

UDC

广西壮族自治区工程建设地方标准 **DB**

DBJ/T45/-XXX-2019

P

备案号：JXXX-2019

现浇泡沫轻质土技术规程

Technical specification for cast-in-situ foamed
lightweight soil

(征求意见稿)

019-xx-xx 发布

2019-xx-xx 实施

广西壮族自治区住房和城乡建设厅 发布

广西壮族自治区工程建设地方标准

现浇泡沫轻质土技术规程

Technical specification for cast-in-situ foamed lightweight soil

DBJ/T45-

主编单位：华蓝设计（集团）有限公司

南宁城市建设投资集团有限责任公司

批准部门：广西壮族自治区住房和城乡建设厅

实施日期：2019年 月 日

2019 南宁

前 言

为了推进现浇泡沫轻质土技术的发展,根据广西壮族自治区住房和城乡建设厅《关于下达 2018 年度全区工程建设地方标准、图集制(修)订项目第一批计划的通知》(桂建标[2018]21 号文)的要求,自治区住房和城乡建设厅批准该规程立项。编制组经过广泛调查研究,在分析调研结果、总结各方意见、参考相关规范基础上,结合广西现浇泡沫轻质土设计、施工和验收现状编制完成了本规程。

本规程适用于广西现浇泡沫轻质土工程的设计、施工和验收。

本规程主要技术内容包括: 1.总则; 2.术语和符号; 3.材料及性能; 4.工程设计; 5.配合比设计; 6.工程施工; 7.质量检验与验收; 8.实验。

本规程由广西壮族自治区住房和城乡建设厅组织管理,由华蓝设计(集团)有限公司负责具体技术内容的解释。如在实施过程中发现不完善之处,请将有关意见和建议反馈至华蓝设计(集团)有限公司(地址:南宁市兴宁区华东路 39 号,邮编: 530011),以便今后修订时参考。

本标准编制单位：华蓝设计（集团）有限公司
南宁城市建设投资集团有限责任公司

本标准参编单位：广州大学
广东盛瑞科技股份有限公司
广西壮族自治区城乡规划设计院

本标准主要起草人员：孔繁莉、陈忠平、巫裕润、李彪、曾健、
肖华杰、黄瑶、高廷枢、李文骞、钟
建超、黄海涛、王堃、莫文震、陈盛
龙、李静、兰取进、曾鹏

本标准主要审查人员：

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
3	材料及性能	5
3.1	原材料	5
3.2	泡沫轻质土	6
4	工程设计	8
4.1	一般规定	8
4.2	性能设计	8
4.3	结构形式设计	9
4.4	辅助工程设计	12
4.5	计算分析	15
5	配合比设计	21
5.1	基本规定	21
5.2	配合比试配	21
6	工程施工（安全条款）	23
6.1	施工准备	23
6.2	设备与拌合制作	24
6.3	输送与浇筑	25
6.4	辅助工程施工	26
6.5	硬化后的整体养护	27
7	质量检验与验收	28
7.1	一般规定	28
7.2	材料检验	28
7.3	施工过程质量检验	29

7.4	硬化后的质量检验	30
7.5	质量评定与验收	31
8	实验	33
8.1	拌合物取样及试样制备	33
8.2	湿密度及流值实验	34
8.3	消泡实验	35
8.4	力学性能实验	36
8.5	抗冻性试验	37
附录 A	现浇泡沫轻质土工程浇筑施工记录表	39
附录 B	现浇泡沫轻质土工程施工质量检验记录表	40
附录 C	现浇泡沫轻质土工程施工质量评定验收记录表	41
附录 D	泡沫轻质土拌合物制备及湿密度、流值试验成果表	42
附录 E	消泡试验成果表	43
附录 F	泡沫轻质土抗压强度检验报告	44
	本规范用词说明	45
	引用标准名录	46
	附：条文说明	47

Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms and Symbols.....	2
	2.1 Terms.....	2
	2.2 Symbol.....	4
3	Material and Properties.....	5
	3.1 Raw material.....	5
	3.2 Foamed lightweight soil.....	6
4	Engineering Design.....	8
	4.1 General requirements.....	8
	4.2 Performance Design.....	8
	4.3 Form Design.....	9
	4.4 Subsidiary Engineering Design.....	12
	4.5 Calculation.....	15
5	Mix Proportion.....	21
	5.1 General Requirements.....	21
	5.2 Mix Proportion Trial Mix.....	21
6	Engineering Construction.....	23
	6.1 Construction Preparation.....	23
	6.2 Equipment and Mixing.....	24
	6.3 Conveying and Pouring.....	25
	6.4 Subsidiary Engineering Construction.....	26
	6.5 Maintenance.....	27
7	Quality Inspection and Acceptance.....	28
	7.1 General Requirements.....	28

7.2	Material Inspection.....	28
7.3	Quality Inspection during Construction.....	29
7.4	Quality Inspection after Hardening.....	30
7.5	Quality evaluation and acceptance.....	31
8	Test.....	33
8.1	Preparation of test mixture.....	33
8.2	Wet density and flow value test.....	34
8.3	Defoaming test.....	35
8.4	Test of foaming agent performance.....	36
8.5	Test of Frost Resistance.....	37
	Appendix.....	39
	Explanation of wording in this specification.....	49
	List of quoted standards.....	50
	Explanation of provisions.....	51

1 总则

1.0.1 为规范广西壮族自治区现浇泡沫轻质土在道路交通工程中的应用，做到技术先进、安全适用、经济合理，确保质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于道路软基路堤填筑、桥台台背填筑、旧路基拓宽改造、陡峭地段路基填筑、地下结构减载、地下溶洞填充、快速填筑抢修等道路工程的泡沫轻质土应用。

1.0.3 现浇泡沫轻质土工程除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准、规范的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 泡沫轻质土foamed lightweight soil

用物理方法将发泡剂水溶液制备成泡沫,与必须组分水泥基胶凝材料、水及可选组分掺和料、外加剂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微孔固态材料。

本规程中,凡使用到泡沫轻质土名词的,均指现浇泡沫轻质土。

2.1.2 发泡剂foaming agent

配制泡沫轻质土时,用于产生大量均匀稳定泡沫的化学外加剂,如合成表面活性剂。

2.1.3 稀释倍率multiple of dilution

为得到合适的泡沫,发泡前需要将发泡剂原液用水稀释成发泡剂水溶液;发泡剂水溶液与其中发泡剂原液的质量比为稀释倍率。

2.1.4 发泡倍率multiple of performed foam

发泡剂水溶液制备的泡沫与发泡剂水溶液的体积比。

2.1.5 流值flow factor

表示泡沫轻质土流动性的量值。

2.1.6 标准泡沫密度standard foam-density

满足泡沫轻质土施工、质量要求的最低泡沫表观密度。

2.1.7 湿密度 wet density

泡沫轻质土硬化前流动状态下的表观密度。

2.1.8 标准沉陷距 distance of standard subsidence

拌合好的泡沫轻质土在100mm×100mm×100mm的立方体试

模中硬化后其表面的最大沉陷量。单位为mm。

2.1.9 准干密度 quasit-dry-density

泡沫轻质土硬化后自然干燥的表观密度。

2.1.10 抗压强度compressive strength

泡沫轻质土100mm×100mm×100mm的立方体试块，在压力试验机上进行抗压试验，其极限破坏荷载与破坏面积的比值。单位为MPa。

2.2 符号

ρ_w ——湿密度 (kg/m^3) ;

δ ——湿密度增加率 (%) ;

ρ_a ——容许密度 (kg/m^3) ;

ρ_i ——标准泡沫密度 (kg/m^3) ;

q_u ——泡沫轻质土的抗压强度 (MPa) ;

E_c ——泡沫轻质土的弹性模量 (MPa) 。

3 材料及性能

3.1 原材料

3.1.1 泡沫轻质土所用的胶凝材料宜采用水泥基胶凝材料。硅酸盐水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175的规定；快硬硫铝酸盐水泥、铁铝酸盐水泥应符合现行行业标准《快硬硫铝酸盐水泥、快硬铁铝酸盐水泥》JC933的规定；对于矿山采空区充填使用的某些特殊水泥基胶凝材料，应符合相应规范的规定。

