中国工程建设标准化协会标准

轻质泡沫土地下空间填筑技术规程

Technical specification for filling with lightweight foamed concrete in underground space

T/CECS XXX:2020

主编单位：西安交通大学

 河南华泰新材科技股份有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2020年XX月XX日

中国计划出版社

2020北京

**前言**

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2017年第二批工程建设协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字[2017]031号）的要求，编制组在广泛调查研究，认真总结工程实践经验，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分6章和1个附录，主要内容是：总则、术语和符号、材料及性能、设计、施工、质量检验与验收。

本规程由中国工程建设标准化协会砌体结构专业委员会归口管理，由西安交通大学、河南华泰新材科技股份有限公司负责解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送西安交通大学（地址：西安市雁翔路99号；邮政编码：710054；E-mail：majx@xjtu.edu.cn）。

主编单位：西安交通大学

 河南华泰新材科技股份有限公司

参编单位：中国建筑东北建筑设计研究院有限公司

 中国建筑第五工程局有限公司

 陕西恒基建筑特种技术有限公司

 辽宁省预拌砂浆行业协会

 辽宁省建筑科学研究院有限责任公司

 沈阳建筑大学

 陕西省建筑科学研究院

 中铁建工集团有限公司

 西安市政设计研究院有限公司

 河南天工建设集团有限公司

 北京城建勘测设计研究院有限责任公司

 陕西碧华新材料科技有限公司

 广东耀创中桥工程有限公司

 深圳市鸿奥建材发展有限公司

 厦门合智新材料科技

主要起草人：马建勋 吕文朴 李玉商 范志广 高连玉

 高江虎 尚庆元 罗 冬 周森财 宋 丽

 向志程 岳焱超 马建宗 王 鑫 金恒刚

 徐春一 董军锋 赵学军 孙虎平 姚建林

 边大勇 魏滇碧 何礼林 于红山 张明海

 李建新 邓清占 刘湘江

审查人：

目次

[1 总则 1](#_Toc512263468)

[2 术语和符号 2](#_Toc512263469)

[2.1 术语 2](#_Toc512263470)

[2.2 符号 3](#_Toc512263471)

[3 材料及性能 4](#_Toc512263472)

[3.1 原材料 4](#_Toc512263473)

[3.2 辅助材料 4](#_Toc512263474)

[3.3 性能 4](#_Toc512263475)

[4 设计 6](#_Toc512263476)

[4.1一般规定 6](#_Toc512263477)

[4.2 材料性能设计](#_Toc512263478) 6

[4.3 配合比设计 7](#_Toc512263479)

[4.4 结构设计 9](#_Toc512263480)

[5 施工 1](#_Toc512263481)1

[5.1 一般规定 1](#_Toc512263482)1

[5.2 施工准备 1](#_Toc512263483)1

[5.3 填筑施工 1](#_Toc512263484)1

[5.4 养护 1](#_Toc512263485)2

[6 质量检验与验收 1](#_Toc512263486)3

[6.1 一般规定 1](#_Toc512263487)3

[6.2 原材料质量检验 1](#_Toc512263488)3

[6.3 浇注质量检验 1](#_Toc512263489)4

[6.4 成品质量检验 1](#_Toc512263490)4

[6.5 填筑工程验收 1](#_Toc512263491)5

[附录A 工程质量检验验收用表 1](#_Toc512263492)6

[表A.0.1 配合比设计报告表 1](#_Toc512263493)6

[表A.0.2 轻质泡沫土浇筑过程质量检查记录表 1](#_Toc512263494)7

[表A.0.3 强度检验报告单 1](#_Toc512263495)8

[表A.0.4 轻质泡沫土检验批质量评定报告](#_Toc512263496) 19

[本规程用词说明](#_Toc512263497) 20

[引用标准名录](#_Toc512263498) 21

[条文说明 2](#_Toc512263499)2

Contents

1 General provisions……………………………………………………………………..………. 1

2 Terms and symbols……………………………………………………………………...………2

 2.1 Terms…………………………………………………………………………...………..2

 2.2 Symbols…………………………………………………………………….….………..3

3 Materials and performance…………………………………….……………………………… 4

 3.1 Raw materials …………………….…………………………………………………… 4

 3.2 Auxiliary materials………………………………………………………………………4

 3.3 Performance………………………..……………………………………………………4

4 Design ………………………..…………………………………………………….………… 6

 4.1 General requirements……………..………………………………………..……………6

 4.2 Materials performance design……………..…………………………………………… 6

 4.3 Mix proportion design……………..………………………………………..……………7

 4.4 Structual design……………..……………………………………..…………………… 9

5 Construction………………………..………………………………………….……………… 11

 5.1 General requirements……………..………………………………………..……………11

 5.2 Construction preparation ……………..………………………………………..……… 11

 5.3 Filling construction ……………..………………………………………..…………… 11

 5.4 Maintenance……………..………………………………………..…………………… 12

6 Quality inspection and acceptance………………………..……………………………………13

 6.1 General requirements……………..………………………………………..……………13

 6.2 Raw materials quality inspection …………..………………………………………… 13

 6.3 Filling quality inspection……………..…………………………………….……………14

 6.4 Finished product quality inspection………..……………………………………….……14

 6.5 Filling engineering acceptance ………..……………………………………….……… 15

Appendix A Report for engineering quality testing and acceptance …. …………………………16

 Table A.0.1 Mix design report ……………..…………………………………..……………16

 Table A.0.2 Quality inspection record for lightweight foamed soil placement process ..…. 17

 Table A.0.3 Strength inspection report………………………………………………………18

 Table A.0.4 Quality assessment report of light foam soil inspection lot…………………… 19

Explanation of wording in this specification..………………………………………….….……… 20

List of quoted standards ……………..………………………………………………….………… 21

Addition: Explanation of provision ..………………………………………………….….……… 22

# 1 总则

1.0.1 为规范轻质泡沫土在地下空间填筑工程中的应用，做到安全适用、经济合理、确保质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于地下空间轻质泡沫土填筑工程中的设计、施工、质量检验与验收。

