地铁区间隧道竖井及横通道填筑；

(5) 轨道交通路基工程以及软基换填处理；

(6) 溶洞、土洞、管线等部位填筑。

 4.1.3 轻质泡沫土回填设计内容包括：材料性能设计、填筑体强度、变形验算，涉及到主体验算时应考虑综合刚度或者进行受力分配。

4.1.4 轻质泡沫土填筑体距地面或路面埋深应不低于0.25m，且严禁直接暴露使用；填筑体最薄处不应低于0.5m。

## 4.2 材料性能设计

4.2.1 当计算水位以上填筑时，轻质泡沫土等级应根据按表4.2.1确定。

表4.2.1 用于计算水位以上部位填筑的性能指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 路面/地面以下深度(m) | 最小强度等级 ƒ | 最小密度等级***ρ*** |
| 0.25～0.5 | C1.0 | W700 |
| 0.5～1.2 | C0.8 | W600 |
| 1.2～2.0 | C0.6 | W500  |
| ＞2.0 | C0.4 | W400 |

4.2.2 当计算水位以下填筑时，轻质泡沫土等级应根据按表4.2.2确定。

表4.2.2 用于计算水位以下部位填筑的性能指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 计算水位以下(m) | 最小强度等级 ƒ | 最小密度等级***ρ*** |
| ≤3.0 | C0.8 | W600 |
| ＞3.0 | C1.0 | W800 |

4.2.3区间隧道竖井及横通道填筑和管线部位等填筑时，应按施工性和经济性综合确定强度和密度等级，最小强度等级为C0.4，最小密度等级为W500；溶洞、土洞填筑时最小强度等级为C0.3，最小密度等级为W400。

4.2.4荷载计算时，地下水位以上的轻质泡沫土填筑层自重按湿密度计算，地下水位以下的轻质泡沫土填筑层自重按最大密度计算；抗浮计算时，地下水位以上的轻质泡沫土填筑层自重按干密度计算，地下水位以下的轻质泡沫土填筑层自重按湿密度计算。

4.2.5 当冻融环境中填筑时，抗冻性指标可按国家标准《蒸压加气混凝土性能试验方法》GB/T11969确定。

4.2.6 弹性模量可按国家标准《蒸压加气混凝土性能试验方法》GB/T11969确定。当无试验资料时，可按下式计算：

 *E*c=250*q*u （4.2.6）

 式中 *E*c——轻质泡沫土的弹性模量(MPa)；

 *q*u——轻质泡沫土的抗压强度(MPa)。

## 4.3 结构断面设计

4.3.1 地铁结构上方轻质泡沫土的填筑断面结构见图4.3.1。



图4.3.1 地铁结构上方轻质泡沫土的填筑断面示意图

4.3.2 有冻融时轻质泡沫土宜设置在防冻厚度以下；当轻质泡沫土上方为混凝土面层时，混凝土层总厚度若小于最小防冻层厚度，混凝土面层与轻质泡沫土填筑层之间应设置垫层。

4.3.3 路基填筑体的抗压强度应按下式计算：

  (4.3.3)

式中：——路基填筑体的抗压强度(kPa)；

 ——安全系数，取3.0；

 *CBR*——加州承载比，按《公路路基设计规范》JTG D30取值。

4.3.4 填筑体与路基的衔接宜采用台阶形式；当填筑体顶面有坡度要求时，填筑体顶面宜分级设置台阶，每台阶高度不应小于0.5m。

4.3.5 当填筑体底面有突变时，应在突变位置设置沉降缝。

4.3.6 当计算水位以下部位填筑时，应按下式进行抗浮稳定性验算：

 $F\_{s}=\frac{0.009ρ\_{w}V\_{1}+P}{0.01ρ\_{w}V\_{2}}\geq 1.15$ (4.3.6)

 式中： ***ρw*** ——轻质泡沫土湿密度(kg/m3)；

 *V*1——填筑体体积(m3)；

 *V*2——计算水位以下填筑体体积(m3)；

 *P* ——填筑体顶部的压力(kN)。

## 4.4 附属工程设计

4.4.1 轻质泡沫土填筑体填筑高度不大于10m时，应在填筑体顶面以下及填筑体底面以上0.3m～0.8m范围内分别设置钢丝网。

4.4.2 轻质泡沫土填筑体填筑高度大于10m时，除按照4.4.1条设置钢丝网外，还应每隔5m分别设置钢丝网。

4.4.3 当填筑体位于计算水位以下部位时，其接触面应采用防水措施。

# 5 工程施工

## 5.1 施工准备

5.1.1 详细分析设计图纸，理解设计意图，了解工程规模，掌握工期要求，编制施工组织计划。

5.1.2 对现场地形地貌进行踏勘，必要时应进行相关工程的测量复核。

5.1.3 施工前，应清除浇筑区基底杂物，尤其应排清基底的积水；当在地下水位以下浇筑时，应有降水措施，严禁在基底有水的状态下浇筑施工。

5.1.4 轻质泡沫土的施工气温应在0℃以上。

## 5.2 设备与拌合制作

5.2.1 物理发泡装置应满足下列要求：

(1) 宜采用压缩空气与泡沫液混合的方式生成泡沫，禁用搅拌发泡生成泡沫；

(2) 应能设置稳定的发泡倍率，并生成稳定泡沫密度的泡沫。

5.2.2 轻质泡沫土制作设备应具有原材料自动化计量功能，在拌和制作轻质泡沫土时，应能调节水泥（砂）浆或泡沫流量。

5.2.3 轻质泡沫土在拌合制作过程中，材料的计量精度应满足下表的要求：

表5.2.3 轻质泡沫土制备材料计量精度要求

|  |  |
| --- | --- |
| 材料 | 计量精度 |
| 集料 | ±2% |
| 水泥、外加剂 | ±2% |
| 水 | ±2% |
| 泡沫剂 | ±5% |

