

公路工程泡沫轻质土设计与施工技术规程

Technical specification for design and construction of foamed lightweight soil in
highway engineering

2024 - 07 - 30 发布

2024 - 08 - 30 实施

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 材料 2

 4.1 一般规定 2

 4.2 原材料 3

 4.3 泡沫轻质土 3

5 工程设计 4

 5.1 一般规定 4

 5.2 一般路基设计要求 5

 5.3 桥台背回填设计要求 6

 5.4 改扩建路基设计要求 6

 5.5 半填半挖路基设计要求 7

 5.6 陡坡路基设计要求 7

 5.7 辅助工程设计 8

 5.8 计算分析 10

6 配合比设计 14

 6.1 一般规定 14

 6.2 配合比计算与试配 14

7 施工 16

 7.1 一般规定 16

 7.2 施工准备 17

 7.3 拌合 17

 7.4 输送与浇筑 18

 7.5 附属工程施工 18

 7.6 养护与成品保护 19

8 质量检验与验收 19

 8.1 一般规定 19

 8.2 浇筑过程质量检验 19

 8.3 成品质量检验 19

 8.4 质量评定与验收 20

附录 A（资料性） 泡沫轻质土工程浇筑施工记录表 21

附录 B（规范性） 拌合物取样及试样制备 22

附录 C（规范性） 湿密度及流值试验 23

附录 D（规范性）	消泡试验	24
附录 E（规范性）	力学性能试验	25
附录 F（规范性）	抗冻性试验	26
附录 G（资料性）	泡沫轻质土工程施工质量检验记录表.....	27
附录 H（资料性）	泡沫轻质土工程施工质量评定验收记录表.....	28
附录 I（资料性）	泡沫轻质土拌和物制备及湿密度、流值试验成果表.....	29
附录 J（资料性）	消泡试验成果表	30
附录 K（资料性）	泡沫轻质土抗压强度检验报告.....	31

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由安徽交通职业技术学院提出。

本文件由安徽省交通运输厅归口。

本文件起草单位：安徽交通职业技术学院、广东盛瑞科技股份有限公司、安徽省新路建设工程集团有限责任公司、合肥工业大学、安徽省路桥试验检测有限公司、安徽立质工程试验检测有限公司、安徽飞翔工程管理有限公司、安徽开源路桥有限责任公司、安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司。

本文件主要起草人：王东、陈亮、肖金军、成浩、胡章亮、刘家亮、佐群、叶木生、李峰、吴言安、沈晓燕、杨声检、杨大为、封磊、胡雪梅、戴锋、汪伟伟、吴志刚、杨大海、董娟、詹登攀、李岭。

公路工程泡沫轻质土设计与施工技术规程

1 范围

本文件规定了公路工程泡沫轻质土的材料、工程设计、配合比设计、工程施工和质量检验与验收。
本文件适用于各等级新建、改扩建公路工程。市政、水利、铁路等其它行业的泡沫轻质土工程参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 175 通用硅酸盐水泥
- GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB 8076 混凝土外加剂
- GB/T 11969 蒸压加气混凝土性能试验方法
- GB/T 17643 土工合成材料 聚乙烯土工膜
- GB/T 18046 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
- GB/T 20491 用于水泥和混凝土中的钢渣粉
- GB/T 21120 水泥混凝土和砂浆用合成纤维
- GB/T 28294 钢铁渣复合料
- GB/T 37785 烟气脱硫石膏
- GB/T 43487 泡沫混凝土及制品试验方法
- GB/T 51003 矿物掺合料应用技术规范
- CJJ/T 177 气泡混合轻质土填筑工程技术规程
- JC/T 933 快硬高铁硫铝酸盐水泥
- JC/T 2199 泡沫混凝土用泡沫剂
- JGJ 63 混凝土用水标准
- JTG B02 公路工程抗震规范
- JTG D30 公路路基设计规范
- JTG/T D31-02 公路软土地基路堤设计与施工技术细则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

泡沫轻质土 foamed light weight soil

用物理方法将发泡剂水溶液制备成泡沫，与胶凝料浆按照一定的比例混合搅拌，并经物理化学作用硬化形成的一种轻质材料。

3.2

发泡剂 foaming agent

配制泡沫轻质土时，用于物理发泡产生泡沫的表面活性物质。

3.3

发泡液 foaming liquid

发泡剂与水按一定比例混合均匀后形成的水溶液。

3.4

稀释倍率 dilution multiple

发泡液与发泡剂的质量比。

3.5

发泡倍率 multiple of performed foam

发泡剂水溶液制备出的泡沫体积相对发泡剂水溶液体积的倍率。

3.6

泡沫密度 foam density

泡沫的质量与表观体积之比。

3.7

胶凝料浆 cementitious slurry

水泥或水泥与粉煤灰、矿渣粉等矿物掺合料和水按照一定比例混合形成的浆体。

3.8

流值 flow factor

表示泡沫轻质土流动性的量值，一般用圆筒法测量。

3.9

湿密度 wet density

泡沫轻质土初凝前单位体积质量。

3.10

湿密度增加率 wet density increase rate

扰动前后泡沫轻质土湿密度的增量与初始湿密度之比即为湿密度增加率。

3.11

准干密度 quasi-dry density

泡沫轻质土硬化后自然干燥的表观密度。

3.12

容许密度 allowable density

泡沫轻质土浇筑成型进入工程使用状态后，确保安全所容许的最大表观密度。

3.13

沉陷率 ratio of subsidence

标准试验条件下，拌和好的泡沫轻质土在标准立方体试模中硬化后，其表面的最大沉陷量与试块初始高度的比率。

4 材料

4.1 一般规定

4.1.1 泡沫轻质土所用原材料应符合环境保护相关规定。

4.1.2 原材料技术指标及检验应符合相关规范要求。

4.1.3 不同品种（规格）、等级、厂家（产地）、出厂日期的原材料不得混合存放和使用。

4.2 原材料

4.2.1 硅酸盐水泥应符合 GB 175 的规定；快硬硫铝酸盐水泥、铁铝酸盐水泥应符合 JC/T 933 的规定；固废基胶凝材料应符合 GB/T 28294 的规定。

4.2.2 泡沫轻质土中可适当掺入掺合料与水泥进行复配，掺合料应符合下列要求：

- a) 粉煤灰应符合 GB/T 1596 的规定；
- b) 粒化高炉矿渣粉应符合 GB/T 18046 的规定；
- c) 采用其它活性矿物粉如钢渣粉、脱硫石膏、石灰石粉、硅灰做矿物掺合料时，应分别符合 GB/T 20491、GB/T 37785、GB/T 51003 的要求；
- d) 采用脱硫灰、磷石膏、电石渣、石材废粉及建筑垃圾磨细粉等固废做掺和料时，应符合 GB/T 43487 的规定。

4.2.3 胶凝材料进场时应对其品种、级别、包装或散装仓号、出厂日期等进行检查，并应对其强度及其它必要的性能指标进行复验，其质量必须符合现行国家标准的规定：

- a) 检验数量：按同一生产厂家、同一等级、同一品种、同一批号且连续进场的胶凝材料，散装水泥不超过 500 t 为一个检验批；袋装水泥不超过 200 t 为一个检验批；粉煤灰或粒化高炉矿渣粉等矿物掺合料不超过 200 t 为一个检验批；
- b) 检验方法：检查产品合格证、出厂检验报告和进场复验报告。

4.2.4 泡沫轻质土需加入纤维时，纤维的性能指标应符合 GB/T 21120 的规定。

4.2.5 泡沫轻质土中掺入外加剂时，应符合下列要求：

- a) 外加剂的使用应符合 GB 8076 的规定；
- b) 外加剂使用前应进行适应性试验。

4.2.6 泡沫轻质土用水应符合 JGJ 63 的规定。

4.2.7 发泡剂应符合下列规定：

- a) 宜采用界面活性类发泡剂并符合环境保护要求；
- b) 在 0℃ 以上的温度环境，发泡剂不应出现离析现象；
- c) 标准泡沫密度宜为 30 kg/m³~50 kg/m³；
- d) 发泡剂性能及试验方法应符合 JC/T 2199 的规定。

4.2.8 用于养护目的的塑料薄膜及保护壁相关材料（如角钢、拉杆、预制砌块）等不做进场检验与验收。

4.2.9 在每一工程项目开工前，应对发泡剂所产生的泡沫与胶凝材料的适应性进行检验。检验方法为消泡试验（按附录 D 执行）：

- a) 检验数量：发泡剂应按每 10 t 为一个检验批；
- b) 检验方法：按附录 D 的规定执行；
- c) 检验合格标准：湿密度增加率不超过 10%、沉陷率不超过 3%。

4.3 泡沫轻质土

4.3.1 泡沫轻质土的强度等级按无侧限抗压强度划分为 10 级，按表 1 执行。

表1 泡沫轻质土强度等级

泡沫轻质土强度等级	无侧限抗压强度 (MPa)	
	平均值不小于	单组最小值不小于
F0.4	0.40	0.34
F0.6	0.60	0.51
F0.8	0.80	0.68
F1.0	1.00	0.85
F1.2	1.20	1.02
F1.5	1.50	1.27
F2.5	2.50	2.12
F3.5	3.50	2.97
F5.0	5.00	4.25
F7.5	7.50	6.37

