

轻质泡沫混凝土设计与施工规范

Specification for design and construction of foam lightweight concrete

2023 - 08 - 10 发布

2023 - 09 - 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 水泥	2
4.3 发泡剂	2
4.4 水	2
4.5 外加剂	2
4.6 掺和料	2
5 配合比	3
5.1 一般规定	3
5.2 配合比设计	3
5.3 技术参数	4
6 工程设计	5
6.1 一般规定	5
6.2 设计要求	6
7 施工	10
7.1 一般规定	10
7.2 施工准备	11
7.3 生产设备	11
7.4 试验路段	12
7.5 护面板施工	12
7.6 轻质泡沫混凝土制备	12
7.7 现场施工	13
7.8 现场养生	13
8 监测	14
9 质量检查与验收	14
9.1 一般规定	14
9.2 原材料检验	15
9.3 施工过程质量检查	15
9.4 现场检查	16
9.5 质量验收	17
附录 A（资料性） 轻质泡沫混凝土配合比记录表	18

附录 B（资料性）	常用参考配合比表	19
附录 C（资料性）	轻质泡沫混凝土施工配合比试验记录表.....	20

轻质泡沫混凝土设计与施工规范

1 范围

本文件界定了轻质泡沫混凝土设计与施工涉及的术语和定义，规定了材料、配合比、工程设计、施工、监测、质量检查与验收。

本文件适用于广西壮族自治区行政区域内各等级公路轻质泡沫混凝土的设计与施工。

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 176 水泥化学分析方法
- GB/T 208 水泥密度测定方法
- GB/T 1346 水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法
- GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB 5085.3 危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别
- GB/T 8074 水泥比表面积测定方法 勃氏法
- GB 8076 混凝土外加剂
- GB/T 8162 结构用无缝钢管
- GB 8624 建筑材料及制品燃烧性能分级
- GB/T 14848 地下水质量标准
- GB/T 17671 水泥胶砂强度检验方法(ISO法)
- GB/T 18046 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
- GB/T 25181 预拌砂浆
- GB/T 50081 混凝土物理力学性能试验方法标准
- GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
- GB/T 51028 大体积混凝土温度测控技术规范
- JG/T 266 泡沫混凝土
- JGJ 63 混凝土用水标准
- JTG 3430 公路土工试验规程
- JTG D30 公路路基设计规范
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
- DB45/T 2364 公路路基监测技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

轻质泡沫混凝土 foam lightweight concrete

采用物理方法或化学方法将空气、氮气、二氧化碳气、氧气等气体，引入到以水泥、矿物掺合料和水等原料为主制成料浆中，经混合搅拌、成型养护，而形成的含有大量均匀分布的细小封闭气孔，并且强度和密度可调节的轻质水泥固结材料。

3.2

发泡倍数 foam multiple

发泡后泡沫体积与未发泡时发泡剂体积之比。

3.3

水胶比 water binder ratio

轻质泡沫混凝土中水与胶凝材料的质量比。

注：胶凝材料包括但不限于水泥、具有胶凝性的固废材料。

4 材料

4.1 一般规定

- 4.1.1 轻质泡沫混凝土一般由水泥、水、发泡剂、掺和料、外加剂组成。
- 4.1.2 制备轻质泡沫混凝土所采用的原材料应经过检验，并符合 GB 175、GB 8076 的规定。
- 4.1.3 不同品种（规格）、等级、厂家（产地）、出厂日期的原材料不应混存、混用。
- 4.1.4 轻质泡沫混凝土不应对环境造成有害影响，应符合 GB 5085.3、GB/T 14848 的规定。
- 4.1.5 盐分、有机质、水等对轻质泡沫混凝土有侵蚀作用时，应进行相应的防腐蚀设计。

