

UDC

中华人民共和国行业标准



CJJ/T 177 – 2012

备案号 J 1352 – 2012

P

气泡混合轻质土填筑工程技术规程

Technical specification for foamed mixture
lightweight soil filling engineering

2012 – 01 – 11 发布

2012 – 05 – 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

中华人民共和国行业标准

气泡混合轻质土填筑工程技术规程

Technical specification for foamed mixture
lightweight soil filling engineering

CJJ/T 177 - 2012

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 2 年 5 月 1 日

中国建筑工业出版社

2012 北 京

中华人民共和国行业标准
气泡混合轻质土填筑工程技术规程
Technical specification for foamed mixture
lightweight soil filling engineering
CJJ/T 177 - 2012

*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京西郊百万庄）
各地新华书店、建筑书店经销
北京红光制版公司制版
化学工业出版社印刷厂印刷

*

开本：850×1168 毫米 1/32 印张：2 $\frac{1}{4}$ 字数：77 千字
2012 年 4 月第一版 2012 年 4 月第一次印刷
定价：14.00 元
统一书号：15112·21754

版权所有 翻印必究
如有印装质量问题，可寄本社退换
（邮政编码 100037）

本社网址：<http://www.cabp.com.cn>
网上书店：<http://www.china-building.com.cn>

中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

第 1247 号

关于发布行业标准《气泡混合 轻质土填筑工程技术规程》的公告

现批准《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》为行业标准，编号为 CJJ/T 177 - 2012，自 2012 年 5 月 1 日起实施。

本规程由我部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2012 年 1 月 11 日

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2010年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》（建标〔2010〕43号）的要求，编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，吸取科研成果，参考国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本规程。

本规程的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 材料及性能；4. 设计；5. 配合比；6. 工程施工；7. 质量检验与验收。

本规程由住房和城乡建设部负责管理，由广东冠生土木工程技术有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送广东冠生土木工程技术有限公司（地址：广州市番禺区天安节能科技园产业大厦2座1101单元，邮编：511415）。

本 规 程 主 编 单 位：广东冠生土木工程技术有限公司

深圳市市政工程总公司

本 规 程 参 编 单 位：广东冠粤路桥有限公司

北京市市政工程设计研究总院

广东省公路勘察规划设计院股份有限公司

交通运输部公路科学研究院

广东省建筑科学研究院

中国建筑材料科学研究总院

广东省建筑工程集团有限公司

本规程主要起草人员：肖礼经 谢学钦 刘声向 刘事莲

王树林 罗火生 高俊合 罗旭东

刘联伟 杨仕超 刘龙伟 李 东

苏 军 杨亚兵 王武祥 孙宏涛

吴立坚 罗 枫 陈 刚 王 勇
周志敏

本规程主要审查人员：蔡国宏 张 汎 郑启瑞 杨少华
邓利明 黄政宇 孙 杰 俞宪明
汪全信

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	材料及性能	4
3.1	原材料	4
3.2	性能	4
4	设计	7
4.1	一般规定	7
4.2	性能设计	7
4.3	结构设计	8
4.4	附属工程设计	9
4.5	设计计算	10
5	配合比	14
5.1	一般规定	14
5.2	配合比计算	14
5.3	配合比试配	15
5.4	配合比调整	16
6	工程施工	17
6.1	施工准备	17
6.2	浇筑	17
6.3	附属工程施工	19
6.4	养护	19
7	质量检验与验收	20
7.1	一般规定	20

7.2 质量检验	20
7.3 质量验收	23
附录 A 发泡剂性能试验	25
附录 B 适应性试验	28
附录 C 湿容重试验	30
附录 D 流动度试验	33
附录 E 表干容重、饱水容重试验	35
附录 F 强度试验	38
附录 G 质量检验验收记录	41
本规程用词说明	44
引用标准名录	45
附：条文说明	47

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Materials and Properties	4
3.1	Materials	4
3.2	Properties	4
4	Design	7
4.1	General Requirement	7
4.2	Performance Design	7
4.3	Structure Design	8
4.4	Subsidiary Engineering Design	9
4.5	Design Calculation	10
5	Mix Proportion	14
5.1	General Requirement	14
5.2	Mix Proportion Calculation	14
5.3	Mix Proportion Trial Mix	15
5.4	Mix Proportion Adjustment	16
6	Engineering Construction	17
6.1	Construction Preparation	17
6.2	Pouring	17
6.3	Subsidiary Engineering Construction	19
6.4	Maintenance	19
7	Quality Inspection and Acceptance	20
7.1	General Requirement	20