1.0.3 地下空间轻质泡沫土填筑工程除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

# 2 术语和符号

## 2.1 术语

2.1.1 轻质泡沫土 Lightweight foamed concrete

轻质泡沫土是将发泡剂水溶液制备成泡沫，与必须组分水泥基胶凝材料、水及可选组分集料、掺和料、外加剂按一定比例混合搅拌，经过物理化学作用硬化形成的一种轻质材料。

将泡沫剂水溶液制备的泡沫按比例引入胶凝材料、集料、掺和料、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、固结养护形成的轻质微孔固态填筑材料。

2.1.2 泡沫剂Foaming agent

能产生大量均匀稳定的泡沫，用于生产轻质泡沫土的一种表面活性剂。

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质量。

2.1.5 饱和密度 water immersed 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

泡沫剂经发泡机发泡后，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

轻质泡沫土拌合物在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。

2.1.9 轻质泡沫土抗压强度 Compressive strength of lightweight foamed concrete

轻质泡沫土拌合物在100mm×100mm×100mm的立方体试模中固化，28d的立方体抗压强度。

##  2.2 符号

ƒc —— 轻质泡沫土抗压强度；

ρw —— 轻质泡沫土湿密度；

ρd —— 轻质泡沫土干密度；

ρb —— 轻质泡沫土饱和密度；

Mc —— 每m3轻质泡沫土中胶凝材料的用量；

Mm —— 每m3轻质泡沫土中掺合料的用量；

Ms —— 每m3轻质泡沫土中集料的用量；

MH —— 每m3轻质泡沫土中水的用量；

Mf —— 每m3轻质泡沫土中泡沫的用量；

Mx —— 每m3轻质泡沫土中外加剂用量；

ρf —— 泡沫密度；

ρc —— 胶凝材料密度；

ρm —— 掺合料密度；

ρs —— 集料密度；

ρx —— 外加剂密度。

# 3 材料及性能

## 3.1 原材料

3.1.1 制备轻质泡沫土宜采用通用硅酸盐水泥作为胶凝材料，其中水泥的性能应符合国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175的规定，其它胶凝材料应符合国家相关标准的规定。

3.1.2 掺合料宜结合当地资源选用。粉煤灰宜采用II级及以上的F类粉煤灰，性能应符合国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T 1596的规定；矿渣粉宜采用S95及以上的粒化高炉矿渣粉，性能应符合国家标准《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》 GB/T 18046的规定，其他矿物粉料做掺合料应符合国家相关标准的规定。

3.1.3 拌和用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；水质应符合行业标准《混凝土用水标准》JGJ63的有关规定。

3.1.4 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不应大于5%，其他性能及试验方法应符合行业标准《泡沫混凝土用泡沫剂》JC/T2199的有关规定。

3.1.5 集料宜结合当地资源优先采用钢渣、镁渣、铜矿渣等固体废物建筑材料，或砂子、石屑、矿粉等细集料，集料最大粒径不宜大于4.75mm，砂的其他性能及试验方法应符合国家标准《建筑用砂》GB/T 14684的规定。

3.1.6 外加剂性能及试验方法应符合国家标准《混凝土外加剂》 GB8076 的有关规定。

## 3.2 辅助材料

3.2.1 抗滑锚固材料采用镀锌钢管，直径不宜小于Φ32mm，壁厚不宜小于3mm。

3.2.2 沉降缝之间的分缝及填缝材料宜采用5mm～20mm厚的夹板或20mm～30mm厚的聚苯乙烯板。

## 3.3 性能

3.3.1 轻质泡沫土的密度按湿密度划分为9个等级，采用符号W表示。轻质泡沫土湿密度ρw、饱和密度ρb不应大于表3.3.1中的规定值；干密度ρd不应小于表3.3.1中的规定值。

表3.3.1 轻质泡沫土密度等级

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 密度等级 | W400 | W500 | W600 | W700 | W800 | W900 | W1000 | W1200 | W1400 |
| 湿密度ρw (kg/m3) | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1200 | 1400 |
| 干密度ρd (kg/m3) | 310 | 400 | 500 | 600 | 700 | 820 | 930 | 1130 | 1200 |
| 饱和密度ρb (kg/m3) | 460 | 530 | 650 | 730 | 820 | 900 | 1000 | 1200 | 1400 |

3.3.2 轻质泡沫土的强度等级，采用符号C表示，按100mm×100mm×100mm立方体28d龄期抗压强度划分，每组试件抗压强度的平均值和最小值不应小于表3.3.2 的规定值。

表3.3.2 轻质泡沫土强度等级

|  |  |
| --- | --- |
| 轻质泡沫土强度等级 | 抗压强度 (MPa) |
| 平均值 | 最小值 |
| C0.3 | 0.30 | 0.26 |
| C0.5 | 0.50 | 0.43 |
| C0.8 | 0.80 | 0.68 |
| C1.0 | 1.00 | 0.85 |
| C1.5 | 1.50 | 1.28 |
| C2.0 | 2.00 | 1.70 |
| C2.5 | 2.50 | 2.13 |
| C3.0 | 3.00 | 2.55 |
| C5.0 | 5.00 | 4.25 |

3.3.3 轻质泡沫土的抗折强度可通过试验确定，当无试验资料时，泡沫混凝土抗折强度可取抗压强的0.3 倍。

3.3.4 新拌轻质泡沫土的流动度宜控制在160mm～200mm。

3.3.5 当轻质泡沫土在冻融环境中使用时，抗冻性应按行业标准《泡沫混凝土制品性能试验方法》JC/T 2357的规定进行试验，质量损失率平均值不应小于5 %，抗压强度损失率平均值不应小于20 %。

3.3.6 当轻质泡沫土采用未经验证的非常规配合比时，应通过试验验证轻质泡沫土的碳化、渗透性、干湿循环、抗硫酸盐侵蚀性能。

# 4 设计

## 4.1一般规定

4.1.1 轻质泡沫土适用于地下结构（建筑地下室和基础、城市地下轨道交通工程、城市综合管廊等）顶板、侧墙外侧回填，隧道二衬与初支结构之间填充、冒顶治理、横通道回填，地下空洞、溶洞、采空区填充，市政管线、竖井回填等。