4.2 水泥

轻质泡沫混凝土宜采用低水化热水泥，水泥强度等级应采用32.5级或42.5级，同时水泥其他技术性能指标应符合GB 175的规定。

4.3 发泡剂

- 4.3.1 发泡剂宜采用合成类高分子表面活性剂，其外观均匀透明，常温条件下无异物析出或沉淀，无异味或刺激性气味，并且不应操作人员身体健康、环境造成损害，不宜采用动物蛋白类发泡剂。
- 4.3.2 不应使用超过质保期的发泡剂。
- 4.3.3 发泡剂发泡倍数宜控制在 40 倍~75 倍，气泡直径 $<2\text{mm}$ ，泡沫应均匀稳定，泡沫稳定时间 $>30\text{min}$ ，沉降距 $\leq 3\text{mm}$ ，泌水 $\leq 20\text{mL}$ 。

4.4 水

轻质泡沫混凝土用水应符合JGJ 63的规定。

4.5 外加剂

- 4.5.1 轻质泡沫混凝土掺入减水剂、早强剂、憎水剂等外加剂，应符合 GB 8076、GB 50119 的规定。
- 4.5.2 外加剂使用前应进行相关试验，对轻质泡沫混凝土的成样质量应无不良影响。

4.6 掺和料

- 4.6.1 粉煤灰应符合 GB/T 1596 的规定。

- 4.6.2 矿渣粉应符合 GB/T 18046 的规定。
- 4.6.3 赤泥等固体废物掺和料应符合国家相关规定，经过原材料检验合格，可以用作掺和料。
- 4.6.4 固废掺和料和低活性掺和料总重量不宜大于水泥重量的 20%，超过用量时应进行抗压强度、耐久性试验。

5 配合比

5.1 一般规定

- 5.1.1 配合比按单位用量法计算。
- 5.1.2 轻质泡沫混凝土配合比应满足抗压强度、流动度、吸水率和表观密度的设计要求。
- 5.1.3 配合比设计成果应包括单位体积水泥用量、发泡剂稀释倍数、发泡倍数、掺和料用量、外加剂用量、湿密度、干密度等参数，轻质泡沫混凝土配合比记录表参见附录 A 中的表 A.1。
- 5.1.4 配制水泥胶浆时应按质量称取水泥、水或其他材料，泡沫则应按设计的体积比掺入水泥浆料中混合搅拌。

5.2 配合比设计

- 5.2.1 配合比设计应确定水泥掺量、单位体积用水量和气泡率等参数，单位体积轻质泡沫混凝土所需泡沫体按照公式 (1) 计算：

$$V_f = 1 - \frac{m_c}{\rho_c} - \frac{m_w}{\rho_w} - \frac{m_s}{\rho_s} \dots \dots \dots (1)$$

式中：

- V_f ——设计配合比中单位体积轻质泡沫混凝土所需泡沫体积，单位为立方米 (m^3)；
- m_c ——设计配合比中单位体积轻质泡沫混凝土所需水泥的用量，单位为千克 (kg)；
- ρ_c ——水泥的表观密度，单位为千克每立方米 (kg/m^3)；
- m_w ——设计配合比中单位体积轻质泡沫混凝土所需水用量，单位为千克 (kg)；
- ρ_w ——水的密度，单位为千克每立方米 (kg/m^3)；
- m_s ——其他掺和料的质量，单位为千克 (kg)；
- ρ_s ——其他掺和料的表观密度，单位为千克每立方米 (kg/m^3)。

- 5.2.2 根据配合比设计要求，选取适合的水胶比，给出 $1 m^3$ 轻质泡沫混凝土各组分材料的质量，推荐配合比参见附录 B 中的表 B.1。
- 5.2.3 根据计算的配合比，先拌和均匀水泥胶浆后，掺入泡沫，继续拌和均匀。
- 5.2.4 流动度宜控制为 160 mm~200 mm，有特殊设计的则以设计文件为准。
- 5.2.5 采用泵送时，流动度应为 180 mm±20 mm。
- 5.2.6 应进行消泡试验，测定湿密度增加率及标准沉陷距。
- 5.2.7 轻质泡沫混凝土试件在标准养护条件下 28 d 龄期满足设计抗压强度要求作为试验配合比。
- 5.2.8 配合比试配试验应在监理单位见证下，由施工单位进行；完成后，应按要求填写轻质泡沫混凝土施工配合比试验记录表，参见附录 C 中的表 C.1。
- 5.2.9 大体积泡沫轻质混凝土浇筑根据温度控制设计确定水胶比。
- 5.2.10 掺和料配合比试验应进行强度试验、耐久性试验、发泡试验。

