

CECS G

中国工程建设标准化协会 (CECS) 标准

CECS G XX-XXXX

公路工程泡沫轻质土应用 技术规程

Technical Specification for Application of Foam Lightweight Soil in
Highway Engineering

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国工程建设标准化协会公路分会发布

前 言

本标准依据中国工程建设标准协会公路分会给出的规则起草。

本标准由中国建设标准委员会公路工程分会提出并归口。

根据中国工程建设标准协会公路分会“中建标公路[2017]71号”文《关于开展2017年第二批中国工程建设标准化协会标准（CECS G）制修订项目编制工作的通知》的要求，由交通运输部公路科学研究院、江西省高速公路投资集团有限责任公司、中交三航局第三工程有限公司、河南华泰新材科技股份有限公司等承担《公路工程泡沫轻质土应用技术规程》的制订工作。

本标准主编单位：交通运输部公路科学研究院

参编单位：江西省高速公路投资集团有限责任公司

中交三航局第三工程有限公司

河南华泰新材科技股份有限公司

云南省公路科学技术研究院

厦门合智新材料科技有限公司

中国水利水电第五工程局有限公司

丽江公路局

大连理工大学

河北省高速公路张承承德管理处

福州大学

本标准主要起草人：李立辉、田波、张龙生、许兵、张晓辉、吕文朴、柯国炬、周春生、李玉商、王俊杰、刘礼辉、许欣、第五龙、周长俊、侯荣国、权磊、李思李、何哲、曹宇鹏、张明海、曹国义、张翼、张晓蕾、马宏岩

主 审：吴万平

参与审查人员：梁军林、黄世武、胡昌斌、尹峰、王艳彦、李 沛

本标准为首次发布。

目 次

前 言.....	- 1 -
1 总则.....	- 1 -
2 规范性引用文件.....	- 1 -
3 术语和定义.....	- 2 -
4 泡沫轻质土.....	- 3 -
5 工程设计.....	- 10 -
6 浇筑与养护.....	- 22 -
7 检验.....	- 26 -
8 附录.....	- 30 -
附 录 A.....	- 30 -
附 录 B.....	- 32 -
附 录 C.....	- 33 -
附 录 D.....	- 34 -
附 录 E.....	- 35 -
附 录 F.....	- 37 -

1 总则

- 1.0.1 为促进现浇泡沫轻质土的应用，确保技术先进、安全可靠、经济合理，制定本规程。
- 1.0.2 本规程适用于现浇泡沫轻质土在桥梁台背回填、软基换填、路基拓宽、山区陡峭路段路基填筑、边坡防护等领域应用。
- 1.0.3 公路工程现浇泡沫轻质土应符合本规程的规定外，尚应符合国家颁布的现行有关标准、规范、规程的规定。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注明日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 176	水泥化学分析方法
GB/T 1596	用于水泥和混凝土中的粉煤灰
GB/T 18046	用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
GB 8076	混凝土外加剂
GB/T 14684	建设用砂
JC/T 2199	泡沫混凝土用泡沫剂
JGJ 63	混凝土用水标准
JTG E30	公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
JGJ 55	普通混凝土配合比设计规程
TJG F10 01	现浇泡沫轻质土路基设计施工技术规范
CECS 249	现浇泡沫轻质土技术规范
DBJ 41T091	现浇泡沫混凝土墙体技术规范
DB33/T 996	公路工程泡沫混凝土应用技术规程

3 术语和定义

术语和定义适用于本文件。

3.0.1 泡沫轻质土 Foaming lightweight soil

将泡沫剂制备的泡沫与必须组分水、胶凝材料及可选组分细集料、掺合料、外加剂按照一定比例混合搅拌，并经水化硬化形成的一种多孔材料。

3.0.2 流值 Flow factor

泡沫轻质土流动性的量值，一般用圆筒法测量。

3.0.3 湿密度 Wet density

泡沫轻质土硬化前流动状态下的单位体积质量。

3.0.4 体积吸水率 Volumetric water absorption

单位体积泡沫轻质土经浸水饱和时，所吸水分的体积占干燥材料体积的百分数。

3.0.5 水泥稀浆 Cement slurry

是指水、水泥、矿物掺和料及减水剂，按一定比例均匀混合的浆体。

3.0.6 泡沫剂 Foaming agent

泡沫剂能使其水溶液在机械作用力引入空气的情况下，产生大量稳定泡沫的表面活性剂。

3.0.7 标准泡沫密度 Standard foam density

满足泡沫轻质土施工、质量要求的最低体积密度。

3.0.8 允许密度 Allowable density

现浇泡沫轻质土浇注成型进入工程使用状态后，确保安全所允许的最大单位体积质量。

3.0.9 发泡倍率 Multiple of performed foam

一定的泡沫体积与形成该泡沫的泡沫剂稀释液体积的比值。

3.0.10 标准沉降距 Distance of standard subsidence

泡沫轻质土拌合物在 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的立方体试模中硬化后其表面的沉降距离。

3.0.11 浇注区 Cast area

连续分布的独立的泡沫轻质土回填浇注区域或空间。

3.0.12 粉水比 Powder water ratio

泡沫轻质土中粉体材料与拌和用水的比例。

3.0.13 沉降缝 settlement joint

为防止由于地基不均匀沉降引起结构破坏所设置的垂直缝。

3.0.14 体积吸水率 volumetric water absorption

单位体积泡沫混凝土经浸水饱和时,所吸水分的体积占干燥材料体积的百分数。

4 泡沫轻质土

4.1 原材料

4.1.1 水泥

- a) 常温施工,宜采用 42.5 级及以上的普通硅酸盐水泥;冬期施工,宜采用同等级硅酸盐水泥或早强型普通硅酸盐水泥,其性能均应符合 GB 175 的规定。
- b) 当采用其他品种的水泥时,其性能指标必须符合相应标准的要求。

4.1.2 矿物掺和料

4.1.2.1 粉煤灰

宜采用 II 级及以上的 F 类粉煤灰,其性能应符合 GB/T 1596 中对 F 类的规定。

4.1.2.2 粒化高炉矿渣粉

宜采用 S95 及以上的粒化高炉矿渣粉,其性能应符合 GB/T 18046 的规定。

4.1.2.3 硅灰

硅灰应符合 GB/T 27690 的规定。

4.1.2.4 其他

采用其他矿物掺和料时,应符合国家相关标准的规定。

4.1.3 泡沫剂

4.1.3.1 泡沫剂溶液的 pH 值为 6~8。

4.1.3.2 泡沫剂溶液的密度 (D) 应符合下列要求:

- a) 当 $D > 1.1$ 时, 要求为 $D \pm 0.03$;
- b) 当 $D \leq 1.1$ 时, 要求为 $D \pm 0.02$;
- c) D 为生产厂家提供的密度值。

4.1.3.3 泡沫剂应对环境无污染, 泡沫剂经稀释发泡后, 产生的泡沫应符合下列规定:

- a) 泡沫密度应为 $50\text{kg/m}^3 \pm 3\text{kg/m}^3$;
- b) 标准气泡柱静置 1h 的沉降距应小于 5mm;
- c) 标准气泡柱静置 1h 的泌水量应小于 25mm;
- d) 泡沫半衰期时间应大于 12h。

4.1.3.4 适应性试验应按附录 B 的规定进行, 泡沫轻质土拌合物静置 1h 的湿密度增加值应小于 10%。

4.1.4 外加剂

- a) 泡沫轻质土掺入减水剂、早强剂、防冻剂等外加剂时, 各外加剂应符合 GB 8076 与 GB 50119 的要求。
- b) 外加剂使用前应进行适应性试验, 泡沫轻质土拌合物静置 1h 的湿密度增加值应小于 10%, 且对泡沫轻质土的质量应无不良影响。

4.1.5 细集料

- a) 集料宜为二区中砂, 最大粒径不宜大于 4.75mm, 细度模数为 $2.3 \sim 2.9$, 其他性能应符合 GB/T 14684 的规定。
- b) 细集料的掺入量与泡沫轻质土的设计密度有关, 有抗浮设计要求的泡沫轻质土应掺入一定量细集料来提高密度。

4.1.6 拌合用水

拌和用水应符合 JGJ 63 的规定。

4.2 泡沫轻质土

4.2.1 强度等级

公路工程泡沫轻质土的抗压强度等级采用符号 CF 表示，按 100mm×100mm×100mm 立方体 28d 龄期抗压强度标准值进行划分，7d 和 28d 抗压强度平均值和 28d 单组最小值按表 1 中的规定执行。