5.2.4 拌合制作成型过程中，搅拌时间应确保各组分混合均匀。

5.2.5 水泥浆在储料装置中的停滞时间不宜超过2h；轻质泡沫土拌和物在储料装置及管道中的停滞时间不宜超过1h。

## 5.3 输送与浇筑

5.3.1 轻质泡沫土浇筑前，根据施工现场边界条件，先进行浇筑区、浇筑层划分，划分应符合以下要求：

(1) 单个浇筑区顶面面积最大不应超过400m2；

(2) 单个浇筑区长轴方向长度不宜超过20m；

(3) 相邻浇筑区用10mm～20mm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，不得抽掉；

(4) 单层浇筑层的厚度宜控制在0.3m～1m的范围，单个浇注区宜在2小时内一次性浇注完成，最长不得超过4小时。

5.3.2 轻质泡沫土浇筑施工宜采用直接泵送或配管泵送方式；当浇筑方量较小时也可采用车辆运送或其他工具运输的方式进行施工。

5.3.3 为保证连续浇注的稳定性，单套轻质泡沫土设备产能不宜低于60m3/h。

5.3.4 在地下水位以下施工时，应采取临时降水措施并确保基底无积水的情况下浇筑，临降水措施应在轻质泡沫土养护龄期不少于3天，且施工满足抗浮要求的条件下方能撤除。

5.3.5 浇筑时出料口离浇筑点的高差宜控制在1m以内。

5.3.6 单个浇筑区内浇筑层施工完毕，终凝后方能进行上层的浇筑施工。

5.3.7 当遇大雨、暴雨或持续时间较长的小雨天气，未硬化的轻质泡沫土表面应采取遮雨措施。

## 5.4 辅助工程施工

 5.4.1 钢丝网施工应符合下列要求：

(1) 钢丝网铺设前，应检查其外观，有明显锈迹的钢丝网，不应采用；

(2) 相邻幅的钢丝网，应重叠铺设50mm～100mm，重叠部位宜用铁丝绑扎，相邻绑扎点间距不应超过10 倍网眼边长；

(3) 在变形缝位置，钢丝网应断开铺设；

(4) 钢丝网在轻质泡沫土表面处严禁出露，以防止破坏防水层。

5.4.2 防水措施

 当填筑体位于地下水位以下时，应采取防水措施。防水土工膜施工铺设前，应清除下承层的尖锐物，避免刺破，必要时，应先铺设一层无纺针刺土工布作为垫护。相邻幅的土工膜，重叠搭接宽度不宜小于100mm 。

## 5.5 硬化后的整体养护

5.5.1 轻质泡沫土浇筑硬化成型后，在强度未达到0.3MPa前，不能直接进入使用状态。

5.5.2 轻质泡沫土浇筑至设计标高后，应在表面覆盖或洒水进行保湿养护，施工养护时间不宜少于3d。

## 5.6 施工注意事项

5.6.1 管线管道穿过轻质泡沫土填筑层处，需加强防水处理，防水等级要求为二级，不允许渗水到换填层内部。

5.6.2 填筑施工前及施工过程中需对现浇轻质泡沫土湿密度、流动度进行检测，并认真填写检测记录，保证符合设计要求。施工检测手段及各项指标见本规程中的相应要求。

5.6.3 各填筑层材料密度、高程及单层厚度，需严格按照设计要求施工，以避免施工导致的荷载超载情况。

# 6 质量检验与验收

## 6.1 一般规定

6.1.1 轻质泡沫土填筑工程按分项工程进行工程质量的评定和验收。

6.1.2 质量检验与验收应以填筑体为构造单元，并应按单个或若干个构造单元划分为检验批。

## 6.2 质量检验

 6.2.1 新拌轻质泡沫土试样宜在浇筑管管口制取，试件制品组数及检测频率应符合下列规定：

(1) 每个构造单元应至少制取二组试件检测；

(2) 相同配合比连续浇筑少于400m³时，应按每200m³制取一组试件检测；

(3) 相同配合比连续浇筑大于400m³时，应按每400m³制取一组试件检测。

6.2.2 试件脱模后，应分别按本规程附录E、附录F的规定检验密度、强度，检验结果应填写强度检验报告，并应符合设计及本规程表3.2.1、表3.2.2要求。

6.2.3 浇筑的质量检验应符合表6.2.3的规定，检验结果应填写浇筑质量检验记录。

表6.2.3 浇筑的质量检验

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项次 | 检验项目 | 允许偏差 | 检验方法 | 检验频率 |
| 1 | 湿密度 | 符合3.2.1的规定 | 附录C | 连续浇筑每100m³自检1次 |
| 2 | 流动度 | 160~200 | 附录D | 连续浇筑每200m³自检1次 |
| 3 | 泡沫密度 | 试配密度±2 | 附录A | 当采用物理发泡方式时，每班开工前自检1次 |

