



CECS 453 : 2016

中国工程建设协会标准

轻质泡沫土轨道交通填筑 技 术 规 程

**Technical specification for filling with foamed
lightweight concrete in rail transportation**

中国工程建设协会标准

轻质泡沫土轨道交通填筑
技术规程

Technical specification for filling with foamed
lightweight concrete in rail transportation

CECS 453 : 2016

主编单位：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
批准单位：中国工程建设标准化协会
施行日期：2 0 1 7 年 1 月 1 日

中国工程建设标准化协会公告

第 261 号

关于发布《轻质泡沫土轨道交通填筑 技术规程》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2013 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〔2013〕057 号)的要求,由中铁隧道勘测设计院有限公司和华泰恒生科技发展(北京)有限公司等单位编制的《轻质泡沫土轨道交通填筑技术规程》,经本协会城市交通专业委员会组织审查,现批准发布,编号为 CECS 453 : 2016,自 2017 年 1 月 1 日起施行。

中国工程建设标准化协会

二〇一六年十月十九日

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2013 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〔2013〕057 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,主要内容包括:总则,术语和符号,材料及性能,设计,工程施工,质量检验与验收等。

本规程由中国工程建设标准化协会城市交通专业委员会归口管理,由中铁隧道勘测设计院有限公司负责解释。在执行过程中如有意见或建议,请寄送至解释单位(地址:天津市红桥区河北大街 1 号,邮政编码:300123)。

主 编 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

参 编 单 位: 河南华泰新材科技股份有限公司

中铁第六勘察设计院集团有限公司

中国中铁二院工程集团有限公司

铁道第三勘察设计院集团有限公司

中铁第四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

合诚工程咨询股份有限公司

中铁建工集团有限公司

广州地铁设计研究院有限公司

欧凝科技(上海)有限公司

江门市向阳路桥工程有限公司

青岛地义数控装备有限公司

云南交通职业技术学院
南阳理工学院
重庆建工住宅建设有限公司
中冶赛迪工程技术股份有限公司基础设施分公司
中国建筑股份有限公司
铁科院(北京)工程咨询有限公司

主要起草人：江水德 吴 涛 杜道龙 朱世友 贺维国
宋 仪 袁国伟 吴波成 李玉商 杜昌锦
姚长春 张培胜 边大勇 朱志勇 边大勇
王兴荣 季大雪 钱恒宇 严 涛 赵学军
林东明 杨德春 黄 健 苏 奇 何建财
李海军 倪景津 张秦梅 王其洪 叶 龙
吴 坤 周 伟 程小虎 杨金华 司马玉洲
杨庆年 张 辉 张景魁 许言言 宋昊罡
楚凤臣 岳志成 唐 路
主要审查人：徐立新 丁建平 闫振甲 张晋毅 李 东
贾 虎 郭向勇

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	材料及性能	(4)
3.1	原材料	(4)
3.2	辅助材料	(4)
3.3	性能	(5)
4	设 计	(7)
4.1	一般规定	(7)
4.2	材料性能设计	(7)
4.3	配合比设计	(9)
4.4	结构设计	(10)
4.5	附属工程设计	(13)
5	工程施工	(14)
5.1	一般规定	(14)
5.2	施工准备	(14)
5.3	填筑施工	(15)
5.4	辅助工程施工	(16)
5.5	养护	(17)
6	质量检验与验收	(18)
6.1	一般规定	(18)
6.2	原材料质量检验	(18)
6.3	填筑质量检验	(19)

6.4 成品质量检验	(2 0)
6.5 填筑工程验收	(2 2)
附录 A 工程质量检验验收用表	(2 4)
本规程用词说明	(2 9)
引用标准名录	(3 0)
附:条文说明	(3 1)

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	(5)
4	Design	(7)
4.1	General requirements	(7)
4.2	Material performance design	(7)
4.3	Mix proportion design	(9)
4.4	Structural design	(10)
4.5	Appurtenant work design	(13)
5	Engineering construction	(14)
5.1	General requirements	(14)
5.2	Construction preparation	(14)
5.3	Filling construction	(15)
5.4	Auxiliary engineering construction	(16)
5.5	Maintenance	(17)
6	Quality inspection and acceptance	(18)
6.1	General requirements	(18)
6.2	Raw materials quality inspection	(18)
6.3	Filling quality inspection	(19)

6.4	Finished product quality inspection	(20)
6.5	Filling engineering acceptance	(22)
Appendix A	Report for engineering quality testing and acceptance	(24)
	Explanation of wording in this specification	(29)
	List of quoted standards	(30)
	Addition;Explanation of provisions	(31)

1 总 则

1.0.1 为规范轻质泡沫土在轨道交通填筑工程中的应用,做到安全适用、经济合理、确保质量,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于轻质泡沫土用于轨道交通填筑工程中的设计、施工、质量检验与验收。

1.0.3 轻质泡沫土轨道交通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 foamed lightweight concrete