表1 泡沫轻质土强度等级

泡沫轻质土强度等级	立方体抗压强度值 (MPa)		
	$f_{cu,7d}$ 平均值	$f_{cu,28d}$ 平均值	$f_{cu,28d}$ 单组最小值
CF0.4	≥ 0.20	≥ 0.40	0.36
CF0.6	≥ 0.30	≥ 0.60	0.54
CF0.8	≥ 0.40	≥ 0.80	0.72
CF1.0	≥ 0.50	≥ 1.00	0.90
CF1.2	≥ 0.60	≥ 1.20	1.08
CF1.5	≥ 0.75	≥ 1.50	1.35
CF2.0	≥ 1.00	≥ 2.00	1.80
CF2.5	≥ 1.25	≥ 2.50	2.25
CF3.0	≥ 1.50	≥ 3.00	2.70
CF3.5	≥ 1.75	≥ 3.50	3.15

a) $f_{cu,7d}$ 为泡沫轻质土 7d 龄期立方体抗压强度， $f_{cu,28d}$ 为泡沫轻质土 28d 龄期立方体抗压强度；

b) 设计要求泡沫轻质土 7d 抗压强度不小于 0.50 倍 28d 压强度；

c) 当工期较紧时，试验室试配 7d 抗压强度不小于 0.55 倍 28d 设计抗压强度，即可施工；

d) 当设计为大体积泡沫轻质土或大掺量矿物掺和料（单掺>30%，复合掺>40%）时，可忽略 7d 龄期抗压强度指标要求，仅满足设计龄期强度。

4.2.2 密度等级

公路工程泡沫轻质土按湿密度划分为 10 个等级，采用符号 DW 表示，详见表 2 所示。

表2 泡沫轻质土湿密度等级

湿密度等级	湿密度 R_{fw} 取值范围 (kg/m^3)	湿密度等级	湿密度 R_{fw} 取值范围 (kg/m^3)
DW400	$300 < R_{fw} \leq 400$	DW900	$800 < R_{fw} \leq 900$
DW500	$400 < R_{fw} \leq 500$	DW1000	$900 < R_{fw} \leq 1100$
DW600	$500 < R_{fw} \leq 600$	DW1100	$1100 < R_{fw} \leq 1200$
DW700	$600 < R_{fw} \leq 700$	DW1200	$1200 < R_{fw} \leq 1300$
DW800	$700 < R_{fw} \leq 800$	DW1300	$1300 < R_{fw} \leq 1400$
a) 无论是台背回填、软基换填、拓宽路基还是边坡防护等, 泡沫轻质土均在潮湿环境中使役, 在地基沉降和承载力验算时, 应采用湿密度。			

4.2.3 体积吸水率

公路工程泡沫轻质土按体积吸水率划分为5个等级, 采用符号W表示, 详见表3所示。

表3 泡沫轻质土体积吸水率等级

吸水率等级	W3	W10	W15	W20	W25
体积吸水率 w_t (%)	$w_t \leq 5$	$5 < w_t \leq 10$	$10 < w_t \leq 15$	$15 < w_t \leq 20$	$20 < w_t \leq 25$

受地下水或渗水作用时, 应对泡沫轻质土的吸水率提出明确要求, 并做好地下水位线以下或有渗水作用的处治设计。

- 1) 当填筑结构处于地下水位以上, 且无渗水接触时, 泡沫轻质土的体积吸水率等级不宜大于W25;
- 2) 当填筑结构处于地下水位以上, 有渗水接触, 且有防水处理时, 泡沫轻质土的体积吸水率等级不宜大于W20;
- 3) 当填筑结构处于地下水位以上, 有渗水接触, 且无防水处理时, 泡沫轻质土的体积吸水率等级不宜大于W15;
- 4) 当填筑结构处于地下水位以下, 有防水处理时, 泡沫轻质土的体积吸水率等级不宜大于W10;
- 5) 当填筑结构处于地下水位以下, 无防水处理时, 泡沫轻质土的体积吸水

率等级不宜大于 W5。

4.2.4 流值

施工现场，浇筑管口量取泡沫轻质土的流值应为 170mm±10mm。

4.2.5 抗冻等级

公路工程泡沫轻质土抗冻性划分为 5 个等级，采用符号 F 表示，详见表 4 所示。

表4 泡沫轻质土抗冻等级

等级	F10	F20	F30	F40	F50
冻融次数	<20	20~30	30~40	40~50	>50

4.3 配合比

4.3.1 一般规定

4.3.1.1 泡沫轻质土的配合比设计应满足抗压强度、湿密度、流值和吸水率要求。

4.3.1.2 采用体积法设计，单位体积泡沫轻质土所需泡沫体积(V_f)按式(3-1)计算：

$$V_f = \left(1 - \frac{R_c}{\rho_c} - \frac{R_w}{\rho_w} \right) \tag{3-1}$$

式中： V_f ——单位体积泡沫轻质土中泡沫体积含量（ m^3 ）；

R_c ——单位体积泡沫轻质土中水泥的质量（kg）；

R_w ——单位体积泡沫轻质土中水的质量（kg）；

ρ_c ——水泥的表观密度（ kg/m^3 ），一般取 $3000 \text{ kg}/\text{m}^3 \sim 3100 \text{ kg}/\text{m}^3$ ；

ρ_w ——水的密度（ kg/m^3 ），取 $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

4.3.1.3 泡沫轻质土试配强度应满足式（3-2）的要求：

$$f_{cu,28d} \geq 1.15 f_{cu,k} \text{ 且 } f_{cu,7d} \geq 0.50 f_{cu,k} \tag{3-2}$$

式中： $f_{cu,k}$ ——泡沫轻质土强度等级（MPa）；

$f_{cu,28d}$ ——泡沫轻质土 28d 设计抗压强度（MPa）；

$f_{cu,7d}$ ——泡沫轻质土 7d 设计抗压强度（MPa）。

4.3.1.4 泡沫轻质土的流值应符合 3.3.5 的要求。

4.3.1.5 泡沫轻质土抗压强度试件尺寸为 100mm×100mm×100mm 立方体。

4.3.2 配合比计算

4.3.2.1 根据设计要求确定泡沫轻质土的强度等级（ $f_{cu,k}$ ）和湿密度（ R_{fw} ）。

4.3.2.2 根据 3.4.1.3 的公式（3-2），计算配合比设计强度（ $f_{cu,28d}$ ）。

4.3.2.3 粉水比（ b ）是指水泥、矿物掺和料等粉料与水的比值，按式（3-3）计算，按表 5 取值。

$$b = \frac{R_c}{R_w} \quad (3-3)$$

表5 泡沫轻质土水粉比的取值

强度等级	^a CF 0.6~0.8	^b CF 0.8~1.0	^c CF 1.0~1.2	^d CF 1.2~3.0
粉水比/ b	1.4	1.6	1.8	2.2

4.3.2.4 根据公式（3-4），计算 R_w 。

$$R_w = \frac{\rho_c \cdot (R_{fw} - \kappa \cdot \rho_f)}{(1+b) \cdot (\rho_c - \kappa \cdot \rho_f)} \dots\dots\dots (3-4)$$

式中： R_{fw} ——泡沫轻质土设计湿密度（kg/m³）；

κ ——泡沫富于系数，夏季高温一般取上限1.4，冬季低温一般取下限1.1；

ρ_f ——气泡群密度（kg/m³），一般为50 kg/m³±5 kg/m³；

b ——粉水比。

注：此公式仅限于纯水泥配合比设计，如有矿物掺和料，可按等量取代水泥方法计算。

4.3.2.5 根据 R_w 和公式（3-4），计算 R_c 。

4.3.2.6 根据 R_{fw} 、 R_w 、 R_c 和公式 (3-5)，计算单位体积泡沫轻质土中泡沫质量 R_f 。

$$R_{fw} = (R_w + R_c + R_f) \dots\dots\dots (3-5)$$

4.3.2.7 当掺入一定量矿物掺和料时，不同矿物掺和料的掺量应根据泡沫轻质土的性能通过试验确定。一般大气环境作用下，用于泡沫轻质土中的矿物掺和料粉料总量的最大百分率（等量取代），宜按表 6 控制。

表6 泡沫轻质土中矿物掺和料等量取代水泥的最大用量

矿物掺和料	粉煤灰	粒化高炉矿渣粉	复合矿物掺和料
取代普通硅酸盐水泥 (%)	25	30	35
取代硅酸盐水泥 (%)	30	35	40

4.3.3 配合比试配与验证

4.3.3.1 根据 3.4.2 计算水泥、水及泡沫质量；当有矿物掺和料掺入时，可按水泥质量等质量百分比取代计算。

4.3.3.2 按配比称量水泥（矿物掺和料）和水用于水泥稀浆的制备，水泥稀浆制备应符合《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》（JTG E30）的规定。

4.3.3.3 泡沫各项指标应符合本规程 3.2.3 的规定，宜在 30min 内与水泥稀浆均匀混合。

4.3.3.4 浆料与泡沫混合时，宜采用高压混合器混合；当采用搅拌混合时，搅拌机转速不应小于 90r/min，混合搅拌时间宜为 3min~5min。

4.3.3.5 测量新拌泡沫轻质土的流值是否满足本规程 3.3.5 的规定；如果不满足，泡沫按 $\pm 0.02 R_f$ 或粉水比按 ± 0.1 差额调整，重新计算，拌和泡沫轻质土，直至流值满足 3.3.5 要求为止。

4.3.3.6 应进行消泡试验，测定湿密度增加率及标准沉降距，如果湿密度增加率大于 10%或标准沉降距大于 5mm，则重新选择新的水泥、粉煤灰或者泡沫剂进行重新开始试配。