6.2.4 填筑体的主控项目检验经包括干密度和抗压强度，检测频率按照6.2.1条规定。检验结果应填写检验批质量评定表，并应符合本规程附录的要求

表6.2.4 填筑体的主控项目检验

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项次 | 检验项目 | 允许偏差 | 检验方法 | 检验频率 |
| 1 | 干密度 | 符合本规程表3.2.1的规定 | 附录E | 本规程6.2.1 |
| 2 | 抗压强度 | 符合本规程表3.2.2的规定 | 附录F | 本规程6.2.1 |
| 3 | 最大密度 | 符合本规程表3.2.1的规定 | 附录E | 有渗水接触时检测，本规程6.2.1 |

6.2.5 填筑体的一般项目检验应包括外观质量检验和实测项目。检验结果应填写检验批质量评定表，并应符合本规程附录的要求。

(1) 填筑体的外观质量检验：表面出现的非受力贯穿裂缝宽度应小于5mm；表面蜂窝面积应小于总表面积的1%。

(2) 填筑体实测项目的允许偏差应符合表6.2.5的规定。

表6.2.5 填筑体实测项目的允许偏差

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项次 | 检查项目 | 允许偏差 | 检验方法 | 检验频率 |
| 1 | 顶面高程（mm） | ±50 | 水准仪 | 每个构造单元测2点或每20m测1点 |
| 2 | 厚度（mm） | ±100 | 尺量 | 每个构造单元测2点或每20m测1点 |
| 3 | 轴线偏位（mm） | 50 | 经纬仪或拉尺、尺量 | 每个构造单元测2点或每20m测1点 |
| 4 | 宽度（mm） | 不小于设计 | 尺量 | 每个构造单元测2点或每20m测1点 |
| 5 | 基底高程（mm） | 土质 | ±50+50，-200 | 水准仪 | 每个构造单元测2点或每20m测1点 |
| 石质 |

## 6.3 质量验收

6.3.1 填筑体的质量验收应符合下列规定：

(1) 原材料、半成品、成品和设备应按本规程的规定进行检验，检验结果应经监理工程师检查认可；

(2) 浇筑应按本规程的规定进行质量控制，各工序之间应进行自检、交接检验，并应形成文件。

6.3.2 质量保证资料应包括下列内容：

(1) 所用原材料、半成品和成品的质量检验结果；

(2) 施工配合比、基坑交接检查、浇筑检查和附属工程施工检查记录；

(3) 各项质量控制指标的实验数据和质量检验资料；

(4) 施工过程中遇到的非正常情况记录及其对工程质量影响分析；

(5) 施工过程中如发生质量事故，经处理补救后达到设计要求的认可证明文件。

6.3.3 检验批合格质量应符合下列规定：

(1) 主控项目的质量应全部检验合格；

(2) 一般项目的合格率达到80%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) 具有完整的施工质量检查记录；

(4) 对工程质量验收不合格的，监理单位应责令施工单位进行缺陷修补或返工，并应重新进行质量检验与验收。

# 附录A 泡沫密度试验

A.1 适用范围 适用于泡沫剂性能检测，测定泡沫密度。

A.2 仪器设备

(1) 发泡装置1套；

(2) 塑料桶1个，容积15L；

(3) 电子称1台，最大量程2000g，精度1g；

(4) 带刻度的不锈钢量杯2个，内径108mm，高108mm，壁厚2mm，容积1L；

(5) 平口刀1把，刀长150mm；

(6) 钢直尺1把，尺长150mm，分度值0.5mm；

(7) 深度游标卡尺1把，精度0.02mm；

(8) 方纸片1张，边长50mm；

(9) 秒表1块。

A.3 试验材料

(1) 稀释水10.0L；

(2) 泡沫剂0.5L。

A.4 泡沫制取

(1) 按稀释倍率计算好稀释水和泡沫剂，并将发泡液倒入发泡装置的容器内；

(2) 启动发泡装置，调节阀门，并观察出口泡沫泡径、均匀度；

(3) 用量杯在管口接取泡沫，使泡沫充满整个量杯；

(4) 用平口刀沿量杯杯口平面刮平气泡沫。

A.5 试验方法

(1) 将电子称放置于水平桌面上；

(2) 称取量杯的质量*m*0，精确至1g；

(3) 按A.4的试验方法制取泡沫，称取其质量*m*1，精确至1g；

(4) 按下式计算泡沫密度*ρf*（kg/m3）：

 $ρ\_{f}=\frac{m\_{1}-m\_{0}}{v\_{0}}$ （式A.5）

 式中：

 *ρf* ——泡沫密度（kg/m3），精确至0.1 kg/m3；

 *m*1——量杯加泡沫质量（kg）；

*m*0 ——量杯质量（kg）；

 *v*0 —— 量杯体积（m3）。

(5) 清洗并擦干仪器设备，重复试验(2) ~ (4)步骤两次；

(6) 取3次试验结果的算术平均值作为泡沫密度（kg/m3），精确至0.1 kg/m3；

(7) 泡沫密度试验应在每次取样后5min内完成。

# 附录B 浆料固化沉降率试验

B.1 适用范围

适用于测定新拌轻质泡沫在立方体试模中固化后，其表面沉降的比率，沉降比率应以不大于5%为界限。新拌轻质泡沫土在100mm×100mm×100mm的立方体试模中固化后，其表面沉降的比率。