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

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物质。

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

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

- f_c ——轻质泡沫土 28d 立方体抗压强度设计值；
 f_{7d} ——轻质泡沫土 7d 立方体抗压强度检测值；
 f_{28d} ——轻质泡沫土 28d 立方体抗压强度检测值；
 ρ_w ——轻质泡沫土湿密度；
 ρ_d ——轻质泡沫土干密度；
 ρ_b ——轻质泡沫土饱和密度；
 M_c ——每立方米轻质泡沫土中水泥的用量；
 M_s ——每立方米轻质泡沫土中集料的用量；
 M_w ——每立方米轻质泡沫土中水的用量；
 M_f ——每立方米轻质泡沫土中泡沫的用量；
 M_x ——每立方米轻质泡沫土中外加剂用量；
 ρ_f ——泡沫密度；
 ρ_c ——水泥密度；
 ρ_s ——集料密度；
 ρ_x ——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水泥作为胶凝材料,其中水泥的性能及试验方法应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的有关规定,其他胶凝材料应符合国家现行有关标准的规定。

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;水质及试验方法应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的有关规定。

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不宜大于 5%,其他性能及试验方法应符合现行行业标准《泡沫混凝土用泡沫剂》JC/T 2199 的有关规定。

3.1.4 集料宜采用轻质集料、细砂等,集料最大粒径不应大于 5mm,活性掺合料粉煤灰性能及试验方法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,其他集料性能及试验方法应符合现行行业标准《公路工程集料试验规程》JTG E42 的有关规定。

3.1.5 外加剂性能及试验方法应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 的有关规定。

3.2 辅助材料

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

3.2.2 沉降缝之间的填缝材料宜采用 20mm~30mm 厚的聚苯乙烯板或 7mm~20mm 厚的夹板。

3.2.3 防水土工膜的技术性能应满足表 3.2.3 的要求。

表 3.2.3 防水土工膜的技术性能指标

技 术 性 能	规 定 值
渗透系数(cm/s)	$\leq 10^{-11}$
断裂强度(kN/m)	≥ 20
CBR 顶破强度(kN)	≥ 2.5
膜厚(mm)	≥ 0.3

3.3 性 能

3.3.1 轻质泡沫土的密度等级 ρ 应按湿密度划分。轻质泡沫土湿密度 ρ_w 、饱和密度 ρ_b 不应大于表 3.3.1 中的规定值；干密度 ρ_d 不应小于表 3.3.1 中的规定值。

表 3.3.1 轻质泡沫土的密度等级

密度等级 ρ	W400	W500	W600	W700	W800	W900	W1000	W1200
湿密度 ρ_w (kg/m ³)	400	500	600	700	800	900	1000	1200
干密度 ρ_d (kg/m ³)	320	400	500	600	700	820	930	1130
饱和密度 ρ_b (kg/m ³)	430	530	650	730	820	900	1000	1200

3.3.2 轻质泡沫土强度 f 应按 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 3.3.2 的规定值。

表 3.3.2 轻质泡沫土的强度等级

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	最小值		平均值	最小值
C0.3	0.30	0.26	C1.2	1.20	1.02
C0.4	0.40	0.34	C1.5	1.50	1.28
C0.5	0.50	0.43	C2.0	2.00	1.70
C0.6	0.60	0.51	C2.5	2.50	2.13
C0.8	0.80	0.68	C3.0	3.00	2.55
C1.0	1.00	0.85	C5.0	5.00	4.25

3.3.3 新拌轻质泡沫土的流动度宜控制在 160mm~200mm。

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

3.3.5 当轻质泡沫土在冻融环境中填筑时,抗冻性指标及试验方法应按现行行业标准《泡沫混凝土应用技术规程》JGJ/T 341 的有关规定执行。

3.3.6 轻质泡沫土在 5m 以上水头压力或其他特殊环境应用,且确需直接与环境接触使用时,应通过试验验证轻质泡沫土性能适应环境要求。

4 设 计

4.1 一 般 规 定

4.1.1 轻质泡沫土可用于轨道交通结构顶板和侧墙外侧回填、隧道二衬与初支结构之间回填、轨道交通路基回填、道路路基回填、隧道竖井回填、隧道横通道回填和空洞回填等。

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。

4.1.3 轻质泡沫土填筑设计内容应包括：材料性能设计、填筑体强度、形状、界面、变形验算，涉及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、稳定性和耐久性。

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 轻质泡沫土用于路基回填时，车辆荷载不得直接作用在轻质泡沫土填筑体顶面，泡沫土填筑体顶面距地面或路基顶面埋深不应低于 0.6m。轻质泡沫土填筑体厚度不应小于 0.5m。

4.1.7 当地下水或土体对混凝土有腐蚀作用时，应进行轻质泡沫土耐久性专项研究。

4.2 材料性能设计

4.2.1 当在计算水位以上填筑时，轻质泡沫土等级应按表 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

填筑部位	路基/地面基面以下深度(m)	最小强度等级 f	最小密度等级 ρ
轨道路基	0~0.6	C1.2	W800
	0.6~2.5	C1.0	W600
	>2.5	C0.6	W500
与轨道交通结构 交汇的公路路基	0~0.8	C1.0	W600
	0.8~1.5	C0.6	W500
	>1.5	C0.5	W400
其他地面	0.5~1.5	C0.5	W400
	>1.5	C0.4	W300

4.2.2 当在计算水位以下填筑时,轻质泡沫土性能除应符合本规程表 4.2.1 的规定外,最小强度等级与最小密度等级尚应按表 4.2.2 执行。

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 f	最小密度等级 ρ
≤ 3.0	C0.8	W600
>3.0	C1.0	W800