3.1.2 掺和料应符合下列要求：

1 粉煤灰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的规定。

2 磨细矿渣粉应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046的规定。

3 采用其他活性矿物粉如钢渣粉、脱硫石膏、再生粉等做掺合料时，应符合国家相关标准规程的要求。

4 泡沫轻质土需加入纤维时，纤维的性能指标应符合现行国家标准《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120的规定。

3.1.3 外加剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076的规定。

3.1.4 拌和水不应含有影响泡沫稳定性、泡沫轻质土的强度及耐久性的有机物、油污等杂质；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。

3.1.5 发泡剂应符合下列规定：

1 对环境应无不良影响，宜采用界面活性类发泡剂。

- 2 在0℃以上的温度环境，发泡剂不应出现离析现象。
- 3 标准泡沫密度宜为 $30\text{kg/m}^3 \sim 50\text{kg/m}^3$ 。
- 4 发泡剂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 2199S的有关规定。

3.2 泡沫轻质土

3.2.1 泡沫轻质土的强度等级按抗压强度划分，可按表 3.2.1 执行。

表 3.2.1 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(MPa)	
	平均值不小于	单组最小值不小于
F0.4	0.4	0.3
F0.6	0.6	0.5
F0.8	0.8	0.6
F1.0	1.0	0.8
F1.2	1.2	1.0
F1.5	1.5	1.2
F2.5	2.5	2.0
F3.5	3.5	2.8
F5.0	5.0	4.0
F7.5	7.5	6.0

3.2.2 泡沫轻质土的密度级别可按湿密度的大小划分为 14 级，按表 3.2.2 执行。

表 3.2.2 泡沫轻质土密度等级

密度等级	ρ_w 的取值范围 (kg/m^3)	密度等级	ρ_w 的取值范围 (kg/m^3)
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	$1150 < \rho \leq 1250$

3.2.3 泡沫轻质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。

3.2.4 泡沫轻质土标准沉陷距不大于 3mm。

3.2.5 泡沫轻质土的弹性模量宜通过试验确定，当无试验资料时，可根据抗压强度按下式计算取值。

$$E_c = 200q_u \sim 350q_u \quad (3.2.5)$$

式中： E_c ——泡沫轻质土弹性模量（MPa）；

q_u ——泡沫轻质土弹性模量抗压强度（MPa）。

3.2.6 泡沫轻质土的抗剪强度指标宜通过试验确定，当无试验资料时，其抗剪强度指标可取： $\varphi = 20^\circ \sim 30^\circ$ ， $c = 0.25q_u \sim 0.3q_u$ 。

4 工程设计

4.1 一般规定

4.1.1 设计应遵循安全性、耐久性、适用性和经济性的原则。

4.1.2 设计时，严禁泡沫轻质土直接暴露。

4.1.3 车辆等动荷载不应直接作用在泡沫轻质土填筑体表面，泡沫土填筑体顶面距地面或道路顶面埋深不应低于0.6m。

4.1.4 泡沫轻质土设计宜包括材料性能设计、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，可按表4.1.4执行。

表 4.1.4 设计内容

使用目的	设计项目	设计内容
减轻荷重或土压 (替代填土)	材料性能	明确物理力学性能指标
	结构形式	确定填筑形状、空间范围和构造细节
	辅助工程	保护壁、防排水、抗滑锚固及内部构造设计
空洞填充 狭小空间填充	材料性能	明确物理力学性能指标
	结构形式	以充填饱满为原则

4.1.5 当水或土体对混凝土有腐蚀作用时，泡沫轻质土应进行耐久性研究。

4.2 性能设计

4.2.1 路基泡沫轻质土的抗压强度应符合表4.2.1的要求。

表 4.2.1 道路路基泡沫轻质土的抗压强度

填筑部位	离路面底面距离 (m)	抗压强度 (MPa)	
		快速路及主干路	次干路及以下道路
路床	0~0.8	≥1.5	≥1.0
上路堤	0.8~1.5	≥1.0	≥0.8
下路堤	1.5 以下	≥0.8	

4.2.2 溶洞及狭小空间填充, 应明确抗压强度, 当无减轻荷重或土压的要求时, 湿密度宜按经济合理并便于施工的原则设计。

4.3 结构形式设计

4.3.1 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。

4.3.2 减轻荷重或土压时, 泡沫轻质土填筑体底宽不宜小于2m, 厚度不宜小于1.0m; 顶面有坡度要求时, 宜设置台阶, 台阶高度不宜超过20cm。

4.3.3 用于斜坡地面填筑道路路基时, 最小填筑厚度不宜小于0.8m; 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3m时, 衔接面宜设置台阶, 台阶宽度不宜小于1.5m, 台阶坡度应内倾2%~4%。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, 可采取抗滑措施, 斜坡稳定安全系数不宜小于1.3。