4.1.2 轻质泡沫土填筑设计应遵循安全性、耐久性、适用性和经济性的原则。设计前，应全面调查工程所在地自然条件、工程水文地质条件，了解地下结构、地下涵洞、管线埋设等情况。

4.1.3 地下空间轻质泡沫土填筑设计内容应包括：材料性能设计、配合比设计、结构设计，涉及到主体验算时应考虑填筑形状、界面对结构受力的改变、综合刚度或者进行受力分配。

4.1.4 轻质泡沫土填筑设计及材料性能，应考虑足够的强度、刚度和耐久性。

4.1.5 有冻融且有渗水接触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。

4.1.6活荷载不宜直接作用在轻质泡沫土填筑体顶面。

## 4.2 材料性能设计

4.2.1 用于设计水位以上填筑时，轻质泡沫土性能应符合表4.2.1的规定。

表4.2.1 用于设计水位以上部位填筑的性能指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 地面以下深度(m) | 最小强度等级 | 最小密度等级 |
| ≤1.5 | C0.5 | W500 |
| ＞1.5 | C0.3 | W400 |

4.2.2 用于设计水位以下填筑时，轻质泡沫土性能应符合表4.2.2的规定。

表4.2.2 用于计算水位以下部位填筑的性能指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 设计水位以下深度(m) | 最小强度等级 | 最小密度等级 |
| ≤3.0 | C0.5 | W500 |
| ＞3.0 | C0.8 | W600 |

4.2.3 当轻质泡沫土用于隧道二衬与初支结构之间回填时，强度等级不应低于C1.0，密度等级不应低于W600。

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应按湿密度计算，地下水位以下的轻质泡沫土填筑层自重应按饱和密度计算；抗浮计算时，地下水位以上的轻质泡沫土填筑层自重应按干密度计算，地下水位以下的轻质泡沫土填筑层自重应按湿密度计算。

4.2.5 轻质泡沫土与常规土体接触面的滑动摩擦系数，宜通过现场试验确定；当无条件进行试验时，可取0.4～0.6。

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/T 11969的有关规定确定；当无试验资料时，可按下式计算：

  (4.2.6)

式中：Ec —— 轻质泡沫土的弹性模量(MPa)；

 ƒc —— 轻质泡沫土抗压强度(MPa)。

## 4.3 配合比设计

4.3.1 轻质泡沫土的配合比设计应满足设计要求的密度等级、强度等级的指标，流动度宜控制在160mm～200mm。

4.3.2 轻质泡沫土的设计湿密度和各组分的关系按下列公式确定：

  (4.3.2)

式中：ρw —— 轻质泡沫土湿密度(kg/m3)；

 Mc —— 每m3轻质泡沫土中胶凝材料的用量(kg)；

 Mm —— 每m3轻质泡沫土中掺合料的用量(kg)；

 Ms —— 每m3轻质泡沫土中细集料的用量(kg)；

 MH —— 每m3轻质泡沫土中水的用量(kg)；

 Mf —— 每m3轻质泡沫土中泡沫的用量(kg)；

 Mx —— 每m3 轻质泡沫土中外加剂用量(kg)。

4.3.3 物理型泡沫剂通过试验测定泡沫密度，泡沫密度试验方法应符合行业标准《泡沫混凝土用泡沫剂》JC/T 2199的有关规定。

4.3.4 轻质泡沫土的水胶比，未掺外加剂时，按0.6±0.15选取；掺入外加剂时，应通过试验确定。

4.3.5 当轻质泡沫土配比由胶凝材料、水、泡沫组成时，胶凝材料用量可按下列公式计算：

  (4.3.5)

式中：ρw —— 轻质泡沫土设计湿密度(kg/m3)；

 K —— 泡沫富余系数，视泡沫剂质量、制泡时间及泡沫加入到料浆中再混合时的损失等而定，

 对于稳定性好的泡沫剂，取1.1～1.3；

 ρc —— 胶凝材料密度(kg/m3)，水泥密度取3100 kg/m3；

 ρf —— 泡沫密度(kg/m3)，通过试验确定；

 B —— 水胶比；

 ρH —— 水的密度(kg/m3)，取1000 kg/m3。

4.3.6 当轻质泡沫土配比中采用掺合料时，应先根据胶凝材料与掺合料的比例计算胶凝材料与掺合料混合后的平均密度，再将平均密度代入式4.3.5胶凝材料密度ρc中，计算胶凝材料与掺合料的质量之和。

4.3.7 轻质泡沫土用水量可按下列公式计算：

  (4.3.7)

4.3.8 轻质泡沫土配比中细集料及外加剂的用量通过试验确定。

4.3.9 1m3轻质泡沫土配合比中，由胶凝材料、掺合料、细集料、水和外加剂组成的料浆体积和泡沫添加量可按下列公式计算：

  (4.3.9-1)

  (4.3.9-2)

式中：V1 —— 由胶凝材料、掺合料、细集料、水和外加剂组成的料浆总体积(m3)；

 V2 —— 泡沫添加量(m3)；

 ρm—— 掺合料密度(kg/m3)，粉煤灰密度取2600 kg/m3，矿渣粉密度取2600 kg/m3；

 ρs —— 细集料密度(kg/m3)；

 ρx —— 外加剂密度(kg/m3)。

4.3.10 物理发泡剂的用量可按下列公式计算：

  (4.3.10-1)

  (4.3.10-2)

式中：Mf —— 每m3轻质泡沫土中泡沫的用量(kg)；

 My —— 每m3轻质泡沫土中泡沫剂的用量(kg)；

 β —— 泡沫剂稀释倍数。

4.3.11 在轻质泡沫土配合比中加入的发泡剂、外加剂、掺合料的品种、掺量及适应性，应通过试验确定。

4.3.12 计算出的轻质泡沫土配合比应通过试配予以调整；调整配合比应按下列步骤进行：

1 以计算的轻质泡沫土配合比为基础，再选取与之相差±10%的两个胶凝材料用量，用水量不变，掺合料相应适当增减，分别按三个配合比拌制轻质泡沫土拌合物；测定湿密度和流动度试验，调整用水量，以达到要求的流动度为止。