注：耐久性试验包括水稳定性试验、徐变试验、冻融循环、侵蚀试验。

5.3 技术参数

5.3.1 干重度

轻质泡沫混凝土按干重度等级见表1。

表1 轻质泡沫混凝土干重度等级

干重度等级	容许干重度范围 (kN/m ³)	标准值 (kN/m ³)
A05	$4.5 \leq \gamma_d \leq 5.5$	5.0
A06	$5.5 \leq \gamma_d \leq 6.5$	6.0
A07	$6.5 \leq \gamma_d \leq 7.5$	7.0
A08	$7.5 \leq \gamma_d \leq 8.5$	8.0
A09	$8.5 \leq \gamma_d \leq 9.5$	9.0
A10	$9.5 \leq \gamma_d \leq 10.5$	10.0
A11	$10.5 \leq \gamma_d \leq 11.5$	11.0
A12	$11.5 \leq \gamma_d \leq 12.5$	12.0

5.3.2 抗压强度

轻质泡沫混凝土强度等级按100 mm×100 mm×100 mm立方体的抗压强度进行划分，抗压强度标准值和样本最小值按表2的规定执行。

表2 轻质泡沫混凝土抗压强度等级

抗压强度等级	抗压强度 (MPa)	
	标准值	样本最小值
CF0.6	0.6	0.51
CF0.8	0.8	0.68
CF1.0	1.0	0.85
CF1.2	1.2	1.02
CF1.5	1.5	1.27
CF2.0	2.0	1.8
CF4.0	4.0	3.6

5.3.3 吸水率

轻质泡沫混凝土吸水率见表3。

表3 轻质泡沫混凝土吸水率

等级	W5	W10	W15	W20	W25	W30	W35	W40
吸水率 (%)	$\omega \leq 5$	$\omega \leq 10$	$\omega \leq 15$	$\omega \leq 20$	$\omega \leq 25$	$\omega \leq 30$	$\omega \leq 35$	$\omega \leq 40$

5.3.4 可燃性

轻质泡沫混凝土为不可燃材料，燃烧性能试验方法应按GB 8624的要求执行。

5.3.5 微观特性

轻质泡沫混凝土试块气泡空隙均匀、细密，试块表观气孔直径宜采用显微镜扫描方法进行观测，采用数字图像处理软件进行统计，应 ≤ 2.0 mm，观测面积 ≥ 1 cm²。

注：表观气孔直径指轻质泡沫混凝土凝固后，从试块中间剖切，观察到切面的气孔直径。

6 工程设计

6.1 一般规定

6.1.1 轻质泡沫混凝土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，全面搜集工程区域的地质、水文、地形、地貌、气象、地震等资料，了解地下涵洞、管线等埋设情况。

6.1.2 设计应根据使用功能要求和环境条件具体明确轻质泡沫混凝土的干重度等级、抗压强度、吸水率和其他性能指标。

6.1.3 大体积轻质泡沫混凝土（单次浇筑方量 > 100 m³或厚度 > 1 m的轻质泡沫混凝土）应进行温度控制设计。

6.1.4 轻质泡沫混凝土应做好表面封闭及内部排水措施。

6.1.5 轻质泡沫混凝土底部排水措施不应影响路基整体稳定性，可采用横、纵向盲沟等设计形式，每30 m~50 m设置一道横向盲沟。

6.1.6 轻质泡沫混凝土不宜长时间浸水，水源丰富地区进行地表水和地下水的处治设计。

6.1.7 浸水轻质泡沫混凝土路基应采用A10以上的设计干重度。

6.1.8 受到水蚀侵害的轻质土路基，应进行轻质泡沫混凝土水稳定系数试验，根据试验结果，进行配合比调整、排水方案设计。

6.1.9 转弯半径 < 250 m、转弯角 $> 90^\circ$ 的路基段不宜使用轻质泡沫混凝土；使用轻质泡沫混凝土时，应采用有限元软件进行离心力作用下路基抗拉裂校核，对受力集中点进行加强设计。