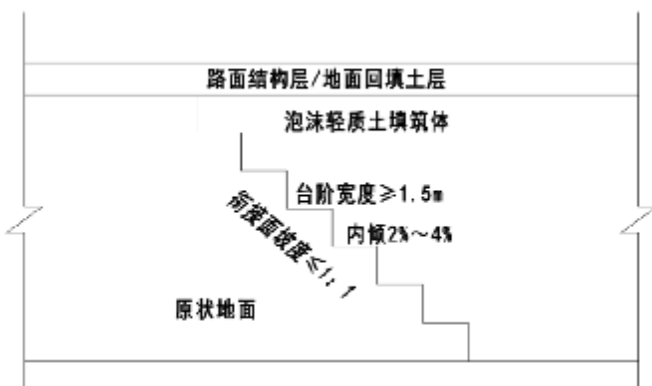


图 4.3.3-1 斜坡路段填筑断面（斜坡坡率 $\leq 1:1$ ）

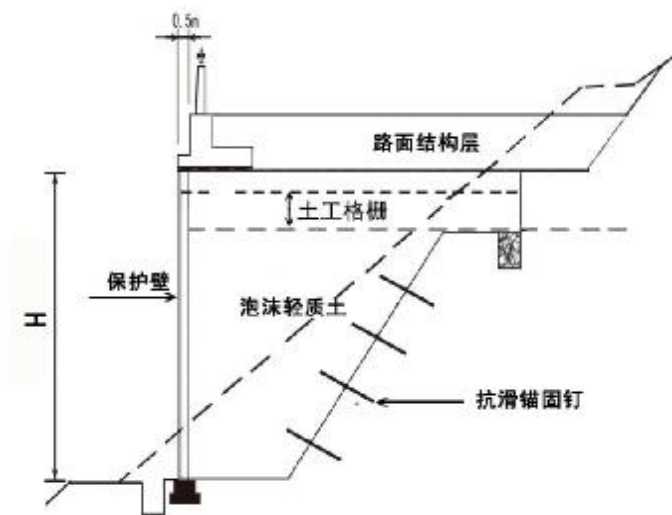


图 4.3.3-2 陡坡路段填筑断面（斜坡坡率 $> 1:1$ ）

4.3.4 用于加宽路基填筑时，与旧路基衔接面的坡度不宜大于 $1:0.5$ ，加宽路基底宽不宜小于 2m 。

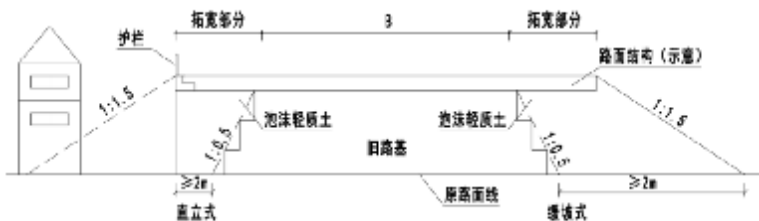


图 4.3.4 加宽路基填筑断面

4.3.5 当用于涵背回填，或相距较近的两构造物之间的回填，以确保回填质量为目的时，其填筑范围应符合现行道路工程相关规范的规定。

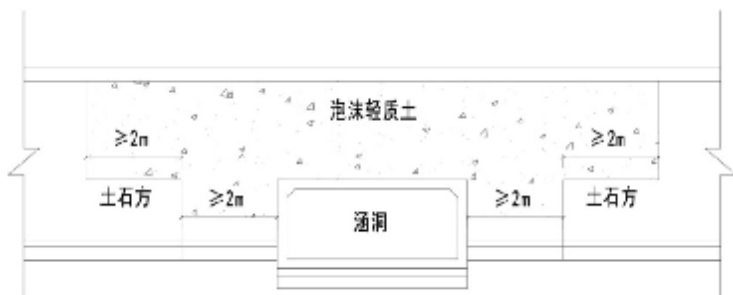


图 4.3.5 涵洞背部局部换填泡沫轻质土

4.3.6 当直接用于软基路段的桥台背填筑，以控制路桥过渡段的工后沉降时，沉降过渡段轻质土长度宜采用下式计算，轻质土厚度宜分2~3级过渡。

$$L_a = \Delta S / i_{sa} \quad (4.3.4)$$

式中： L_a ——过渡段长度（m）；

ΔS ——过渡段两端容许工后沉降差；

i_{sa} ——容许工后差异沉降率，不宜大于0.5%。

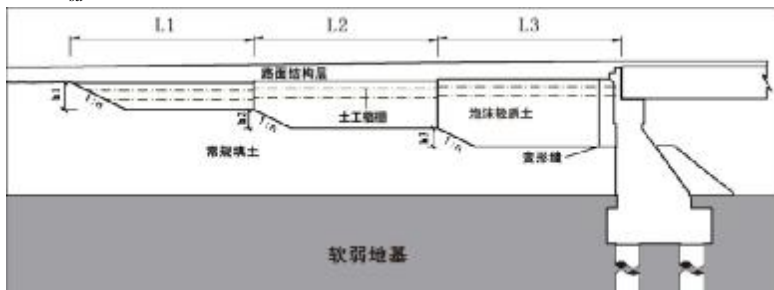


图 4.3.6 软基桥台台背填筑纵断面

注：在本例中， n 值应不小于1， h_1 应不小于1m， L_1 、 L_2 和 L_3 为10~20m

4.3.7 溶洞及狭小空间填充，以填充饱满为原则，不做其它形态设计。

4.4 辅助工程设计

4.4.1 泡沫轻质土填筑体的护壁设计应符合下列规定：

1 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；

2 砌块类壁材，单块平面面积不宜超过0.3m²；薄壁式混凝土挡墙沿长度方向应设置必要的预切缝，缝的间距宜为10m；直立护壁的最大厚度不宜超过50cm，且在软土地基上，壁材的最大厚度不应超过20cm；

3 直立护壁的基础宜采用混凝土基础，其标号不宜低于C25。

4 路基外侧用地条件比较宽裕，能按正常坡率进行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0.3m；

5 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 4.4.1 填土类保护壁断面示意（坡率 M 由设计定）

4.4.2 泡沫轻质土填筑体防排水设计应符合下列规定：

- 1 泡沫轻质土填筑体顶面、临土侧面、底面宜铺设防水土工膜；
- 2 防渗土工膜宜选用聚乙烯或聚氯乙烯复合土工膜，其技术性能应满足下表并符合现行国家标准《土工合成材料聚乙烯土工膜》GB/T17643和《土工合成材料聚氯乙烯土工膜》GB/T17688的规定；

表 4.4.2 防水土工膜技术性能

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

3 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；

4 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。

4.4.3 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：

1 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1m；

2 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；

3 锚固件进入基床斜面的垂直深度不应小于0.5m。

4.4.4 路基泡沫轻质土应进行抗裂设计，并应符合下列规定：

1 泡沫轻质土填筑体距顶部0.5m~1.0m的位置宜设置1~2层土工格栅或金属网；

2 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；

3 当现浇泡沫轻质土填筑体总体成板状形态时（厚度小于1.5m、平面面积超过100m²），应在内部设置不少于两层土工格栅或金属网。

4 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60kN/m。

5 金属网宜采用镀锌铁丝或不锈钢丝，丝径宜为2.5mm~3.2mm，网格间距宜为100mm，钢丝网施工前不应有锈蚀。

6 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10~20m。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2cm。

4.4.5 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：

1 护栏基础外应设置安全襟边，襟边宽度不小于50cm；

2 防撞护栏底部应设置钢筋混凝土底座，混凝土等级宜不小于

C30, 底座尺寸设计应兼顾安全性和经济性;

- 3 泡沫轻质土顶层宜在护栏基础底座下方设两层钢筋网;
- 4 护栏沉降缝与泡沫轻质土的沉降缝位置应对应一致。

4.5 计算分析

4.5.1 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。

4.5.2 直立式泡沫轻质土填筑体自稳安全系数宜按下式计算, 安全系数不宜小于3.0。

$$F_s = \frac{q_u}{p + h_t \gamma_t} \quad (4.5.2)$$

式中: F_s ——为安全系数;

q_u ——为无侧限抗压强度 (kPa);

p ——为轻质土上部荷载 (kPa);

h_t ——为轻质土高度 (m);

γ_t ——为轻质土重度 (kN/m^3)。

4.5.3 整体稳定分析应符合下列规定:

- 1 整体稳定性分析应符合《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》JTG/T D31-02、《公路路基设计规范》JTG D30的规定;

- 2 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标准第3.2.6条的规定取值;

- 3 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;

- 4 整体滑动稳定安全系数不应小于1.3。

4.5.4 泡沫轻质土填筑体界面滑动稳定分析应符合下列要求:

1 泡沫轻质土填筑体沿普通土斜坡滑动的稳定分析宜剩余下滑力法。土条*i*的剩余下滑力宜采用式(4.5.4-1)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。

$$E_i = P_{ai} + W_i \sin a_i - \frac{1}{F_s} (c_i l_i + W_i \cos a_i f_i) + E_{i-1} \left| \cos(a_{i-1} - a_i) - \frac{f_i}{F_s} \sin(a_{i-1} - a_i) \right| \quad (4.5.4-1)$$

$$P_{ai} = 0.5 \left[(q_i + h_i g_{si}) K_{ai} - 2c_i \sqrt{K_{ai}} \right] (h_i - h_{ci}) \quad (4.5.4-2)$$

$$h_{ci} = \frac{2c_i}{g_{si} \sqrt{K_{ai}}} - \frac{q_i}{g_{si}} \quad (4.5.4-3)$$

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 ——第*i*个土条的自重和外加竖向荷载之和(kN)；

a_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。

2 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；

3 按式(4.5.4-4)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(4.5.4-9)计算滑动稳定性,安全系数不应小于1.3。

$$E_a = g_f(B_l - A_l \cot q) \frac{\sin(q-j)}{\sin(q-a-j-d)} + \frac{c \left(h_l - \frac{2c}{g_f \sqrt{K_a}} + h_0 \right) \cos j}{\sin q \sin(q-a-j-d)} \quad (4.5.4-4)$$

$$A_l = \frac{1}{2} \left(h_l - \frac{2c}{g_f \sqrt{K_a}} + h_0 \right) \left(h_l + \frac{2c}{g_f \sqrt{K_a}} + h_0 \right) \quad (4.5.4-5)$$

$$B_l = \frac{1}{2} h_l (h_l + 2h_0) \cot a \quad (4.5.4-6)$$

$$D_l = \frac{A_l \cos(a+d) - B_l \sin(a+d)}{\sin(a+j+d) \left[A_l \sin j + \frac{c}{g_f} \left(h_l - \frac{2c}{g_f \sqrt{K_a}} + h_0 \right) \cos j \right]} \quad (4.5.4-7)$$

$$q = \frac{p}{2} - \arctan \left[\cot(a+j+d) + \sqrt{1 + \cot^2(a+j+d) - D_l} \right] \quad (4.5.4-8)$$

$$F_s = \frac{[W - E_a \cos(a+d)]f + l_e c_e}{E_a \sin(a+d)} \quad (4.5.4-9)$$

式中： E_a ——主动土压力（kN）；
 r_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_l ——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) 。