4.3.3.7 泡沫轻质土抗压强度检验，龄期至少包含 7d 和 28d 抗压强度。

4.3.3.8 仅当强度、湿密度、流值和吸水率满足设计要求时，该配合比可作为施工配合比，否则，应该降低泡沫掺量，重新进行试配试验。

4.3.3.9 配合比试配试验应在监理见证下，由施工单位进行，完成后，应由中心试验室验证合格后，方可指导施工使用。

5 工程设计

5.1 一般规定

5.1.1 设计前，应全面调查工程所在地自然条件、工程地质条件和地下构件，全面筹集工程区域的地质、水文、地形、地貌、气象等资料，了解地下涵洞、管线等埋设情况。

5.1.2 设计应根据使用功能要求和环境条件具体明确泡沫轻质土的强度等级、湿密度等级、体积吸水率等级和其他性能指标，见表 7。

表 7 工程设计要求

使用目的	设计项目	设计内容	主要设计指标
减轻荷重或 土压	性能设计	明确物理力学性能指标	湿密度、抗压强度、吸水率及 耐久性
	形态设计	确定填筑形状、空间范围和构造细节	稳定性验算指标
	辅助工程设计	护壁、防排水、抗滑锚固、隔离金属网及内部构造设计	无
空洞或狭小 空间填充	性能设计	明确物理力学性能指标	湿密度/抗压强度
	形态设计	以填充饱满为原则	无
	辅助工程设计	无	无

5.1.3 软基换填时，应计算地基的沉降变形量，并验算地基承载力要求，地基沉降和承载力验算时，泡沫轻质土的设计湿密度、抗剪强度、接触面的摩擦系数等指标按 JTG D30 取值。

5.1.4 路堤填筑时,应根据公路等级、荷载条件、填筑部位等合理设计湿密度、抗压强度等级等指标。

5.1.5 受地下水位影响时,应对泡沫轻质土构筑物进行抗浮计算,抗浮安全系数要求 $F_s \geq 1.2$, 根据抗浮系数、地下水位高度和结构参数可计算泡沫轻质土最小允许密度。

$$F_s = \frac{R_{fw}gH + 1000\sigma_P}{\rho_w gh} \geq 1.2$$

式中 F_s ——抗浮系数;

R_{fw} ——泡沫轻质土湿密度 (kg/m^3);

H ——泡沫轻质土填筑高度 (m);

h ——泡沫轻质土填筑体在地下水位线以下的总高度 (m);

σ_P ——泡沫填筑体顶部的总荷载 (kPa);

ρ_w ——水的表观密度, 取 $1000\text{kg}/\text{m}^3$;

g ——重力加速度, 取 $9.8\text{N}/\text{kg}$ 。

5.1.6 受地下水或渗水作用时,应对泡沫轻质土的吸水率提出明确要求,并做好地下水位线以下或有渗水作用的处治设计。

5.1.6.1 当填筑结构处于地下水位以上,且无渗水接触时,泡沫轻质土的体积吸水率等级不宜大于 W25。

5.1.6.2 当填筑结构处于地下水位以上,有渗水接触,且有防水处理时,泡沫轻质土的体积吸水率等级不宜大于 W20。

5.1.6.3 当填筑结构处于地下水位以上,有渗水接触,且无防水处理时,泡沫轻质土的体积吸水率等级不宜大于 W15。

5.1.6.4 当填筑结构处于地下水位以下,有防水处理时,泡沫轻质土的体积吸水率等级不宜大于 W10。

5.1.6.5 当填筑结构处于地下水位以下，无防水处理时，泡沫轻质土的体积吸水率等级不宜大于 W5。

5.1.7 设计时，严禁泡沫轻质土直接暴露空气中，应做好封闭措施。

5.2 减轻荷重

5.2.1 当无地下水或渗水作用时，用于减轻荷重或土压的泡沫轻质土，主控指标为抗压强度和湿密度，详见表 7 所示。

表8 用于减轻荷重或土压泡沫轻质土强度等级与湿密度技术要求

公路等级	部位	强度等级	湿密度 (kg/m ³)
高速公路、一级公路和城市快速路	距离顶面 0m~0.8m	≥CF1.0	DW700
	距离顶面 0.8m 以下	≥CF0.8	DW700、DW600
二级公路、城市次干道及其他公路	距离顶面 0m~0.8m	≥CF0.8	DW600
	距离顶面 0.8m 以下	≥CF0.6	DW600、DW500

5.2.2 当有地下水或渗水作用时，用于减轻荷重或土压的泡沫轻质土，除满足 4.2.1 要求外，尚应满足表 8 技术要求。

环境作用		高速公路、一级公路和城市快速路		二级公路、城市次干道及其他公路	
		强度等级	湿密度 (kg/m ³)	强度等级	湿密度 (kg/m ³)
地下水位以上	有渗水接触，有排水措施	≥CF0.8	DW700、DW600	≥CF0.6	DW600、DW500
	有渗水接触，无排水措施	≥CF1.0			
地下水位以下	地下水位以下不超过3m，有防水处理	≥CF0.8	$DW700 \leq R_{fw} < 1.1 \rho_w$	≥CF0.8	$DW600 \leq R_{fw} < 1.1 \rho_w$
	其他	≥CF1.0	$DW900 \leq R_{fw} < 1.5 \rho_w$	≥CF1.0	$DW900 \leq R_{fw} < 1.5 \rho_w$

注：① 渗水系降雨或人工临时排水等地表水由缝隙下渗形成的自由水；② 防水措施是指能隔离渗水

对泡沫轻质土的直接浸泡；③ 仅当泡沫轻质土处于地下水位以下且不设防水措施时，才按照地下水位以下条件确定湿密度、允许湿密度和最小抗压强度。

5.2.3 软基换填

5.2.3.1 软土地基上填筑泡沫轻质土时，应以不在施做软基深层处理为优先原则。

5.2.3.2 应控制恭候沉降满足规范要求，如无法满足要求，可适当向原地面以下换填，但换填深度超过 2.5m 时，宜考虑软深层处理取代换填。

5.2.3.3 工后沉降计算，除应符合 JTG D30 外，尚应遵循以下原则：

- (1) 总沉降修正系数宜取1.1。
- (2) 基底压力计算时，宜采用分层总和法计算。

5.2.3.4 稳定性计算时，泡沫轻质土的内聚力宜取 120kPa，内摩擦角宜取 2° 。

5.2.3.5 如与常规路基连接，常规路基的软基处理范围应至泡沫轻质土路基纵向基底边界；宜在常规路基填筑完毕、预压结束后，方能施工相邻的泡沫轻质土路基。

5.2.3.6 软土地基上的泡沫轻质土路基，基底宜设置必要的垫层，厚度不宜小于 200mm；如不设置垫层，泡沫轻质土路基高度不应小于 3m。

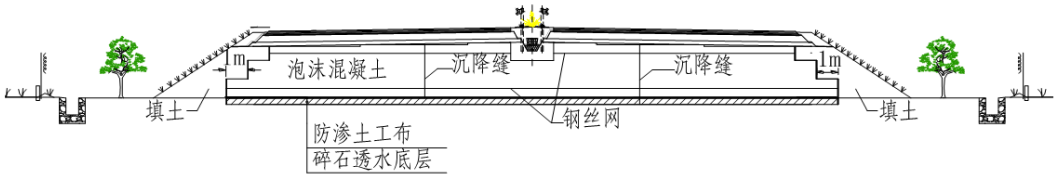


图1 泡沫轻质土路堤台阶式浇筑放坡形式

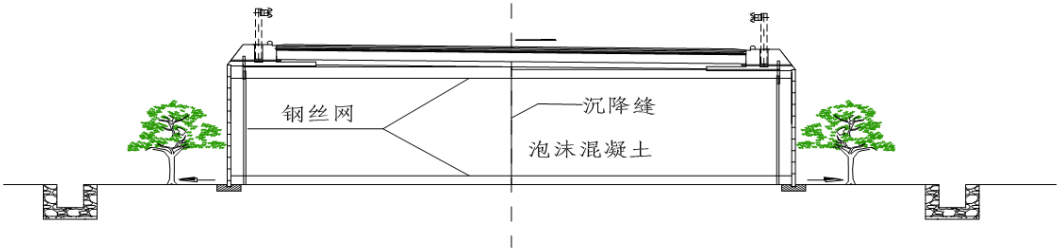


图2 泡沫轻质土路堤直立支护形式

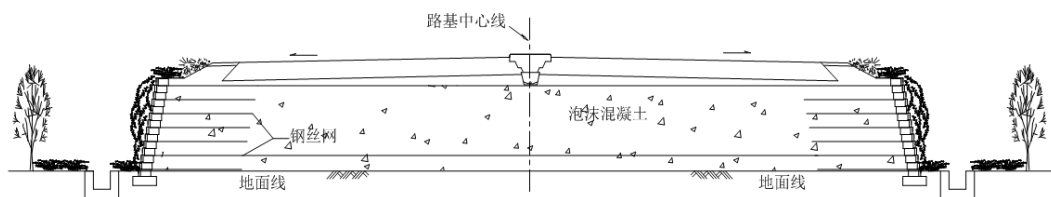


图3 泡沫轻质土路堤陡坡支护形式

5.2.4 台背回填

施工组织方面深入考虑公路工程施工标准,对于台背回填时指出普通路基压实标准和台阶施工标准,如图 1 所示情况,对于改扩建项目指出新建路段路基压实标准和台阶施工标准。