4.2.3 当轻质泡沫土用于隧道竖井回填、隧道横通道回填和空洞回填时,应按施工性和经济性综合确定强度和密度等级,最小强度等级不应低于 C0.5,最小密度等级不应低于 W500;当轻质泡沫土用于隧道二衬与初支结构之间回填时,最小强度等级不应低于 C1.0,最小密度等级不应低于 W500。

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 当冻融环境中填筑时,抗冻性指标可按现行行业标准《泡

沫混凝土应用技术规程》JGJ/T 341 的有关规定确定。

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

$$E_c = 250f_c \quad (4.2.6)$$

式中: E_c ——轻质泡沫土的弹性模量(MPa);

f_c ——轻质泡沫土的抗压强度(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、抗压强度、流动度指标,并按本规程表 A.0.1 的格式填写配合比设计报告。

4.3.2 轻质泡沫土抗压强度试件应选用 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的立方体试块。

4.3.3 轻质泡沫土的设计湿密度和各组分的关系应按下列公式确定:

$$\rho_w = M_c + M_s + M_w + M_f + M_x \quad (4.3.3-1)$$

$$M_f = \rho_f \left(1 - \frac{M_c}{\rho_c} - \frac{M_s}{\rho_s} - \frac{M_w}{1000} - \frac{M_x}{\rho_x} \right) \quad (4.3.3-2)$$

式中: ρ_w ——轻质泡沫土湿密度(kg/m^3);

ρ_f ——泡沫密度(kg/m^3);

ρ_c ——水泥密度(kg/m^3);

ρ_s ——集料密度(kg/m^3);

ρ_x ——外加剂密度(kg/m^3);

M_c ——每立方米轻质泡沫土中水泥的用量(kg);

M_s ——每立方米轻质泡沫土中集料的用量(kg);

M_w ——每立方米轻质泡沫土中水的用量(kg);

M_f ——每立方米轻质泡沫土中泡沫的用量(kg);

M_x ——每立方米轻质泡沫土中外加剂用量(kg)。

4.3.4 试配试验时,应进行湿密度和流动度试验。当湿密度和流动度试验满足要求时,应制取试件并进行养护。

4.3.5 试配试验浆料固化沉降率试验方法应符合现行行业标准《泡沫混凝土用泡沫剂》JC/T 2199 的有关规定;当浆料固化沉降率大于 5%,或干密度、饱和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。

4.3.6 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。

4.4 结构设计

4.4.1 轨道交通顶板结构上方轻质泡沫土的填筑断面结构包括:路面结构层或地面回填土层、轻质泡沫土填筑层、回填土层、防水层、轨道交通结构顶板(图 4.4.1)。

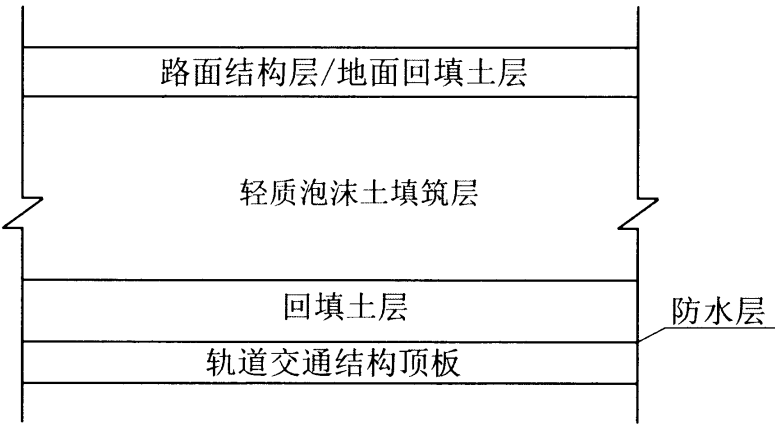


图 4.4.1 轨道交通顶板结构上方轻质泡沫土的填筑断面示意图

4.4.2 轻质泡沫土填筑体的抗压强度应按下式进行计算,最小强度等级应符合表 4.2.1、表 4.2.2 的规定。

$$q_{ul} = \frac{F_s(100 \times CBR)}{3.5} \quad (4.4.2)$$

式中: q_{ul} ——路基填筑体的抗压强度(kPa);

F_s ——安全系数,取 3.0;

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

4.4.3 采用轻质泡沫土填筑的路基应进行路基稳定性、沉降验算,并应符合下列规定:

1 当填筑体的抗滑动、抗倾覆稳定性验算时,安全系数应符合表 4.4.3 的规定;

表 4.4.3 抗滑动、抗倾覆安全系数

荷载情况	验算项目	安全系数
荷载组合 I、II	抗滑动	1.3
	抗倾覆	1.5
荷载组合 III	抗滑动	1.3
	抗倾覆	1.3
施工阶段	抗滑动	1.2
	抗倾覆	1.2

注:荷载组合 I 指填筑体自重、填筑体顶部的有效永久荷载、填土侧压力及其他永久荷载组合;荷载组合 II 指组合 I 与基本可变荷载相组合;荷载组合 III 指组合 II 与其他可变荷载、偶然荷载相组合。

2 包括地基在内的整体抗滑动稳定性验算的安全系数不应小于 1.25;

3 土质地基的基底合力的偏心距不应大于 0.15 倍填筑体底宽,岩石地基的基底合力的偏心距不应大于 0.25 倍填筑体底宽。基底压应力不应大于基底的容许承载力;