4.5.5 按式 (4.5.4-4) 计算的斜坡对轻质土填筑物的主动土压力 E_a 大于0时, 按式 (4.5.5) 计算的抗倾覆稳定安全系数不应小于1.5;

$$F_s = \frac{\sum W_i x_i}{\frac{1}{3} E_a \sin(a+d) \left(h_l - \frac{2c}{g_f \sqrt{K_a}} + h_0 \right) + E_a \cos(a+d) \left[l_e + \frac{1}{3} \left(h_l - \frac{2c}{g_f \sqrt{K_a}} + h_0 \right) \cot a \right]} \quad (4.5.5)$$

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) 。

4.5.6 水位最大值高于轻质土底面时, 按下式的计算抗浮安全系数

F_s 宜为1.05~1.15;

$$F_s = \frac{g_l V_l + P}{g_w V_w} \quad (4.5.6)$$

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 (m^3)。

4.5.7 有地震力作用时，整体滑动稳定分析、界面滑动稳定分析、抗倾覆稳定分析尚应按《公路工程抗震设计规范》JTJ004的规定执行。

4.5.8 泡沫轻质土填筑体的沉降宜采用分层总和法计算。

4.5.9 堆载预压后再换填轻质土时，轻质土厚度应取式 (4.5.9-1)、式 (4.5.9-3) 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 (4.5.9-2)、式 (4.5.9-3) 计算值的大者。需要卸除的填土厚度采用式 (4.5.9-4) 计算。

$$h_l = \frac{F_s g_f [T_d S_f - T_f (S_f U_t + S_{ra})]}{S_f (g_f - g_l)} \quad (4.5.9-1)$$

$$h_l = \frac{F_s g_f [T_d S_f - T_{vf} (S_f U_t + S_{ra})]}{S_f (g_f - g_l)} \quad (4.5.9-2)$$

$$T_l = T_d - T_p - T_f \quad (4.5.9-3)$$

$$h_r = T_f - T_d + T_p + T_l \quad (4.5.9-4)$$

式中： h_l ——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/m^3)；

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_f 的最终沉降 (m)；

T_f ——包括已完成沉降等效填土厚度的预压填土厚度 (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；

$S_{\gamma a}$ ——容许工后沉降（m）；

γ_t ——轻质土重度（kN/m³）；

T_{vf} ——包括已完成沉降、真空荷载等效填土厚度的预压填土厚度（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_γ ——需要卸除的填土厚度（m）；

T_p ——路面结构等效填土厚度（m）

5 配合比设计

5.1 基本规定

5.1.1 泡沫轻质土配合比设计应满足抗压强度、湿密度、流值的要求，必要时还应考虑材料性能的其他特殊要求（如弹性模量、抗冻性等）。

5.1.2 泡沫轻质土试配强度应满足下式要求：

$$q_u \geq 1.05q_c \quad (5.1.2)$$

式中： q_u ——泡沫轻质土试配抗压强度(MPa)；

q_c ——泡沫轻质土设计抗压强度(MPa)。

5.1.3 泡沫轻质土的流值宜控制在 160mm~190mm，测量方法见 8.3。

5.1.4 泡沫轻质土标准沉陷距不应大于 3mm，测量方法见 8.4。

5.2 配合比试配

5.2.1 泡沫轻质土试配试验拌和料的制备应符合 8.1 的要求。

5.2.2 泡沫轻质土的设计湿密度与各组分的关系应按下列公式确定：

$$\begin{cases} \rho = R_c + R_s + R_w + R_x + R_f \\ R_f = \rho_f \left(1 - \frac{R_c}{\rho_c} - \frac{R_s}{\rho_s} - \frac{R_w}{\rho_w} - \frac{R_x}{\rho_x} \right) \end{cases} \quad (5.2.2)$$

式中： ρ ——泡沫轻质土设计湿密度 (kg/m^3)；

R_c ——每立方泡沫轻质土中水泥的质量 (kg/m^3)；

R_s ——每立方泡沫轻质土中掺合料的质量 (kg/m^3) ;

R_w ——每立方泡沫轻质土中水的质量 (kg/m^3) ;

R_x ——每立方泡沫轻质土中外加剂的质量 (kg/m^3) ;

R_f ——每立方泡沫轻质土中泡沫的质量 (kg/m^3) ;

ρ_f ——标准泡沫密度 (kg/m^3) 。

ρ_c ——水泥密度 (kg/m^3) ;

ρ_s ——掺合料密度 (kg/m^3) ;

ρ_x ——外加剂密度 (kg/m^3) ;

5.2.3 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。

5.2.4 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。

5.2.5 当试配强度或标准沉陷距无法满足要求时, 应调整胶凝材料的用量、标号或品牌, 重新进行试配试验。

6 工程施工（安全条款）

6.1 施工准备

6.1.1 施工前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，以检查工程数量、设计图纸是否与实际相吻合。

6.1.2 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，并做好以上天气的防范预案。

6.1.3 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；

6.1.4 施工前应建立健全质量、环保、安全管理体系和质量检测体系，并进行培训和交底。

6.1.5 施工前应确认施工电源、施工用水、施工便道、施工设备及主要材料的准备工作是否就位。

6.1.6 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。

6.1.7 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。

6.1.8 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。

6.2 设备与拌合制作

6.2.1 发泡装置应满足下列要求：

1 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；

2 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。

6.2.2 泡沫轻质土制作设备应具有原材料自动化计量功能，在拌和制作泡沫轻质土时，应能调节水泥浆和泡沫流量。

6.2.3 泡沫轻质土在拌合制作过程中，材料的计量精度应满足表 6.2.3 的要求：

表 6.2.3 材料的计量精度

材料	计量精度
掺合料	±2%
水泥、外加剂	±2%
水	±2%
发泡剂	±5%

6.2.4 水泥浆或水泥砂浆搅拌时间应确保各组分混合均匀。

6.2.5 水泥浆或水泥砂浆或泡沫轻质土在储料装置中的停滞时间不宜超过 2h。

6.2.6 为保证连续填筑的稳定性，单套轻质泡沫土设备的选型与功能宜满足如下要求：

表 6.2.6 设备选型要求

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

6.3 输送与浇筑

6.3.1 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露。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。

6.3.2 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。

6.3.3 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；

6.3.4 出料口离浇筑点的高差宜控制在 1m 以内（溶洞填充类工程除外）。

6.3.5 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。

6.3.6 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。

6.3.7 泡沫轻质土在冬期、雨期及热期施工应符合下列规定：

1 施工前应根据不同的季节特点制订相应的施工技术方案，并应采取有针对性的措施，保证工程质量和和施工安全；

2 施工前应及时掌握气温、雨雪、风暴、汛情等预报，制订应急预案，做好安全防范工作，避免发生事故。施工操作人员应按劳动保护的规定，采取必要的防护措施；

3 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，不得进行泡沫轻质土构筑施工；特殊情况需要施工时，

应采取特殊措施并进行专项报批，确保工程质量和施工安全；

4 热期施工，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；

5 冬期施工，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。

6.3.8 浇筑施工过程中，应按本规程附录 A 的格式真实填写施工记录。

6.4 辅助工程施工

6.4.1 泡沫轻质土填筑体护壁施工应符合下列规定：

1 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。

2 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 1cm；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。

6.4.2 防渗土工膜铺设时搭接应采用热焊的方式，搭接宽度 5cm。铺设时，应展平拉紧并采用 U 型钉进行锚固，避免局部卷起。

6.4.3 土工格栅铺设时，应采用 U 形钉进行锚固，纵向锚固间距 2m、横向锚固间距 1.0m。土工格栅平面位置应重叠搭接，纵向搭接宽度应不小于 15cm，横向搭接宽度应不小于 30cm，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。