4.3.2 泡沫轻质土的密度等级按湿密度的大小划分 10 级，按表 2 执行。

表2 泡沫轻质土密度等级 (kg/m³)

密度等级	ρ 的取值范围	密度等级	ρ 的取值范围
D300	$250 < \rho \leq 350$	D800	$750 < \rho \leq 850$
D400	$350 < \rho \leq 450$	D900	$850 < \rho \leq 950$
D500	$450 < \rho \leq 550$	D1000	$950 < \rho \leq 1050$
D600	$550 < \rho \leq 650$	D1100	$1050 < \rho \leq 1150$
D700	$650 < \rho \leq 750$	D1200	$1150 < \rho \leq 1250$

4.3.3 泡沫轻质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；当无试验资料时，可取 0.4~0.6。

4.3.4 泡沫轻质土沉陷率应不大于 3%。

4.3.5 泡沫轻质土的弹性模量宜通过试验确定，当无试验资料时，可根据抗压强度按式（1）取值。

$$E_c = 200q_u \sim 350q_u \dots\dots\dots (1)$$

式中：

E_c ——泡沫轻质土弹性模量（MPa）；

q_u ——泡沫轻质土无侧限抗压强度（MPa）。

4.3.6 泡沫轻质土的抗剪强度参数宜通过试验确定，当无试验资料时，其抗剪强度参数按式（2）取值。

$$\phi = 20^\circ \sim 30^\circ, \quad c = 0.25q_u \sim 0.3q_u \dots\dots\dots (2)$$

5 工程设计

5.1 一般规定

- 5.1.1 设计时，泡沫轻质土应采用保护结构，严禁直接暴露使用。
- 5.1.2 泡沫轻质土设计包括材料性能设计、结构形式设计和辅助工程设计，设计内容应根据使用目的确定，按表 3 执行。

表3 设计内容

设计目标	设计项目	主要设计内容	主要设计指标
减少荷重或土压力	性能设计	确定物理力学指标	湿容重、抗压强度、弹性模量
	结构设计	断面设计和衔接设计	强度验算， 抗滑动、抗倾覆稳定性验算， 抗浮稳定性验算
	附属工程设计	面板、抗滑锚固、补强	—
空洞填充或管线回填	性能设计	确定物理力学指标	湿容重、抗压强度

- 5.1.3 当泡沫轻质土受干湿循环、冻融循环或腐蚀介质作用时，应进行耐久性设计。
- 5.1.4 用于路基的泡沫轻质土的抗压强度应符合表 4 的要求。

表4 公路路基泡沫轻质土的抗压强度

填筑部位	交通荷载等级	无侧限抗压强度 (MPa)		
		高速公路	一级公路	二级及以下公路
路床	极重、特重交通	≥1.2	≥1.0	≥0.8
	重、中、轻交通	≥1.0		
路堤	/	≥0.8	≥0.8	≥0.6

- 5.1.5 泡沫轻质土结构形式、坡率应根据地形、工程地质条件、路基边坡高度等，结合经济与环保因素，经稳定分析计算确定。
- 5.2 一般路基设计要求
- 5.2.1 一般路基采用台阶式放坡（见图 1）；用地受限时，泡沫轻质土边坡可采用直立式支护形式（见图 2）。
- 5.2.2 减轻荷重或土压时，泡沫轻质土填筑体底宽不宜小于 2 m，厚度不宜小于 1.0 m；顶面有坡度要求时宜设置台阶，台阶高度不宜超过 0.2 m。

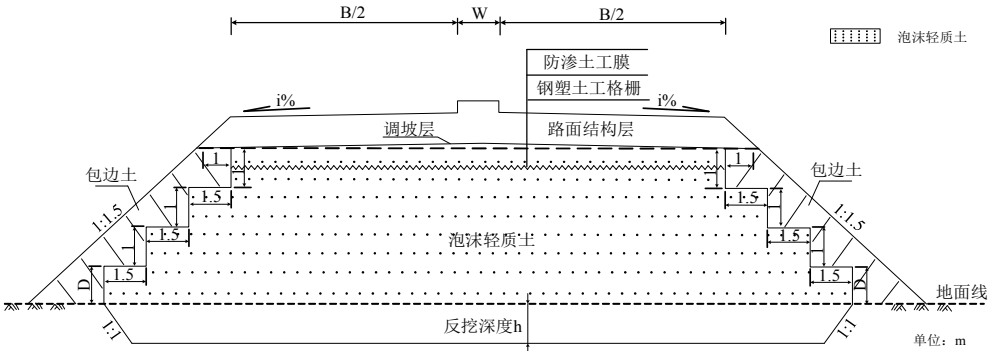


图1 一般路基放坡式填筑断面示意图

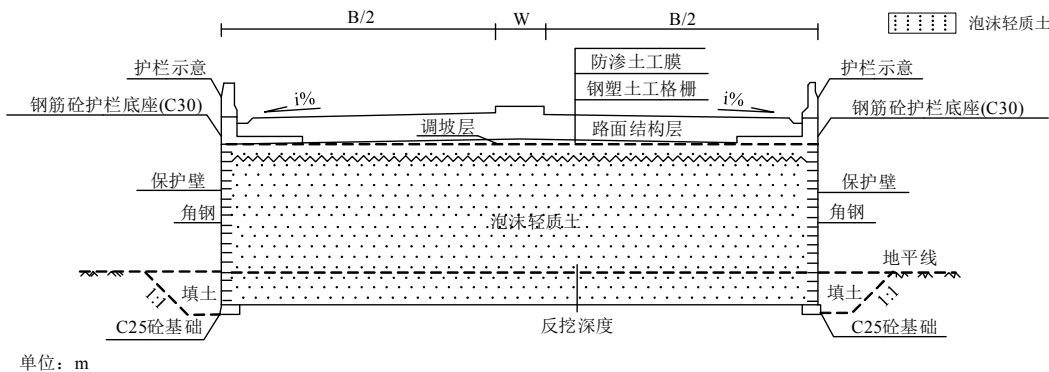


图2 直立式路基填筑断面示意图

5.3 桥台背回填设计要求

5.3.1 当直接用于桥台背填筑，以路桥过渡段的工后沉降为控制条件时，泡沫轻质土路基与原地面衔接面的坡度不宜陡于 1:1.5（用于加宽路基除外），如图 3 所示。台阶具体尺寸要求，宽度不小于 0.15 m，台阶坡度不大于 1:1.5。

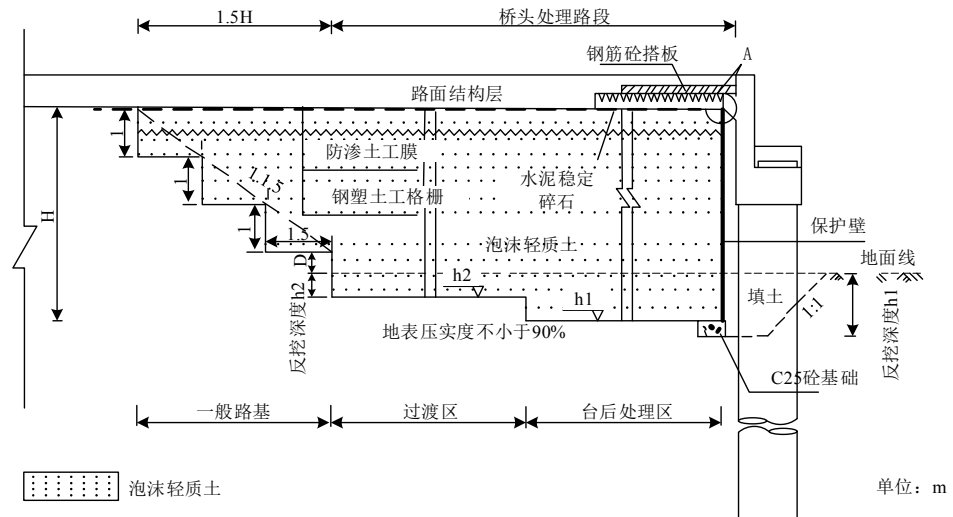


图3 桥台台背填筑纵断面

5.4 改扩建路基设计要求

- 5.4.1 用于改扩建路基填筑时，扩建路基与原有路基之间应保持良好衔接；新老路基宜采用台阶拼接（见图 4），与旧路基衔接面的坡度不宜大于 1:0.5，横向台阶宽度不宜小于 1 m，加宽路基底宽不宜小于 2 m。路基拼接顶部应采用铺设土工合成材料等增强措施。
- 5.4.2 泡沫轻质土应用于扩建路基时，除应对自身稳定性、路基和地基的整体稳定性进行验算外，尚应按照 5.9.4 进行新旧路基界面滑动稳定性验算，界面稳定安全系数不小于 1.3。
- 5.4.3 扩建路基应做好排水设计，应考虑既有公路的中央分隔带及路面排水设施。泡沫轻质土底部可增设碎石盲沟，以排除路基底部积水。