4 轨道和车辆荷载应根据采用的轨道结构及车辆的轴重、轴距等参数计算,并应用换算土柱高度代替。

4.4.4 轻质泡沫土填筑的轨道交通路基的工后沉降量应符合下列规定:

1 有砟轨道线路不应大于 200mm,路桥过渡段不应大于 100mm,沉降速率不应大于 50mm/年;

2 无砟轨道线路路基工后不均匀沉降量,不应超过扣件允许

的调高量,路桥或路隧交界处差异沉降不应大于 10mm,过渡段沉降造成的路基和桥梁或隧道的折角不应大于 1/1000。

4.4.5 轻质泡沫土填筑的高边坡路堤及支挡结构应进行抗滑、抗倾覆验算,所采用的荷载力系、荷载组合、检算、构造等要求可按现行行业标准《铁路路基支挡结构设计规范》TB 10025 的有关规定执行。

4.4.6 填筑体与路基的衔接宜采用台阶形式(图 4.4.6);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。

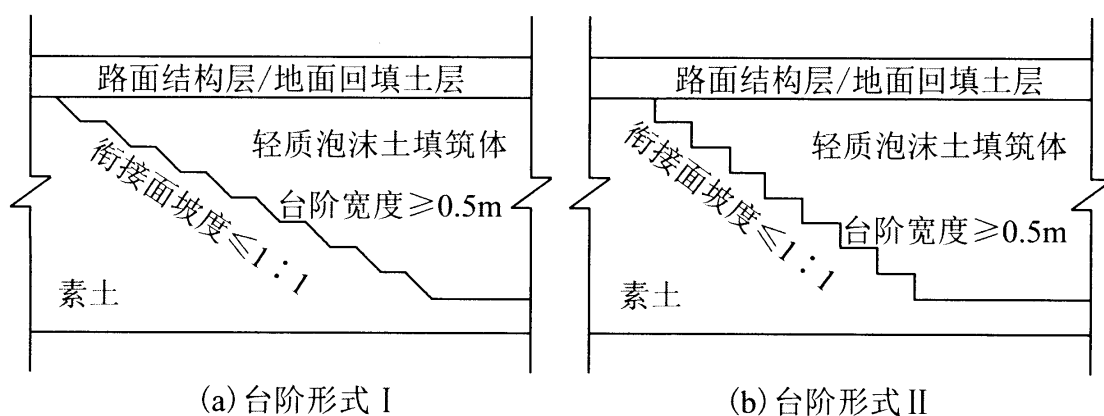


图 4.4.6 轻质泡沫土的填筑体与土体衔接面断面示意图

4.4.7 当填筑体长度超过 15m 时,应按 10m~15m 间距设置沉降缝,缝宽不宜小于 10mm;当填筑体底面有突变时,应在突变位置增设沉降缝。

4.4.8 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:

$$\frac{0.9 \times (\rho_0 \times h_0 + \rho_d \times h_1 + \rho_w \times h_2)}{\rho_s \times h_2} \geq 1.05 \quad (4.4.8)$$

式中: ρ_0 ——路面层材料密度(kg/m^3);

ρ_d ——轻质泡沫土干密度(kg/m^3);

ρ_w ——轻质泡沫土湿密度(kg/m^3);

ρ_s ——水的密度(kg/m^3);

- h_0 ——填筑体顶部路面层厚度(m);
- h_1 ——计算水位至填筑体顶面(m);
- h_2 ——计算水位至填筑体底面的高度(m)。

4.5 附属工程设计

- 4.5.1** 轻质泡沫土填筑体填筑厚度小于 5m 时,应在填筑体顶部和填筑体底部水平设置一层钢丝网,钢丝网离泡沫土表面的距离宜为 0.3m。
- 4.5.2** 轻质泡沫土填筑体填筑厚度大于 5m 时,应在填筑体顶部和填筑体底部各水平设置双层钢丝网,钢丝网离泡沫土表面的距离宜为 0.3m,并应在填筑体中间或每隔 5m 设置双层钢丝网。
- 4.5.3** 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。
- 4.5.4** 轻质泡沫土在对混凝土材料有腐蚀等特殊环境中应用时,应增加防水、隔离等必要的外防护措施设计。

5 工程施工

5.1 一般规定

5.1.1 轻质泡沫土填筑施工单位应详细分析设计图纸,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 轻质泡沫土填筑施工前,施工单位应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 轻质泡沫土原材料进场后,应按规定抽样复检,不得在工程中使用不合格材料。

5.1.4 当室外日平均气温连续 5 日低于 5°C 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°C 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现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定。

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

5.1.6 各填筑层材料密度、高程及单层厚度应按设计要求施工。

5.1.7 轻质泡沫土填筑工程施工安全技术应符合国家现行标准《铁路路基工程施工安全技术规程》TB 10302、《铁路隧道施工安全技术规程》TB 10304、《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB 50652 的有关规定。

5.2 施工准备

5.2.1 轻质泡沫土施工前,应按本规程第 4.3 节的规定对配合比进行现场试验验证,并有监理见证。

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化计量功能，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 轻质泡沫土在拌和制作过程中，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	$\pm 2\%$
水泥、外加剂	$\pm 2\%$
水	$\pm 2\%$
泡沫剂	$\pm 2\%$

5.2.5 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。

5.2.6 施工前，应清除填筑区基底杂物，并排清基底的积水。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。