6.4.4 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出露。

6.5 硬化后的整体养护

6.5.1 泡沫轻质土路基顶面浇注至设计高程后，应及时铺设防渗土工膜，如不能及时铺设防渗土工膜，则应采用塑料薄膜或针刺土工布进行表面覆盖，以对轻质土路基进行保湿养护（溶洞填充类工程除外）。

6.5.2 轻质土路基顶部路面结构层如不能及时施工，应进行必要的维护处理：

1 在养护期内，严禁在轻质土路基顶部直接行驶工程机械或车辆；如出现工程车辆或机械意外在轻质土路基顶部直接行驶的状况，应对行驶轮迹附近遭受粉碎破坏的轻质土进行清除处理，清除导致的高程减低部位由路面底基层料补填。

2 养护期过后，如施工需要在轻质土路基顶部行驶车辆或工程机械，应在轻质土路基顶部至少先行铺筑路面基层和底基层，厚度不宜小于 200mm。

7 质量检验与验收

7.1 一般规定

7.1.1 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。

7.1.2 泡沫轻质土工程的质量检验应按材料的质量检验、施工过程质量检验、硬化后成品的质量检验依序进行。

7.2 材料检验

I 主控项目

7.2.1 材料检验主控项目为泡沫轻质土所采用的水泥基胶凝材料。

7.2.2 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，并应对其强度及其他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。

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 500t 为一个检验批；袋装水泥不超过 200t 为一个检验批；粉煤灰或磨细矿渣粉等矿物掺合料不超过 200t 为一个检验批；外加剂不超过 50t 为一个检验批。

检验方法：检查产品合格证、出厂检验报告和进场复验报告。

II 一般项目

7.2.3 泡沫轻质土用水、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。

7.2.4 泡沫轻质土附属工程材料可不做进场复验，土工格栅、防渗

土工膜应提供出厂合格证。

7.2.5 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（按本规程 8.3 执行）；

检验数量：发泡剂应按每 10t 为一个检验批；

检验方法：按本规程第 8.3 节的规定执行；

检验合格标准：湿密度增加率不超过 10%、标准沉陷距不超过 5mm。

7.3 施工过程质量检验

I 主控项目

7.3.1 施工过程质量检验的主控项目为湿密度。

检验数量：大致均匀选点取样，数量见表。

表 7.3.1 施工过程质量检验主控项目

检验项目	允许范围	检验方法	检验频率
湿密度	≤设计值	按本规程第 8.2 的规定执行	每连续填筑 100m ³ 检验 1 次， 单次连续填筑不足 100m ³ 时 检验 1 次

II 一般项目

7.3.2 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。

7.3.3 检验数量：大致均匀选点取样，数量见表。

表 7.3.3 施工过程质量检验一般项目

检验项目	允许范围	检验方法	检验频率
流值	160~190mm	在出料口采取试验用料，在试验室再次拌和 1min，按本规程第 8.2 的规定执行	每连续填筑 200m ³ 检验 1 次，单次连续填筑不足 200m ³ 时检验 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 17 的有关规定	当采用物理发泡方式时，每班开工前检验 1 次
湿密度增加率	≤10%	在出料口采取试验用料，在试验室再次拌和 1min，按本规范第 8.3 的规定执行	每连续填筑 200m ³ 检验 1 次，单次连续填筑不足 200m ³ 时检验 1 次

7.4 硬化后的质量检验

I 主控项目

7.4.1 硬化后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规程第 8.4 节的规定执行。

检验数量：每 400m³ 制取 1 组，每 1 组 3 块；当不够 400m³ 时，应按 400m³ 考虑；

7.4.2 抗压强度的试件制取及养护应满足以下要求：

- 1 应在出料口取样制作。
- 2 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℃。

7.4.3 单组抗压强度检验合格标准应满足下式要求：

$$q_{un} \geq q_c \quad (7.4.3)$$

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)。

II 一般项目

7.4.4 硬化后质量检验的一般项目为准干密度、顶面高程、填筑厚度、平面位置及平面尺寸（空洞及狭小空间充填类工程除外）。

表 7.4.4 硬化后的质量检验一般项目

项目	允许范围	检验频率	检验方法
准干密度	≤设计值	每连续填筑 200m ³ 检验 1 次，单次连续填筑不足 200m ³ 时检验 1 次	在出料口采取试验用料，在试验室再次拌和 1min，按本规程第 8.4 规定执行
顶面高程	设计高程 ±5cm	每 10m 检查 1 处	用水准仪测量
厚度	设计厚度 ±5cm	每 20m 检查 1 处	用钢卷尺量，隐蔽处抽芯测量
平面位置	长轴中线 ±5cm	每 10m 检查 1 处	用经纬仪、钢卷尺量取
平面尺寸	≥设计宽度	每 20m 检查 1 处	用钢卷尺量

7.5 质量评定与验收

7.5.1 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。

7.5.2 检验批合格质量应符合下列规定：

- 1 主控项目的质量应经抽样检验合格；
- 2 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，一般项目的合格点率应达到 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；
- 3 具有完整的施工原始资料和质量检查记录。

7.5.3 分项工程质量验收合格应符合下列规定：

- 1 分项工程所含检验批均应符合合格质量的规定；
- 2 分项工程所含检验批的质量验收记录应完整。

3 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。

7.5.4 质量保证资料应包括下列内容：

- 1 设计文件；
- 2 相关材料出厂合格证和进场复验报告；
- 3 性能试验报告；
- 4 施工记录、质量检验记录；
- 5 其他必要的文件和记录。

7.5.5 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。

8 实验

8.1 拌合物取样及试样制备

8.1.1 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。

8.1.2 试验用拌和料采取量应满足下式要求:

$$V_o \geq 1.5V_s \quad (8.1.2)$$

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。

8.1.3 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 $20^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 。

8.1.4 试验用水泥、集料、掺和料、发泡剂等原材料必须和施工现场使用的材料一致。

8.1.5 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。

8.1.6 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 $\pm 0.5\%$,集料和掺和料 $\pm 1\%$,泡沫体积 $\pm 0.5\%$ 。

8.1.7 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、掺和料、外加剂和水按设计配合比拌和,拌和时间不少于 2min ,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 2min ;拌和料总量应不少于搅拌机容量的 20% 。

8.1.8 试验用搅拌机转速宜为 50r/min 。

8.1.9 现场采取的试验用料，在试验室应再次拌和 1min，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。

8.2 湿密度及流值实验

8.2.1 试验仪器应包括：

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

8.2.2 湿密度应按下列步骤测定：

- 1 将容量筒内外壁用抹布擦拭干净，并称其重量，精确至 0.1g；
- 2 向容量筒内轻轻倒入事先制备好的泡沫轻质土(符合 8.1 要求)，至泡沫轻质土略高出筒口；
- 3 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 0.1g；
- 4 湿密度应按下式计算，应以 3 次试验结果的算术平均值确定，并应精确至 0.1kg。：

$$r_w = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (8.2.2)$$

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)。

8.2.3 流值应按以下步骤测定

1 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。

2 向圆筒内轻轻倒入事先制备好的泡沫轻质土(符合 8.1 要求)，至泡沫轻质土略高出筒口。

3 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。

4 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。

5 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。

6 流值以 3 次试验结果的算术平均值确定，精确至 1mm。

8.2.4 湿密度及流值试验成果可按本规程附录 D 的格式填写、整理。

8.3 消泡实验

8.3.1 消泡试验所用的试验用料不应小于 10L。

8.3.2 试验仪器应包括：

1 电子秤，量程 300g，精度 $\pm 0.1g$ ；

2 塑料桶，容量 25L；

3 容量筒，金属制成，内径 108mm，净高 109mm，筒壁厚 2mm，容积为 1L；

4 秒表。

8.3.3 湿密度增加率应按下列步骤测定：

1 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规程第 8.1 节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;

2 用容量筒测试所接盛泡沫轻质土的初始湿密度 (ρ_0);

3 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 1min,用秒表测计;