B.2 仪器设备

(1) 发泡装置1套；

(2) 试验用搅拌机1台；

(3) 100mm×100mm×100mm的立方体试模一组3块；

(4) 平口刀1把，刀长150mm；

(5) 钢直尺1把，尺长150mm，分度值0.5mm。

B.3 试验材料

新拌轻质泡沫土。

B. 4 取样方法

(1) 现场取样：在泵送管出口处制取；

(2) 室内取样：在搅拌好的拌合物中制取。

B.5 试验步骤

(1) 接取试样，慢慢地将试样倒入立方体试模中至试样溢出并略高于试模上沿；

(2) 用平口刀轻敲试模外侧，使试样充满整个试模；

(3) 用平口刀慢慢地沿试模上沿平面刮平试样；

(4) 在（20±5）℃的恒温养护室内养护72h；

(5) 用钢直尺量取固化后的轻质泡沫土顶面距试模上沿的距离，精确到0.5mm；

(6) 最3块试样量取沉降距的平均值作为该组试样的固化沉降率。

# 附录C 湿密度试验

C. 1 适用范围 适用于测定新拌轻质泡沫土的单位体积重量。

C. 2 仪器设备

(1) 电子称1台，最大量程2000g，精度1g；
(2) 塑料桶1个，容积15L；

(3) 带刻度的量杯2个，内径108mm，净高108mm，壁厚2mm，容积1L；

(4) 平口刀1把，刀长150mm。

C.3 试验材料 新拌轻质泡沫土，10L。

C.4 取样方法

(1) 现场取样：在泵送管出口处制取；

(2) 室内取样：在搅拌好的拌合物中制取。

C.5 试验步骤

(1) 准备好电子称，并将其水平放置；

(2) 将量杯1平放于电子称上，测得量杯1质量*m*0，精确至1g。

(3) 用量杯2接取试样，并将试样慢慢地倒入量杯1中；

(4) 当试样装满量杯1时，用平口刀轻敲量杯1外壁，使试样充满整个量杯1；

(5) 用平口刀慢慢地沿量杯1端口平面刮平试样；

(6) 将装满试样的量1平放于电子称上，测得试样加量杯的质量*m*1，精确至1g。

(7) 湿密度γ（kg/m3）按下式计算：

 $γ=\frac{m\_{1}-m\_{0}}{v\_{0}}$ （式C. 5）

式中：

*γ*—— 湿密度（kg/m3），精确至0.1 kg/m3；

 *m*1—— 量杯加试样质量（kg）；

*m*0—— 量杯质量（kg）；

 *v*0 —— 量杯体积（m3）。

(8) 重复试验C.5(1) ~ (8)步骤，取3次试验结果的算术平均值为新拌轻质泡沫土湿密度精确至0.1 kg/m3。

(9) 湿密度试验应在每次试样后5min内完成。

# 附录D 流动度试验

D. 1 适用范围 适用于测定新拌轻质泡沫土的流动性指标。

D. 2 仪器设备

(1) 发泡装置1套；

(2) 黄铜或其他硬质材料空心圆筒1个， 内径80mm，净高80mm，内壁光滑；

(3) 光滑硬塑料板1块，边长400mm×400mm；

(4) 带刻度的不锈钢量杯2个，内径108mm，净高108mm，壁厚2mm，容积1L；

(5) 平口刀1把，刀长150mm；

(6) 钢直尺1把，尺长250mm，分度值0.5mm；

(7) 秒表1块。

D.3 试验材料 新拌轻质泡沫土，10L。

D.4 取样方法

(1) 现场取样：在泵送管出口处制取；

(2) 室内取样：在搅拌好的拌合物中制取。

D.5 试验步骤（如图D）

(1) 清洗并擦干仪器设备；

(2) 将空心圆筒垂直竖于光滑硬质塑料板中间；

(3) 用量杯1接取试样，并将试样倒入量杯2中；

(4) 慢慢地将量杯2中的试样倒入空心圆筒，并用平口刀轻敲空心圆筒外侧，使试样充满整个空心圆筒；

(5) 用平口刀慢慢地沿空心圆筒的端口平面刮平试样；

(6) 慢慢地将空心圆筒垂直向上提起，并使试样自然坍落静置1min；

(7) 用钢直尺测得坍落体最大水平直径，精确至1 mm，即为试样的流动度；

(8) 重复试验D.0.5.1~D.0.5.8步骤，取3次试验结果的算术平均值为新拌轻质泡沫土的流动度（mm）。



图D 流动度测定示意图

# 附录E 干密度、最大密度试验

E.1 适用范围 适用于新拌轻质泡沫土的密度检测，测定其干密度和最大密度。

E.2 仪器设备

(1) 钢模二组，规格100mm×100mm×100mm；

(2) 电子称1台，最大量程2000g，精度lg；

(3) 钢直尺1把，尺长300 mm，分度值0.5mm；

(4) 水温为（20±5）℃的恒温水槽。

E.3 标准试件制作

(1) 试件成型：在钢模内浇筑成型；

(2) 规格数量：100mm×100mm×100mm 的立方体试件，共二组，每组3 块；

(3) 试件养护：试件由试模中拆出后，按组放入塑料袋内密封养生28d龄期，养生温度为20℃±2℃。

E.4 试验步骤

E.4.1 干密度试验

(1) 取标准试件一组，分别量取试件的长度、宽度、高度，精确至1mm；

(2) 分别计算出3块标准试件的体积；

(3) 分别称取3块标准试件的重量，精确至0.1g；