6.1.10 轻质泡沫混凝土在公路行业应用分类及其主要技术特性，主要适用于以下工程环境：

- 需减轻堆载重量的结构体；
- 空间狭窄(小)且不规则，地下空腔、采空区、溶腔、管线回填等需要密实充填的情况；
- 用地或空间受限时，为减少对周边环境的影响，需要直立浇筑的情况；
- 软土地基处理施工净空条件受限情况；
- 为改善软弱地基变形的协调性，路堤填筑荷载需设置过渡处理的情况；
- 高填路基压实困难情况；
- 需快速填筑抢修的情况。

6.1.11 轻质泡沫混凝土用于非承重结构而仅限于空腔填充要求时，其流动度值为 180 mm ± 20 mm，抗压强度等级不应低于CF0.6，干重度等级适用A05或以上等级。

6.1.12 轻质泡沫混凝土用于路堤填筑时，其抗压强度不应低于CF0.8，干重度等级适用A05、A06或以上等级；路床回填筑轻质泡沫混凝土时，抗压强度不应低于CF1.0，干重度等级适用A06、A07或以上等级。

6.1.13 轻质泡沫混凝土路基填筑高度 > 20 m时，路基设计标高位置的强度不低于设计强度，设计标高以下每10 m提高一个强度等级。

6.1.14 轻质泡沫混凝土应用于有冲刷的岸坡工程时，应对防冲刷设施进行专项设计。

6.1.15 轻质泡沫混凝土用于填筑路堤时，设计厚度应根据沉降计算和技术经济指标综合比较确定，并按以下要求控制：

- 最小设计厚度 ≥ 1 m；
- 软土地基路堤设计超过 8 m 时，进行分平台设计，其襟边宽度 ≥ 1 m；
- 长度超过 15 m、地形地质变化、纵向厚度变化、墙高变化等位置，垂直于路线方向，每隔 10 m~15 m 设置一道沉降缝，缝宽 ≥ 2 cm，填缝板宜采用泡沫板；
- 山区路堤设计厚度 ≤ 30 m，超过 15 m 的轻质土路基加强抗裂设计；
- 陡坡路段轻质泡沫混凝土底部与土基接触面宽度 ≥ 2 m。

6.2 设计要求

6.2.1 技术要求

- 6.2.1.1 在软土地基采用轻质泡沫混凝土浇筑时，应计算地基的沉降变形量，并验算地基承载力要求。
- 6.2.1.2 轻质泡沫混凝土路堤填筑设计指标见表 4。

表4 轻质泡沫混凝土路堤填筑设计指标

部位	距离路面结构层底面距离 (cm)		高速公路、一级公路		其他等级公路	
			干重度适用等级	抗压强度等级不低于	干重度适用等级	抗压强度等级不低于
上路床	0~30		不推荐			
下路床	轻、中、重交通等级	30~80	A06、A07	CF1.0	A05、A06	CF0.8
	特重、极重交通荷载等级	30~120				
上路堤	轻、中、重交通等级	80~150	A06、A07	CF0.8		
	特重、极重交通荷载等级	120~190	A06、A07	CF1.0		
下路堤	轻、中、重交通等级	>150	A05、A06	CF0.8		
	特重、极重交通荷载等级	>190				