4 测试搅拌后泡沫轻质土的湿密度;

5 重复第 3、第 4 步骤,直至搅拌次数达到 6 次为准,设 6 次搅拌后的最大湿密度为 ρ_{6max} ,可按式计算湿密度增加率:

$$d = \frac{r_{6max} - r_0}{r_0} \times 100\% \quad (8.3.3)$$

8.3.4 消泡试验记录及成果可按本规程附录 E 的格式填写、整理。

8.4 力学性能实验

8.4.1 试件制备应符合下列规定:

1 抗压强度的试件尺寸为 100mm×100mm×100mm,一组 3 块。

2 劈裂抗拉强度的试件尺寸为 100mm×100mm×100mm 的立方体,一组 3 块。

3 抗折强度的试件尺寸为 100mm×100mm×400mm 的棱柱体,一组 3 块。

4 静力受压弹性模量试件尺寸为 100mm×100mm×300mm 的棱柱体,两组 6 块。

5 试件制备可在现场制取,也可在试验室按本规程第 8.1 节的规定制备试验用料来完成。

6 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；

7 拆模后，应用塑料袋密封包装试件；

8 试件应置于 20℃~25℃的环境中养护。

8.4.2 准干密度应按下列步骤测定：

1 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)。

2 称取试件质量 M (g)，精确至 1g。

3 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。

8.4.3 泡沫轻质土的力学性能试验方法应符合现行国家标准《蒸压加气混凝土性能试验方法》GB/T 11969 的有关规定，但试件的制备应按本规程第 8.4.1 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按本规程第 8.4.3 条所做的准干密度试验结果，抗压强度检验报告可按本规程附录 F 的格式填写、整理。

8.5 抗冻性试验

8.5.1 试件制备应符合下列规定：

1 试件尺寸应为 100mm×100mm×100mm，应取 2 组 6 块；

2 试件制备可在现场制取，也可在试验室按照本规程第 8.1 节的要求制备试验用料来完成；

3 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；

4 拆模后，应用塑料袋密封包装试件；

5 试件应置于 20℃~25℃的环境中养护。

8.5.2 泡沫轻质土的抗冻性试验应符合现行国家标准《蒸压加气混

凝土性能试验方法》GB/T 11969 的规定。

附录 A 现浇泡沫轻质土工程浇筑施工记录表

所属项目名称工程名称工程部位

建设单位设计单位

施工单位监理单位

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

记录：项目负责人：技术负责人：

附录 B 现浇泡沫轻质土工程施工质量检验记录表

所属项目名称 工程名称 工程部位

建设单位 设计单位

施工单位 监理单位

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

检验负责人: 检测: 记录: 复核: 年月日

附录 C 现浇泡沫轻质土工程施工质量评定验收记录表

所属项目名称 工程名称 工程部位

建设单位 设计单位

施工单位 监理单位

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/m ³)					
2	泡沫密度 (kg/m ³)					
3	流值 (mm)					
4	Δ 抗压强度 (MPa)					
5	密度增加率 (%)					
6	准干密度 (kg/m ³)					
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

监理单位评定验收结论:

监理工程师: 年月日

验收负责人: 记录: 复核: 年月日

附录 D 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	材料单方组成(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	
拌和物	拌和物容积(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(°C)	气温(°C)	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 E 消泡试验成果表

所属项目名称工程名称工程部位

建设单位设计单位

施工单位监理单位

环境因素	成型搅拌环境							养护环境			
	稀释水源		搅拌水源		稀释水温度(℃)	搅拌水温 (℃)	气温(℃)	湿度(%)	气温(℃)	湿度(%)	
原材料	发泡剂			水泥			掺和料		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/m ³)					泡沫体积分含有率(%)		理论湿密度(kg/m ³)	
			水泥	水	掺和料	外加剂	料浆			泡沫轻质土	
试配	成型容积(L)	水泥量(g)	水(g)	掺和料(g)	外加剂(g)	泡沫(L)	实测泡沫密度(g/L)	初始湿密度(kg/m ³)		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/m ³)		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 F 泡沫轻质土抗压强度检验报告

所属项目名称 工程名称 工程部位

委托单位 检验单位

送样日期 报告日期

试件						重量 (g)	准干密度 (kg/m ³)		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

本规范用词说明

1 为了便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

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词：

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，在条件允许时首先这样做的词：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 规范中指定应按其它有关标准、规范执行时，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 《快硬硫铝酸盐水泥、快硬铁铝酸盐水泥》 JC933
- 3 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T 1596
- 4 《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》 GB/T 18046
- 5 《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》 GB/T 21120
- 6 《混凝土外加剂》 GB 8076
- 7 《混凝土用水标准》 JGJ 63
- 8 《泡沫混凝土用泡沫剂》 JC/T 2199S
- 9 《土工合成材料聚乙烯土工膜》 GB/T 17643
- 10 《土工合成材料聚氯乙烯土工膜》 GB/T 17688
- 11 《土工合成材料应用技术规范》 GB50290
- 12 《土工合成材料塑料土工格栅》 GB/T17689
- 13 《公路土工合成材料应用技术规范》 JTJ/T019
- 14 《蒸压加气混凝土性能试验方法》 GB/T 11969

现浇泡沫轻质土应用技术规程

(DBJ/T45/-XXX-20xx)

条文说明

1 总则

1.0.1 明确本规程的编制目的。

1.0.2 现浇泡沫轻质土具有轻质性、密度和强度可调节性、直立性、良好的施工性等特性：

1 以减轻荷重或土压，可用于：1)新建道路桥台背路基换填，可有效解决软基路段预压不充分遗留的工后沉降问题；2)旧路改造的桥台台背路基换填，可一次性彻底解决工后沉降引起的桥头跳车问题；3)道路拓宽中的加宽路基填筑，可直接在旧路边坡上填筑，更好解决新旧路基差异变形问题，并可节省征地、避免拆迁；4)陡峭路段的路基填筑，可避免高填深挖带来的施工技术难题，并可节约土地、保护自然地理地质环境；

2 利用泡沫轻质土的自流平特性，用于空洞及狭小空间充填，可避免常规填料充填不到位不饱满的缺陷。采空区、岩溶区、建筑基坑、隧道垮塌形成的空洞及地下管线周边空隙，均可采用现浇泡沫轻质土进行回填。

3 泡沫轻质土采用管道泵送施工，施工便捷，用于塌方快速抢修项目可迅速恢复交通。

1.0.3 说明本规程与其它标准的关系。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 对泡沫轻质土的定义，基本沿用了国内行业标准《泡沫混凝土砌块》JC/T1062-2007 的定义，区别在于，本标准明确了水泥基

胶凝材料和水为必须组分，掺和料、外加剂为可选组分。如在粉煤灰、尾矿砂、煤矸石等丰富且价格便宜的地区，可将其作为掺和料使用。在试验室中，泡沫轻质土也是可以掺砂的，但考虑到实际施工时，对砂的计量的工艺和设备困难，本规程不予考虑。对于类似材料，日本使用较早，日本使用的名称是气泡混合轻质土，采用气泡混合轻质土的工法称为 FCB 工法；就硬化成型体而言，泡沫轻质土、气泡混合轻质土、泡沫混凝土并无本质区别。本标准之所以使用泡沫轻质土的名称，一方面考虑了国内的普遍说法，另一方面，是着眼于现浇泡沫轻质土更多是替代填土来使用。

2.1.6 同一发泡剂，在同一稀释倍率下，不同发泡倍率所形成的泡沫，其表观密度是不一样的：发泡时，发泡装置设定的发泡倍率越高，泡沫表观密度越小，直至无法发泡。当泡沫表观密度太小时，其稳定性会显著下降，影响泡沫轻质土的性能。定义标准泡沫密度，是为了和稀释倍率一起，对发泡剂的性能进行必要的限制，以确保工程质量。