(4) 分别按下式计算标准试件的干密度，精确至0.1 kg/cm3；

$γ\_{a}=\frac{m\_{a}}{v\_{a}}$ （式E.4.1）

式中：

*γ*a——干密度（kg/m3），精确至0.1 kg/m3；

 *m*a—— 标准试件的质量（kg）；

 *v*a —— 标准试件的体积（cm3）。

(5) 取3块标准试件干密度的算术平均值作为轻质泡沫土的干密度。

E.4.2 最大密度试验

(1) 取标准试件一组，放入水温为（20±5）℃的恒温水槽内；

(2) 然后加水至试件高度的1/3，保持24h；

(3) 再加水至试件高度的2/3，保持24h；

(4) 再水高出试件30mm以上，保持24h；

(5) 将试件从水中取出，用湿布抹去表面水分；

(6) 分别量取3块标准试件长度、宽度、高度，精确至1mm，并计算出试件体积；

(7) 立即称取3块试件的重量，精确至0.1g；

(8) 分别按下式计算出3块试件的最大密度，精确至0.1（kg/cm3）；

$γ\_{s}=\frac{m\_{s}}{v\_{s}}$ （式E. 4.2）

式中：

*γ*s——最大密度（kg/m3），精确至0.1 kg/m3；

 *m*s—— 标准试件的饱水质量（kg）；

 *v*s—— 标准试件的饱水体积（cm3）。

(9) 取3块标准试件最大密度的算术平均值作为轻质泡沫土的最大密度。

# 附录F 抗压强度试验

F.1 适用范围

适用于轻质泡沫土的强度检测，测定其标准试件的抗压强度。

F.2 仪器设备

(1) 材料试验机：除应符合GB/T 2611中技术要求的规定外，精度应不低于±2%，量程的选择应能使试件的预期最大破坏荷载处在全量程的20%~80%范围内；

(2) 电子称：最大量程2000g，精度lg；

(3) 钢直尺：尺长300 mm，分度值为0.5mm。

F. 3 标准试件制作

(1) 试件成型：在钢模内浇注成型；

(2) 规格数量：100mm×100mm×100mm 的立方体试件，共一组，每组3块；

(3) 试件养护：放入塑料袋内密封养生至28d龄期，养生温度20℃±2℃。

F.4 试验步骤

(1) 检查每块试件外观，试件表面必须平整，不得有裂缝或明显缺陷；

(2) 测量每块试件尺寸，精确至lmm，并计算试件的承压面积A（mm2）；

(3) 取1块试件放在材验机下压板的中心位置，试件承压面应与成型的顶面垂直；

(4) 开动材料试验机，当上压板与试件接近时，应调整球座，使试件接触均衡；

(5) 以（2土0.5）kN/s 速度连续均匀地加荷，至试件破坏，并记录破坏荷载P（N）；

(6) 重复试验(1) ~(5) 步骤，测定并记录试件的承压面积A（mm2）、破坏荷载P（N）。

(7) 抗压强度*q*u按下式计算：

 $q\_{u}=\frac{P}{A}$ （式F.4）

式中：

—— 标准试件的抗压强度，MPa,精确至0.01MPa；

—— 破坏荷载，N；

—— 试件受压面积，mm2。

(8) 取3块标准试件抗压强度的算术平均值分别作为轻质泡沫土的抗压强度。

# 附录H 配合比试配参考表

表H.1 配合比试配试验参考表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 抗压强MPa | 材料用量 (kg/m³) | 湿密度(kg/m³) | 流值(mm) |
| 水泥 | 砂 | 水 |
| 0.7 | 298 | 0 | 235 | 550 | 170 |
| 0.7 | 233 | 233 | 210 | 690 | 170 |
| 0.7 | 197 | 394 | 204 | 810 | 170 |
| 0.7 | 170 | 510 | 199 | 880 | 170 |
| 0.7 | 150 | 600 | 203 | 950 | 170 |
| 0.7 | 135 | 675 | 210 | 1020 | 170 |
| 1.0 | 334 | 0 | 256 | 610 | 170 |
| 1.0 | 260 | 261 | 227 | 750 | 170 |
| 1.0 | 214 | 428 | 216 | 860 | 170 |
| 1.0 | 187 | 561 | 216 | 960 | 170 |
| 1.0 | 162 | 648 | 218 | 1030 | 170 |
| 1.0 | 146 | 730 | 227 | 1100 | 170 |
| 1.2 | 353 | 0 | 264 | 630 | 170 |
| 1.2 | 278 | 278 | 236 | 800 | 170 |
| 1.2 | 226 | 452 | 223 | 900 | 170 |
| 1.2 | 199 | 597 | 226 | 1020 | 170 |
| 1.2 | 170 | 680 | 228 | 1080 | 170 |
| 1.2 | 153 | 765 | 237 | 1150 | 170 |