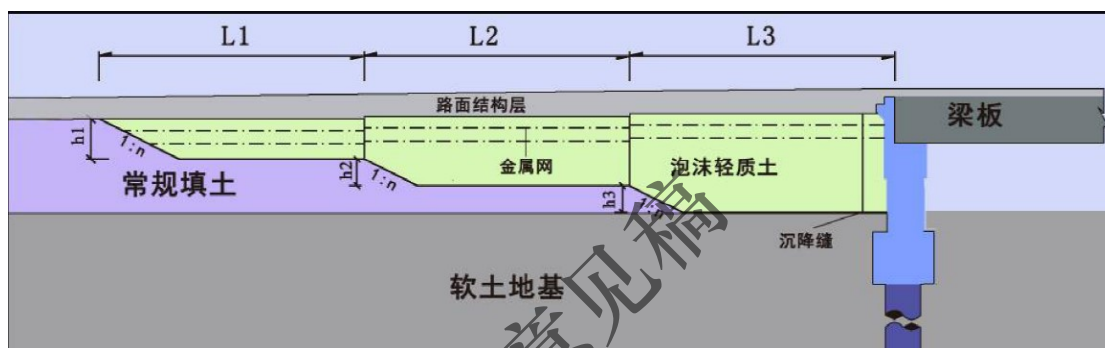


图 4 软基路段桥梁台背台阶施工组织示意图

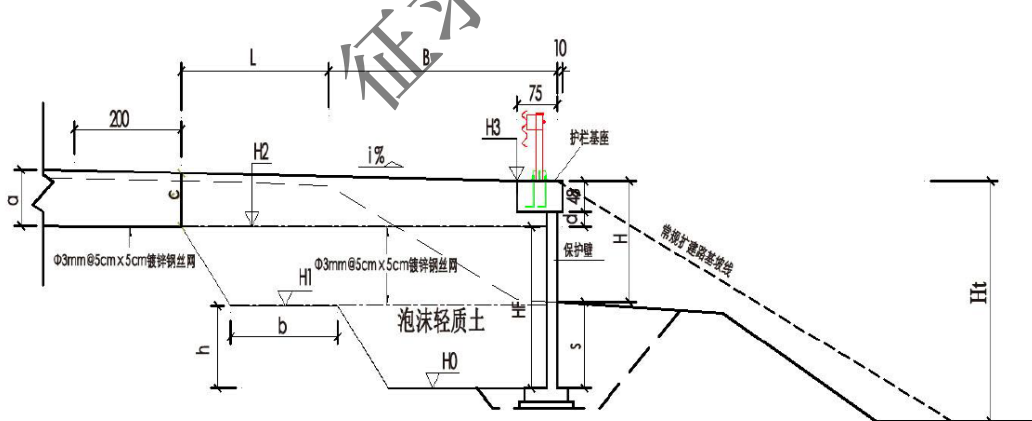


图 5 改扩建路基台阶施工组织示意图

5.2.4.1 泡沫轻质土用于软土地区桥头背部路堤浇筑时,路堤纵向宜采用台阶式过渡形式,且纵向过渡分级长度 $L_i \geq 10\text{m}$;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 0.3m。

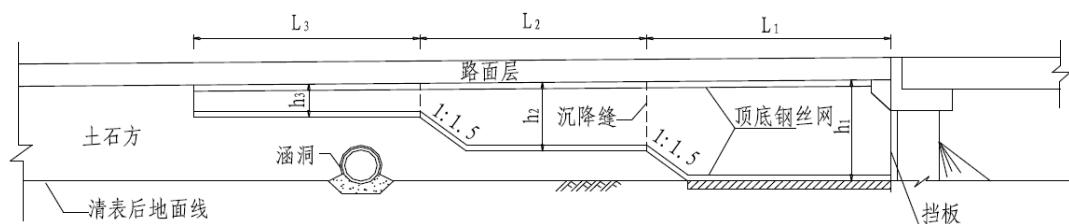


图 6 软基路段桥梁台背台阶过渡形式示意图

5.2.4.2 泡沫轻质土填筑体与普通路基的衔接高度大于 2 同时，宜采用台阶形式。

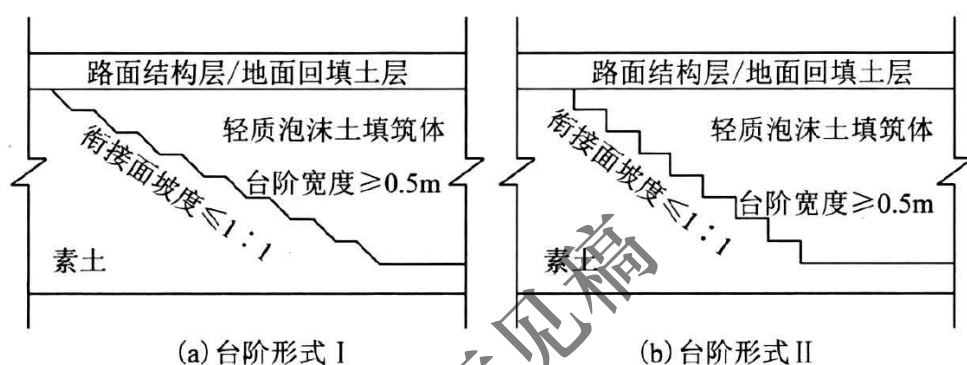


图 7 泡沫轻质土填筑体与普通路基的衔接

5.2.4.3 泡沫轻质土路基与桥台背的衔接宜采用直立浇注形式；也可采用台阶式浇筑放坡形式。

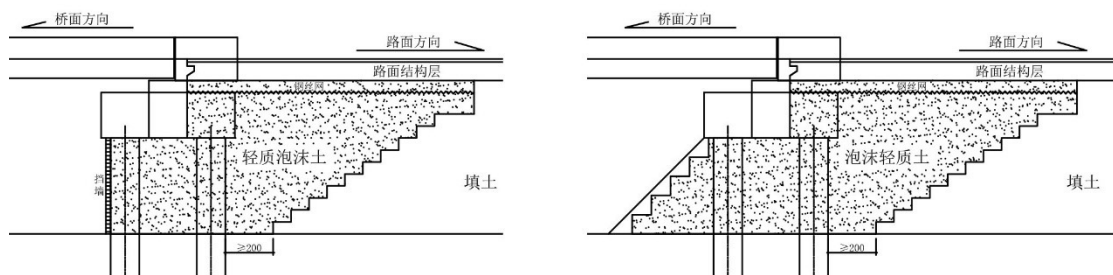


图 8 泡沫轻质土路基与桥台背的衔接

5.2.5 道路加宽

5.2.5.1 收集原有公路勘察设计、竣工图和养护等方面资料，查明既有路堤的地基处理方案、填料性质、压实度、路堤沉降变形及边坡稳定状况等。

5.2.5.2 核查既有路堤及拓宽场地内的通道、管线及排水设施的使用状况，并在此基础上分析拓宽路基对既有路堤、现有管线、防护、排水设施等功能的影响。

5.2.5.3 泡沫轻质土拓宽路堤，除应对路堤堤身稳定性、路堤和地基的整体稳定性作圆弧滑动验算外，尚应按式 4.3.4.3 沿新老路基结合面做滑动的稳定性验算，并可按下式计算：

$$F_s = \frac{M_1 + M_2 + \cos \theta}{N_1 \cos \theta} = \frac{\mu W_1 + \mu W_2 + \cos \theta \cos \theta}{W_2 \sin \theta \cos \theta} \geq 1.3 \quad (\text{式 4.3.4.3})$$

公式中：

M_1 ——坡前泡沫土轻质在底面上产生的滑动抵抗力(kN/m)；

M_2 ——坡面上泡沫轻质土沿斜面方向产生的滑动抵抗力(kN/m)；

θ ——斜坡的角度 (°)；

N_1 ——坡面上泡沫轻质土沿斜面方向的滑动力(kN/m)；

μ ——坡面上(或坡前)泡沫轻质土底面与天然坡或基础地基的摩擦系数；

W_1 ——坡前泡沫轻质土的自重及路面荷重(kN/m)；

W_2 ——坡面上泡沫轻质土的自重及路面荷重(kN/m)。

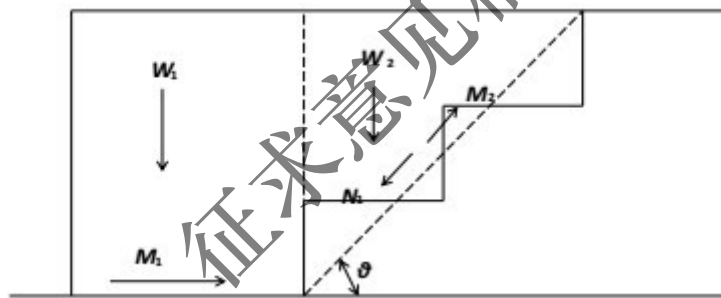


图 9 泡沫轻质土拓宽路堤抗滑稳定性验算

5.2.5.4 拓宽路堤和原有路基之间应控制差异沉降并保持良好衔接；新老路基宜采用台阶拼接，开挖坡率宜缓于 1:1.0，横向台阶宽度不宜小于 1m，坡率适当内倾，坡度 2%~4%为宜。路堤拼接顶部应采用铺设土工合成材料等增强措施。

5.2.5.5 拓宽路堤应做好排水设计，应考虑既有公路的中央分隔带及路面排水设施，做好横穿路基管线的预埋设计；泡沫轻质土底部可增设碎石盲沟，以排除路基地底部积水。