2 按调整后的三个轻质泡沫土配合比进行试配，检验轻质泡沫土拌合物的湿密度和流动度；当湿密度和流动度试验满足要求时，记录实验数据，制作试件并进行养护；每种配合比至少制作一组3块。

3 轻质泡沫土固化后，测定试样的浆料固化沉降率，浆料固化沉降率试验方法应符合行业标准《泡沫混凝土用泡沫剂》JC/T2199的有关规定；当浆料固化沉降率大于5%，或密度无法满足要求时，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，重新试配试验。

4 试块标准养护28d后，测定轻质泡沫土抗压强度和干密度；以轻质泡沫土配制强度和干密度满足设计要求，且具有最小水泥用量的配合比作为选定配合比；当试配强度无法满足设计要求时，应调整胶凝材料的用量、标号或品牌，重新进行试配试验；当工期较紧时，检测标养试块7d抗压强度，不小于0.5倍28d抗压强度设计值，可推定为合格。

5 应以实验数据为基础对选定的配合比进行质量校正，校正系数应按下列公式计算：

  (4.3.13)

式中：η —— 校正系数；

 ρcc —— 轻质泡沫土拌合物实测湿密度(kg/m3)；

 ρw —— 轻质泡沫土设计湿密度(kg/m3)。

6 选定配合比中的各项材料用量均应乘以校正系数作为最终的配合比设计值。

4.3.13 轻质泡沫土使用过程中，应根据材料变化或轻质泡沫土质量动态信息及时调整配合比。

## 4.4 结构设计

4.4.1 轻质泡沫土填筑体的抗压强度应符合下列规定：

1 用于明挖法施工的地下结构顶部和侧面填筑时

  (4.4.2)

式中：f c ——填筑体的抗压强度(kPa)；

 K —— 安全系数，取2.0；

 pz —— 计算截面上部作用（包括轻质泡沫土填充体自重）的标准组合压力值(kPa)。

2 用于路面结构层下填充时

  (4.4.2)

式中：f c ——填筑体的抗压强度(kPa)；

 K —— 安全系数，取3.0；

 CBR —— 加州承载比，按行业标准《城市道路路基设计规范》CJJ 194的有关规定取值。

4.4.2 必要时，进行轻质泡沫土填筑施工时，地下空间结构的抗侧承载力和变形验算。

4.4.3 用轻质泡沫土填筑高层建筑、高耸结构物的基坑时，必要时验算水平荷载作用下填充体的强度。

4.4.4 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：

  (4.4.3)

式中：ρ0 —— 轻质泡沫土上覆盖层材料密度(kg/m3)；

 ρw —— 轻质泡沫土湿密度(kg/m3)；

 ρd —— 轻质泡沫土干密度(kg/m3)；

 ρs —— 水的密度(kg/m3)；

 h0 —— 填筑体上覆盖层厚度(m)；

 h1 —— 计算水位至填筑体顶面(m)；

 h2 —— 计算水位至填筑体底面的高度(m)。

4.4.5 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0.2m。

4.4.6 当填筑体长度超过15m时，应按10m～15m间距设置分割缝，缝宽不宜小于10mm；当填筑体底面有突变时，应在突变位置增设分割缝。

4.4.7 溶洞、采空区处治发育不规则的空腔或坑洞，且体积不大，埋深较浅时，可采用泡沫混凝土充填密实；当洞体庞大或深度较深时，应在稳定评价基础上，采用泡沫混凝土填充。

# 5 施工

## 5.1 一般规定

5.1.1 施工单位应详细分析设计图纸，理解设计意图，踏勘现场情况，编制施工组织设计和方案。

5.1.2 当室外日平均气温连续5日低于5℃时，轻质泡沫土的施工应采取冬期施工措施或停止施工；当日平均气温达到30℃及以上时，应按高温施工要求采取措施。冬期施工措施及高温施工措施技术要求应符合国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666的有关规定。

5.1.3 排水、给水管道穿过轻质泡沫土填筑层处，应加强防水处理，防水等级为二级，不应渗水到填筑层内部。

## 5.2 施工准备

5.2.1 轻质泡沫土填筑施工前，应按本规程第4.3节的规定对配合比进行现场试验验证。

5.2.2 轻质泡沫土制作设备的物理发泡装置，宜采用压缩空气与泡沫剂稀释液混合的方式生成泡沫；物理发泡装置应能稳定地生成泡沫，并准确控制泡沫密度。

5.2.3 轻质泡沫土制作设备应具有原材料自动进料、电子计量功能，在拌和制作轻质泡沫土时，应能调节水泥浆、水泥砂浆或泡沫流量。

5.2.4 轻质泡沫土在拌合制作过程中，材料的计量精度应符合表5.2.4的规定。

表5.2.4 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 | ±2% |

5.2.5 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30m3/h。

5.2.6 填筑施工前及施工过程中应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。

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

5.2.8 当填筑体位于地下水位以下时，可采用防渗土工布对轻质泡沫土进行包裹处理，避免地下水长期渗流带走胶凝基浆等物质；防渗土工膜施工铺设前，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 。

## 5.3 填筑施工

5.3.1 拌合制作成型过程中，搅拌时间应确保各组分混合均匀。

5.3.2 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应超过1h，浇筑过程若停滞时间超过0.5h，应及时清洗管道，清洗输送管时以管道出水干净为准。

5.3.3 轻质泡沫土填筑前，施工现场有条件时，应先进行浇筑区、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 除空洞填充、管线回填工程外，单层浇筑层的厚度宜控制在0.3m～1m的范围，单层浇筑厚度超出1m时，应采取防止分层离析、塌落，降低水化热等质量控制措施；单个浇注区宜在2h内一次性浇注完成，最长不得超过4h；

5.3.4 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。

5.3.5 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，固化且具备初始强度后方可进行下一层的浇筑施工。

5.3.7 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，临时降水措施应在轻质泡沫土养护龄期不少于3d，且施工满足抗浮要求的条件下方能撤除。

5.3.8 用于不规则空洞浇筑时，宜自孔洞底部向上浇注，并填充密实。

5.3.9 当遇大雨、暴雨或持续时间较长的小雨天气，应做好现场防排水措施。

5.3.10 当室外日均气温连续5d 低于5℃或环境温度超过38℃、以及下雨时，不宜进行轻质泡沫土浇筑施工；特殊情况需要施工时，应采取特殊措施，确保工程质量和施工安全。