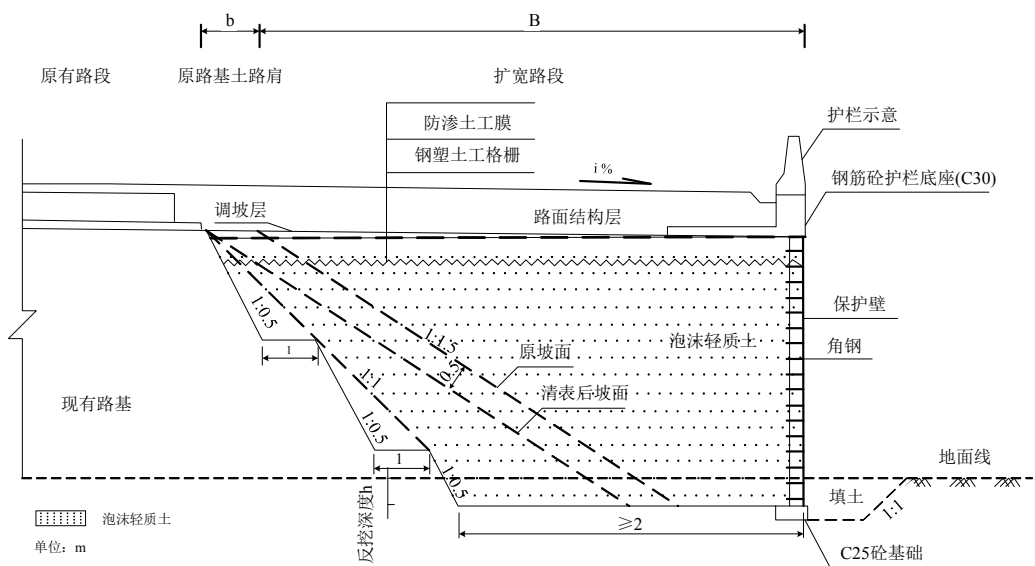


图4 改扩建路基泡沫轻质土填筑断面

5.5 半填半挖路基设计要求

5.5.1 用于高速公路半填半挖路基填筑时，泡沫轻质土路基与挖方段衔接面的坡度不宜陡于 1:0.5（见图 5）。

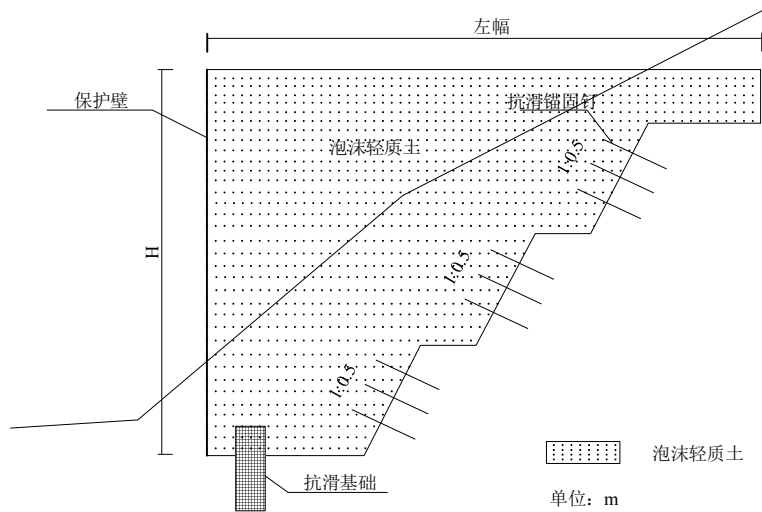


图5 半填半挖路段路基填筑断面图

5.6 陡坡路基设计要求

5.6.1 用于陡坡路基填筑时，最小填筑厚度不宜小于 0.8 m；泡沫轻质土路基与原地面衔接面的坡度不宜陡于 1:1（用于加宽路基除外）。当填筑高度超过 3 m 时，衔接面宜设置台阶，台阶宽度不宜小于 1.5 m，台阶坡度应内倾 2%~4%（见图 6）。位于软弱地基时，可适当加大台阶宽度。泡沫轻质土路基与原地面衔接面的坡度陡于 1:1 时，可采取抗滑措施，斜坡稳定安全系数不宜小于 1.3（见图 7）。

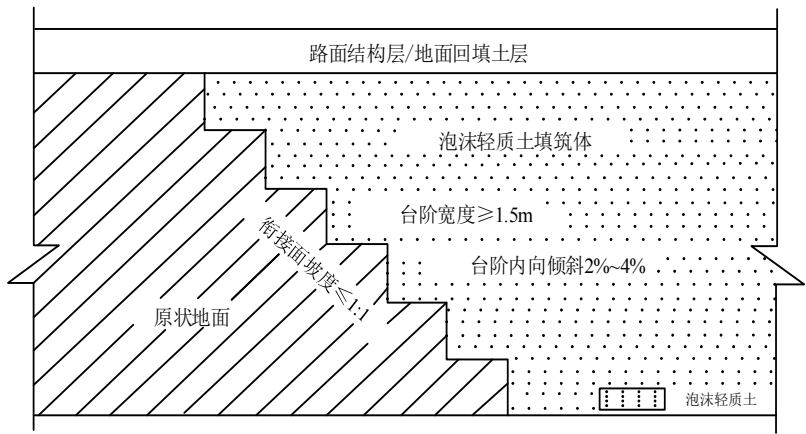


图6 斜坡路段填筑断面（斜坡坡率 $\leq 1:1$ ）

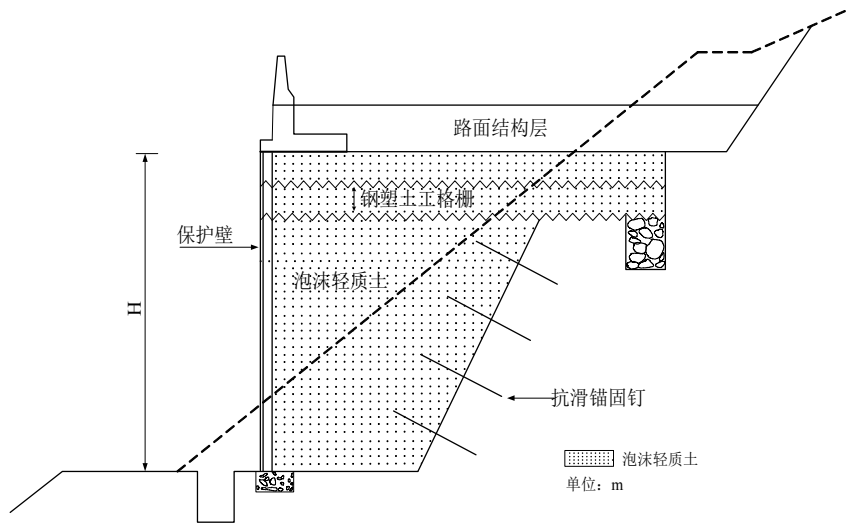


图7 陡坡路段填筑断面（斜坡坡率 $> 1:1$ ）

5.7 辅助工程设计

5.7.1 泡沫轻质土填筑体的护壁设计（见图 8）应符合下列规定：

- a) 护壁应满足耐久性、强度和外观要求。直立护壁宜由混凝土类或石材类砌块砌筑或采用薄壁挡墙。需要绿化且具备放坡条件的工程可采用填土护壁；
- b) 砌块类壁材，单块平面面积不宜超过 0.3 m^2 ；薄壁式混凝土挡墙沿长度方向应设置必要的沉降缝，缝的间距宜为 10 m；直立护壁的最大厚度不宜超过 50 cm，且在软土地基上，壁材的最大厚度不应超过 20 cm；
- c) 直立护壁的基础宜采用混凝土基础，其标号不宜低于 C25。

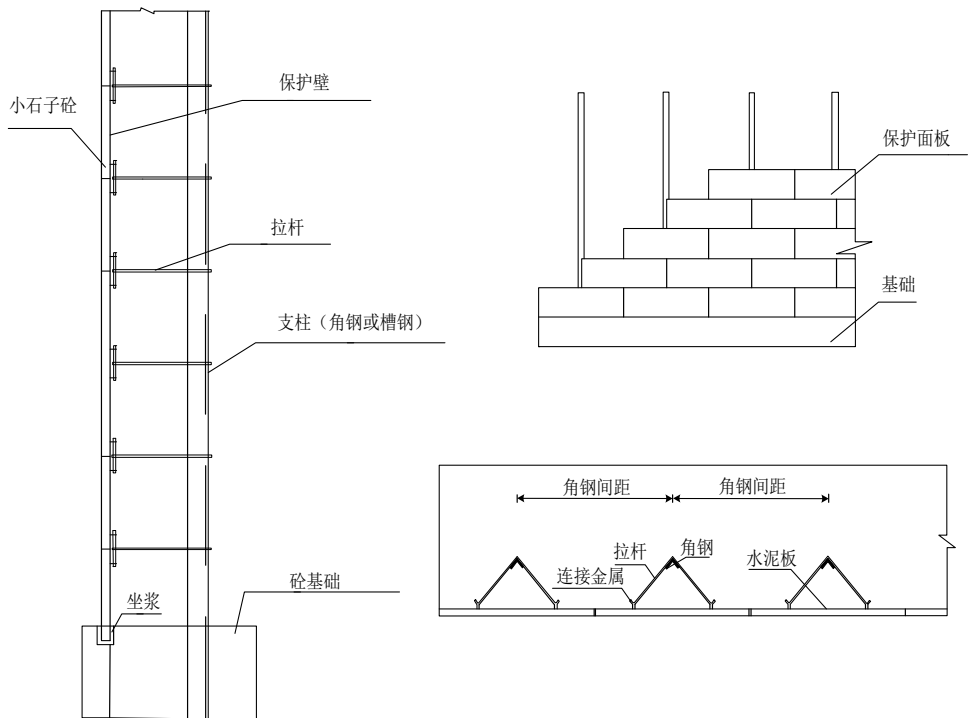


图8 保护壁设计示意图

- d) 路基外侧用地条件比较宽裕，允许放坡的情况下可采用填土护壁。填土护壁宜采用黏性土，最小厚度宜大于 0.3 m，边坡坡率宜不小于 1:1.5（见图 9）；
- e) 泡沫轻质土对护壁的水平力可只计算未硬化轻质土的水平土压力，水平土压力系数宜取 1.0。