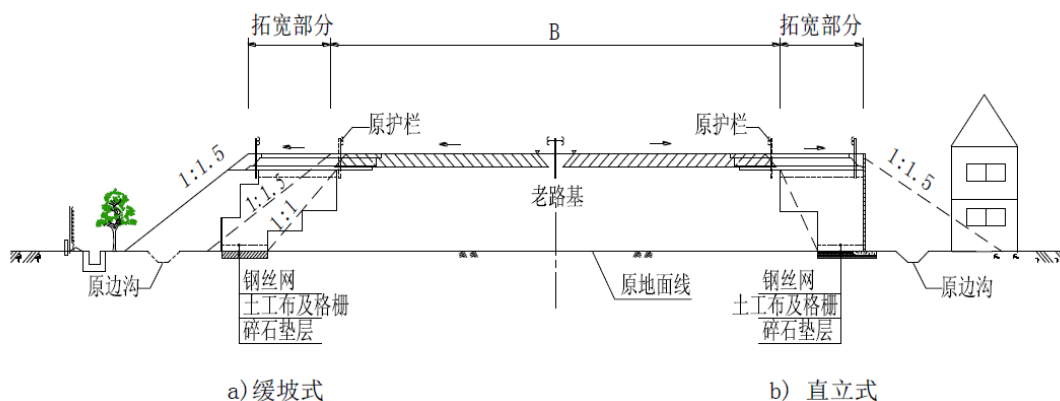


图 10 泡沫轻质土应用于路堤拓宽基本形式

5.2.5.6 当用地受限时，泡沫轻质土路堤边坡可采用陡坡防护形式。

5.2.5.7 陡坡高路堤拓宽时，为提高泡沫轻质土浇筑体抗滑移和抗倾覆安全度，应满足 $L \geq 2m$ 且 $L \geq 0.25H$ ，具体宽度可结合浇筑体抗滑移验算确定。

5.2.5.8 软土地基拓宽路堤设计要求：

- 拓宽部分路基工后沉降控制标准应满足 JTG D30 规定要求；
- 在采取等载或超载预压处理时，根据实测沉降速率结合计算分析合理确定二次开挖施工泡沫轻质土方案；
- 沿河塘、傍山、高填土、深厚软土地基拓宽路段可采用泡沫轻质土与柔性桩或刚性桩复合地基等处理方案相结合；
- 泡沫轻质土换填时，其底部排水垫层可与既有软基处理的褥垫层厚度相结合，并在垫层内铺置土工格栅；
- 设计规定的软土地基拓宽路堤施工期末沉降速率控制标准应与老路堤的沉降速率预测值一致。

5.2.6 斜陡坡、滑坡地段

5.2.6.1 斜陡坡、滑坡区域处治设计要求：

- 勘察设计阶段应评估场地范围及周边不良地质与浇筑结构体之间的相互作用和稳定性影响，轻质泡沫土处治方案宜与其他方案进行技术经济综合比选；
- 轻质泡沫土浇筑体在滑坡体上方通过时，应少占地，少破坏，并根据路堤稳定验算结果，做好滑坡体下方的固脚反压措施，将基础落在稳固的地基上，同

时应结合排水等其他工程措施进行综合治理；

c) 路堤滑坡处治应将开挖范围的既有路堤滑动面修整成为台阶状，台阶宽度不应小于 2m，坡率适当内倾，坡度 2%~4%；

d) 斜坡上浇筑轻质泡沫土时，应采用台阶式浇筑，浇筑体底部基础宽度应满足 $L \geq 2m$ 且 $L \geq 0.25H$ ，基础外侧襟边宽度和其他台阶宽度不应小于 1m。

e) 轻质泡沫土用于路堤滑坡区段抢险加固时，设计应明确滑塌体清理、排水措施和浇筑体基础处理等要求。浇筑体基础下方可埋置渗水盲沟或支撑渗沟等排水体系。

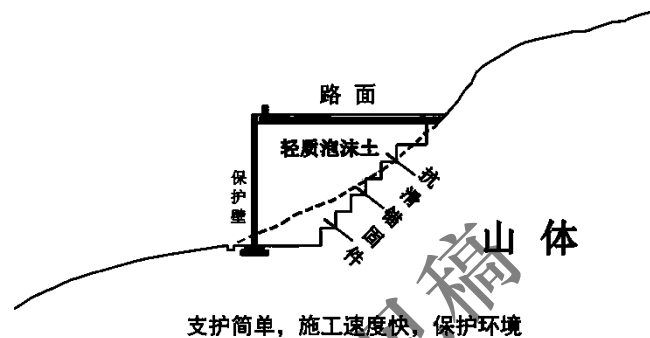


图 11 陡峭、滑坡路段填筑示意图

5.2.6.2 崩塌区域处治设计要求

- a) 轻质泡沫土应用于崩塌路段时，应查明已发生的崩塌类型、范围、成因及对公路的危害程度。
- b) 轻质泡沫土用于崩塌区域回填之前，应验算场地稳定性以及回填体的抗滑移、抗倾覆稳定性；
- c) 轻质泡沫土用于崩塌回填时，应做好防排水设计；
- d) 边坡坡面局部塌方空腔或超挖凹陷可采用轻质泡沫土作为调平层。
- e) 隧道施工中塌方、冒顶处可采用轻质泡沫土整体灌浆填筑密实，轻质泡沫土设计强度不应低于 C1.5，轻质泡沫土固化且强度实测达到 1.0MPa 以上后，可在轻质泡沫土中再重新开挖、掘进隧道。

5.3 人工山体

5.3.1 隧道坑口

5.3.1.1 涵顶减载处治设计要求如下：

- a) 深厚软土地区既有道路纵坡加大时，涵洞或通道范围可采用轻质泡沫土进行置换减载处理；
- b) 当涵洞或通道上方填筑荷载比较高时，可通过轻质泡沫土减载降低结构物的侧压力，同时降低地基承载力要求；
- c) 用于涵管顶部减载换填时，涵顶路堤荷载应小于涵管结构设计承载力的 0.9 倍。

5.3.1.2 隧道洞顶脱空与明洞回填隧道洞顶脱空与明洞回填处治设计要求如下：

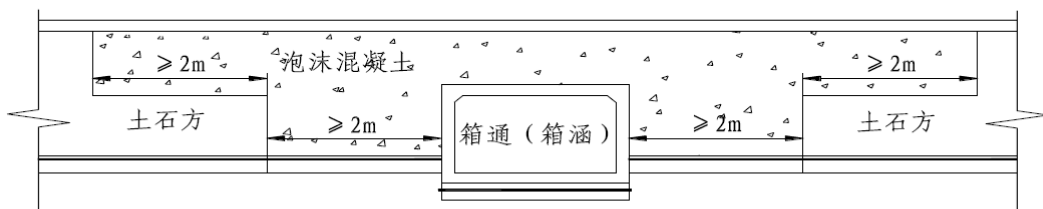
- a) 隧道洞顶塌方或脱空时，可采用轻质泡沫土填充衬砌背部空腔；
- b) 当洞口仰坡开挖较高时，明洞上方可采用轻质泡沫土回填。

5.3.2 穿路涵管

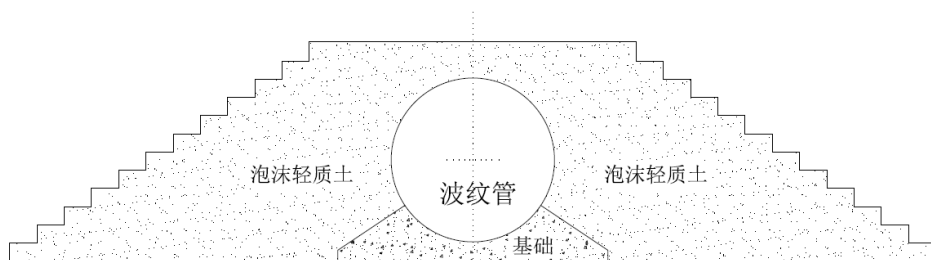
5.3.2.1 泡沫轻质土用于涵管背部路堤浇筑时，浇筑方式可分为全路堤换填、涵背局部换填等两种方式。



a) 涵洞路段路堤全部换填泡沫混凝土



b) 涵洞背部局部换填泡沫混凝土



c) 涵管背部局部填筑泡沫轻质土

5.4 空洞填充

5.4.1 溶洞、采空区、废弃坑洞

5.4.1.1 当泡沫混凝土路基应用遇到下部有溶洞、采空区、废弃坑洞路段时，应调查岩溶地貌的发育特征或采空区、废弃坑洞的性质及范围，并分析评估泡沫混凝土回填的可行性；

5.4.1.2 泡沫混凝土可用于开挖回填、充填、注浆、板跨结合减轻堆载等措施；

5.4.1.3 路基范围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，泡沫混凝土抗压强度等级宜采用 CF0.4~CF0.6；

5.4.1.4 岩溶区域地表水宜采用渗沟、排水沟将水截留至路基外；

5.4.1.5 当废弃坑洞地质条件不好的情况或者上部承载力过大的地方，泡沫混凝土灌浆浇筑的分割缝宜用钢筋混凝土挡墙来代替支模；

5.4.1.6 当洞体庞大或深度较深时，应在稳定评价基础上，采用钢筋混凝土板块跨越，同时上部可采用泡沫混凝土；对于有顶板但顶板强度不足的干溶洞，可予以加固，提高强度后，上部采用泡沫混凝土路堤。