2.1.8 在实际应用泡沫轻质土的工程实践中发现，对于消泡试验满足要求的情况，仍出现现场浇注体在硬化后出现整体沉陷的情况，分析其原因，主要在于某些水泥质量较差、终凝时间较长。鉴于此，为避免或减少整体沉陷，有必要引入标准沉陷距来限制使用某些低品质的水泥，以弥补单纯的消泡试验对原材料品质要求的缺陷。

2.1.9 泡沫轻质土在自然温度、自然湿度条件下硬化时的表观密度，可和抗压强度同时测量。

3 材料及性能

3.1 原材料

3.1.1 泡沫轻质土对水泥类型、型号没有要求，只需使用前进行适应性试验，满足要求即可。

3.1.2 掺合料可根据性能要求和经济性选用。除规范中提到的种类外、煤矸石、石粉、建筑垃圾磨细粉等也可作为掺和料使用，使用前应进行适应性实验，满足设计要求即可。

3.1.4 本条对泡沫轻质土拌合水的要求未做定量指标的规定，一般来说，自来水、未污染的河水、渠水等（无明显浑浊、无明显气味）均可作为泡沫轻质土的拌合水，使用前应进行适应性试验，满足设计要求即可。

3.1.5 发泡剂是泡沫轻质土关键原材料。本标准未采用单纯衡量泡沫稳定性的指标，诸如起泡高度、稳泡时间、消泡时间等，原因是发泡剂的性能最关键的还是形成的泡沫与泡沫轻质土中其它组分的适应性，只有泡沫与其它组分混合后还具有足够的稳定性才有实际意义，如混合后稳定性差，即使起泡高度、稳泡时间等指标很好，湿密度在拌和、流动过程中仍会因消泡显著增大，故采用消泡试验确定的泡沫轻质土的湿密度增加率及标准沉陷距来衡量发泡剂的性能更为合理。由于泡沫和其它组分的适应性，不仅仅和发泡剂材料有关，还受控于发泡剂水溶液的浓度即稀释倍率、泡沫本身的表现密度（受控于发泡倍率），故本条只要求标准泡沫密度及不出现离析来规定发泡剂的性能。

3.2 泡沫轻质土

3.2.1 对泡沫轻质土的强度等级进行划分,目的是在设计和施工中便于使用描述。强度等级的划分参照了《泡沫混凝土砌块》(JC/T 1062-2007) 6.3 条的要求,但将该条中的强度符号改为 F,最低强度级别 A0.5 改为两个强度级别: F0.4 和 F0.6。将 A 改为 F,是和泡沫的英文单词 foamed 的首字母一致;设 F0.4 和 F0.6 两个更细的强度级别,是便于现浇泡沫轻质土在强度要求不高的场合应用(如空洞充填和地暖填筑)。为了道路工程中更有效的利用泡沫轻质土的强度级别,细化增加了 F0.8, F1.2 两个中间级别。

3.2.2 泡沫轻质土的密度级别划分,目的也是在设计和施工中便于使用描述。这里需要说明的是,密度级别的划分是以湿密度的大小为准,并未以准干密度为准,这是因为,即使是湿密度和准干密度,其值也并非定值。故直接以表观密度作为密度级别的划分标准,当然,在工程实际中,因表观密度是受环境因素影响的,故泡沫轻质土的密度级别并非一成不变。

3.2.3 泡沫轻质土与常规土体接触面的滑动摩擦系数取值参考了《FCB 工法设计与施工指南》中“第 II-3-5 设计相关材料特性”有关摩擦特性的规定。根据《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTGT D31-02-2013),无实测资料时可取 0.5。

3.2.4 通过控制泡沫轻质土标准沉陷距保证单层施工时不发生较大的施工沉降。

3.2.5 弹性模量与抗压强度的关系公式取自《FCB 工法设计与施工指南》中“第 II-3-5 设计相关材料特性”有关材料特性的规定。

3.2.6 根据泡沫轻质土三轴试验得到抗剪强度指标的经验值。

4 工程设计

4.1 一般规定

4.1.1 明确了设计原则。

4.1.2 泡沫轻质土如直接暴露使用,在风雨雪温差等自然因素的影响下,会出现严重的风化损毁,其强度下降幅度可达 60%~70% (图 1),而且,会出现剥落现象,故设计时,严禁直接暴露使用。

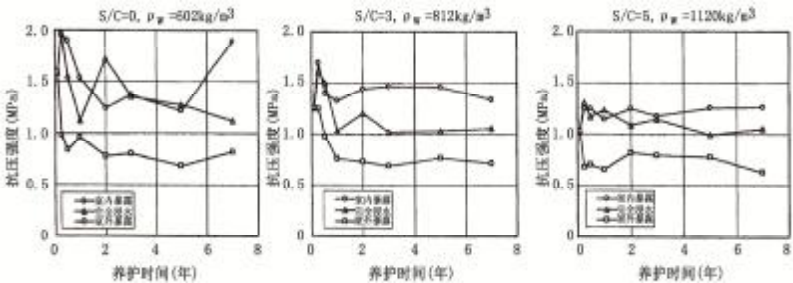


图 1 不同养护条件下的长期强度试验结果

4.2 性能设计

4.2.2 本规程对道路现浇泡沫轻质土的强度设计指标采用抗压强度,其规定值较《城市道路路基设计规范》CJJ194-2013 规定的 CBR 值要高得多,其强度安全储备足够。

《城市道路路基设计规范》对路堤填料的要求数据表

路床顶面 以下深度 (m)	填料最小强度 (CBR) (%)		
	快速路、主干路	次干路	支路
0~0.3	8	6	5
0.3~0.8	5	4	3

0.8~1.5	4	3	3
>1.5	3	2	2

关于泡沫轻质土抗压强度与 CBR 强度的关系，根据国内外的试验资料，两者基本呈线性关系，其关系公式如下：

$$CBR=25.4q_u-0.762 \quad (1)$$

式中，CBR 单位为%，抗压强度 q_u 单位为 MPa。当泡沫轻质土的抗压强度为 0.4MPa 时，其 CBR=9.4%，显然满足规范要求。故采用抗压强度作为道路现浇泡沫轻质土工程的设计指标是合理可行的。

4.3 断面形式设计

4.3.2 因泡沫轻质土硬化后呈现整板效应，为防止产生折断，故对最小填筑厚度提出要求，泡沫轻质土最小填筑厚度不小于 1.0m。

4.3.6 为实现差异沉降平顺过渡，应选择合适的过渡段长度，且轻质土厚度应逐级变化，并给出了示意案例。

4.4 辅助工程设计

4.4.2 此条要求与《城市综合管廊工程技术规范》GB50838 第 8.2 节“材料”要求基本一致，并核对了与《高分子防水材料第 4 部分：盾构隧道管片用橡胶密封垫》GB 18173.4 相关的内容，更正了一些单位、项目名称和数据的错误。

4.4.1 泡沫轻质土具有硬化后可直立的特点，侧向应力几乎为 0，保护壁主要用于防止泡沫轻质土直接与大气接触，且施工过程中可作为临空面模板。因此泡沫轻质土的保护壁不同于常规的挡土墙保护壁。工程常用的保护壁有两种，一是 4cm 厚预制薄壁式保护壁（图 1），二是 20cm 或 30cm 钢筋混凝土保护壁。