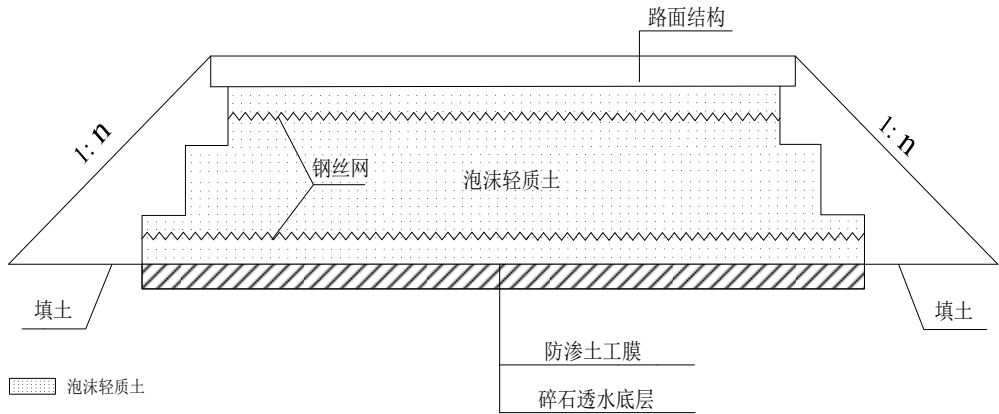


图9 填土类保护壁断面示意（坡率 n 由设计定）

- 5.7.2 泡沫轻质土填筑体防排水设计应符合下列规定：
- a) 泡沫轻质土填筑体顶面、临土侧面、底面宜铺设防渗土工膜；
 - b) 防渗土工膜宜选用聚乙烯或聚氯乙烯复合土工膜，其技术性能应满足表 5 并符合 GB/T 17643 的规定；
 - c) 排水可在泡沫轻质土填筑体的基础底部设置渗水盲沟或有孔排水管或滤水层等排水措施；
 - d) 渗水盲沟宜采用碎石盲沟，有孔排水管宜采用 PVC 管，滤水层宜采用碎石。

表5 防渗土工膜技术性能

技术性能	规定值
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

5.7.3 界面抗滑稳定性不满足要求的轻质土填筑体应进行抗滑锚固设计，并应符合下列规定：

- a) 抗滑锚固件宜采用钢管，钢管直径不宜小于 DN20，长度不宜小于 1 m；
- b) 锚固件可按 1 根/2m²~1 根/4m² 的密度布置，布置形式可为梅花形或矩形；
- c) 锚固件进入基床斜面的垂直深度不应小于 0.5 m。

5.7.4 路基泡沫轻质土应进行抗裂设计，并应符合下列规定：

- a) 泡沫轻质土填筑体距顶部 0.5 m~1.0 m 的位置宜设置 1~2 层土工格栅或金属网；
- b) 在泡沫轻质土填筑体厚度变化处附近，宜靠近底部设置 1~2 层土工格栅或金属网；
- c) 当泡沫轻质土填筑体总体呈板状形态时（厚度小于 1.5 m、平面面积超过 100 m²），应在内部设置不少于两层土工格栅或金属网；
- d) 土工格栅宜选用双向土工格栅，格栅延伸率不宜大于 3%，断裂拉力不应小于 60 kN/m；
- e) 金属网宜采用镀锌铁丝或不锈钢丝，丝径宜为 2.5 mm~3.2 mm，网格间距宜为 100 mm，钢丝网施工前不应有锈蚀；
- f) 当泡沫轻质土填筑体长度较大或厚度突变时，宜设置沉降缝。沉降缝间距宜为 10 m~20 m。沉降缝可采用普通的木板、夹板或常规泡沫板，其厚度不宜超过 2 cm。

5.7.5 泡沫轻质土顶面设置防撞护栏时，防撞护栏应做专项设计，并应符合下列要求：

- a) 护栏基础外应设置安全襟边，襟边宽度不小于 50 cm；
- b) 防撞护栏底部应设置钢筋混凝土底座，混凝土强度等级宜不小于 C30，底座尺寸设计应兼顾安全性和经济性；
- c) 泡沫轻质土顶层宜在护栏基础底座下方设两层钢筋网；
- d) 护栏沉降缝与泡沫轻质土的沉降缝位置应对应一致。

5.8 计算分析

5.8.1 轻质土密度宜采用设计湿密度。除抗浮验算外，水位以下的泡沫轻质土密度宜取设计湿密度的 1.2~1.3 倍。

5.8.2 直立式泡沫轻质土填筑体自稳安全系数宜按式（3）计算，安全系数不宜小于 3.0。

$$F_s = \frac{q_u}{p + h_l \gamma_l} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- F_s ——安全系数；
- q_u ——无侧限抗压强度（kPa）；
- p ——轻质土上部荷载（kPa）；
- h_l ——轻质土高度（m）；
- γ_l ——轻质土重度（kN/m³）。

5.8.3 整体稳定分析应符合下列规定：

- a) 整体稳定性分析宜符合 JTG/T D31-02、JTG D30 的规定；
- b) 泡沫轻质土抗剪强度指标宜根据试验确定。无试验资料时抗剪强度指标宜按本文件第 4.2.6 条的规定取值；
- c) 轻质土填筑体位于软基上时，尚应将轻质土填筑体及其以上结构简化为荷载，然后进行整体稳定分析；
- d) 整体滑动稳定安全系数不应小于 1.3。
- 5.8.4 泡沫轻质土填筑体界面滑动稳定分析应符合下列要求：
- a) 泡沫轻质土填筑体沿普通土斜坡滑动的稳定分析宜采用剩余下滑力法。土条 i 的剩余下滑力宜采用式（4）计算。最外侧土条的剩余下滑力为零时的安全系数不应小于 1.3。

$$E_i = P_{ai} + W_i \sin \alpha_i - \frac{1}{F_s} (c_i l_i + W_i \cos \alpha_i f_i) + E_{i-1} \left| \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \frac{f_i}{F_s} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \right| \dots\dots\dots (4)$$

其中 P_{ai} 按式（5）计算：

$$P_{ai} = 0.5 \left[(q_i + h_i \gamma_{si}) K_{ai} - 2c_i \sqrt{K_{ai}} \right] (h_i - h_{ci}) \dots\dots\dots (5)$$

其中 h_{ci} 按式（6）计算：

$$h_{ci} = \frac{2c_i}{\gamma_{si} \sqrt{K_{ai}}} - \frac{q_i}{\gamma_{si}} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- E_i ——第 i 个土条的剩余下滑力（kN）；
- P_{ai} ——直立台阶上土条 i 侧面普通土总主动土压力（kN）；
- W_i ——为第 i 个土条的自重和外加竖向荷载之和（kN）；
- α_i ——第 i 个土条底面倾角（弧度），倾向外侧为正；
- F_s ——安全系数；
- c_i ——第 i 个土条底面黏聚力（kPa）；
- l_i ——第 i 个土条底面长度（m）；
- f_i ——第 i 个土条底面摩擦系数；
- q_i ——第 i 个土条侧面普通土顶面竖向荷载集度（kPa）；
- h_i ——第 i 个土条侧面普通土高度（m）；
- γ_{si} ——第 i 个土条侧面普通土重度（kN/m³）；
- K_{ai} ——第 i 个土条侧面普通土主动土压力；
- c_i ——第 i 个土条侧面普通土黏聚力（kPa）；
- h_{ci} ——第 i 个土条侧面普通土自稳高度（m），小于 0 时取零。
- b) 泡沫轻质土与普通土的界面抗剪强度指标宜根据试验确定。无试验资料时界面黏聚力宜取填土黏聚力的 0.3~0.6 倍，界面摩擦系数宜取填土摩擦系数的 0.5~0.8 倍，水位以下取小值；
- c) 按式（7）计算的斜坡对轻质土填筑体的主动土压力 E_a 大于 0 时，尚应按式（12）计算滑动稳定性，安全系数不应小于 1.3。

$$E_a = \gamma_f (B_1 - A_t \cot \theta) \frac{\sin(\theta - \varphi)}{\sin(\theta - \alpha - \varphi - \delta)} + \frac{c \left(h_t - \frac{2c}{\gamma_f \sqrt{K_a}} + h_0 \right) \cos \varphi}{\sin \theta \sin(\theta - \alpha - \varphi - \delta)} \dots\dots\dots (7)$$

其中 A_t 按式 (8) 计算:

$$A_t = \frac{1}{2} \left(h_t - \frac{2c}{\gamma_f \sqrt{K_a}} + h_0 \right) \left(h_t + \frac{2c}{\gamma_f \sqrt{K_a}} + h_0 \right) \dots\dots\dots (8)$$