5.3.11 每班完工后应及时清洗拌合设备、储浆设备、浇筑管路中的浆体，避免因浆体凝固损坏设备；若在冬期施工时，每班完工后应清空各设备及管路中的残留浆体，并对浇筑管路、施工设备、发泡剂及浇筑区域等采取保温措施。

## 5.4 养护

5.4.1 轻质泡沫土浇筑硬化成型，在填筑体达到设计抗压强度后，方可在填筑体顶面进行机械或车辆作业。作业前，应先铺一层覆盖层，厚度不宜小于200mm。

5.4.2 除空洞充填、管线回填工程外，在完成填筑体顶层施工后，应立即对填筑体表面覆盖塑料薄膜或土工布等保湿养护，气温较低时应注意填筑体的保温，养护时间不宜少于7d。

# 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验收。

6.1.2 轻质泡沫土填筑工程的质量检验应按原材料、浇注、成品顺序进行。

6.1.3 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。

6.1.4 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。

6.1.5 试件脱模后，应分别按规定检验密度、强度。

## 6.2 原材料质量检验

Ⅰ 主控项目

6.2.1 材料进场时，胶凝材料与泡沫剂作为轻质泡沫土原材料质量检验的主控项目，应按规定批次验收其型式检验报告、出厂检验报告或合格证等质量证明文件。

6.2.2 胶凝材料进场时应对其种类、级别、包装或散装仓号、出厂日期等进行检查，并应对其强度及其他必要性能进行复验，水泥复验质量应符合国家标准《通用硅酸盐水泥》 GB 175的有关规定。泡沫剂应对其种类、包装、出厂日期进行检查，现场试配轻质泡沫土固化沉降率不应大于5%，其他性能应符合行业标准《泡沫混凝土用泡沫剂》JC/T2199的有关规定。

6.2.3 轻质泡沫土采用的散装胶凝材料应按每500t 为一个检验批，袋装胶凝材料应按每200t为一个检验批；泡沫剂应按每5t为一个检验批；不同批次或非连续供应的轻质泡沫土原材料，在不足一个检验批情况下，应按同品种和同等级材料每批次检验一次。

Ⅱ 一般项目

6.2.4集料、附属工程材料作为轻质泡沫土原材料质量检验的一般项目，应按规定批次验收其型式检验报告、出厂检验报告或合格证等质量证明文件，外加剂产品应具有使用说明书。

6.2.5 轻质泡沫土原材料检验一般项目应符合下列规定：

1 集料应按每400m3或600t为一个检验批；外加剂应按每50t 为一个检验批；

2 不同批次或非连续供应的轻质泡沫土原材料，在不足一个检验批情况下，应按同品种和同等级材料每批次检验一次；

3 当采用饮用水作为拌和用水时，可不检验；当采用中水、搅拌站清洗水或施工现场循环水等其他水源时，应对其成分进行检验；

4 轻质泡沫土附属工程材料可不做进场复检。

6.2.6 轻质泡沫土原材料的性能应符合本规程第3. 1节的规定。

## 6.3 浇注质量检验

Ⅰ 主控项目

6.3.1 湿密度作为浇注质量检验的主控项目，应符合表6.3.1的规定。

表6.3.1 浇筑质量检验主控项目

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 检验项目 | 允许范围 | 检验方法 | 检验频率 |
| 湿密度 | ≤设计值 | 《泡沫混凝土应用技术规程》JGJ/T 341  | 每连续浇筑100m³检验1次，单次连续浇筑不足100 m³时也检验1次。 |

6.3.2 湿密度的检验应按本规程附录A 表A.0.2格式做好记录。

Ⅱ 一般项目

6.3.3 流动度、泡沫密度作为浇注质量检验的一般项目，应符合表6.3.3的规定。

表6.3.3 浇筑质量检验一般项目

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 检验项目 | 允许范围 | 检验方法 | 检验频率 |
| 流动度 | 160mm~200mm | 《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》CJJ/T 177 | 每连续浇筑200m³检验1次，单次连续浇筑不足200 m³时也检验1次。 |
| 泡沫密度 | 试配密度±5kg/m3 | 《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》CJJ/T 177  | 当采用物理发泡方式时，每班开工前检验1次 |

6.3.4 泡沫密度直接采用容积为1L的容量筒量取1L泡沫进行称重测定，检测方法应符合表6.3.3要求。

6.3.5 流动度与泡沫密度的检验应按本规程附录A 表A.0.2格式做好记录。

## 6.4 成品质量检验

Ⅰ 主控项目

6.4.1 成品质量检验的主控项目应包括干密度、抗压强度，轻质泡沫土使用环境有浸水接触时检验饱和密度，并应符合表6.4.1的规定。

表6.4.1 成品质量的主控项目检验

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 检验项目 | 允许范围 | 检验方法 | 检验频率 |
| 干密度 | 符合本规程表3.3.1条的规定 | 《泡沫混凝土制品性能试验方法》JC/T 2357 | 本规程第6.1.4条 |
| 抗压强度 | ≥设计值 | 《泡沫混凝土制品性能试验方法》JC/T 2357 | 本规程第6.1.4条 |
| 饱和密度 | 符合本规程表3.3.1条的规定 | 《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》CJJ/T 177  | 有浸水接触时检测，本规程第6.1.4条 |

6.4.2 干密度、饱和密度、抗压强度的检验结果应符合设计要求及本规程3.3.1条、3.3.2条的规定。

6.4.3 干密度、饱和密度、抗压强度的检验结果应按本规程附录A 表A.0.3格式填写检验报告单。

Ⅱ 一般项目

6.4.4 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。

6.4.5 填筑体的外观质量检验应符合下列规定：

1 表面出现的非受力贯穿裂缝宽度应小于5mm；

2 表面蜂窝面积应小于总表面积的1%。

6.4.6 填筑体实测项目的允许范围应符合表6.4.6的规定。

表6.4.6 填筑体实测项目的允许范围

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 检查项目 | 允许范围 | 检验方法 | 检验频率 |
| 顶面高程(mm) | ±50 | 水准仪 | 每个构造单元测2点或每20m测1点 |
| 厚度(mm) | ±50 | 尺量 | 每个构造单元测2点或每20m测1点 |
| 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 |
| 宽度(mm) | 不小于设计值 | 尺量 | 每个构造单元测2点或每20m测1点 |
| 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 |