# 附录G 工程质量检验验收用表

## 附表G.1 配合比设计报告表

|  |
| --- |
| 编号：  |
| 工程名称 |  | 分项工程名称 | 　 | 试验日期 | 　 |
| 施工单位 |  | 试验人员 |  | 见证人员 |  |
| 执行标准名称及编号 |  |
| 浇筑部位 |  | 设计湿密度 |  | 设计流动度 |  | 设计强度 |  |
| 原材料 | 泡沫剂 | 水泥 | 细集料 | 掺合料 | 外加剂 |
| 型号 | 厂家 | 稀释倍率 | 发泡倍率 | 种类 | 标号 | 厂家 | 种 类名 称 | 掺量（%） | 种 类名 称 | 掺量（%） |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 试配配合比 | 编号 | 每立方原材料用量（kg） | 理论值 |
|  | 水泥 | 集料 | 水 | 泡沫 | 外加剂 | 其他 | 湿密度(kg/m3) | 流动度(mm) |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 试配结果 | 成型体积（L） |  | 浆料固化沉降率% |  |
| 流动度(mm) | 湿密度(kg/m3) |
| 编号 | 实测值 | 平均值 | 编号 | 实测值 | 平均值 |
| 1 |  |  | 1 |  |  |
| 2 |  | 2 |  |
| 3 |  | 3 |  |
| 干密度 (kg/m3) | 抗压强度 (MPa)  |
| 编号 | 实测值 | 平均值 | 编号 | 实测值 | 平均值 |
| 1 | 　 |  | 1　 |  |  |
| 2 |  | 2　 |  |
|  | 3 |  | 3 |  |
| 设计配合比 | 水泥（kg/m3） | 细集料（kg/m3） | 水（kg/m3） | 泡沫（L/m3） | 外加剂（kg/m3） | 其他（kg） |
|  |  |  |  |  |  |
| 施工单位检查结果 | 签名： 年 月 日 |
| 监理（建设）单位检查意见 | 签名： 年 月 日 |
| 注：在对应检验内容中打√。 |

## 附表G.2 密度、流动度试验记录表

|  |
| --- |
| 编号：  |
| 工程名称 |  | 分项工程名称 | 　 | 试验日期 | 　 |
| 施工单位 |  | 试验人员 |  | 试验主管 |  |
| 试 件 | 干密度(kg/m3) | 最大密度(kg/m3) |
| 编号 | 湿密度(kg/m3) | 流动度(mm) | 成型日期 | 养生条件 | 龄期(d)　 | 尺寸(mm) | 测定值 | 平均值 | 测定值 | 平均值 |
|  |  |  |  |  |  | 长 |  |  |  |  |  |
| 宽 |  |  |  |
| 高 |  |  |  |
|   |  |  |  |  |  | 长 |  |  |  |  |  |
| 宽 |  |  |  |
| 高 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | 长 |  |  |  |  |  |
| 宽 |  |  |  |
| 高 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | 长 |  |  |  |  |  |
| 宽 |  |  |  |
| 高 |  |  |  |
| 施工配合比 | 　 |
| 试验依据 |  |
| 备注 |  |
| 试验： | 记录： | 审核： | 批准： | 日期： |

## 附表G.3 轻质泡沫土浇筑过程质量检查记录表

|  |
| --- |
| 编号： |
| 工程名称 | 　 | 分项工程名称 | 　 | 验收部位 | 　 |
| 施工单位 |  | 现场检测员 |  | 工程数量 |  |
| 执行标准名称及编号 |  |
| 施工配合比 | 　 | 泡沫密度(kg/m3) | 　 | 湿密度(kg/m3) |  | 天气 |  | 施工日期 | 　 |
| 气温 |  |
| 序号　 | 浇筑桩号 | 浇筑层序 | 填筑时间  | 填筑层底标高（m） | 平均填筑厚度（m） | 填筑方量 （m3） | 检查记录 |
| 湿密度(kg/m3) | 流动度(mm)　　 |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 9 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 10 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 试样制取 | 组 数 |  | 湿密度 （kg/m3） |  | 流动度 （mm） |  |
| 编 号 |  |  |  |
| 制取部位 |  |  |  |
| 施工单位检查结果 |  签名： 年 月 日 |
| 监理（建设）单位检查意见 |  签名： 年 月 日 |

## 附表G.4 强度检验报告单

|  |
| --- |
| 编号： |
| 工程名称 |  | 分项工程名称 |  | 桩号及部位 |  |
| 委托单位 |  | 检验单位 |  | 送样日期 |  |
| 试 件 | 干密度(kg/m3） | 破坏荷载（N） | 抗压强度（MPa） |
| 编号 | 成型日期 | 养护条件 | 龄期(d) | 尺寸(mm) | 测定值 | 平均值 |
| 测定值 | 平均值 |
|  |  |  |  | 长 |  |  |  |  |  |  |
| 宽 |  |  |  |  |
| 高 |  |  |  |  |
|  |  |  |  | 长 |  |  |  |  |  |  |
| 宽 |  |  |  |  |
| 高 |  |  |  |  |
|  |  |  |  | 长 |  |  |  |  |  |  |
| 宽 |  |  |  |  |
| 高 |  |  |  |  |
| 施工配合比 |  |
| 检验依据 |  |
| 备注 |  |
| 检验： | 记录： | 审核： | 批准： | 日期： |
| 注：在对应检验内容中打√。 |