其中 B_1 按式 (9) 计算:

$$B_1 = \frac{1}{2} h_t (h_t + 2h_0) \cot \alpha \dots\dots\dots (9)$$

其中 D_t 按式 (10) 计算:

$$D_t = \frac{A_t \cos(\alpha + \delta) - B_1 \sin(\alpha + \delta)}{\sin(\alpha + \varphi + \delta) \left[A_t \sin \varphi + \frac{c}{\gamma_f} \left(h_t - \frac{2c}{\gamma_f \sqrt{K_a}} + h_0 \right) \cos \varphi \right]} \dots\dots\dots (10)$$

其中 θ 按式 (11) 计算:

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \arctan \left[\cot(\alpha + \varphi + \delta) + \sqrt{1 + \cot^2(\alpha + \varphi + \delta) - D_t} \right] \dots\dots\dots (11)$$

$$F_s = \frac{[W - E_a \cos(\alpha + \delta)] f + l_e c_e}{E_a \sin(\alpha + \delta)} \dots\dots\dots (12)$$

式中:

E_a ——主动土压力 (kN);

γ_f ——普通土重度 (kN/m³);

θ ——破裂面倾角 (弧度);

φ ——普通土内摩擦角 (弧度);

α ——界面倾角 (弧度);

δ ——界面摩擦角 (弧度);

c ——普通土黏聚力 (kPa);

h_t ——轻质土厚度 (m);

h_0 ——普通土坡顶荷载等效土高度 (m);

W ——轻质土重量与上部恒载之和 (kN);

f ——轻质土填筑体底面摩擦系数;

l_e ——轻质土填筑体底面宽度 (m);

c_e ——轻质土填筑体底部黏聚力 (kPa)。

5.8.5 按式 (7) 计算的斜坡对轻质土填筑体的主动土压力 E_a 大于 0 时, 按式 (13) 计算的抗倾覆稳定安全系数不应小于 1.5。

$$F_s = \frac{\sum W_i x_i}{\frac{1}{3} E_a \sin(\alpha + \delta) \left(h_t - \frac{2c}{\gamma_f \sqrt{K_a}} + h_0 \right) + E_a \cos(\alpha + \delta) \left[l_e + \frac{1}{3} \left(h_t - \frac{2c}{\gamma_f \sqrt{K_a}} + h_0 \right) \cot \alpha \right]} \quad \text{..... (13)}$$

式中：

W_i ——第*i*区重量（kN）；

x_i —— W_i 作用点与轻质土填筑体外边缘的距离（m）。

5.8.6 水位最大值高于轻质土底面时，按式（14）的计算抗浮安全系数 F_s 宜为 1.05~1.15。

$$F_s = \frac{\gamma_l V_l + P}{\gamma_w V_w} \quad \text{..... (14)}$$

式中：

F_s ——安全系数；

γ_l ——轻质土湿重度（kN/m³）；

V_l ——轻质土体积（m³）；

P ——轻质土上部恒载（kN）；

γ_w ——水重度（kN/m³）；

V_w ——水位以下轻质土体积（m³）。

5.8.7 有地震力作用时，整体抗滑稳定分析、界面抗滑稳定分析、抗倾覆稳定分析尚应按 JTG B02 的规定执行。

5.8.8 泡沫轻质土填筑体的沉降宜采用分层总和法计算。

5.8.9 堆载预压后再换填轻质土时，轻质土厚度应取式（15）、式（17）计算值的大者；真空联合堆载预压后再换填轻质土时，轻质土厚度应取式（16）、式（17）计算值的大者。需要卸除的填土厚度采用式（18）计算。

$$h_t = \frac{F_s \gamma_f \left[T_d S_f - T_f (S_f U_t + S_{ra}) \right]}{S_f (\gamma_f - \gamma_l)} \quad \text{..... (15)}$$

$$h_t = \frac{F_s \gamma_f \left[T_d S_f - T_{vf} (S_f U_t + S_{ra}) \right]}{S_f (\gamma_f - \gamma_l)} \quad \text{..... (16)}$$

$$T_l = T_d - T_p - T_f \quad \text{..... (17)}$$

$$h_r = T_f - T_d + T_p + T_l \quad \text{..... (18)}$$

式中：

h_t ——轻质土换填厚度（m）；

F_s ——安全系数，宜取 1.2~1.3；

γ_f ——填土重度（kN/m³）；

T_d ——包括已完成沉降土方、路面结构的等效填土厚度的路堤设计等效填土厚度（m）。水位以下沉降土方重度应换算为水位以上填土重度；

S_f ——对应 T_d 的最终沉降（m）；

T_f ——包括已完成沉降的预压填土的等效填土厚度（m）。水位以下沉降土方重度应换算为水位以上填土重度，已通车公路尚应包括路面结构的等效填土厚度；

U_t ——产生工后沉降的主要土层的固结度；

S_{ra} ——容许工后沉降（m）；

γ_l ——轻质土重度（kN/m³）；

T_{vf} ——包括已完成沉降、真空荷载下的预压填土的等效填土厚度（m）。水位以下沉降土方重度应换算为水位以上填土重度，已通车公路尚应包括路面结构的等效填土厚度；

h_r ——需要卸除的填土厚度（m）；

T_p ——路面结构等效填土厚度（m）。

6 配合比设计

6.1 一般规定

6.1.1 泡沫轻质土配合比设计应满足抗压强度、湿密度、流值、沉陷率的要求，必要时应考虑材料性能的其它特殊要求（如弹性模量、抗冻性等）。

6.1.2 泡沫轻质土的配合比应通过计算和试配确定。

6.1.3 泡沫轻质土中需添加其它外加剂或矿物掺合料时，其品种、掺量对发泡剂的适应性及对泡沫轻质土性能的影响应通过试验确定。

6.1.4 配合比设计应符合下列规定：

- a) 湿容重不大于设计值；
- b) 流值宜控制在 160 mm~190 mm；
- c) 泡沫轻质土沉陷率不应大于 3%；
- d) 泡沫轻质土试块硬化后不允许出现裂缝，试块不满足要求需要重新进行配合比设计和试验。

6.2 配合比计算与试配

6.2.1 泡沫轻质土试配流程见图 10。

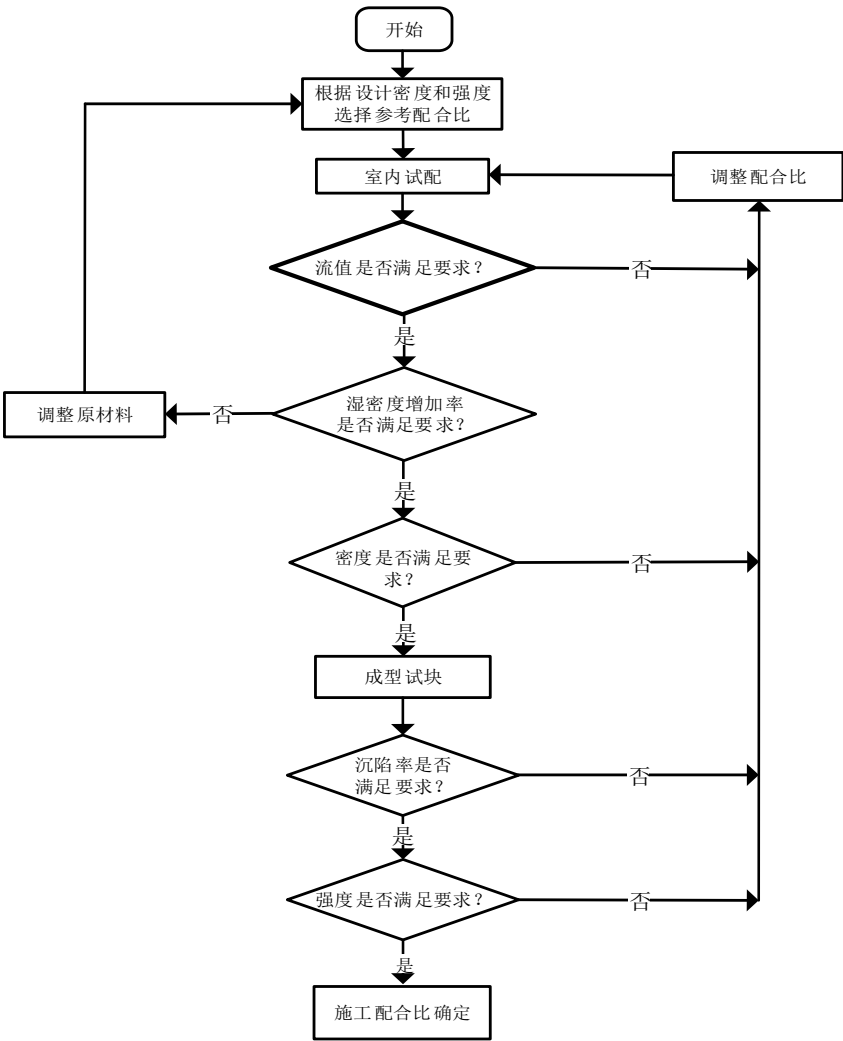


图10 泡沫轻质土试配流程

- 6.2.2 泡沫轻质土配合比试配时 28 d 抗压强度宜采用目标设计值的 1.05 倍。
- 6.2.3 泡沫轻质土试配试验拌和料的制备应符合附录 B 的要求。
- 6.2.4 泡沫轻质土的设计湿密度与各组分的关系应按式（19）确定：

$$\begin{cases} \rho = R_c + R_s + R_w + R_x + R_f \\ R_f = \rho_f \left(1 - \frac{R_c}{\rho_c} - \frac{R_s}{\rho_s} - \frac{R_w}{\rho_w} - \frac{R_x}{\rho_x} \right) \end{cases} \dots\dots\dots (19)$$