6.4.7 外观质量检验和实测项目检验应按本规程附录A 表A.0.4的格式填写检验结果。

## 6.5 填筑工程验收

6.5.1 轻质泡沫土填筑工程验收，应符合下列规定：

1 原材料、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 轻质泡沫土填筑工程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。

6.5.2 验收时，应提交下列质量保证资料：

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、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 施工过程中如有质量缺陷，经处理补救后达到本规程及设计要求规定的证明文件。

6.5.3 检验批验收应符合下列规定：

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范围值的1.5倍；

3 具有完整的施工质量检查记录；

4 对检验批验收不合格的，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 工程质量检验验收用表

A.0.1 配合比设计报告应按表A.0.1的格式填写。

## 表A.0.1 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 | 本规程、《泡沫混凝土用泡沫剂》JC/T2199 |
| 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 | 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 | 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/m3) |
|  |  |  |  |  |  |
| 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 |

A.0.2 轻质泡沫土浇筑过程质量检查应按表A.0.2的格式进行记录。

## 表A.0.2 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 |  | 建设单位 |  |
| 设计单位 |  | 监理单位 |  | 施工总包单位 |  | 分项工程施工单位 |  |
| 序号 | 施工日期 | 天气 | 浇筑区号/层序 | 浇筑时段 | 浇筑层底标高(m) | 浇筑厚度(cm) | 金属网 | 试样取样 | 湿密度(kg/m3) | 流动度(mm) | 泡沫密度(kg/m3) |
| 有√ | 无× | 序号 | 编号 |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 9 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 10 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 记录人 |  | 项目负责人 |  | 技术负责人 |  |

A.0.3 强度检验报告应按表A.0.3的格式进行填写。

## 表A.0.3 强度检验报告单

|  |
| --- |
| 编号： |
| 工程名称 |  | 分项工程名称 |  | 部位 |  |
| 委托单位 |  | 检验单位 |  | 送样日期 |  |
| 试件 |
| 编号 | 成型日期 | 养护条件 | 龄期(d) | 试件尺寸(mm)长×宽×高 | 干密度(kg/m3) | 抗压强度(MPa) |
| 标准值 | 测定值 | 平均值 | 标准值 | 测定值 | 平均值 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| 试件 |
| 编号 | 成型日期 | 养护条件 | 龄期(d) | 试件尺寸(mm)长×宽×高 | 饱和密度(kg/m3) | 抗压强度(MPa) |
| 标准值 | 测定值 | 平均值 | 标准值 | 测定值 | 平均值 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| 施工配合比 |  |
| 检验依据 | 干密度、抗压强度依据《泡沫混凝土制品性能试验方法》JC/T 2357检验。饱和密度依据《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》CJJ/T 177检验。 |
| 结果判定 |  |
| 备注 |  |
| 检验 |  | 记录 |  | 审核 |  | 批准 |  | 年 月 日 |

A.0.4 轻质泡沫土检验批质量评定应按表A.0.4的格式进行填写。

## 表A.0.4 轻质泡沫土检验批质量评定报告

|  |
| --- |
| 编号： |
| 工程名称 |  | 分项工程名称　 | 　 |
| 验收部位 |  | 建设单位 |  |
| 设计单位 |  | 监理单位 |  |
| 施工总包单位 |  | 分项工程施工单位 |  |
| 分类 | 序号 | 项目内容 | 规定值/允许范围 | 实测值或偏差值 |
| 1 | 2　 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 应检数量 | 合格数量 | 合格率(%) |
| 主控项目 | 1 | 湿密度(kg/m3) | ≤设计值 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 | 干密度(kg/m3) | 规定值≤ρd≤湿密度 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 | 饱和密度(kg/m3) | ≤规定值 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 | 抗压强度(MPa) | ≥设计值 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 一般项目 | 实测项目 | 1 | 流动度(mm) | 160mm～200mm |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 | 泡沫密度(kg/m3) | 试配密度±5kg/m3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 | 顶面高程(mm) | ±50 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 | 厚度(mm) | ±100 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 | 轴线偏位(mm) | 50 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6 | 宽度(mm) | ≥设计值 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 7 | 底面高程(mm) | 石质 | ±50,-200 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 土质 | ±50 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8 | 外观质量 |  |
| 9 | 质量保证资料 |  |
| 施工(总包)单位检验结果 | 质量检查员签名： 年 月 日 |
| 监理(建设)单位验收意见 | 监理工程师签名： 年 月 日 |
| 检验负责人 |  | 检测 |  | 记录 |  | 复核 |  | 年 月 日 |

# 本规程用词说明

1 为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）表示很严格，非这样做不可的：

 正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

 2）表示严格，在正常情况下均应这样做的：

 正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

 3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

 正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

 4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

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

# 引用标准名录

1 《通用硅酸盐水泥》 GB 175

2 《混凝土外加剂》 GB 8076

3 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204

4 《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666

5 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T 1596

6 《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》 GB/T 18046

7 《蒸压加气混凝土性能试验方法》 GB/T 11969

8 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》 GB/T 50082

9 《加气混凝土干湿循环试验方法》 GB/T11975

10 《泡沫混凝土》 JG/T 266

11 《泡沫混凝土制品性能试验方法》 JC/T 2357

12 《泡沫混凝土用泡沫剂》 JC/T 2199

13 《泡沫混凝土应用技术规程》 JGJ/T 341

14 《混凝土用水标准》 JGJ 63

15 《现浇泡沫轻质土技术规程》 CECS 249

地下空间轻质泡沫土填筑技术规程

条文说明

目次

[1 总则](#_Toc512263768) 24

[2 术语和符号](#_Toc512263769) 25

[3 材料及性能 2](#_Toc512263770)6

[4 设计](#_Toc512263772) 28

[5 施工](#_Toc512263773) 30

[6 质量检验与验收 3](#_Toc512263774)2

# 1 总则

1.0.1 随着我国地下工程发展的需要，同时，国家在节能减排、环境保护方面提出了更高的要求。轻质泡沫土填筑技术具备节能、轻质、自密实、低弹模量等特性，在地下空间中应用与推广，可优化复杂条件下的填筑设计、节约材料、减少工序、降噪减震、有利环境保护。为了使地下空间轻质泡沫土填筑的设计、施工、验收等有章可循，工程应用中做到安全适用、经济合理、确保质量，本规程的制定对规范和引导行业的良性健康发展意义重大。