7.2	Quality Evaluate	20
7.3	Quality Acceptance	23
Appendix A	Test of Foaming Agent Performance	25
Appendix B	Adaptability Test	28
Appendix C	Wet Density Test	30
Appendix D	Flow Value Test	33
Appendix E	Air-dry Density and Saturated Density Test	35
Appendix F	Compressive Strength Test	38
Appendix G	Table of Evaluate and Acceptance for Quality	41
	Explanation of Wording in This Specification	44
	List of Quoted Standards	45
	Addition; Explanation of Provisions	47

1 总 则

1.0.1 为规范气泡混合轻质土的设计、施工，统一质量检验标准，保证气泡混合轻质土填筑工程安全适用、技术先进、经济合理，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于道路工程、建筑工程等领域的气泡混合轻质土设计、施工及检验。

1.0.3 气泡混合轻质土设计、施工及验收除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 气泡混合轻质土 foamed mixture lightweight soil

将制备的气泡群按一定比例加入到由水泥、水及可选添加材料制成的浆料中，经混合搅拌、现浇成型的一种微孔类轻质材料。

2.1.2 气泡群 foamed group

发泡液产生的气泡群体。

2.1.3 发泡液 foaming liquid

发泡剂稀释后的液体。

2.1.4 发泡剂 foaming agent

能产生气泡群的表面活性材料。

2.1.5 稀释倍率 dilution multiple

发泡液与发泡剂的质量比。

2.1.6 发泡倍率 foaming multiple

气泡群与发泡液的体积比。

2.1.7 气泡群密度 foamed group density

气泡群的单位体积质量。

2.1.8 标准气泡柱 standard foamed group

高度直径比为 1 : 1、体积为 1L 的标准气泡群。

2.1.9 流动度 flow value

新拌气泡混合轻质土的流动性指标。

2.1.10 湿容重 wet density

新拌气泡混合轻质土的单位体积重量。

2.1.11 表干容重 air-dry density

标准试件的单位体积重量。

2.1.12 饱水容重 saturated density

标准试件浸水 72h 的单位体积重量。

2.1.13 抗压强度 compressive strength

标准试件的无侧限抗压强度。

2.1.14 饱水抗压强度 saturated compressive strength

标准试件浸水 72h 的无侧限抗压强度。

2.2 符 号

E_c —— 气泡混合轻质土的弹性模量；

q_u —— 气泡混合轻质土的抗压强度；

q_s —— 饱水抗压强度；

ρ_t —— 气泡群密度；

γ —— 湿容重；

γ_a —— 表干容重；

γ_s —— 饱水容重；

λ —— 流动度。

3 材料及性能

3.1 原 材 料

3.1.1 水泥宜采用 42.5 级及以上的通用硅酸盐水泥或硫铝酸盐水泥。通用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，硫铝酸盐水泥应符合现行国家标准《硫铝酸盐水泥》GB 20472 的规定。

3.1.2 水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。

3.1.3 发泡剂应对环境无影响。发泡剂性能试验应符合本规程附录 A 的规定，试验测定的气泡群质量应符合下列规定：

- 1 气泡群密度应为 $48\text{kg/m}^3 \sim 52\text{kg/m}^3$ 。
- 2 标准气泡柱静置 1h 的沉降距不应大于 5mm。
- 3 标准气泡柱静置 1h 的泌水量不应大于 25mL。

3.1.4 添加材料宜包括细集料、掺合料、外加剂等，其粒径不宜大于 4.75mm。

3.1.5 原材料的适应性试验应符合本规程附录 B 的规定，试验测定的新拌气泡混合轻质土静置 1h 的湿容重增加值不应大于 0.5kN/m^3 。试验结果应填写试验记录，并应符合本规程附录 A 表 A.0.6 的要求。