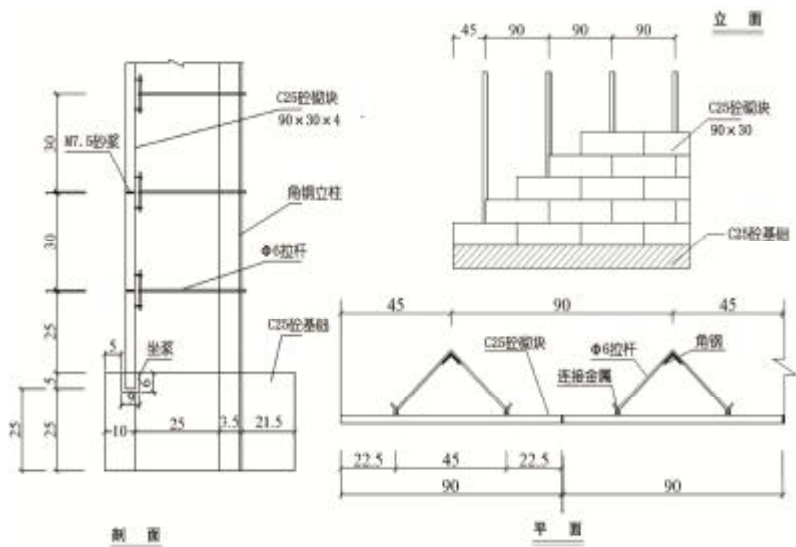
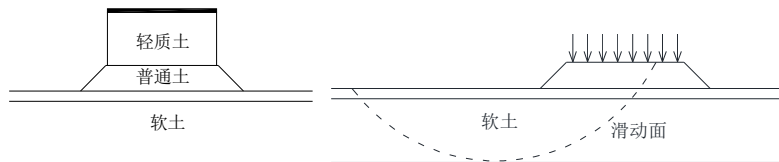


图 2 护臂图

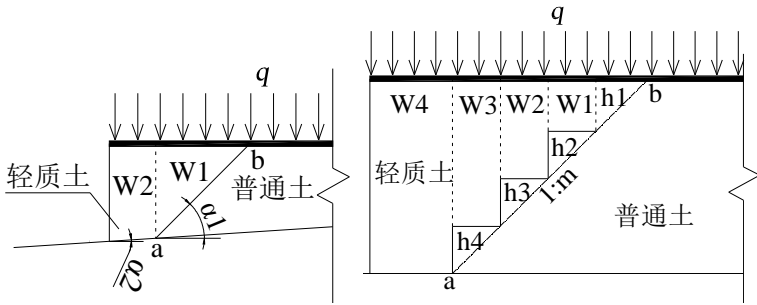
4.5.3 泡沫轻质土填筑体位于软基上时，即使稳定安全系数满足要求，仍可能因承载力不足而导致失稳。因此当位于软基上时，除将轻质土看作填筑体进行稳定分析，还应将轻质土看作荷载进行稳定分析，如图 2 所示。



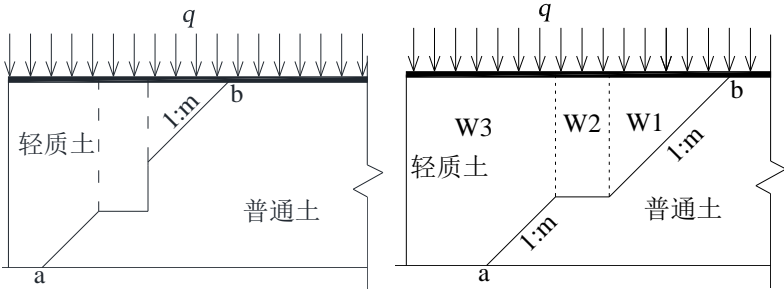
(a) 软基泡沫轻质土填筑体 (b) 稳定分析示意

图 3 软基泡沫轻质土填筑体稳定分析

4.5.4 泡沫轻质土填筑体高度大于 3m 时通常设置台阶以提高滑动稳定性，常见界面类型见图 3。



(a) 无台阶界面 (b) 连续直立台阶界面



(c) 断续直立台阶界面 (d) 断续斜台界面

图 4 泡沫轻质土与普通土界面类型

5 配合比

5.1 基本规定

5.1.1 明确泡沫轻质土配合比设计应重点考虑的因素。

5.1.2 与混凝土相比，泡沫轻质土抗压强度是很低的；在确定试配强度与设计强度的大小关系时，试配强度高于设计强度的幅度不宜太大，故其系数取 1.05。

5.1.3 对流值的规定，是在满足施工性能的前提下，尽可能降低泡沫轻质土水泥浆的水胶比，以利于成型体的最终强度。

5.1.4 对标准沉陷距的规定，是保证泡沫轻质土浇筑硬化过程中不产生较大的塌陷。

5.2 配合比试配

5.2.2 说明配合比各组分的构成比例及计算。

本条中使用的密度指标进一步解释如下：

ρ_c 指的是水泥颗粒本身的实体密度，非指水泥松散状态下的堆积密度。硅酸盐水泥密度取 3100kg/m^3 ；硫铝酸盐水泥密度取 2850kg/m^3 。

ρ_s 指的是掺和料本身的实体密度。

ρ_x 指的是掺合料实体单位体积质量，如粉煤灰、磨细矿渣粉等。

6 工程施工（安全条款）

6.2 设备与拌合制作

6.2.1 对发泡装置的要求，是基于泡沫轻质土所采用的泡沫必须是稳定的。某些发泡装置，例如，采用高速搅拌发泡，就很难获得稳定的泡沫，故不应在生产中采用。

6.2.2 设备的自动化计量，是确保施工配合比满足设计要求的基本前提；只有自动化计量体系，才能确保施工过程中湿密度、流值的稳定性，才能保证施工质量。

6.2.3 材料的计量精度综合考虑了设备精度水平及计量误差对施工配合比的影响。

6.2.4 拌和均匀是对搅拌的基本要求。

6.2.5 停滞时间过长，浆料会出现初凝。

6.3 输送与浇筑

6.3.2 地下水位以下的泡沫轻质土，临时降水措施是确保现浇施工质量不受影响；如施工未达抗浮要求，撤除降水措施可能会导致泡沫轻质土填筑体上浮造成无法挽救的后果。

6.3.4 本条要求是为了避免泡沫轻质土在流动状态下出现物理消泡现象，高度控制在 1m 以内可有效避免物理冲击消泡。对于空洞充填类泡沫轻质土，不做此类要求，是因为在很多情况下，空洞充填的施工条件无法满足。

6.3.5 浇筑时间的控制是为了避免泡沫轻质土因终凝前的结构破坏导致强度降低。

6.4 辅助工程施工

6.4.1 砌块类保护壁，为避免施工过程中失稳翻倒，故要求与泡沫轻质土一起随浇随砌。

6.4.2 防水土工膜应尽可能减少搭接，可根据基底平面形状，尽可能在厂家订做成一整块膜。

6.5 硬化后的整体养护

6.5.1 表面覆盖塑料薄膜进行保湿养护，是为避免泡沫轻质土在硬化过程中因表面失水过多而导致表层强度降低。对于溶洞填充工程，施工条件决定其不太可能进行薄膜保湿养护，故不做要求。

6.5.2 在强度未达到设计强度前，如直接进入使用状态，可能会对

泡沫轻质土的质量造成不利影响或引起其它工程质量或安全事故。

7 质量检验与验收

7.1 一般规定

7.1.1 明确了检验与验收的基本单位。

7.1.2 按材料、施工过程及硬化后的成品进行质量检验，符合一般土建工程的检验顺序。

7.2 材料检验

7.2.3 明确泡沫轻质土用水、用于养护目的的塑料薄膜及保护壁相关材料（如角钢、拉杆、保护面板等）等不做进场检验与验收，是避免工程监督单位如监理单位将泡沫轻质土工程作为结构工程如混凝土工程来要求检验与验收。

7.2.4 泡沫轻质土工程中的土工格栅和防渗土工膜，一般起加筋及防水作用，应对土工格栅及防渗土工膜仅要求提供出厂合格证。

7.3 施工过程质量检验

7.3.2 本节定位湿密度为主控项目，流值为一般项目。这是因为，湿密度的大小不仅仅是配合比准确与否的直接反应，也是泡沫轻质土消泡程度是否可控制在较小范围内的直接反应；流值的大小在湿密度满足要求时，仅仅影响到施工性。

7.4 硬化后的质量检验

7.4.4 明确了硬化后的质量检验主控项目为抗压强度，一般项目为准干密度、顶面高程、填筑厚度、平面位置及平面尺寸，规定了检验方法、检验频率和合格标准。

7.5 质量评定与验收

7.5 考虑到替代填土减轻荷重或土压的主要应用领域为道路工程领域，本节重点参考了《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ1-2008。