式中：

ρ ——泡沫轻质土设计湿密度（kg/m³）；

R_c ——每立方泡沫轻质土中水泥的质量（kg）；

R_s ——每立方泡沫轻质土中掺合料的质量（kg）；

R_w ——每立方泡沫轻质土中水的质量（kg）；

R_x ——每立方泡沫轻质土中外加剂的质量（kg）；

R_f ——每立方泡沫轻质土中泡沫的质量（kg）；

ρ_f ——标准泡沫密度（kg/m³）；

ρ_c ——水泥密度 (kg/m³) ;
 ρ_s ——掺合料密度 (kg/m³) ;
 ρ_x ——外加剂密度 (kg/m³) 。

- 6.2.5 试配试验时, 应进行湿密度、流值和消泡试验, 当流值满足要求、消泡试验确定的湿密度增加率满足要求时, 应制取试件并进行养护。
- 6.2.6 当消泡试验确定的湿密度增加率无法满足要求时, 应调整发泡剂的稀释倍率或种类, 或调整配合比组成材料的种类和用量, 重新进行试配试验。
- 6.2.7 当试配强度或沉陷率无法满足要求时, 应调整胶凝材料。
- 6.2.8 泡沫轻质土推荐配合比可参考表 6。

表6 泡沫轻质土配合比推荐表

试配强度 (MPa)	每立方米材料用量 (kg)		
	水泥	矿物掺合料	水
0.6	269	/	175
0.6	179	77	166
0.8	294	/	191
0.8	197	84	183
1.0	312	/	203
1.0	210	90	195
1.2	331	/	215
1.2	219	94	203
1.5	375	/	244
1.5	249	107	231

注: 水泥采用 42.5级及以上, 矿物掺合料采用 S95级及以上粒化高炉矿渣粉。

7 施工

7.1 一般规定

- 7.1.1 施工前应做好施工期临时排水总体规划和落实, 临时排水设施应与永久性排水设施综合考虑, 并与工程影响范围内的自然排水系统相衔接。
- 7.1.2 施工前应在全面理解设计要求和设计交底的基础上, 对施工现场的气候、地形、地质及构造物等现场情况进行调查后, 编制专项施工方案。
- 7.1.3 施工前应做好施工废水、工程废料的清运措施, 确保整个施工期满足环保要求。
- 7.1.4 浇筑施工过程中, 应按附录 A 的格式真实填写施工记录。
- 7.1.5 泡沫轻质土施工工艺流程图见图 11。
- 7.1.6 当室外日均气温连续 5 d 低于 5℃、以及下雨时, 不得进行泡沫轻质土构筑施工。

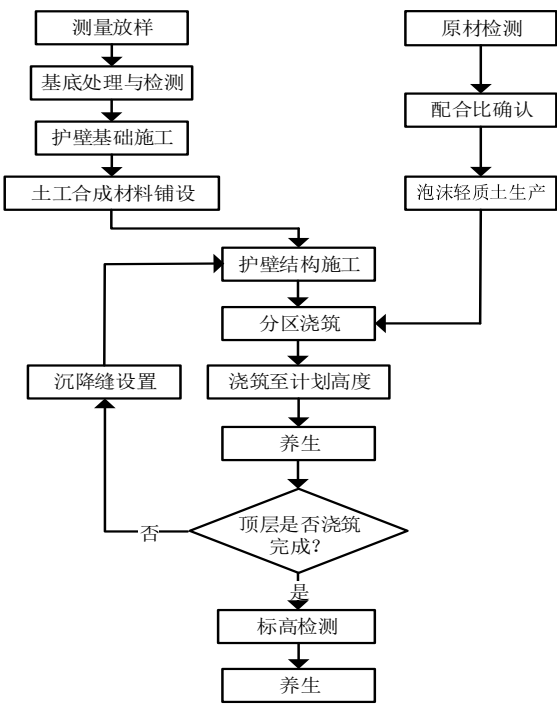


图11 泡沫轻质土施工流程图

7.2 施工准备

- 7.2.1 施工前应对现场地形地貌进行踏勘，进行相关工程的测量放样，以检查工程数量、设计图纸是否与实际相吻合。
- 7.2.2 施工前应确认施工电源、用水、便道、设备及主要材料的准备工作是否完成。
- 7.2.3 施工前应结合设备生产能力、工期要求等对设计的浇筑体进行浇筑区和浇筑层的划分，为浇筑施工做好相关规划。
- 7.2.4 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。

7.3 拌合

- 7.3.1 发泡装置应满足下列要求：
- a) 泡沫宜采用压缩空气与泡沫剂稀释液混合的方式生成泡沫，严禁搅拌发泡生成泡沫；
 - b) 发泡装置应能设置稳定的发泡倍率，稳定地生成标准泡沫密度的泡沫。
- 7.3.2 泡沫轻质土制作设备应具有原材料自动化计量功能，在拌合制作泡沫轻质土时，应能调节水泥浆和泡沫流量。
- 7.3.3 泡沫轻质土在拌合制作过程中，材料的计量精度应满足表 7 的要求。

表7 材料的计量精度

材料	计量精度
掺合料（水泥）	±2%
水泥、外加剂（矿物掺合料）	±2%
水（发泡剂）	±2%
发泡剂（水）	±2%

- 7.3.4 根据确定好的施工配合比和工艺参数进行水泥和掺合料浆料拌合，应确保各组分混合均匀。
- 7.3.5 搅拌好的水泥或掺合料浆料应存储在具备搅拌功能的储罐内，避免浆料沉淀。
- 7.3.6 为保证连续填筑的稳定性，单套泡沫轻质土设备的选型与功能宜满足表 8 要求。

表8 设备选型要求

工程量 m	设备产能 W (单台设备)
$m < 100 m^3$	$10 m^3/h \leq W < 30 m^3/h$
$100 m^3 \leq m < 1000 m^3$	$30 m^3/h \leq W < 50 m^3/h$
$1000 m^3 \leq m < 10000 m^3$	$50 m^3/h \leq W < 80 m^3/h$
$\geq 10000 m^3$	$\geq 80 m^3/h$

7.4 输送与浇筑

- 7.4.1 泡沫轻质土浇筑施工宜采用直接泵送或配管泵送方式；泵送前，应检查管接头是否紧固，确保接头密封牢固不泄漏。泵送过程中，浇筑管的压力应满足扬程及输送距离要求；当浇筑方量较小时也可采用车辆运送或其它工具运输的方式进行施工。
- 7.4.2 在地下水位以下施工时，应采取临时降水措施确保基底无积水的情况下浇筑，临时降水措施应在泡沫轻质土养护龄期不少于 3 天且施工满足抗浮要求的条件下方能撤除。
- 7.4.3 地形复杂区域应根据现场情况合理配置机械设备，可采用中继泵进行远距离输送，或采用分级输送方式进行高扬程输送，混泡应在最后一级进行。
- 7.4.4 出料口离浇筑点的高差宜控制在 1 m 以内（溶洞填充类工程除外）。
- 7.4.5 单个浇筑区内浇筑层的施工时间宜控制在水泥浆初凝时间内，6~12 小时后方可进行上层浇筑施工。
- 7.4.6 当遇大雨、暴雨或持续时间较长的小雨天气，未硬化的泡沫轻质土表面应采取遮雨措施。

7.5 附属工程施工

- 7.5.1 泡沫轻质土填筑体护壁施工应符合下列规定：
- c) 钢筋混凝土挡墙类保护壁，可在泡沫轻质土施工前一次性施工至设计标高，其施工质量控制按普通混凝土工程控制；
 - d) 砌块类保护壁，砌筑砂浆应满足 M7.5 号砂浆的质量要求，砌缝宜采用勾缝，缝宽不应超过 1 cm；施工过程中，砌筑高度应超过当前泡沫轻质土浇筑面 3 层砌块高度，按照随浇随砌的原则施工。
- 7.5.2 防渗土工膜铺设时搭接应采用热焊的方式，搭接宽度不小于 5 cm。铺设时，应展平拉紧并采用 U 型钉进行锚固，避免局部卷起。
- 7.5.3 土工格栅铺设时，应采用 U 形钉进行锚固，纵向锚固间距 2 m、横向锚固间距 1.0 m。土工格栅平面位置应重叠搭接，纵向搭接宽度应不小于 15 cm，横向搭接宽度应不小于 30 cm，搭接处用塑料扎扣绑扎并用 U 型钉锚固。不同层面的搭接位置应相互错开。
- 7.5.4 钢丝网施工应符合下列规定：
- a) 钢丝网铺设前，应检查其外观，不得采用有锈迹的钢丝网；
 - b) 相邻幅的钢丝网，应重叠铺设 50 mm~100 mm，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；
 - c) 在变形缝位置，钢丝网应断开铺设；
 - d) 钢丝网在泡沫轻质土表面处不得外露。