3.2 性 能

3.2.1 容重等级应按湿容重划分，湿容重的允许偏差范围应符合表 3.2.1 的规定。

表 3.2.1 容 重 等 级

容重等级	湿容重 γ (kN/m^3)	
	标准值	允许偏差范围
W3	3.0	$2.5 < \gamma \leq 3.5$

续表 3.2.1

容重等级	湿容重 γ (kN/m ³)	
	标准值	允许偏差范围
W4	4.0	$3.5 < \gamma \leq 4.5$
W5	5.0	$4.5 < \gamma \leq 5.5$
W6	6.0	$5.5 < \gamma \leq 6.5$
W7	7.0	$6.5 < \gamma \leq 7.5$
W8	8.0	$7.5 < \gamma \leq 8.5$
W9	9.0	$8.5 < \gamma \leq 9.5$
W10	10.0	$9.5 < \gamma \leq 10.5$
W11	11.0	$10.5 < \gamma \leq 11.5$
W12	12.0	$11.5 < \gamma \leq 12.5$
W13	13.0	$12.5 < \gamma \leq 13.5$
W14	14.0	$13.5 < \gamma \leq 14.5$
W15	15.0	$14.5 < \gamma \leq 15.5$

3.2.2 强度等级应按抗压强度划分，抗压强度的每组平均值和每块最小值不应小于表 3.2.2 的规定。

表 3.2.2 强度等级

强度等级	抗压强度 q_u (MPa)	
	每组平均值	每块最小值
CF0.3	0.30	0.26
CF0.4	0.40	0.34
CF0.5	0.50	0.42
CF0.6	0.60	0.51
CF0.7	0.70	0.59
CF0.8	0.80	0.68
CF0.9	0.90	0.76
CF1.0	1.00	0.85
CF1.2	1.20	1.02
CF1.5	1.50	1.27
CF2.5	2.50	2.12

续表 3.2.2

强度等级	抗压强度 q_u (MPa)	
	每组平均值	每块最小值
CF5.0	5.00	4.25
CF7.5	7.50	6.37
CF10	10.00	8.50
CF15	15.00	12.75
CF20	20.00	17.00

4 设 计

4.1 一 般 规 定

4.1.1 设计应遵循安全性、适用性和经济性原则。

4.1.2 设计项目应包括性能设计、结构设计和附属工程设计，主要设计内容与设计指标应符合表 4.1.2 的规定。

表 4.1.2 主要设计内容与设计指标

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

4.2 性 能 设 计

4.2.1 当路基填筑时，强度等级、容重等级应根据填筑部位按表 4.2.1 确定。

表 4.2.1 用于路基填筑的性能指标

路面底面以下深度 (m)	最小强度等级		最小容重等级
	城市快速路、高速公路、一级公路、主干路	其他等级公路	
0~0.8	CF0.8	CF0.6	W5
0.8~1.5	CF0.5	CF0.4	W3
>1.5	CF0.4		

4.2.2 当计算水位以下部位填筑时，容重等级、强度等级应按表 4.2.2 确定。

表 4.2.2 用于计算水位以下部位填筑的性能指标

计算水位以下 (m)	最小容重等级	最小强度等级
≤ 3	W6	CF0.8
> 3	W8	CF1.0

4.2.3 空洞填充、管线回填时，应按饱满性、施工性和经济性综合确定强度等级、容重等级。

4.2.4 当冻融环境中填筑时，抗冻性指标可按现行国家标准《蒸压加气混凝土性能试验方法》GB/T 11969 试验确定。

4.2.5 弹性模量可按现行国家标准《蒸压加气混凝土性能试验方法》GB/T 11969 试验确定。当无试验资料时，可按下式计算取值：

$$E_c = 250q_u \quad (4.2.5)$$

式中： E_c ——气泡混合轻质土的弹性模量 (MPa)；

q_u ——气泡混合轻质土的抗压强度 (MPa)。

4.3 结构设计

4.3.1 结构设计应包括断面设计和衔接设计。断面设计宜包括填筑高度、填筑宽度，衔接设计宜包括衔接形式和细部尺寸，一般断面设计（图 4.3.1）尺寸宜按表 4.3.1 确定。

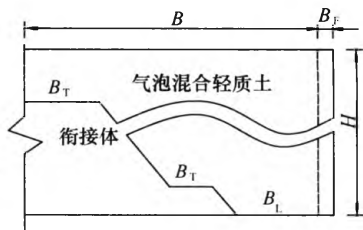


图 4.3.1 一般断面设计图

注：表中 B 为填筑体顶面宽度。

表 4.3.1 断面尺寸要求

设计内容	范 围	备 注
填筑高度 H	0.5m~15.0m	空洞填充、管线回填工程除外
底面宽度 B_L	≥ 2.0 m	
台阶宽度 B_T	≥ 0.5 m	填筑高度超过 2m 设置
预留宽度 B_F	0.3m~0.8m	填筑高度超过 5m 或背面为陡坡体时设置