5.3 填 筑 施 工

5.3.1 拌和制作成型过程中，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宜超过 1h。

5.3.3 轻质泡沫土填筑前，应根据施工现场边界条件，先进行填筑区、填筑层划分。划分应符合下列规定：

- 1 单个填筑区顶面面积最大不应超过 400m^2 ；
- 2 单个填筑区长轴方向长度不宜超过 20m；
- 3 相邻填筑区用 10mm~20mm 厚的夹板支挡间隔分缝，夹板为临时支挡模板并兼作变形缝填充，不得抽掉；
- 4 除空洞填充、管线回填工程外，单层填筑层的厚度宜控制

在 0.3m~1m 的范围,单层填筑厚度超出 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;单个填筑区宜在 2h 内一次性填筑完成,最长不得超过 4h。

5.3.4 轻质泡沫土填筑施工宜采用直接泵送或配管泵送方式;当填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 为保证连续填筑的稳定性,单套轻质泡沫土设备产能不宜低于 60m³/h。

5.3.6 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填筑,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。

5.3.7 填筑时出料口离填筑点的高差宜控制在 1m 以内。

5.3.8 单个填筑区内填筑层施工完毕,固化具备初始强度后方可进行下一层的填筑施工。

5.3.9 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规定:

1 钢丝网铺设前,应检查其外观,不得采用有明显锈迹的钢丝网;

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不得露出。

5.4.2 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 养 护

5.5.1 轻质泡沫土填筑硬化成型,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。

5.5.2 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保湿养生,养生时间不宜少于 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应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、填筑、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填筑管管口制取,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 相同配合比连续填筑少于 400m^3 时,应按每 200m^3 制取一组试件检测;
- 3 相同配合比连续填筑大于 400m^3 时,应按每 400m^3 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,复验质量应符合现行国家标准《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%,其他性能应符合现行行业标准《泡沫混凝土用泡沫剂》JC/T 2199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 填筑质量检验

I 主控项目

6.3.1 湿密度作为填筑质量检验的主控项目,应符合表6.3.1的规定。

表 6.3.1 填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	符合现行行业标准《泡沫混凝土应用技术规程》JGJ/T 341 的有关规定	每连续填筑 100m ³ 检验 1 次, 单次连续填筑不足 100m ³ 时也检验 1 次

6.3.2 湿密度的检验应按本规程表 A.0.2 格式做好记录。

II 一般项目

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

表 6.3.3 填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	符合现行行业标准《泡沫混凝土应用技术规程》JGJ/T 341 的有关规定	每连续填筑 200m ³ 检验 1 次, 单次连续浇筑不足 200m ³ 时也检验 1 次
泡沫密度	试配密度 ±5kg/m ³	符合现行行业标准《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》CJJ/T 177 的有关规定	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 的要求。

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 的规定	符合现行行业标准《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》CJJ/T 177 的有关规定	本规程第 6.1.4 条
抗压强度	$\geq$ 设计值	符合现行行业标准《泡沫混凝土》JG/T 266 的有关规定	本规程第 6.1.4 条
饱和密度	符合本规程表 3.3.1 的规定	符合现行行业标准《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》CJJ/T 177 的有关规定	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第 3.3.1 条、第 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

续表 6.4.6

检查项目		允许范围	检验方法	检 验 频 率
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	水准仪	每个构造单元测 2 点或每 20m 测 1 点
	石质	$+50, -200$		

6.4.7 外观质量检验和实测项目检验应按本规程表 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,除应符合国家现行行业标准《铁路路基施工规范》TB10202 的规定外,尚应符合下列规定:

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 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、填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

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		《泡沫混凝土用泡沫剂》JC/T 2199										
浇筑部位				设计湿密度				设计流动度				
原 材 料	泡沫剂				水泥			掺和料		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	每立方米原材料用量 (kg)						理论值					
	水泥	集料	水	泡沫	外加剂	其他	湿密度 (kg/m ³)		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/m ³)							
	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/m ³)				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/m ³)		细集料 (kg/m ³)		水 (kg/m ³)		泡沫 (L/m ³)		外加剂 (kg/m ³)		其他 (kg/m ³)	
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 轻质泡沫土填筑过程质量检查应按表 A.0.2 的格式进行记录。

表 A.0.2 轻质泡沫土填筑过程质量检查记录

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		施工总承包单位		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 序号	试样 编号	湿密度 (kg/m ³)	流值 (mm)	泡沫密度 (kg/m ³)
							有√	无×					
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				桩号及部位			
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	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	
施工配合比											
检验依据		干密度、饱和密度依据现行行业标准《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》CJJ/T 177 检验； 抗压强度依据现行行业标准《泡沫混凝土》JG/T 266 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/m ³)	≤设计值												
	2	干密度 (kg/m ³)	规定值≤ρ _d ≤湿密度												
	3	饱和密度 (kg/m ³)	≤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/m ³)	试配密度 ±5kg/m ³											
		3	顶面高程 (mm)	±50											
		4	厚度 (mm)	±100											
		5	轴线偏位 (mm)	50											

续表 A.0.4

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 (%)	
一般 项目	实 测 项 目	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：													