## 附表G.5 轻质泡沫土检验批质量评定表

|  |
| --- |
| 编号： |
| 工程名称 |  | 分项工程名称 | 　 | 验收部位 | 　 |
| 施工单位 |  | 项目技术负责人 |  | 项目经理 |  |
| 现场施工员 | 　 | 现场检测员 |  | 工程数量 |  |
| 执行标准名称及编号 |  |
| 主控项目 | 序号 | 项目内容 | 规定值/允许偏差 | 实测值或偏差值 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 应检数量 | 合格数量 | 合格率（%） |
| 1 | 干密度(kg/m3） | 底层 | 符合本规程6.2.6的规定 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 顶层 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 | 抗压强度（MPa） | 底层 | 符合本规程6.2.6的规定 | 　 |  |  |  | 　 | 　 | 　 |  |  |
| 顶层 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 一般项目 | 1 | 外观质量检验 | 符合本规程6.2.7的规定 |  |
| 2 | 质量保证资料 | 符合本规程6.3.2的规定 |  |
| 实测项目 | 3 | 顶面高程(mm） | ±50 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 | 厚度(mm） | ±100 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 | 轴线偏位(mm） | 50 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6 | 宽度（mm） | 不小于设计 | 　 |  |  |  | 　 | 　 | 　 |  |  |
| 7 | 底面高程(mm） | 石质 | ±50,-200  | 　 |  |  |  | 　 | 　 | 　 |  |  |
| 土质 | ±50 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 施工单位检验结果 | 签名： 年 月 日 |
| 监理（建设）单位验收意见 | 签名： 年 月 日 |

注：对单个构造单元内存在不同干密度和抗压强度时，可在表中按填筑部位从底层到顶层分行填写。

# 本规程用词说明

**1** 为了便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1.1 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”。

1.2 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”。

1.3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先这样做的用词：正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”；表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

**2** 规程中指定应按其他有关规程和规范执行时，写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

**轻质泡沫土轨道交通填筑技术规程**

# 条文说明

# 2 术语、符号

## 2.1 术语

2.1.1 轻质泡沫土 Foamed Lightweight Soil

本条阐述了轻质泡沫土的定义，考虑轻质泡沫土的制备工艺及原材料。施工中采用流体现浇的工艺，浇注后经过凝结而形成固态的轻质微孔轻质泡沫土填筑体成品。

2.1.2 泡沫剂 Foaming agent

泡沫剂是制备轻质泡沫土的必备原材料，分为物理发泡型和化学发泡型两类。物理发泡型的发泡方式是先采用物理方法将泡沫剂制成水性泡沫，再将泡沫均匀混入胶凝材料、集料、外加剂和水制成的浆料中形成轻质泡沫土拌和物；化学发泡方式则是先将泡沫剂均匀混入胶凝材料、集料、外加剂和水制成的浆料中，泡沫剂在浆料中发生化学反应发泡为水性泡沫，从而形成轻质泡沫土拌和物。

2.1.3～2.1.5 密度

由于轻质泡沫土的主要用途之一在于轻质减荷，材料在不同状态下的密度会直接影响荷载计算的精度，本规程对轻质泡沫土不同状态下的密度进行了分类：湿密度最接近轻质泡沫土在常规使用状态下的密度；干密度可以理解为轻质泡沫土的最小密度，便于抗浮计算；为便于荷载计算，引入轻质泡沫土浸水饱和后的密度作为最大密度。

2.1.7 浆料固化沉降率 The sedimentation rate with concrete slurry solidification

轻质泡沫土拌和物浇注后，若发生整体沉陷，体积密度增加，从而会导致整体荷载增加的严重后果。由于胶凝材料、集料、泡沫剂等原材料的差异和配合比的不同，不同材料间相互影响，仅通过泡沫剂的密度试验难以保证质量。必须在施工前，通过试验验证泡沫剂与原材料配比的浆料固化沉降率，避免浇注后出现整体沉陷的情况。

## 2.2 符号

ƒ***c***——轻质泡沫28d土方体抗压强度规定或设计的标准值；

ƒ***28d***——轻质泡沫土28d立方体抗压强度实验实测值，工程中ƒ***28d***应不小于ƒ***c***。

# 3 材 料

## 3.1 原材料

3.1.1在工程应用中，常规采用通用硅酸盐水泥作为胶凝材料，水泥等级不宜低于32.5级。根据工程情况因地制宜，也可采用快凝水泥、水玻璃、石膏、硅粉等作为胶凝材料，但在使用前应严格进行配合比及性能试验。

3.1.2 水的选用以不影响轻质泡沫土的强度和耐久性为前提，可采用饮用水、自来水、河水、湖泊水，不应含有影响泡沫稳定性、轻质泡沫土的强度及耐久性的有机物、油渍等杂质，不宜采用海水、污水、含泥量大的水源。