4.3.2 填筑体与路基或斜坡体间的衔接宜采用台阶形式。

4.3.3 当填筑体顶面有坡度要求时，宜在填筑体顶层分级设置台阶。

4.4 附属工程设计

4.4.1 当面板采用挡板砌筑时，面板宜由基础、挡板、拉筋及立柱组成，并应符合下列规定：

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。

2 基础应采用水泥混凝土现浇，强度等级不应低于 C15。

3 挡板应满足安全、耐久和美观要求，宜采用水泥混凝土预制，强度等级不应低于 C20。

4 挡板可通过拉筋与立柱焊接固定。拉筋可采用 HPB235 钢筋，直径不宜小于 6.0mm；立柱可采用等边角钢，边宽不宜小于 50mm。

4.4.2 填筑体沉降缝设置应符合下列规定：

1 当填筑体长度超过 15m 时，应按 10m~15m 间距设置沉降缝，缝宽不宜小于 10mm。

2 当填筑体底面有突变时，应在突变位置增设沉降缝。

3 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。

4.4.3 当填筑体高宽比 ($H : B_L$) 大于 2、衔接面坡率大于 1 : 0.75 时，宜在衔接面设置锚固设施。锚固设施应符合下列规定：

1 锚固设施应包括锚固件和坡面台阶。

2 锚固设计宜按 1 根/ 2m^2 ~1 根/ 4m^2 的密度布置, 布置形式应为梅花形或矩形。

3 锚固件可采用 HRB335 钢筋, 钢筋直径宜为 $\phi 25\text{mm}$ ~ $\phi 32\text{mm}$ 。

4.4.4 钢丝网设置应符合下列规定:

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。

2 当填筑高度小于 5m 时, 应分别在填筑体底部、顶部 50cm 以内位置设置一层钢丝网。

3 当填筑高度为 5m~12m 时, 应分别在填筑体底部、顶部 100cm 以内位置设置两层钢丝网。

4 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 设置两层钢丝网。

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。

4.4.5 填筑体与相邻结构物间宜设置缓冲层, 缓冲层可采用 20mm~30mm 厚的聚苯乙烯板。

4.4.6 宜在填筑体底层设置碎石垫层, 厚度不宜小于 15cm。

4.4.7 当填筑体位于计算水位以下部位时, 其接触面宜采取防水措施。

4.5 设计计算

4.5.1 荷载分类应按表 4.5.1 确定。

表 4.5.1 荷载分类

荷载类型	荷载名称
永久荷载	填筑体的自重
	填筑体上方的有效永久荷载
	填土侧压力
	计算水位的浮力及静水压力

续表 4.5.1

荷载类型		荷载名称
可变荷载	基本可变荷载	车辆荷载、车辆荷载引起的土侧压力
		人群荷载、人群荷载引起的土侧压力
	其他可变荷载	水位退落时的动水压力
		流水压力
		波浪压力
		冻胀压力和冰压力
	施工荷载	与施工有关的临时荷载
偶然荷载		地震作用力、作用于填筑体顶部护栏的车辆碰撞力

注：1 洪水与地震力不同时考虑；

2 冻胀力、冰压力与流水压力或波浪压力不同时考虑；

3 车辆荷载与地震力不同时考虑。

4.5.2 荷载组合应按表 4.5.2-1 确定。当一般地区填筑时，填筑体顶部的荷载可只计算永久荷载和基本可变荷载。当浸水地区、冻胀地区、地震动峰值加速度值为 $0.2g$ 及以上的地区填筑时，还应计算其他可变荷载和偶然荷载。当填筑体按承载能力极限状态设计时，常用荷载分项系数可按表 4.5.2-2 选用。

表 4.5.2-1 荷载组合

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

表 4.5.2-2 承载能力极限状态的荷载分项系数

情况	荷载增大对填筑体起 有利作用时		荷载增大对填筑体起 不利作用时	
组合	I、II	III	I、II	III
气泡混合轻质土顶部垂直恒载 γ_G	0.9		1.2	