5.4.2 隧道洞顶脱空与明洞回填

5.4.2.1 隧道洞顶塌方或脱空时，可采用泡沫混凝土填充衬砌背部空腔；

5.4.2.2 当洞口仰坡开挖较高时，明洞上方可采用泡沫混凝土回填。

5.4.3 崩塌

5.4.3.1 泡沫混凝土应用于崩塌路段时，应查明已发生的崩塌类型、范围、成因及对公路的危害程度。

5.4.3.2 泡沫混凝土用于崩塌区域回填之前，应验算场地稳定性以及回填体的抗滑移、抗倾覆稳定性；

5.4.3.3 泡沫混凝土用于崩塌回填时，应做好防排水设计；

5.4.3.4 边坡坡面局部塌方空腔或超挖凹陷可采用泡沫混凝土作为调平层。

5.5 附属工程

5.5.1 基础与挡板、挡墙

5.5.1.1 基础和挡板应按 10m~15m 间距设置沉降缝，其位置宜与填筑体沉降缝对应。

5.5.1.2 基础应采用水泥混凝土现浇，强度等级不低于 C15。

5.5.1.3 挡板应满足安全、耐久和美观要求，道路加宽深度 5 米以内的，宜采用水泥混凝土浇筑或预制，强度等级不宜小于 C20。

5.5.1.4 挡墙应满足安全、耐久和美观要求，道路加宽深度 5-10 米的，宜采用钢筋混凝土现场制作浇筑，根据不同临渊的深度选择不同的厚度，一般规定厚度是 20 公分、40 公分等级别，强度等级不宜小于 C20。道路加宽深度 10 米以上的应在挡墙底部做桩基处理，挡墙底部向山体一侧做成“L”形状。挡墙顶部预留防撞护栏的钢筋焊接接头等。

5.5.1.5 挡墙两端应与原有的重力式挡墙或者原有的山体进行焊接与锚固连接等。

5.5.2 填筑体沉降设置

5.5.2.1 当填筑体长度超过 15m 时，应在突变位置增设沉降缝，缝宽不宜小于 10mm；

5.5.2.2 沉降缝填缝材料宜采用 20mm~30mm 厚的聚苯乙烯板或 10mm~20mm 厚的夹板。

5.5.3 金属钢丝网

5.5.3.1 钢丝网可采用钢丝焊接而成，钢丝直径不宜小于 3.2mm，孔径不宜大于 100mm。

5.5.3.2 当填筑高度小于 5m 时，应分别在填筑体底部、顶部 0.5m 以内位置设置一层钢丝网。

5.5.3.3 当填筑高度为 5m~12m 时，应分别在填筑体底部、顶部 1m 以内位置设置二层钢丝网。

5.5.3.4 当填筑高度大于 12m 时，除应按本条第 3 款的规定设置外，还应每隔 5m 二层钢丝网。

5.5.3.5 相邻两层钢丝网间距宜为 30cm~50cm，搭接部位应错开 50cm 以上。相邻两块钢丝网的搭接宽度不宜小于 20cm，宜采用钢丝绑扎。

5.5.4 防渗土工膜

5.5.4.1 根据填筑体与地下水位及渗水作用，当有渗水作用或处地下水位以下时，应采用防渗土工膜包裹泡沫轻质土。

5.5.4.2 防渗土工膜应采用 GH-1 型聚乙烯土工膜，其基本性能指标应满足表 9 技术要求。

表9 防渗土工膜的技术要求

序号	技术指标	规定值
1	厚度mm	≥0.5
2	密度kg/m ³	≥900
3	破坏拉应力MPa	>12
4	拉伸屈服强度（纵横）N/mm	>7
5	拉伸断裂强度（纵横）N/mm	>10
6	断裂伸长率（纵横）%	>300
7	抗渗强度	在1.05MPa水压力时，48h不渗水
8	渗透系数cm/s	<10 ⁻¹¹

6 浇筑与养护

6.1 浇注区及浇注层划分

6.1.1 浇注区之间采用 10mm~20mm 厚的木夹板作为模板进行分割，泡沫轻质土浇注后木夹板不再取出，分割缝兼作变形缝。单层立模高度 1.2m~1.5m，当浇

注高度距模板顶部小于 300mm 时，支护下一层分割模板。为节约工程成本，可采用回收建筑木模板作为分割夹板材料。

6.1.2 泡沫轻质土单层浇注厚度 0.5m~0.8m 为准，在金属网铺设面必须为浇注层的分界面。

6.1.3 单个浇注区内单个浇注层，从开始浇注到结束 3h 内浇注完毕，且单个浇注层浇注方量不过 200m³ 为控制标准。

6.2 设备调控

6.2.1 轻质泡沫土设备应符合以下要求：

6.2.1.1 泡沫轻质土制作设备应具有原材料的配料和自动化计量功能，在拌合制作泡沫轻质土时，应能调节水泥浆或泡沫流量；

6.2.1.2 泡沫轻质土在拌合制作过程中，材料的计量偏差应满足表 10 的要求；

表10 设备计量偏差

原材料	计量偏差
水泥、掺和料	± 2 %
细集料	± 2 %
水、外加剂	± 2 %

6.2.1.3 拌合制作成型过程中，搅拌时间应确保各组分混合均匀；

6.2.1.4 水泥浆在储存装置中停滞时间不易超过 2h；

6.2.1.5 设备浇筑管口取料时，上管口与下管口取料湿容重偏差应小于 1%。

6.2.2 泡沫轻质土设备应符合以下要求：气泡群应采用发泡设备预先制取，不宜采用搅拌方式制取气泡群。

6.2.3 泡沫群应与水泥基浆料混合均匀，新拌泡沫轻质土在泵送设备、泵送管道中的停滞时间不宜超过 1h。

6.2.4 单级配管泵送范围应根据配合比、泵送距离及泵送高度确定。水平泵送距离及垂直泵送高度宜按表 10 的规定执行。当泵送范围超过表 11 的规定时，可增加中继泵。

表11 水平泵送距离与垂直泵送高度

s/c	水平泵送距离（m）	垂直泵送高度（m）
0	400 ~ 500	20 ~ 30
1		
2	300 ~ 400	10 ~ 20
3		
4	100 ~ 200	0 ~ 10
5		

6.2.5 设备的维修保养：每次施工完毕后应立即清洗设备，凿除硬化了的水泥块，加润滑油。现场配备足量的易损件，及时更换损毁件，严禁设备带病工作。

6.3 浇注

6.3.1 泡沫土浇注施工前，应对浇注区基底进行检查，确保基底无杂物，无积水；

6.3.2 同一区段上下相邻浇注层，浇注间隔时间应以下层浇注层已经硬化为控制标准，不宜少于 6h。

6.3.3 每一浇注层应在水泥浆初凝时间内浇注完毕，浇注时间不宜超过 3h；水泥浆自制备完成到开始制备泡沫土的间隔时间最大不应超过 3h。

6.3.4 应沿浇筑区长轴方向自一端向另一端浇筑；如采用多条浇注管浇注时，则可并排地从一端开始浇注，或采用对角的浇注方式。

6.3.5 浇筑过程中，当需要移动浇注管时，应沿浇注管放置的方向前后移动，而不宜左右移动浇注管；如确实需要左右移动浇注管，则应将浇注管尽可能提出当前已浇筑泡沫土表面后再移动。

6.3.6 浇注过程中，浇注管出料口应离当前浇注面的高差最大不应超过 50cm，应尽量减少在浇注层中的扰动。

6.3.7 每次正式开工配料前，必须先通过调节发泡液控制系统和压缩空气控制系统调整气泡的密度，确定泡沫密度应符合 5.4 的规定。

6.3.8 控制流值符合设计要求，现场取样用游标卡尺量测，频率与湿密度的检测频率一致。

6.3.9 当前浇注层浇注接近结束时，应在浇注层内按规定频率进行湿密度取样检测，当某一测点检测不合格，应找出测点周围界限，进行局部处理。

6.4 养护与维护

6.4.1 泡沫土浇注至设计高程后，应及时铺设土工膜，如不能及时铺设土工膜，则应采用塑料薄膜或针刺土工布进行表面覆盖，以对泡沫土填筑体进行保湿养护，且不宜少于 7d。

6.4.2 冬季施工（参照附件冬季施工养护资料）

6.4.2.1 泡沫轻质土施工在日平均温度低于 5℃时，应采取必要的冬季施工措施。

6.4.2.2 施工停止后，及时放空管路、设备内的积水，防止结冰冻胀破坏。

6.4.2.3 保证泡沫剂温度，将施工时要使用的泡沫剂提前放置在暖棚或空调房内，保证温度不低于 5℃。

6.4.2.4 覆盖保温，泡沫轻质土浇筑完成的区域，表面及时用薄膜和防渗土工布进行覆盖，覆盖完成之后加强管养。

6.4.2.5 当现场平均温度低于 5℃时，浇筑区域应搭设暖棚，并采取加热和蒸汽发生器对成品进行养护。

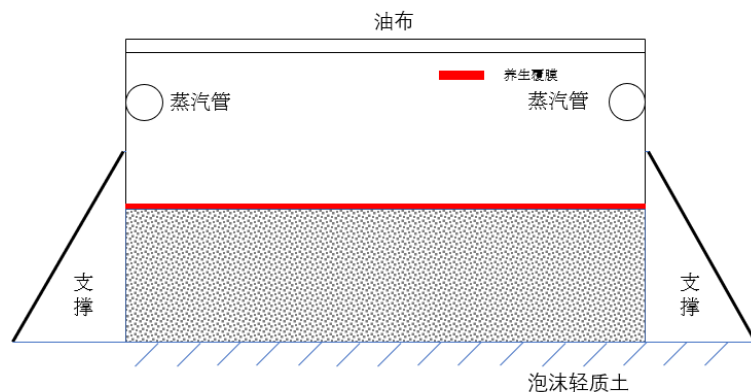


图13 暖棚养护示意图

6.4.3 雨季施工

6.4.4 在养护期内，严禁在泡沫土堆放重物或其他荷载，在工期特别紧迫时，强度至少不应低于 0.4MPa，方可负重；施工下一道工序和路基层施工等大型设备进行摊铺碾压工作时应严格计算承受能力，合理的情况下也应做到谨慎缓行，观察进行。时间短的应当加大表面泡沫混凝土层的容重，并且在表面铺设钢丝网或者钢板，然后铺设碎石混凝土保护，再上大型机械。