7.6 养护与成品保护

- 7.6.1 泡沫轻质土路基每层浇筑施工完后，应及时采用覆膜保湿养护，养护期一般不少于 24 h。
- 7.6.2 顶面浇注至设计高程后，应及时铺设防渗土工膜，以对泡沫轻质土路基进行保湿养护（溶洞填充类工程除外），养护期不宜小于 7 d 并达到设计强度后，进行路面结构层施工。
- 7.6.3 养护期内，严禁在泡沫轻质土路基顶部直接行驶工程机械或车辆。

8 质量检验与验收

8.1 一般规定

- 8.1.1 泡沫轻质土作为一个分项工程进行质量检验评定，以连续分布的成型浇筑体为构造单元，并按单个或若干个构造单元划分检验批次。
- 8.1.2 泡沫轻质土工程的质量检验应按浇筑过程质量检验、硬化后的成品质量检验依序进行。

8.2 浇筑过程质量检验

- 8.2.1 浇筑施工过程质量检验的关键项目为湿密度。检验数量：大致均匀选点取样，数量见表 9。

表9 浇筑过程质量检验关键项目

检验项目	规定值或允许偏差	检验方法	检验频率
湿密度	≤设计值	按附录C 的规定执行	每连续填筑 100 m³ 检验 1 次， 单次连续填筑不足 100 m³ 时检验 1 次

- 8.2.2 浇筑施工过程质量检验的一般项目为流值、泡沫密度、湿密度增加率。检验数量：大致均匀选点取样，数量见表 10。

表10 浇筑过程质量检验一般项目

检验项目	规定值或允许偏差	检验方法	检验频率
流值	160~190 mm	按附录C 的规定执行	每连续填筑 200 m³ 检验 1 次， 单次连续填筑不足 200 m³ 时检验 1次
泡沫密度	试配密度 ±5 kg/ m³	符合 CJJ/T 177 的有关规定	每班开工前检验 1 次
湿密度增加率	≤10%	按附录D 的规定执行	每连续填筑 200 m³ 检验 1 次， 单次连续填筑不足 200 m³ 时检验 1 次

8.3 成品质量检验

- 8.3.1 硬化后成品质量检验的主控项目为 28 天龄期的抗压强度。抗压强度的检验方法按本文件附录 E 的规定执行。
- a) 检验数量：每 400 m³制取 1 组，每 1 组 3 块；
- b) 当不够 400 m³时，应按 400 m³考虑。
- 8.3.2 抗压强度的试件制取及养护应满足以下要求：
- a) 应在出料口取样制作；
- b) 试件脱模后，应置于密封塑料袋中进行养护，养护环境温度为 20~25℃。
- 8.3.3 单组抗压强度检验合格标准应满足式（20）要求。

$$q_{un} \geq q_c \dots\dots\dots (20)$$

式中：

q_{un} ——单组试件3个试块抗压强度平均值或代表值 (MPa)；
 q_c ——抗压强度设计值 (MPa)。

8.3.4 硬化后成品质量检验的一般项目包括外观质量和实测项目，其中外观质量检验应符合 8.3.5 要求，实测项目应符合表 11 要求。

表11 成品质量检验一般项目

项目	规定值或允许偏差	检验频率	检验方法
准干密度	≤设计值	每连续填筑 200 m ³ 检验 1 次， 单次连续填筑不足 200 m ³ 时检验 1 次	在出料口采取试验用料， 在试验室再次拌和 1 min， 按本文件附录E 的规定执行
顶面高程	设计高程 ±5 cm	每 10 m 检查 1 处	用水准仪测量
厚度	设计厚度 ±5 cm	每 20 m 检查 1 处	用钢卷尺量，隐蔽处抽芯测量
平面位置	长轴中线 ±5 cm	每 10 m 检查 1 处	用经纬仪、钢卷尺量取
平面尺寸	≥设计宽度	每 20 m 检查 1 处	用钢卷尺量取

- 8.3.5 泡沫轻质土填筑体外观质量检验应符合以下要求：
- a) 填筑体表面平整，无塌陷、坑槽、松散或大面积消泡；
 - b) 附属护壁结构表面光洁平顺、板缝均匀，线形顺适，沉降缝上下贯通顺直；
 - c) 填筑体表面蜂窝面积不宜超过总面积的 1%，表面出现的非受力贯穿裂缝宽度应小于 5 mm。

8.4 质量评定与验收

- 8.4.1 泡沫轻质土工程质量评定等级分合格与不合格，验收应在质量评定合格的基础上进行。
- 8.4.2 检验批合格质量应符合下列规定：
- a) 关键项目的质量应经抽样检验合格；
 - b) 一般项目的质量应经抽样检验合格；当采用计数检验时，除有专门要求外，一般项目的合格率应达到 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；
 - c) 具有完整的施工原始资料和质量检查记录。
- 8.4.3 分项工程质量验收合格应符合下列规定：
- a) 分项工程所含检验批均应符合合格质量的规定；
 - b) 分项工程所含检验批的质量验收记录应完整；
 - c) 泡沫轻质土外观要求：填筑体表面平整、边界线形平顺；护壁外观色泽均一、砌筑整齐平顺。
- 8.4.4 质量保证资料应包括下列内容：
- a) 设计文件；
 - b) 相关材料出厂合格证和进场复验报告；
 - c) 性能试验报告；
 - d) 施工记录、质量检验记录；
 - e) 其它必要的文件和记录。
- 8.4.5 工程质量不合格时应进行必要的返工、加固或其它方式的工程维修，并重新进行质量评定与验收。

附 录 A
(资料性)

泡沫轻质土工程浇筑施工记录表

表A.1 泡沫轻质土工程浇筑施工记录表

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)	土工格栅 √有 X 无	试样取样		湿密度(kg/m³)		流 值(mm)		泡沫密度(kg/m³)	
								序号	编号						
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															

记录人：

项目负责人：

技术负责人：

附 录 B

(规范性)

拌合物取样及试样制备

- B.1 泡沫轻质土试验用料可从施工现场出料口采取，亦可在试验室直接拌和制备。
- B.2 试验用拌和料采取量应满足式 (B.1) 的要求。

$$v_o \geq 1.5v_s \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

v_o ——泡沫轻质土试验用料体积；
 v_s ——全部成型试样标准体积总和。

- B.3 试验室拌制泡沫轻质土时，拌和用的材料应提前运至室内，拌和时试验室的温度要求为 20℃～25℃。
- B.4 试验用水泥、集料、掺合料、发泡剂等原材料必须和施工现场使用的材料一致。
- B.5 试验室拌制泡沫轻质土前，应先将适量的发泡剂按稀释倍率稀释好并置于发泡装置内；并事先根据标准泡沫密度调整好发泡剂水溶液的发泡倍率，以备随时发泡。
- B.6 泡沫的用量应采用量杯计量，其它材料应称重计量，计量精度应满足：水泥及外加剂 $\pm 0.5\%$ ，集料和掺合料 $\pm 1\%$ ，泡沫体积 $\pm 0.5\%$ 。
- B.7 试验室制备泡沫轻质土，应采用搅拌机拌和，且应先将水泥、集料、掺合料、外加剂和水按设计配合比拌和，拌和时间不少于 2 min，然后立即制备泡沫加入其中再次拌和，再次拌和时间不少于 2 min；拌和料总量应不少于搅拌机容量的 20%。
- B.8 试验用搅拌机转速宜为 50 r/min。
- B.9 现场采取的试验用料，在试验室应再次拌和 1 min，以确保质量均匀。试验用料采取或制备完毕，应尽快进行相关试验。

附录 C
(规范性)
湿密度及流值试验

C.1 试验仪器应包括:

- a) 容量筒, 金属制成, 内径 108 mm, 净高 109 mm, 筒壁厚 2 mm, 容积为 1 L;
- b) 圆筒, 金属或硬质塑料制成, 内径 80 mm, 净高 80 mm, 筒壁厚 2 mm;
- c) 电子秤, 量程 3000 g, 精度 0.1 g;
- d) 平板, 塑料板或光面瓷砖, 厚度 1 cm, 边长 30 cm;
- e) 游标卡尺, 量程不小于 300 mm, 精度 0.1 mm;
- f) 秒表。

C.2 湿密度应按下列步骤测定:

- a) 将容量筒内外壁用抹布擦拭干净, 并称其重量, 精确至 0.1 g;
- b) 向容量筒内轻轻倒入事先制备好的泡沫轻质土(符合附录 B 的要求), 至泡沫轻质土略高出筒口;
- c) 刮平容量筒筒口, 使泡沫轻质土料与筒口平齐, 擦拭干净筒外壁, 称其重量, 精确至 0.1 g;
- d) 湿密度应按式 (C.1) 计算, 应以 3 次试验结果的算术平均值确定, 并应精确至 0.1 kg。

$$\rho_w = \frac{m_2 - m_1}{V} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

- ρ_w ——湿密度 (kg/m³);
- m_1 ——容量筒质量 (g);
- m_2 ——容量筒及试样质量 (g);
- V ——容量筒容积 (L)。

C.3 流值应按以下步骤测定:

- a) 将平板表面、圆筒内外壁用湿抹布擦拭干净, 并将圆筒置于平板上;
- b) 向圆筒内轻轻倒入事先制备好的泡沫轻质土(符合附录 B 的要求), 至泡沫轻质土略高出筒口;
- c) 刮平圆筒筒口, 使泡沫轻质土料与筒口平齐, 擦拭干净筒外壁及平板;
- d) 轻轻将圆筒向高处提起, 直至圆筒内所有样料落在平板上, 并同时用秒表开始计时, 此时, 样料在平板上会形成圆饼状;
- e) 当秒表计时达到 1 分钟时, 用游标卡尺量测平板上的样料圆饼直径, 沿互相垂直的两个方向分别量测(其中一个方向为最大直径方向), 取其算术平均值作为本次流值试验结果;
- f) 流值以 3 次试验结果的算术平均值确定, 精确至 1 mm。