续表 4.5.2-2

情 况	荷载增大对填筑体起 有利作用时		荷载增大对填筑体起 不利作用时	
	I、II	III	I、II	III
主动土压力分项系数 γ_{Q1}	1	0.95	1.4	1.3
被动土压力分项系数 γ_{Q2}	0.30		0.5	
水浮力分项系数 γ_{Q3}	0.95		1.1	
静水压力分项系数 γ_{Q4}	0.95		1.05	
动水压力分项系数 γ_{Q5}	0.95		1.2	

4.5.3 当软土地基路段填筑时，应按国家现行相关标准的规定进行沉降计算。

4.5.4 除空洞填充、管线回填工程外，应对填筑体进行强度验算和稳定性验算。

4.5.5 强度验算应符合下列规定：

1 路基填筑的填筑体抗压强度应按下式计算：

$$q_{u1} = \frac{F_s(100 \times CBR)}{3.5} \quad (4.5.5-1)$$

式中： q_{u1} ——路基填筑的填筑体抗压强度（kPa）；

F_s ——安全系数，取 3；

CBR ——加州承载比，按现行行业标准《公路路基设计规范》JTG D 30 取值。

2 填筑体自立稳定的抗压强度应按下式计算：

$$q_{u2} = F_s(0.5\gamma H + W) \quad (4.5.5-2)$$

式中： q_{u2} ——填筑体自立稳定的抗压强度（kPa）；

γ ——湿容重（kN/m³）；

H ——填筑体高度（m）；

W ——填筑体顶部的荷载（kPa）。

3 填筑体的设计抗压强度不应小于 q_{u1} 和 q_{u2} 值。

4.5.6 稳定性验算应包括填筑体的抗滑动稳定性验算、抗倾覆

稳定性验算及包括地基在内的整体抗滑动稳定性验算，并应符合下列规定：

1 当填筑体的抗滑动稳定性、抗倾覆稳定性验算时，安全系数不应小于表 4.5.6 的规定。

表 4.5.6 抗滑动、抗倾覆安全系数

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

2 包括地基在内的整体抗滑动稳定性验算的安全系数不应小于 1.25。

3 土质地基的基底合力的偏心距不应大于 $B_L/6$ (B_L 为填筑体底宽)，岩石地基的基底合力的偏心距不应大于 $B_L/4$ 。基底压应力不应大于基底的容许承载力。

4.5.7 当计算水位以下部位填筑时，应按下式进行抗浮稳定性验算：

$$F_s = \frac{0.95\gamma V_1 + P}{\rho_w g V_2} \geq 1.2 \quad (4.5.7)$$

式中： γ ——湿容重 (kN/m^3)；

V_1 ——填筑体体积 (m^3)；

V_2 ——计算水位以下的填筑体体积 (m^3)；

P ——填筑体顶部的压力 (kN)；

ρ_w ——水的密度，取 1000kg/m^3 ；

g ——重力常数，取 10N/kg 。

5 配 合 比

5.1 一 般 规 定

5.1.1 配合比设计应包括配合比计算、试配及调整。

5.1.2 配合比设计应采用工程实际使用的原材料。试配前，应按本规程第 3.1.5 条的规定对原材料进行检验。

5.1.3 配合比设计指标应包括湿容重、流动度及抗压强度，并应符合下列规定：

- 1 湿容重应符合本规程表 3.2.1 的规定。
- 2 流动度应为 160mm~200mm。
- 3 试配抗压强度应大于设计抗压强度的 1.05 倍。

5.2 配合比计算

5.2.1 配合比中各种材料的用量计算应符合下列公式的规定：

$$\frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_w}{\rho_w} + \frac{m_f}{\rho_f} + \frac{m_s}{\rho_s} + \frac{m_m}{\rho_m} = 1 \quad (5.2.1-1)$$