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

- 《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB 50652
- 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- 《通用硅酸盐水泥》GB 175
- 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596
- 《混凝土外加剂》GB 8076
- 《蒸压加气混凝土性能试验方法》GB/T 11969
- 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》CJJ/T 177
- 《城市道路路基设计规范》CJJ 194
- 《泡沫混凝土应用技术规程》JGJ/T 341
- 《泡沫混凝土用泡沫剂》JC/T 2199
- 《泡沫混凝土》JG/T 266
- 《公路工程集料试验规程》JTG E42
- 《铁路路基支挡结构设计规范》TB 10025
- 《铁路路基施工规范》TB 10202
- 《铁路路基工程施工安全技术规程》TB 10302
- 《铁路隧道施工安全技术规程》TB 10304

中国工程建设协会标准

轻质泡沫土轨道交通填筑
技 术 规 程

CECS 453 : 2016

条 文 说 明

目 次

1	总 则	(3 5)
2	术语和符号	(3 6)
2.1	术语	(3 6)
3	材料及性能	(3 8)
3.1	原材料	(3 8)
3.2	辅助材料	(3 8)
3.3	性能	(3 9)
4	设 计	(4 0)
4.1	一般规定	(4 0)
4.2	材料性能设计	(4 1)
4.3	配合比设计	(4 2)
4.4	结构设计	(4 3)
4.5	附属工程设计	(4 6)
5	工程施工	(4 7)
5.1	一般规定	(4 7)
5.2	施工准备	(4 7)
5.3	填筑施工	(4 8)
5.4	辅助工程施工	(4 8)
5.5	养护	(4 8)
6	质量检验与验收	(4 9)
6.1	一般规定	(4 9)
6.2	原材料质量检验	(4 9)
6.3	填筑质量检验	(4 9)
6.4	成品质量检验	(5 0)

1 总 则

1.0.1 根据我国社会经济发展的需要,轨道交通建设的规模逐年增大。同时,国家建设对轨道交通工程的设计与施工,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、低弹模量等功能性,在轨道交通工程中应用与推广,可优化复杂地质或构造环境的填筑设计、节约材料、减少工序、有效降噪减震、有利环境保护。

为了使轨道交通工程轻质泡沫土填筑的设计、施工、验收等有条可循,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 本规程在保证和增强轨道交通工程安全性、耐久性、经济性要求的基础上,对轨道交通工程中的结构顶板、侧墙外侧、路基、隧道二衬与初支结构之间、隧道竖井及横通道、空洞等部位,轻质泡沫土填筑的设计、施工、质量检验做出的规定。

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。在设计、施工及验收中除符合本规程的要求外,尚应满足国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 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。

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 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。

3.1.3 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,也可作为集料掺入轻质泡沫土中使用;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。

3.1.5 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 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。

3.2.3 防水土工膜是轻质泡沫土填筑体的防护层,起到防水、隔离的作用。

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。

同一密度等级的轻质泡沫土干密度 ρ_d 不应大于湿密度 ρ_w 。

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。轻质泡沫土强度根据工程荷载需要,参照表 1 在设计文件中提出要求;28d 立方体抗压强度 f_{28d} 不应小于设计值;7d 立方体抗压强度 f_{7d} 不应小于 0.5 倍设计值。

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 1 数据以便设计时选用。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 ρ	W400	W500	W600	W700	W800	W900	W1000	W1200
强度 f (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 本条规定的应用领域中:轨道交通区间、车站结构顶板回填,减少附加荷载;既有轨道交通结构上方地面高程提高、附加荷载等,需要结构减载时换填;地铁车辆段大型上盖楼面建筑找坡;永久屋面防水建筑找坡等轻质泡沫土应用优势明显,在设计中推荐采用。轨道交通车站、区间基坑回填,增加构筑物综合刚度,弱化土压力作用;轨道交通区间隧道二衬外回填、竖井及横通道填筑;轨道交通路基工程以及软基换填处理;溶洞、土洞、管线等部位填筑;既有结构工程塌方段等抢险工程的填筑等轻质泡沫土应用,在设计时考虑主体结构的安全性、耐久性要求,必要时通过试验验证后采用;注意轻质泡沫土填筑体形状的设计对结构受力的影响,填筑界面设计对提供侧向抗力约束的影响。

4.1.3~4.1.5 轻质泡沫土设计项目应包括性能设计、结构设计和附属工程设计;设计时考虑水文、气象等自然条件,填筑高度、宽度等填筑条件,地基承载力等基础条件,周边环境、管线埋设等周边状况,自重、土压力、静荷载、交通荷载等荷载条件。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。

4.1.6 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;轻质泡沫土填筑厚度过小,有断裂风险,不利于抵抗土压力及活荷载。但对于大型车辆屋盖或楼宇建筑找坡等情况,最小厚度不低于 0.06m 即可。

4.2 材料性能设计

4.2.1 本条参考了现行行业标准《铁路路基设计规范》TB 10001 关于路基基床表层及底层厚度的划分;同时参考了现行行业标准《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;结合实际工程应用的经验,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。

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。

4.2.2 本条参考了现行行业标准《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;也参考了现行协会标准《现浇泡沫轻质土技术规程》CECS 249 中关于轻质泡沫土长期浸水条件下,强度变化情况的说明。