1.0.2 本规程的适用范围。

1.0.3 凡国家现行标准中已有明确规定的，本规程原则上不再重复。

# 2 术语和符号

## 2.1 术语

2.1.1 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；由于物理发泡型泡沫剂的使用特点，严格来讲不属于外加剂，本条将其定义为一种表面活性物质。

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 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最大密度作为饱和密度。

2.1.6 物理发泡型泡沫剂经发泡制成可用于制作轻质泡沫土的泡沫后，泡沫的单位体积质量。

2.1.7 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，避免填筑后出现整体沉陷的情况。

2.1.9 明确了轻质泡沫土抗压强度的定义。

# 3 材料及性能

## 3.1 原材料

3.1.1 在工程应用中，一般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 掺合料宜结合当地资源选用，做到节能减排，节约成本，保护环境。

3.1.3 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。

3.1.4 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。

3.1.5 集料除采用粉煤灰、细砂外，基于经济性考虑，在砂性土、尾矿粉、石粉、粉砂丰富且价格便宜的地区、在试验验证满足轻质泡沫土性能的基础上，也可作为集料掺人轻质泡沫土中使用；集料最大粒径若超过5mm，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。

3.1.6 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的性能。

## 3.2 辅助材料

3.2.1 由于轻质泡沫土为多脆性材料，大体积填筑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。

## 3.3 性能

3.3.1 通过工艺控制，固化后的轻质泡沫土内部的气孔呈分散状，绝大多数气孔相互独立、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饱和密度之内。不同情况下有不同的密度，做了相应的规定。

3.3.2 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。为了便于应用，规定了轻质泡沫土的强度等级（表3.3.1）和试验要求，7d立方体抗压强度$f\_{7d}$不应小于0.5倍的设计值。

表1轻质泡沫土密度与强度的常规对应关系是主编单位长期研究的结果，可供设计时选用。表1中的对应关系是出于经济性考虑，采用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轻质泡沫土的强度。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。

表1 密度等级与强度的常规关系

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 密度等级 | W400 | W500 | W600 | W700 | W800 | W900 | W1000 | W1200 |
| 强度／(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 |

3.3.6 轻质泡沫土在5m以上水头压力、腐蚀性土壤等特殊环境中，与环境直接接触，在使用前应采取试验验证等延展性研究。

# 4 设计

## 4.1 一般规定

4.1.1 本条规定了本规程的应用领域。用于地下结构，除了回填以外可大幅减少地下结构的荷载。

4.1.2 设计时考虑使用环境、地下结构、管线埋设等状况，遵循安全、耐久、适用、经济的原则。

4.1.3~4.1.4 轻质泡沫土设计包括的内容；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。

4.1.5~4.1.6 轻质泡沫土存在空隙，吸水性强，避免冻融影响。轻质泡沫土相对强度较低，若埋深过小，在活荷载作用下，有引起面层出现网裂、面层碎落等风险，不利于抵抗活荷载。

## 4.2 材料性能设计

4.2.1 本条参考了行业标准《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》CJJ／T 177中关于路基填筑的最小强度等级、密度等级的规定，本条规定的轻质泡沫土在不同使用部位的强度安全储备是足够的。

4.2.2 本条参考了行业标准《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》CJJ／T 177中关于水位以下填筑时，容重等级、强度等级的规定；也参考了协会标准《现浇泡沫轻质土技术规程》CECS249中关于轻质泡沫土长期浸水条件下，强度变化情况的说明。

## 4.3 配合比设计

4.3.1 指出了轻质泡沫土配合比设计的三个目标。轻质泡沫土试配28d强度不应低于设计要求，为避免强度试验导致工期延误，工期较紧时，试配7d强度不低于0.5倍设计强度要求，即可施工。

4.3.2 本条规定了计算配合比中各种材料用量的计算原则和方法。为了减少配合比试验的盲目性，常用参考配合比见表2。

 表2 配合比试配参考表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 抗压强度/(MPa) | 材料用量(kg/m3) | 湿密度(kg/m3) | 流值(mm) |
| 水泥 | 集料 | 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 | 26l | 227 | 750 | 170 |
| 1.0 | 214 | 428 | 216 | 860 | 170 |
| 1.0 | 187 | 56l | 216 | 960 | 170 |
| 1.0 | 162 | 648 | 218 | 1030 | l?0 |
| 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 |

4.3.3~4.3.11 给出了指出了轻质泡沫土各组分的初步确定方法。

4.3.12 给出了在初步配合比的基础上进行调整的方法，达到最终配合比，即设计配合比。

4.3.13 指出当材料变化时或由质量动态信息产生波动时，应重新进行试配试验。

## 4.4 结构设计

4.4.1 轻质泡沫土填筑体当上部覆盖层和活荷载比较大时，填筑体的抗压强度应满足的条件。

4.4.2 轻质泡沫土在工程应用中替代填土使用，但其特性与土不同。填土为松散性材料，其综合刚度靠压缩比来保证，局部受压状态下，受压区域的土体向周围推挤，从而向侧向约束施力；轻质泡沫土是半刚性的板体材料，具有自立性，综合刚度由材料抗压强度保证，在填筑体局部受压未达到其抗压强度峰值时，轻质泡沫土可视为不可压缩体；当轻质泡沫土填筑体局部受压达到或超过其抗压强度峰值时，受压局部轻质泡沫土的微孔结构发生塌缩变形，吸收局部压力后仍具有较大的残余强度，且受压区域不向周围产生推挤力。