$$m_c + m_w + m_f + m_s + m_m = 100\gamma \quad (5.2.1-2)$$

式中： m_c ——每立方气泡混合轻质土的水泥用量 (kg)；

ρ_c ——水泥密度 (kg/m^3)，取 $3100\text{kg}/\text{m}^3$ ；

m_w ——每立方气泡混合轻质土的用水量 (kg)；

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

m_f ——每立方气泡混合轻质土的气泡群用量 (kg)；

ρ_f ——气泡群密度 (kg/m^3)，取 $50\text{kg}/\text{m}^3$ ；

m_s ——每立方气泡混合轻质土的细集料用量 (kg)；

ρ_s ——细集料密度 (kg/m^3)，只采用细砂时，取 $2600\text{kg}/\text{m}^3$ ；

m_m ——每立方气泡混合轻质土的掺合料用量 (kg)；

ρ_m ——掺合料密度 (kg/m^3)。

5.2.2 当掺有细集料、掺合料和外加剂等添加材料时，每立方气泡混合轻质土的细集料、掺合料及外加剂等掺量应按设计指标和水胶比要求，通过试验确定。

5.2.3 每立方气泡混合轻质土的水泥用量应按设计指标和添加材料用量综合确定。

5.2.4 气泡混合轻质土的水胶比($\frac{W}{B}$)取值应符合下列规定：

1 未掺外加剂时，水胶比应按 0.55~0.65 选取。

2 掺入外加剂时，水胶比应通过试验确定，宜按 0.20~0.55 选取。

5.2.5 每立方气泡混合轻质土的用水量应按下式计算：

$$m_w = \frac{W}{B}(m_c + m_m) \quad (5.2.5)$$

式中： $\frac{W}{B}$ ——每立方气泡混合轻质土的水胶比。

5.2.6 每立方气泡混合轻质土的气泡群体积量应按下式计算：

$$V_f = 1000 \left(1 - \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_w}{\rho_w} + \frac{m_s}{\rho_s} + \frac{m_m}{\rho_m} \right) \quad (5.2.6)$$

式中： V_f ——每立方气泡混合轻质土的气泡群体积量 (L)。

5.3 配合比试配

5.3.1 配合比试配应在计算配合比的基础上进行，宜通过调整计算配合比中的各种材料用量，直到新拌气泡混合轻质土的性能满足设计和施工要求。

5.3.2 新拌气泡混合轻质土试样宜采用搅拌机拌制。搅拌机应符合现行行业标准《混凝土试验用搅拌机》JG 244 的规定，每盘试配的最小搅拌量不宜小于搅拌机额定搅拌量的 1/4。

5.3.3 拌好新拌气泡混合轻质土试样后，应立即制作试件，并应符合下列规定：

1 每种配合比至少应制作一组试件。

2 新拌气泡混合轻质土试样应装满试模并略高于试模顶面，并应采用保鲜膜覆盖。

3 拆模前，应先沿试模顶面刮平试件；拆模后，应将试件在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 条件下密封养生至 28d。

5.3.4 试拌配合比的强度试验应符合下列规定：

1 应至少采用 3 个不同的配合比。当采用 3 个不同的配合比时，其中 1 个配合比应为本规程确定的试拌配合比，另外 2 个配合比的水泥用量宜在试拌配合比基础上分别增加和减少 10 kg。

2 应分别按本规程附录 C、附录 D 的规定检验湿容重、流动度，作为相应配合比的新拌气泡混合轻质土性能指标。试验结果应填写配合比设计报告，并应符合本规程附录 C 表 C.0.5 的要求。

3 应分别按本规程附录 E、附录 F 的规定检验容重、强度指标，试验结果应填写配合比设计报告，并应符合本规程附录 F 表 F.0.4 的要求。

5.4 配合比调整

5.4.1 应根据本规程第 5.3.4 条的强度试验结果，在试拌配合比的基础上作相应调整，确定设计配合比。

5.4.2 施工单位可根据常用材料设计出常用的配合比备用，并应在使用过程中予以验证或调整。

6 工程施工

6.1 施工准备

- 6.1.1 施工前，应确定施工方案，编制施工组织设计。
- 6.1.2 应按施工组织设计，组织施工设备进场，并应做好安装、调试及标定工作。
- 6.1.3 应按原材料使用计划，组织原材料进场、检验。
- 6.1.4 发泡剂性能试验应符合下列规定：
- 1 检验频率应为 1 次/5000L，每批次产品或每个施工项目应至少检验 1 次。
 - 2 检验方法应按本规程附录 A 的规定执行。
 - 3 检验结果应符合本规程第 3.1.3 条的规定。
- 6.1.5 基坑开挖应符合下列规定：
- 1 开挖前，应事先做好防护措施。
 - 2 开挖后，应按要求控制压实度、平整度，完成防排水施工，并进行交接检验。
 - 3 当基坑底部位于计算水位以下时，应采取降水措施。