轻质泡沫土材料的吸水程度受浸水时间、作用水头、气泡壁击穿的程度、外包防水好坏、是否添加憎水剂和填充体周边的设计强度的影响。日本相关学者对此进行了长达 7 年的研究(见北村佳一、藤岗一赖《气泡混合轻质土耐久性研究》),结果显示:在长期浸水的情况下,强度下降幅度在低湿密度时大,接近 50%,在高湿密度下小,下降幅度仅有 20%。轻质泡沫土填筑不大于在计算水位以下 3m,水头渗透压力不大于 30kPa,适当的防水措施可以基本隔断渗水或地下水对泡沫轻质土的直接浸泡;当轻质泡沫土填筑位于计算水位 3m 以下时,水头渗透压力大于 30kPa,一般的防水

措施很难永久起到防水作用。轻质泡沫土的长期浸泡会引起强度的下降,尤其是低密度情况。因此本规程规定其最小强度等级不小于 1.0MPa,最小密度等级不低于 W800,是考虑即使强度有所下降,亦能满足一般工程的需要,即便密度增加也在饱和密度的可控范围之内。必要时通过试验验证饱和密度抗压强度是否满足浸水部位承载要求。

4.3 配合比设计

4.3.1 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,轻质泡沫土试配 7d 强度不低于 0.5 倍设计要求,即可施工。

4.3.3 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 配合比试配试验参考表

抗压强度 (MPa)	材料用量 (kg/m ³)			湿密度 (kg/m ³)	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	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

续表 2

抗压强度 (MPa)	材料用量 (kg/m ³)			湿密度 (kg/m ³)	流值 (mm)
	水泥	集料	水		
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

4.3.5 试配试验浆料固化沉降率试验时,应检查同一配合比轻质泡沫土的干湿密度对比,试配干密度 ρ_d 不应大于湿密度 ρ_w ;当轻质泡沫土填筑体构造单元在浸水状态使用时,宜检测试配饱和密度,试配饱和密度应满足本规程第 3.3.1 条的规定。当干密度 ρ_d 大于湿密度 ρ_w 或试配饱和密度无法满足规定时,调整泡沫剂稀释比或更换泡沫剂品牌,重新进行试配试验。

4.4 结构设计

4.4.1 轻质泡沫土填筑体结构最小填筑厚度不应小于 0.5m,隧道变形层、管道、空洞等狭小空间的回填时可不考虑最小填筑厚度的限制。

4.4.3 当用于软土地基、高填方路基边坡等斜坡部位填筑时,需进行填筑体抗滑、抗倾覆稳定性验算。本条参考了现行行业标准《公路路基设计规范》JTG D30、《铁路路基设计规范》TB 10001、《铁路路基支挡结构设计规范》TB 10025 的规定。

(1) 抗滑动稳定性及抗倾覆稳定性验算,按下列公式计算:

滑动稳定方程:

$$\begin{aligned}
 & [1.1G + \gamma_{Q1}(E_y + E_x \tan \alpha_0) - \gamma_{Q2} E_p \tan \alpha_0] \mu + \\
 & (1.1G + \gamma_{Q1} E_y) \tan \alpha_0 - \gamma_{Q1} E_y + \gamma_{Q2} E_p > 0
 \end{aligned} \quad (1)$$

式中: G ——填筑体重力及作用于填筑体顶面的其他竖向荷载的总和(kN),浸水填筑体应计入浮力;

E_y ——填筑体背面主动土压力的竖向分量(kN);

E_x ——填筑体背面主动土压力的水平分量(kN);

E_p ——填筑体前面被动土压力的水平分量(kN),为偏安全起见,建议取 0;

α_0 ——基底倾斜角($^\circ$);基底水平时 $\alpha=0$;

μ ——填筑体与衔接面间的摩擦系数,无试验资料时可按表 3 取值;

γ_{Q1} 、 γ_{Q2} ——主动土压分项系数、被动土压分项系数,可按表 4 取值。

表 3 填筑体与衔接面间的摩擦系数 μ

地基土的分类	摩擦系数
软塑黏土	0.25
硬塑黏土、半硬的黏土、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

表 4 承载能力极限状态的荷载分项系数

情 况	荷载封套对填筑体 起有利作用时		荷载增大对填筑体 起不利作用时	
	I、II	III	I、II	III
荷载组合	I、II		I、II	
轻质泡沫土顶部垂直恒载 γ_G	0.9		1.2	
主动土压分项系数 γ_{Q1}	1	0.95	1.4	1.3
被动土压分项系数 γ_{Q2}	0.3		0.5	
水浮力分项系数 γ_{Q3}	0.95		1.1	
静水压力分项系数 γ_{Q4}	0.95		1.05	
动水压力分项系数 γ_{Q5}	0.95		1.2	

抗滑动稳定系数 K 。按下式计算:

$$K_c = \frac{[N + (E_x) - E'_p] \tan \alpha_0 + E'_p}{E_x - N \tan \alpha_0} \quad (2)$$

式中: N ——基底作用力的合力的竖向分量(kN), 浸水部分计入浮力;

E'_p ——填筑体前面被动土压力的水平分量的 0.3 倍(kN), 为偏安全起见, 建议取 0。

倾覆稳定方程:

$$0.8GZ_G + \gamma_{Q1}(E_y Z_x - E_x Z_y) + \gamma_{Q2} E_p Z_p > 0 \quad (3)$$

式中: Z_G ——填筑体重力及作用于填筑体顶面的其他竖向荷载的合力重心至填筑体趾部的距离(m);

Z_x ——主动土压力的竖向分量至填筑体趾部的距离(m);