本条是指轻质泡沫土刚浇筑完，处于流动态对地下结构的影响，计算时按湿密度计。

4.4.3 同4.4.2条，考虑轻质泡沫土填筑体凝固后的状态，受到风、地震等水平作用时，填筑体与地下结构共同作用下填筑体的强度。

# 5 施工

## 5.1 一般规定

5.1.1 轻质泡沫土填筑工程施工前应做的基本工作，在施工组织计划中应包括有关的针对性内容，反映对轻质泡沫土填筑施工的特殊要求。

5.1.2 轻质泡沫土的制备是气、液、固三相的组合，施工对环境气温较为敏感。气温低于5℃时，胶凝材料终凝时间变长，若未在泡沫剂所生成的泡沫破灭前完成终凝，则填筑体会发生塌落；气温达到30℃及以上时，泡沫剂所生成的泡沫泡径相应增大，泡沫壁变薄，容易消泡，同时高温天气施工不利于大体积填筑水化热的控制。

5.1.3 为避免因轻质泡沫土吸水密度增加给工程带来的影响，给排水管道穿过轻质泡沫土填筑层时，应加强防水处理。

## 5.2 施工准备

5.2.1 一般情况下，配合比应进行现场试验验证；当修补填筑、抢险等施工量较小、时效性较高的工程，可直接采用以往工程已验证过的配合比，不进行现场试验验证，但应严格控制原材料质量。

5.2.2~5.2.5 对轻质泡沫土拌和制作设备的发泡装置、电子计量及计量精度提出了要求。

5.2.6 通过施工前及施工过程中对湿密度、流动度的检测，控制施工过程中的浆泡拌和物均匀一致；若湿密度、流动度超出许可范围，则需停机，重新调试至符合要求后再继续施工。

## 5.3 填筑施工

5.3.1 轻质泡沫土拌和制作，因采用的搅拌机与搅拌方式的差异，搅拌时间不能一概而论，应以确保各组分充分混合均匀为判断标准。

5.3.2 水泥浆在储料装置中的停滞时间超过2h，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。

5.3.3 为避免轻质泡沫土填筑后流动过远造成质量问题，同时抑制裂缝的产生，对填筑区进行划分；单次填筑的厚度太薄不利于填筑层形成足够的刚度，填筑太厚易造成分层离析、塌落等问题，同时不易控制水化热。因此本条对单层填筑的厚度做出了规定。当工期较紧，需要以提高单层填筑厚度来提高效率时，应采取防止分层离析、塌落，控制水化热等质量保证措施。空洞填充、管线回填等工程一般作业面较狭窄，对流动度的要求更强，而对其他指标的要求一般，不适用本条。

5.3.4 提高浇筑效率，做到连续施工。

5.3.5 避免因落差大产生离析，影响浇筑质量。

5.3.6 轻质泡沫土填筑层与上一层的填筑间隔，根据气温、原材料的凝结速度等特性，宜间隔8h以上。

5.3.7 直接在水下施工增加了水胶比，会降低轻质泡沫土的强度，故做此规定。

5.3.8 ~5.3.10 规定了特定条件下，轻质泡沫土填筑的措施和要求。

5.3.11 维护设备、保证浇筑质量的措施。

## 5.4 养护

5.4.1 轻质泡沫土硬化后，直接在填筑体顶面进行机械或车辆作业，直接作用于轻质泡沫土表面，易损坏轻质泡沫土表面。作业前，应先铺一层覆盖层，再上机械或车辆。

5.4.2 轻质泡沫土的养护主要为保湿养护，气温较低时应注意填筑体的保温，防止冻伤。

# 6 质量检验与验收

## 6.1一般规定

6.1.1 本条明确了轻质泡沫土填筑工程作为分项工程进行工程质量验收。

6.1.2 轻质泡沫土的质量检验的顺序同一般工程的检验顺序。

6.1.3 本条明确了轻质泡沫土质量检验与验收的基本单元。

6.1.4 如果工程质量验收中单个构造单元方量少于100m3时，可把三个以内构造单元划分为一个检验批。

## 6.2 原材料质量检验

I 主控项目

6.2.1 本条规定了胶凝材料和泡沫剂作为主控项目，给出检验内容。

6.2.2 现场试配轻质泡沫土固化沉降率试验方法，按行业标准《泡沫混凝土用泡沫剂》JC／T 2199的规定执行。

6.2.3 本条规定了各组分的检验批。

 Ⅱ 一般项目

6.2.4 本条规定了一般项目，给出检验内容。

6.2.5 轻质泡沫土附属工程中的钢丝网，一般起加筋补强作用，钢丝网仅要求无明显锈迹即可，不做进场复检；防水土工膜，一般起防水作用，要求提供出厂验收资料、合格证即可，不做进场复检。

6.2.6 本条规定了轻质泡沫土原材料检验的指标要求。

## 6.3 填筑质量检验

I 主控项目

6.3.1、6.3.2 规定了湿密度作为填筑质量检验的主控项目，给出了检验方法。

Ⅱ 一般项目

6.3.3~6.3.5 规定了流动度和泡沫密度为轻质泡沫土填筑质量检验的一般项目；按照行业标准《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》CJJ／T l77规定的方法进行。

## 6.4 成品质量检验

I 主控项目

6.4.1 规定了干密度、抗压强度、有浸水接触时饱和密度作为成品质量检验的主控项目，给出了检验方法。干密度、饱和密度检测方法，按照行业标准《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》CJJ／T 177规定的表干容重、饱水容重试验方法和步骤。因行业标准《气泡混合轻质土填筑工程技术规程))CJJ／T 177中所采用的是容重单位而非密度单位，换算成密度单位即可。

6.4.2 轻质泡沫土抗压强度检验结果应符合设计要求；干密度、饱和密度在设计文件中未提出的，应符合本规程第3.3.1条的规定。

6.4.3 本条规定了轻质泡沫土成品质量主控项目检验的指标要求。

Ⅱ 一般项目

6.4.4~6.4.7 规定了外观质量和实测项目为轻质泡沫土填筑成品质量检验的一般项目；给出了检验方法和允许值。

## 6.5 填筑工程验收

6.5.1~6.5.2 规定了轻质泡沫土填筑工程验收的内容和标准。