6.2 浇筑

- 6.2.1 浇筑设备应包括发泡设备、搅拌设备和泵送设备，并应符合下列规定：
- 1 浇筑设备的生产能力和设备性能应满足连续作业要求。
 - 2 搅拌设备应具备水泥、水及添加材料的配料和计量功能。
 - 3 搅拌设备的计量偏差应符合表 6.2.1 的规定。

表 6.2.1 搅拌设备的计量偏差

原材料	计量偏差 (%)
水泥、掺合料	±2

续表 6.2.1

原材料	计量偏差 (%)
细集料	±3
水、外加剂	±2

6.2.2 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 新拌气泡混合轻质土宜采用配管泵送。

6.2.4 气泡群应及时与水泥基浆料混合均匀，新拌气泡混合轻质土在泵送设备、泵送管道中的停置时间不宜超过 1h。

6.2.5 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 6.2.5 的规定执行。当泵送范围超过表 6.2.5 的规定时，可增加中继泵。

表 6.2.5 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		

注： s/c 表示细集料与水泥质量之比。如同时存在泵送距离和泵送高度时，泵送范围由泵送距离与泵送高度综合确定。

6.2.6 应采用分层分块方式进行浇筑作业。

6.2.7 除空洞充填、管线回填工程外，单层浇筑厚度宜按 0.3m~0.8m 控制。上一层浇筑作业应在下一层浇筑终凝后进行。

6.2.8 浇筑过程中，泵送管出口应与浇筑面保持水平，不宜采用喷射方式浇筑。

6.2.9 浇筑时，如遇大雨或持续小雨天气时，应对未硬化的浇筑体表层进行覆盖。

6.2.10 夏季施工时，应避免高温时段浇筑。

6.2.11 冬期施工时，应对浇筑设备、泵送管道、发泡剂及浇筑区域等采取保温防冻措施，每班完工后应清空浇筑设备、泵送管道中的残留物。

6.3 附属工程施工

6.3.1 当挡板采用水泥混凝土预制时，挡板预制应符合下列规定：

- 1 混凝土的集料粒径和强度等级应满足设计要求。
- 2 浇筑混凝土前，应按设计要求定位挡板拉扣。
- 3 浇筑完混凝土后，应重新测量定位挡板拉扣，并应对挡板表面进行光面处理。

6.3.2 面板施工应符合下列规定：

- 1 面板基础的断面尺寸和混凝土强度等级应满足设计要求。
- 2 挡板砌筑前，应标出挡板外缘线并进行水平测量，曲线部分应加密控制点。
- 3 挡板应随浇随砌，砌筑砂浆强度等级应满足设计要求，砌缝宜采用勾缝。
- 4 当挡板搬运和砌筑时，应轻拿轻放，避免挡板损坏和拉扣变形。

5 挡板水平及倾斜误差应逐层调整，曲线部位应砌筑平顺。

6.3.3 钢丝网、沉降缝、抗滑锚固、防水等工程施工应满足设计要求。

6.4 养 护

6.4.1 在填筑体达到设计抗压强度后，方可在填筑体顶面进行机械或车辆作业。作业前，应先铺一层覆盖层，厚度不宜小于20cm。

6.4.2 除空洞充填、管线回填工程外，在完成填筑体顶层施工后，应立即对填筑体表面覆盖塑料薄膜或土工布保湿养生，养生时间不宜少于7d。

7 质量检验与验收

7.1 一般规定

7.1.1 质量检验与验收应符合现行行业标准《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的规定。

7.1.2 质量检验与验收应以填筑体为构造单元，并应按单个或若干个构造单元划分为检验批。

7.2 质量检验

7.2.1 挡板的质量检验应符合表 7.2.1 的规定，检验结果应填写面板质量检验记录，并应符合本规程附录 G 表 G.0.1 的要求。

表 7.2.1 挡板的质量检验

项次	检验项目	允许偏差	检验方法	检验频率
1	混凝土强度 (MPa)	不小于设计值	《普通混凝土力学性能试验方法标准》 GB/T 50081	每 10m ³ 取一组，每项目至少取一组
2	边长 (mm)	±0.5%	尺量	长宽各测 1 次，每 200 块抽查 1 块，每项目至少 5 块
3	两对角线差 (mm)	±0.7%	尺量	每 200 块检查 1 块，每项目至少 5 块
4	厚度 (mm)	+5，-3	尺量	检查 2 处，每 200 块检查 1 块，每项目至少 5 块
5	表面平整度 (mm)	±0.3%	直尺	长宽各测 1 次，每 200 块检查 1 块，每项目至少 5 块
6	预埋件位置 (mm)	10	尺量	每 200 块抽查 1 块，每项目至少 5 块