Z_y ——主动土压力的水平分量至填筑体趾部的距离(m);

Z_p ——填筑体前被动土压力的水平分量至填筑体趾部的距离(m)。

抗倾覆稳定系数 K_0 按下式计算:

$$K_0 = \frac{GZ_G + E_y Z_x + E'_p Z_p}{E_x Z_y} \quad (4)$$

(2) 包括地基在内的整体滑动稳定性验算按照相应设计规范的规定进行。

(3) 基底合力偏心距、基底承载力验算, 按下列公式计算:

基底合力偏心距 e_0 可按下式计算:

$$e_0 = \frac{M_d}{N_d} \quad (5)$$

式中: M_d ——作用于基底形心的弯矩组合设计值(MPa);

N_d ——作用于基底上的垂直力组合设计值(kN/m)。

在各类荷载组合下, 作用效应组合设计值计算式中的分项系数, 除被动土压力分项系数 $\gamma_{Q2} = 0.3$ 外, 其余荷载的分项系数规定为 1。

基底压应力 σ 应按下式计算:

$$|e| \leq \frac{B}{6} \text{ 时, } \sigma_{1,2} = \frac{N_d}{A} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \quad (6)$$

位于岩石地基上的填筑体:

$$e > \frac{B}{6} \text{ 时, } \sigma_1 = \frac{2N_d}{3\alpha_1}, \sigma_2 = 0 \quad (7)$$

$$\alpha_1 = \frac{B}{6} - e_0 \quad (8)$$

式中: σ_1 ——填筑体趾部的压实力(kPa);

σ_2 ——填筑体踵部的压应力(kPa);

B ——基底宽度(m),基底不宜为倾斜面;

A ——基础底面每延长米的面积(m^2)。

本条未规定填筑体的埋深要求。填筑体宜采用明挖基础,在大于5%纵向斜坡上填筑时,基底应设计成台阶形;在横向斜坡地面上填筑时,基础底部埋入地面深度不应小于1m,距地表距离不应小于1m。填筑体受水流冲刷时,应按设计洪水频率计算冲刷深度,基底应置于局部冲刷线以下不小于1m。

4.4.5 填筑体高度超过5m或背面为陡坡体时,填筑体外侧应预留0.3m~0.8m。

4.4.6 轻质泡沫土填筑体底面的最小断面尺寸不应小于2.0m;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。

4.5 附属工程设计

4.5.1 当轻质泡沫土填筑体填筑厚度不大于5m时,每处钢丝网设置成单层即可。

4.5.2 当轻质泡沫土填筑体填筑厚度大于5m时,每处钢丝网宜设置成双层。

5 工程施工

5.1 一般规定

5.1.1 轻质泡沫土填筑工程,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 轻质泡沫土填筑施工的上道工序一般为隐蔽工程,轻质泡沫土填筑施工应在上道工序完工并验收合格后方可进行。

5.1.4 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°C 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°C 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。

5.1.5 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 当修补填筑、抢险等施工量较小、时效性较高的工程,出于成本及时效性考虑可直接采用以往工程已验证过的配合比,不再进行现场试验验证,但应严格控制原材料质量。

5.2.2~5.2.4 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。

5.2.5 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 本条规定了轻质泡沫土填筑的填筑区、填筑层划分。为了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,并非因工艺技术达不到一次性填筑更厚。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,所以不适用本条。

5.3.8 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。

5.4 辅助工程施工

5.4.1 钢丝网施工时应注意防止钢丝网露出轻质泡沫土表面,露出轻质泡沫土表面的钢丝网应进行磨平处理,以防破坏防水层。

5.5 养 护

5.5.1 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,压强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。

5.5.2 轻质泡沫土的养护主要为保湿养生,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分类和次序符合一般轨道交通工程的检验次序。

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 100m^3 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

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

II 一般项目

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。

6.3 填筑质量检验

II 一般项目

6.3.3、6.3.4 轻质泡沫土空洞填充、管线回填等工程，对流动性要求较强，流动度的要求与常规不同， $160\text{mm} \sim 200\text{mm}$ 的标准不适用于空洞填充、管线回填等工程。泡沫密度的试验方法，按照现行行业标准《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》CJJ/T 177 规定

的气泡群密度试验步骤及计算方法进行。

6.4 成品质量检验

6.4.1 干密度、饱和密度检测方法,按照现行行业标准《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。因现行行业标准《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,密度结果计算应按下式进行:

(1)干密度计算:

$$\rho_d = \frac{m_a}{v'_a} \quad (9)$$

式中: ρ_d ——干密度(kg/m^3),精确至 $0.1\text{kg}/\text{m}^3$;

m_a ——标准试件的质量(g),精确至 0.1g ;

v'_a ——标准试件的体积(cm^3),精确至 0.1g cm^3 。

(2)饱和密度计算:

$$\rho_b = \frac{m_s}{v'_s} \quad (10)$$

式中: ρ_b ——饱和密度(kg/m^3),精确至 $0.1\text{ kg}/\text{m}^3$;

m_s ——标准试件的饱水质量(kg),精确至 0.1g ;

v'_s ——标准试件的饱水体积(cm^3),精确至 0.1g cm^3 。

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。

需本标准可按如下地址索购：

地址：北京百万庄建设部 中国工程建设标准化协会

邮政编码：**100835** 电话：**(010)88375610**

不得私自翻印。