7 检验

7.1 原材料检验

7.1.1 日常施工过程中原材料应按表 12 对水泥、粉煤灰、矿粉和泡沫剂的品质进行日常检验和复检，检验结果应满足本规范相关要求。

表12 泡沫轻质土用水泥、粉煤灰、矿粉和泡沫剂施工过程检验要求

检验项目		日常检验		复检	
		项目	频率	项目	频率
水泥	△比表面积	√	(1) 同厂家、同出厂编号、同出厂日期的产品 500 吨/批次，不足上述数量的也按照一批计； (2) 出厂日期达 3 个月；	√	(1) 使用同一厂家、同一品种、同一规格的产品达 6 个月； (2) 新换厂家、品种、规格的产品；
	△凝结时间	√		√	
	△强度	√		√	
	△安定性	√		√	
	标准稠度用水量	√		√	

	碱含量		(3)停工复工达 1 个月。	√	(3)使用同一厂家、同一品种、同一规格的产品,停工复工达 3 个月。
	三氧化硫含量			√	
	氯离子含量			√	
	密度			√	
粉煤灰	△细度	√	(1) 同厂家、同出厂编号、同出厂日期的产品 500 吨/批次, 不足上述数量的也按照一批计; (2)出厂日期达 3 个月; (3)停工复工达 1 个月。	√	(1)使用同一厂家、同一品种、同一规格的产品达 6 个月; (2) 新换厂家、品种、规格的产品; (3)使用同一厂家、同一品种、同一规格的产品,停工复工达 3 个月。
	△烧失量	√		√	
	△需水量比	√		√	
	游离氧化钙含量	√		√	
	△安定性	√		√	
	三氧化硫含量	√		√	
	碱含量			√	
	氯离子含量			√	
	氧化钙含量			√	
矿粉	密度	√	(1) 同厂家、同出厂编号、同出厂日期的产品 500 吨/批次, 不足上述数量的也按照一批计; (2)出厂日期达 3 个月; (3)停工复工达 1 个月。	√	同上
	比表面积	√		√	
	流动度比	√		√	
	活性指数	√		√	
	烧失量			√	
	碱含量			√	
	三氧化硫含量			√	
	氯离子含量			√	
	氧化镁含量			√	
泡沫剂	△泡沫密度	√	(1) 同厂家、同出厂编号、同出厂日期的泡沫剂 30 吨/批次, 不足上述数量的也按照一批计; (2)出厂日期达 3 个月; (3)停工复工达 1 个月。	√	同上
	△湿密度增加率	√		√	
	△标准泡沫 1h 沉降距	√		√	
	△标准泡沫 1h 泌水率	√		√	
	发泡率			√	
	半衰期时间			√	

注：带△的为主控项目。

7.2 新拌泡沫轻质土检验

- 7.2.1 新拌泡沫轻质土试样宜在浇筑管管口制取。
- 7.2.2 新拌泡沫轻质土湿密度检验，湿密度与设计值偏差小于 10%。
- 7.2.3 每次新开盘或中断再浇筑；
- 7.2.4 压力、配合比等变化时，自检一次；
- 7.2.5 连续稳定浇筑每 100m^3 时，自检一次。
- 7.2.6 新拌泡沫轻质土流值检验，满足 3.3.5 要求。
- 7.2.7 每次新开盘或中断再浇筑；
- 7.2.8 压力、配合比等变化时，自检一次；
- 7.2.9 连续稳定浇筑每 100m^3 时，自检一次。
- 7.2.10 当同一个配比连续浇筑少于 200m^3 时，应按照每 100m^3 制取一组试件。
- 7.2.11 当同一个配比连续浇筑大于 200m^3 时，应按照每 200m^3 制取一组试件。
- 7.2.12 泡沫轻质土抗压强度试件尺寸采用 $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 的立方体，试件脱模后，应按本规范附录 C 和附录 E 试验方法，进行容重和强度检验，并填写相应检验报告。

7.3 硬化实体检验

- 7.3.1 现浇泡沫轻质土每一浇注区的顶面应：无贯通纵、横裂缝。
- 7.3.2 表面出现的非受力裂缝宽度应小于 3mm 。
- 7.3.3 表面蜂窝面积应小于总面积的 1%。
- 7.3.4 实测项目允许误差：泡沫轻质土台背回填工程实测项目允许误差应满足表 13 规定。其中，主控项目检验合格率不低于 90%，一般项目合格率不低于 80%。

表13 现浇泡沫轻质土填筑体的实测项目

项次	检查项目	规定值 或允许偏差	检查方法	检查频率
1	抗压强度 (MPa)	$\geq$ 设计值	施工中留件检测 (同条件试件)	每 100m^3
2	体积吸水率	$\leq$ 设计值	施工中留件检测	每 200m^3

3	浇注区顶面高程(mm)	+10, -15	水准仪	每 200m 测 4 断面
4	中线偏位(mm)	50	经纬仪	每 200m 测 4 点
5	宽度(mm)	不小于设计	米尺	每 200m 测 4 处

7.4 资料

- 7.4.1 所用原材料、半成品和成品质量检验结果和出厂合格证。
- 7.4.2 材料配比、拌合加工控制检验和试验数据。
- 7.4.3 施工记录表。
- 7.4.4 各项质量控制指标的试验记录和质量检验汇总图表。
- 7.4.5 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。
- 7.4.6 施工过程中如发生质量事故，经处理补救后达到质量要求的证明文件。

征求意见稿

8 附录

附录 A

(规范性附录)

泡沫性能试验

A.0.1 适用范围

适用于泡沫剂性能检测，测定气泡群密度、标准气泡柱的沉降距和泌水量。

A.0.2 仪器设备

A.0.2.1 发泡装置 1 套；

A.0.2.2 塑料桶 1 个，容积 15L；

A.0.2.3 电子称 1 台，最大量程 2000g，精度 1g；

A.0.2.4 带刻度的不锈钢量杯 2 个，内径 108mm，高 108mm，壁厚 2mm，容积 1L；

A.0.2.5 平口刀 1 把，刀长 150mm；

A.0.2.6 钢直尺 1 把，尺长 150mm，分度值 0.5mm；

A.0.2.7 深度游标卡尺 1 把，精度 0.02mm；

A.0.2.8 方纸片 1 张，边长 50mm；

A.0.2.9 秒表 1 块。

A.0.3 试验材料

A.0.3.1 稀释水 10.0L；

A.0.3.2 泡沫剂 0.5L。

A.0.4 气泡群制取

A.0.4.1 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；

A.0.4.2 启动发泡装置，调节阀门，并观察出口气泡群质量；

A.0.4.3 用量杯在管口接取气泡群，使气泡群充满整个量杯；

A.0.4.4 用平口刀沿量杯杯口平面刮平气泡群。

A.0.5 试验方法

A.0.5.1 气泡群密度试验

(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.0.4 的试验方法制取气泡群，称取其质量 m_1 ，精确至 1g；
- (4) 按下式计算气泡群密度 ρ_f (kg/m^3)：

$$\rho_f = \frac{m_1 - m_0}{v_0} \quad (\text{A.0.5})$$

式中： ρ_f ——气泡群密度 (kg/m^3)，精确至 0.1 kg/m^3 ；

m_1 ——量杯加气泡群质量 (kg)；

m_0 ——量杯质量 (kg)；

v_0 ——量杯体积 (m^3)。

- (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气泡群密度 (kg/m^3)，精确至 0.1 kg/m^3 ；
- (7) 气泡群密度试验应在每次取样后 5min 内完成。

A.0.5.2 标准气泡 1h 沉降距和 1h 泌水量试验

- (1) 称取空量杯 2 质量 m'_0 ，精确至 1g；
- (2) 重复试验 A.0.4 步骤，直到气泡群密度满足 $50\text{kg/m}^3 \pm 2\text{kg/m}^3$ 时为止；
- (3) 用量杯 1 接取标准气泡群，将装满标准气泡群的量杯 1 平放于水平桌面上；
- (4) 将方纸片平放于标准气泡群表面中央，静置时间 1h，用秒表计时，精确至 1min；
- (5) 将钢直尺平放于量杯 1 的杯口中间；
- (6) 用深度游标卡尺量测钢直尺下沿至方纸片的垂直距离，精确至 0.1mm，即为标准气泡柱静置 (1h) 的沉降距 l (mm)；
- (7) 将量杯 1 中分泌的水倒入量杯 2 中，称其质量 m'_1 ，精确至 1g，计算 $(m'_1 - m'_0)$ 即为标准气泡柱静置 (1h) 的泌水量 m' (g)；
- (8) 清洗并擦干仪器设备，重复试验 3~7 步骤两次；
- (9) 取 3 次沉降距试验的算术平均值作为标准气泡柱的沉降距 l (mm)，精确至 0.1mm；
- (10) 取 3 次泌水量试验的算术平均值作为标准气泡柱的泌水量 m' (g)，精确至 1g；
- (11) 标准气泡柱的沉降距及泌水量试验应在每次取样后 70min 内完成。