C.4 湿密度及流值试验成果可按本文件附录 I 的格式填写、整理。

附录 D
(规范性)
消泡试验

D.1 消泡试验所用的试验用料不应小于 10 L。

D.2 试验仪器应包括以下设备：

- a) 电子秤，量程 300 g，精度 ± 0.1 g；
- b) 塑料桶，容量 25 L；
- c) 容量筒，金属制成，内径 108 mm，净高 109 mm，筒壁厚 2 mm，容积为 1 L；
- d) 秒表。

D.3 湿密度增加率应按下列步骤测定：

- a) 用塑料桶在施工现场泡沫轻质土出料口接盛泡沫轻质土，或在试验室接盛按本文件符合附录 B 的要求制备的泡沫轻质土，数量以大约达至桶的容量一半为准；
- b) 用容量筒测试所接盛的泡沫轻质土初始湿密度 ρ_0 ；
- c) 用单手对桶内的泡沫轻质土进行连续搅拌，搅拌时，手应在水平方向和垂直方向分别交替做椭圆运动，但手始终置于泡沫轻质土内。搅拌持续时间为 1 min，用秒表测计；
- d) 测试第 i 次搅拌后泡沫轻质土湿密度 ρ_i ；
- e) 重复第 3、第 4 步骤，直至搅拌次数达到 6 次为准，设 6 次搅拌后的泡沫轻质土湿密度最大值 ρ_{\max} ，可按式 (D.1) 计算消泡率。

$$\delta = \frac{\rho_{\max} - \rho_0}{\rho_0} \times 100\% \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

ρ_0 ——泡沫轻质土初始湿密度 (kg/m³) ；
 ρ_{\max} ——搅拌过程中泡沫轻质土最大湿密度 (kg/m³) 。

D.4 消泡试验记录及成果可按本文件附录 J 的格式填写、整理。

附 录 E
(规范性)
力学性能试验

E.1 试件制备应符合下列规定：

- a) 抗压强度的试件尺寸为 100mm×100mm×100mm，一组 3 块；
- b) 劈裂抗拉强度的试件尺寸为 100mm×100mm×100mm 的立方体，一组 3 块；
- c) 抗折强度的试件尺寸为 100mm×100mm×400mm 的棱柱体，一组 3 块；
- d) 静力受压弹性模量试件尺寸为 100mm×100mm×300mm 的棱柱体，两组 6 块；
- e) 试件制备可在现场制取，也可在试验室按本文件附录 B 的规定制备试验用料来完成；
- f) 往试模内倾倒试验用料时，应略高于试模顶面，并将试模顶面高出部分予以刮平。在拆模前，宜用保鲜纸覆盖试模表面；
- g) 拆模后，应用塑料袋密封包装试件；
- h) 试件应置于 20℃～25℃的环境中养护。

E.2 准干密度应按下列步骤测定：

- a) 取试件 1 组 3 块，逐块量取长、宽、高方向的轴线尺寸，精确至 1mm，计算其体积 V (cm³)；
- b) 称取试件质量 M (g)，精确至 1g；
- c) 各试块按 M/V 计算准干密度，以 3 块试块准干密度算术平均值作为试验结果。

E.3 泡沫轻质土的力学性能试验方法应符合 GB/T 11969 的规定，但试件的制备应按本文件附录 E 第 E.1 条执行，试件不得做吸水或烘干处理，且在试验报告中应增加准干密度试验结果，抗压强度检验报告可按本文件附录 K 的格式填写、整理。

附 录 F
(规范性)
抗冻性试验

F.1 试件制备应符合下列规定：

- a) 试件尺寸应为 100mm×100mm×100mm，应取 2 组 6 块；
- b) 试件制备可在现场制取，也可在试验室按照本文件附录 B 的要求完成；
- c) 往试模内倾倒试验用料时，应略高于试模顶面，并将试模顶面高出部分予以刮平。在拆模前，宜用保鲜纸覆盖试模表面；
- d) 拆模后，应用塑料袋密封包装试件；
- e) 试件应置于 20℃～25℃的环境中养护。

F.2 泡沫轻质土的抗冻性试验应符合 GB/T 11969 的规定。

附 录 G
(资料性)

泡沫轻质土工程施工质量检验记录表

表G.1 泡沫轻质土工程施工质量检验记录表

项次	检查项目	允许值	实测值或 实测偏差值							
1	Δ 湿密度 (kg/m³)									
2	泡沫密度 (kg/m³)									
3	流值 (mm)									
4	Δ 抗压强度 (MPa)									
5	密度增加率 (%)									
6	准干密度 (kg/m³)									
7	顶面高程 (m)									
8	厚度 (m)									
9	平面位置 (m)									
10	平面尺寸 (m)									
<div>施工单位自检结论：</div> <div>质量检查员： 年 月 日</div>										
<div>监理单位检查结论：</div> <div>监理工程师： 年 月 日</div>										

注：标注“Δ”为关键项目，其余为一般项目。

附 录 H
(资料性)

泡沫轻质土工程施工质量评定验收记录表

表H.1 泡沫轻质土工程施工质量评定验收记录表

项次	检查项目	允许值	实测值或实测偏差 值均值、代表值	应检 点数	合格 点数	合格率 (%)
1	Δ 湿密度 (kg/m³)					
2	泡沫密度 (kg/m³)					
3	流值 (mm)					
4	Δ 抗压强度 (MPa)					
5	密度增加率 (%)					
6	准干密度 (kg/m³)					
7	顶面高程 (m)					
8	厚度 (m)					
9	平面位置 (m)					
10	平面尺寸 (m)					
质量保证资料						
<div>监理单位评定验收结论：</div> <div>监理工程师：____年 ____月 ____日</div> <div>监理工程师：____年 ____月 ____日</div>						

注：标注“Δ”为关键项目，其余为一般项目。

验收负责人： 记录： 复核： 年 月 日

附 录 I
(资料性)

泡沫轻质土拌和物制备及湿密度、流值试验成果表

表I.1 泡沫轻质土拌和物制备及湿密度、流值试验成果表

材 料	发泡剂			材料名称或类型				材料实体密度 (kg/m ³)			
	型号	稀释倍率	标准泡沫密度 (g/L)	水泥品牌	水泥标号	掺合料	外加剂	水泥	掺合料	外加剂	
配 合 比	配合比编号		配合比 组成	每立方材料组成 (kg/m ³)				泡沫体积 含有率 (%)	理论湿密度 (kg/m ³)		
				水泥	掺合料	水	外加剂		料浆	泡沫轻质土	
拌 合 物	拌合物 容积 (L)	实测泡沫 密度 (g/L)	泡沫量 (L)	其它材料用量 (g)				湿密度 (kg/m ³)		流值 (mm)	
				水泥	掺合料	水	外加剂	样本值	代表值	样本值	代表值
其 它	水温 (℃)	气温 (℃)	湿度 (%)	其它试验试件制备							
				试块规格 (mm)			制备组数及编号				
				长	宽	高	1组	编号	2组	编号	3组

试验操作：

试验记录：

复核：

审核：

年

月

日

附 录 J
(资料性)
消泡试验成果表

表J.1 消泡试验成果表

环境因素	成型搅拌环境								养护环境		
	稀释水源		搅拌水源		稀释水温 (℃)		搅拌水温 (℃)		气温 (℃)	湿度 (%)	
原材料	发泡剂			水泥			掺合料		外加剂		
	型号	稀释倍率	标准泡沫密度 (g/L)	类型	品牌	标号	类型	掺量 (%)	品牌类型	掺量 (%)	
配合比	配合比编号		原材料单方组成 (kg/m³)				泡沫体积含有率 (%)	理论湿密度 (kg/m³)			
			水泥	水	掺合料	外加剂		料浆	泡沫 轻质土		
试配	成型 容积 (L)	水泥量 (g)	水 (g)	掺合料 (g)	外加剂 (g)	泡沫 (L)	实测泡 沫密度 (g/L)	初始湿密度 (kg/m³)		初始流值 (mm)	
								料浆	泡沫 轻质土	料浆	泡沫 轻质土
搅 拌	搅拌时间 (min)		实测湿密度 (kg/m³)		湿密度增加率 (%)		消泡试验曲线栏 (横轴为搅拌时间，纵轴为实测湿密度)				
	1										
	2										

试验操作： 试验记录： 技术负责人：

监理工程师： 年 月 日

附 录 K
(资料性)

泡沫轻质土抗压强度检验报告

表K.1 泡沫轻质土抗压强度检验报告

试件						重量 (g)	准干密度 (kg/m³)		破坏 荷载 (N)	抗压强度 (MPa)	
编号	成型 日期	养护 条件	破型 日期	龄期 (天)	尺寸 (mm)		样品值	代表值		样品值	代表值
					长						
					宽						
					高						
					长						
					宽						
					高						
					长						
					宽						
					高						
检验依据											
备注											

检验： 记录： 审核： 批准： 年 月 日