- 6.2.1.3 地基沉降和承载力验算时，轻质泡沫混凝土设计重度、抗剪强度参数、接触面的摩擦系数等性能指标按 JTG D30 要求取值。
- 6.2.1.4 在受水位影响时，应对构筑物进行抗浮验算，抗浮安全系数要求 $F_s \geq 1.2$ 。
- 6.2.1.5 浸水路堤轻质泡沫混凝土水稳定系数宜根据试验确定，试验方法按照 JTG 3430 执行，无试验数据时，水稳定系数取 0.80。
- 6.2.1.6 轻质泡沫混凝土弹性模量可通过试验确定，当无试验资料时，可按照公式 (2) 取值：

$$E_c = 230R_u \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- E_c ——轻质泡沫混凝土的弹性模量，单位为兆帕 (MPa)；
- R_u ——轻质泡沫混凝土干燥状态下立方体抗压强度，单位为兆帕 (MPa)。

- 6.2.1.7 轻质泡沫混凝土路堤地基沉降计算时，总沉降修正系数宜取 1.0~1.05。当地基承载力特征值大于两倍路堤荷载时取小值。
- 6.2.1.8 轻质泡沫混凝土路堤技术指标选取按表 4 的要求执行。

6.2.2 荷载设计

6.2.2.1 轻质泡沫混凝土路堤抗滑动、抗倾覆稳定性、基底应力验算时，工程设计荷载分类及其组合应按 JTG D30 的要求执行；

6.2.2.2 轻质泡沫混凝土路堤抗滑动、抗倾覆稳定性、基底应力验算时，路面车辆荷载作用可按照公式（3）换算成等效均布土层厚度计算：

$$h_0 = \frac{q}{\gamma} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

h_0 ——换算土层厚度，单位为米（m）；

q ——车辆附加荷载标准值（ kN/m^2 ），根据公路设计荷载等级进行取值；

γ ——路堤填料的重度，单位为千牛每立方米（ kN/m^3 ）。

6.2.2.3 软土地基轻质泡沫混凝土路堤的地基沉降计算和结构上覆荷载验算时应考虑轻质泡沫混凝土浸润吸水之后的加载效应，浸水后的轻质泡沫混凝土自重应力应采用 1.05 倍~1.2 倍的湿重度。

6.2.2.4 路堤稳定性计算方法可按照 JTG D30 的规定执行。当路堤底面存在斜坡或浇注区高宽比 >1 且高度 $>3\text{ m}$ 时，参考挡土墙设计验算浇筑体抗滑移稳定性、抗倾覆稳定性和承载力。

6.2.3 陡坡路基设计

6.2.3.1 路基横坡陡于 1:5 时，轻质泡沫混凝土路基应按陡坡路基进行设计，应进行抗滑稳定性计算：

——斜坡上浇筑轻质泡沫混凝土时，应采用台阶式浇筑，浇筑体底部基础宽度应满足 $B \geq 2\text{ m}$ 且 $B \geq 0.25 H$ ，路基护面板襟边宽度 $L \geq 2\text{ m}$ ，见图 1 所示；