附录 B

(规范性附录)

适应性试验

B.0.1 适用范围

适用于测定新拌泡沫混凝土经静置 1h 的湿密度变化，原材料的适应性应以湿密度增加值小于 0.6kN/m^3 为界限。

B.0.2.1 发泡装置 1 套；

B.0.2.2 试验用搅拌机 1 台；

B.0.2.3 电子称 1 台，最大量程 2000g，精度 1g；

B.0.2.4 塑料桶 1 个，容积 15L；

B.0.2.5 带刻度的不锈钢量杯 2 个，内径 108mm，净高 108mm，壁厚 2mm，容积 1L；

B.0.2.6 平口刀 1 把，刀长 150mm；

B.0.2.7 秒表 1 块。

B.0.3 试验材料

新拌泡沫混凝土，50L。

B.0.4 取样方法

B.0.4.1 现场取样：在泵送管出口处制取；

B.0.4.2 室内取样：在搅拌好的拌合物中制取。

B.0.5 试验步骤

B.0.5.1 用塑料桶接取试样，试样数量 10L；

B.0.5.2 按附录 C 测得新拌泡沫混凝土的初始湿密度 γ_0 ；

B.0.5.3 将塑料桶平放于水平地面上，静置时间 1h，计时精确至 1min；

B.0.5.4 将新拌泡沫混凝土完全倒入砂浆搅拌机中，连续搅拌 $60\text{s} \pm 5\text{s}$ ；

B.0.5.5 按附录 C 测得新拌泡沫混凝土经静置 1h 的湿密度为 γ 。

B.0.5.6 新拌泡沫混凝土经静置 1h 的湿密度增加值 $\Delta\gamma$ (kN/m^3) 按下式计算：

$$\Delta\gamma = \gamma - \gamma_0 \quad (\text{B.0.5})$$

附录 C
(规范性附录)
湿密度试验

C.0.1 适用范围

适用于测定新拌泡沫混凝土的单位体积重量。

C.0.2 仪器设备

C.0.2.2 电子称 1 台，最大量程 2000g，精度 1g；

C.0.2.3 塑料桶 1 个，容积 15L；

C.0.2.4 带刻度的不锈钢量杯 2 个，内径 108mm，净高 108mm，壁厚 2mm，容积 1L；

C.0.2.5 平口刀 1 把，刀长 150mm。

C.0.3 试验材料

新拌泡沫混凝土，10L。

C.0.4 取样方法

C.0.4.1 现场取样：在泵送管出口处制取；

C.0.4.2 室内取样：在搅拌好的拌合物中制取。

C.0.5 试验步骤

C.0.5.1 准备好电子称，并将其水平放置；

C.0.5.2 将量杯 1 平放于电子称上，测得量杯 1 质量 m_0 ，精确至 1g。

C.0.5.3 用量杯 2 接取试样，并将试样慢慢地倒入量杯 1 中；

C.0.5.5 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；

C.0.5.6 用平口刀慢慢地沿量杯 1 端口平面刮平试样；

C.0.5.7 将装满试样的量杯 1 平放于电子称上，测得试样加量杯 1 的质量 m_1 ，精确至 1g。

C.0.5.8 湿密度 γ (kN/m^3) 按下式计算：

$$\gamma = \frac{10 \times (m_1 - m_0)}{v_0} \quad (\text{C.0.5})$$

式中：

γ ——湿密度 (kN/m^3)，精确至 0.1 kN/m^3 ；

m_1 ——量杯加试样质量 (kg)；

m_0 ——量杯质量 (kg)；

v_0 ——量杯体积 (m^3)。

C.0.5.9 重复试验 C.0.5.1~C.0.5.8 步骤，取 3 次试验结果的算术平均值为新拌泡沫混凝土湿密度 γ (kN/m^3)，精确至 0.1 kN/m^3 。

C.0.5.10 湿密度试验应在每次试样后 5min 内完成。

附录 D

(规范性附录)

流动度试验

D.0.1 适用范围

适用于测定新拌泡沫混凝土的流动性指标。

D.0.2 仪器设备

D.0.2.1 发泡装置 1 套；

D.0.2.2 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；

D.0.2.3 光滑硬塑料板 1 块，边长 400mm×400mm；

D.0.2.4 带刻度的不锈钢量杯 2 个，内径 108mm，净高 108mm，壁厚 2mm，容积 1L；

D.0.2.5 平口刀 1 把，刀长 150mm；

D.0.2.6 钢直尺 1 把，尺长 250mm，分度值 0.5mm；

D.0.2.7 秒表 1 块。

D.0.3 试验材料，新拌泡沫混凝土，10L。

D.0.4 取样方法

D.0.4.1 现场取样：在泵送管出口处制取；

D.0.4.2 室内取样：在搅拌好的拌合物中制取。

D.0.5 试验步骤

D.0.5.1 清洗并擦干仪器设备；

D.0.5.2 将空心圆筒垂直竖于光滑硬质塑料板中间；

D.0.5.3 用量杯 1 接取试样，并将试样倒入量杯 2 中；

D.0.5.4 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；

D.0.5.5 用平口刀慢慢地沿空心圆筒的端口平面刮平试样；

D.0.5.6 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；

D.0.5.7 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；

D.0.5.8 重复试验 D.0.5.1~D.0.5.7 步骤，取 3 次试验结果的算术平均值为新拌泡沫混凝土的流动度 (mm)。

附录 E

(规范性附录)

抗压强度、饱水抗压强度试验

E.0.1 适用范围

适用于泡沫混凝土的强度检测，测定其标准试件的抗压强度、饱水抗压强度。

E.0.2 仪器设备

E.0.2.1 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 $\pm 2\%$ ，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；

E.0.2.2 电子称：最大量程 2000g，精度 1g；

E.0.2.3 钢直尺：尺长 300 mm，分度值为 0.5mm。

E.0.3 标准试件制作

E.0.3.1 试件成型：在钢模内浇注成型；

E.0.3.2 规格数量：100mm×100mm×100mm 的立方体试件，共一组，每组 3 块；

E.0.3.3 试件养护：放入塑料袋内密封养生至 28d 龄期，养生温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

E.0.4 试验步骤

E.0.4.1 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；

E.0.4.2 测量每块试件尺寸，精确至 1mm，并计算试件的承压面积 A (mm^2)；

E.0.4.3 取 1 块试件放在材料试验机下压板的中心位置，试件承压面应与成型的顶面垂直；

E.0.4.4 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；

E.0.4.5 以 $(2 \pm 0.5) \text{ kN/s}$ 速度连续均匀地加荷，直至试件破坏，并记录破坏荷载 P (N)；

E.0.4.6 重复试验 E.0.4.1~E.0.4.5 步骤，测定并记录试件的承压面积 A (mm^2)、破坏荷载 P (N)。

E.0.4.7 抗压强度 q_u 、饱水抗压强度 q_s 分别按下式计算：

$$q_u = \frac{P}{A} \quad (\text{E.0.4.7-1})$$

$$q_s = \frac{P}{A} \quad (\text{E.0.4.7-2})$$

式中：

q_u ——标准试件的抗压强度，MPa，精确至 0.01MPa；

q_s ——标准试件的抗压强度，MPa，精确至 0.01MPa；

P ——破坏荷载，N；

A ——试件受压面积， mm^2 。

E.0.5.2 取3块标准试件抗压强度、饱水抗压强度的算术平均值分别作为泡沫混凝土的抗压强度、饱水抗压强度。

征求意见稿

附录 F

(规范性附录)

消泡试验

F.0.1 消泡试验所用的试验用料不应小于10L。

F.0.2 试验仪器应包括：

F.0.2.1 电子秤1台，量程300g，精度±0.1g。

F.0.2.2 塑料桶1个，容量25L。

F.0.3 带刻度的不锈钢量杯 2 个，内径 108mm，净高 108mm，壁厚 2mm，容积 1L；

F.0.4 秒表 1 个。

F.0.5 按一下步骤测定湿密度增加率：

F.0.5.1 用塑料桶在施工现场泡沫混凝土的出口接盛泡沫混凝土，数量为塑料桶容量的 1/2。

F.0.5.2 用容量筒测试所接泡沫混凝土的初始湿密度 (ρ_0)，按照附录 C 方法测试。

F.0.5.3 用单手对桶内的泡沫混凝土进行持续搅拌，搅拌时，手应在水平方向和垂直方向分别交替做椭圆运动，但手始终置于泡沫混凝土内。搅拌持续时间为 1min，用秒测计。

F.0.5.4 搅拌后按照附录 C 方法测量的湿密度，则为消泡湿密度。重复上述 F.0.5.3 步骤，测量 6 次，设 6 次最大消泡湿密度为 ($\rho_{0\max}$)，可按照下公式计算湿密度增加率：

$$\zeta = \frac{\rho_{0\max} - \rho_0}{\rho_0} \times 100\% \quad (\text{E.0.5.4-1})$$