3.1.3 泡沫剂是制作轻质泡沫土的关键材料，泡沫剂应无腐蚀性且对环境无不良影响。

3.1.4 集料除采用粉煤灰、细砂、砂性土外，基于经济性考虑，在尾矿粉、石粉、粉砂丰富且价格便宜的地区，也可作为集料掺入轻质泡沫土中使用；集料最大粒径若超过5mm，一方面会造成沉淀，影响轻质泡沫土强度，另一方面不利于泵送，影响施工进度。

3.1.5 轻质泡沫土常用外加剂主要有减水剂、增稠剂、防冻剂，主要用于特殊施工环境下提高轻质泡沫土性能。

## 3.2 性能

3.2.1 通过工艺控制，固化后的轻质泡沫土内部的气孔呈分散状、相互独立、互不连通。在长期浸水状态下，少量孔壁封闭不严或被水压击穿造成吸水现象，但大部分气孔仍呈封闭状态，不透水。轻质泡沫土浸水后，由于吸水密度增加，气孔含量越多密度增加越多，但总体密度增加应控制在最大密度之内。

3.2.2 轻质泡沫土长期浸水，抗压强度不会出现显著下降趋势，反而随龄期的增长而增长。这种现象是由于轻质泡沫土的强度随着龄期的增长而增大，且增加的强度大于因干湿循环而损失的强度所产生的。轻质泡沫土强度根据工程荷载需要，参照表3.2.2在设计文件中提出要求；28d立方体抗压强度ƒ28d不应小于设计值；7d立方体抗压强度ƒ7d不应小于0.5倍设计值。

3.2.3 轻质泡沫土密度与强度的常规对应关系，是主编单位针对轻质泡沫土与抗压强度的关系进行了长期研究，提出表3.2.3以便设计时选用。表3.2.3中的对应关系是出于经济性考虑，采用表H.1的经济配合比验证的结果。根据工程需要，提升配合比或改进工艺，在同等密度下可提高泡沫土的强度。工程有较高强度需求时，可在设计文件中提出要求，施工中进行试验验证采用。

3.2.5 填筑体与衔接面间的摩擦系数，当无试验资料时，可按下表取值：

条文说明表3.2.5 填筑体与衔接面摩擦系数选用表

|  |  |
| --- | --- |
| **地基土的分类** | **摩擦系数** |
| 软塑黏土 | 0.25 |
| 硬塑黏土、半干硬的黏土、砂类土、黏砂土 | 0.30～0.40 |
| 碎石类土 | 0.50 |
| 软质岩石 | 0.40～0.60 |
| 硬质岩石 | 0.60～0.70 |

## 3.3 配合比

3.3.4 轻质泡沫土试配干密度，干密度***ρd***不应大于湿密度***ρw***。

3.3.7 当轻质泡沫土填筑体构造单元在浸水状态使用时，宜检测试配最大密度，检验方法参照附录E，当试配最大密度无法满足3.2.1的要求时，调整泡沫剂稀释比或更换泡沫剂品牌，重新进行试配试验。

## 3.4 辅助材料

3.4.1 由于轻质泡沫土为多脆性材料，大体积浇注后在固结过程中易出现干缩裂缝。采用钢丝网可以抑制裂缝产生，同时补强填筑体。线径太细不利于抵抗锈蚀，太粗不利于节约成本。同时网眼间距过小容易导致加筋层外分裂，太大不利于抗裂。

# 4 设 计

## 4.1 一般规定

4.1.3 轻质泡沫土材料性能设计、填筑体强度设计应在设计文件中指明材料密度及强度等级。

4.1.4 轻质泡沫土相对路面或地面层强度较低，宜作为底基层或上路床，若埋深过小，在活荷载作用下，有引起路面或地面出现网裂、面层碎落等风险。同时考虑泡沫轻质土浇筑厚度过小，有断裂风险，不利于抵抗土压力及活荷载。

## 4.3 结构断面设计

4.3.4 当填筑高度不超过2m时，衔接面可不设置台阶；当填筑高度超过2m时，衔接面宜设置台阶过渡，且台阶宽度不宜小于0.5m，以便对台阶或基底进行压实作业，并使填筑体与衔接体结合更紧密。衔接面的坡度视工程需要确定，不宜陡于1:1。当填筑体顶面有坡度要求时，需要在填筑体顶层通过设置台阶来实现。

## 4.4 附属工程设计

4.4.1 当轻质泡沫土填筑体填筑高度不大于5m时，每处钢丝网设置成单层即可；当轻质泡沫土填筑体填筑高度大于5m时，每处钢丝网宜设置成双层。

# 5 工程施工

## 5.1 施工准备

5.1.4 轻质泡沫土施工气温低于0 ℃时，应采取保温及升温措施。

## 5.2 设备与拌合制作

5.2.5 若水泥浆在储料装置中的停滞时间超过2h，则会出现部分水泥浆料凝结现象，从而导致制作出的轻质泡沫土出现分层、裂缝、表面起皮等现象，影响轻质泡沫土的质量。

## 5.5 硬化后的整体养护

5.5.2 在表面覆盖或洒水进行保湿养护，是为避免轻质泡沫土在硬化过程中因失水过多而导致表层强度降低。

# 6 质量检验与验收

## 6.2 质量检验

 6.2.4 当轻质泡沫土填筑体构造单元在浸水状态使用时，应参照附录E检测最大密度是否满足表3.2.1及设计要求。