——路基主体襟边宽度应 $\geq 1\text{ m}$ ，台阶坡度应内倾 2%~4%。

6.2.3.2 采用微型钢管桩抗滑结构，应进行地质勘察和深层位移监测，确定滑动面，根据滑动面设计钢管桩埋设深度、横纵向布置间距，简化计算模型如图 1 所示。

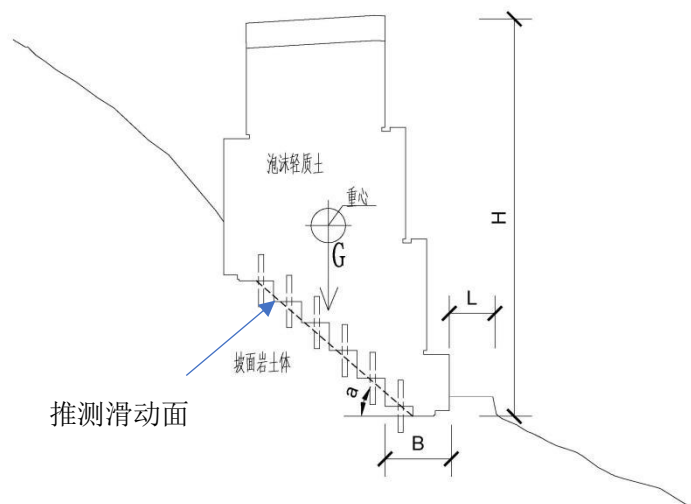


图1 剪断钢管桩滑动计算模型

6.2.3.3 滑动稳定性分析中，路基破坏方式分为两种：

——剪断微型钢管桩，见图 1；

——沿着微型钢管桩加固土体底整体滑动。

6.2.3.4 剪断微型钢管桩的抗滑动安全系数计算按照公式（4）计算：

$$K_C = \frac{\mu G \cos \alpha_0 + f_v \times A_n}{G \sin \alpha_0} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- K_C ——抗滑动安全系数；
- μ ——填筑体与衔接面间的摩擦系数，取值 0.30；
- G ——填筑体重力以及作用于其顶面的其他竖向荷载的总和，单位为千牛（kN）；
- α_0 ——基地倾斜角度，单位为度（°）
- f_v ——微型钢管桩抗剪强度按 GB/T 8162 取值；
- A_n ——微型钢管桩的断面面积， $A_n = \frac{A_0(\text{单根微型钢管桩面积}) \times n(\text{微型钢管桩根数})}{\cos \alpha_0}$ 。

注：放台阶后，填筑体重力及其他竖向荷载直接于台阶上，每段台阶上抗滑力值为 $\mu G \cos \alpha_0$ ，所有台阶抗滑合力等于 $\sum_{i=1}^n \mu G \cos \alpha_0$ 。

6.2.3.5 根据计算得到的滑动面，路基整体滑动：

——根据各断面定性分析，选取各段最危险的断面进行稳定性分析。抗滑动安全系数按照公式（5）计算：

$$K_C = \frac{G \cos \alpha_0 \tan \varphi + cL}{G \sin \alpha_0} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- K_C ——抗滑动安全系数；
- G ——填筑体重力以及作用于其顶面的其他竖向荷载的总和，单位为千牛（kN）；
- α_0 ——基底倾斜角度（°）；
- φ ——土的内摩擦角，考虑到注浆对土体的加固作用取值 35°；
- c ——土的粘聚力，取值 30 kN/m²；
- L ——滑动面长度，为简化计算，仅考虑路面宽度内的滑动面长度。

——根据定性分析选取各段最危险断面进行抗倾覆稳定性分析和抗倾覆稳定计算，抗倾覆安全系数按照公式（6）计算：

$$K_0 = \frac{GZ_G + E_y Z_x + E'_p Z_p}{E_x Z_x + PH} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- K_0 ——抗倾覆安全系数；
- G ——填筑体重力以及作用于其顶面的其他竖向荷载的总和，单位为千牛（kN）；
- Z_G ——填筑体重力以及作用于其顶面的其他竖向荷载的合力重心至填筑体趾部的距离，单位为米（m）；
- E_y ——填筑体背面主动土压力的竖向分量，单位为千牛（kN）；
- Z_x ——主动土压力的竖向分量至填筑体趾部的距离，单位为米（m）；
- E'_p ——填筑体前面被动土压力的水平分量 0.3 倍，单位为千牛（kN）；
- 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，单位为米（m）；
- E_x ——填筑体背面主动土压力的水平分量，单位为千牛（kN）；
- P ——转弯时汽车荷载离心力，单位为千牛（kN）；
- H ——离心力至填筑体趾部的距离，单位为米（m）。

注：各典型危险断面中， E_x 、 E_y 、 E'_p 均为0，且 $Z_G < 0$ （ G 等效作用点位于趾部左侧，与可能向临空面倾覆的方向相

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/808024102060006074>