7.2.2 面板的质量检验应符合表 7.2.2 的规定，检验结果应填写面板质量检验记录，并应符合本规程附录 G 表 G.0.1 的要求。

表 7.2.2 面板的质量检验

项次	检验项目	允许偏差	检验方法	检验频率
1	基础混凝土强度 (MPa)	不小于设计值	《普通混凝土力学性能试验方法标准》 GB/T 50081	每 10m ³ 取一组， 每项目至少取一组
2	基础断面尺寸 (mm)	不小于设计值	尺量	每 20m 量测 1 处
3	面板顶高程 (mm)	±50	3m 直尺	每 20m 量测 1 处
4	轴线偏位 (mm)	50	经纬仪或拉尺、尺量	每 20m 量测 1 处
5	面板垂直度或坡度	—0.5%	挂垂线	每 20m 量测 1 处

7.2.3 新拌气泡混合轻质土试样宜在浇筑管管口制取，试件制取组数应符合下列规定：

- 1 每个构造单元应至少制取二组试件。
- 2 当同一配合比连续浇筑少于 400m³ 时，应按每 200m³ 制取一组试件。
- 3 当同一配合比连续浇筑大于 400m³ 时，应按每 400m³ 制取一组试件。

7.2.4 试件脱模后，应分别按本规程附录 E、附录 F 的规定检验容重、强度，检验结果应填写强度检验报告，并应符合本规程附录 F 表 F.0.4 的要求。

7.2.5 浇筑的质量检验应符合表 7.2.5 的规定，检验结果应填写浇筑质量检验记录，并应符合本规程附录 G 表 G.0.2 的要求。

表 7.2.5 浇筑的质量检验

项次	检验项目	允许偏差	检验方法	检验频率
1	气泡群密度 (kg/m^3)	48~52	本规程附录 A	每班开工前自检 1 次
2	湿容重 (kN/m^3)	符合本规程表 3.2.1 的规定	本规程附录 C	连续浇筑每 100m^3 自检 1 次
3	流动度 (mm)	160~200	本规程附录 D	连续浇筑每 100m^3 自检 1 次

7.2.6 填筑体的主控项目检验应包括表干容重和抗压强度，并应符合表 7.2.6 的规定。检验结果应填写检验批质量评定表，并应符合本规程附录 G 表 G.0.3 的要求。

表 7.2.6 填筑体的主控项目检验

项次	检验项目	允许偏差		检验方法	检验频率
1	表干容重 (kN/m^3)	每组平均值不大于 湿容重标准值	每块最大值不大于 湿容重允许偏差 上限值	本规程附录 E	本规程第 7.2.3 条
2	抗压强度 (MPa)	符合本规程表 3.2.2 的规定		本规程附录 F	本规程第 7.2.3 条

7.2.7 填筑体的一般项目检验应包括外观质量检验和实测项目，并应符合表 7.2.7 的规定。检验结果应填写检验批质量评定表，并应符合本规程附录 G 表 G.0.3 的要求。

1 填筑体的外观质量检验应符合下列规定：

- 1) 面板应光洁平顺，板缝均匀，线形顺适，沉降缝上下贯通顺直。
- 2) 表面出现的非受力贯穿裂缝宽度应小于 5mm。
- 3) 表面蜂窝面积应小于总表面积的 1%。

2 填筑体实测项目的允许偏差应符合表 7.2.7 的规定。

表 7.2.7 填筑体实测项目的允许偏差

项次	检查项目		允许偏差		检验方法	检验频率
			道路工程	建筑工程		
1	顶面高程 (mm)		+50,-30	±50	水准仪	每个构造单元测 2 点或每 20m 测 1 点
2	厚度 (mm)		—	±100	卷尺	每个构造单元测 2 点或每 20m 测 1 点
3	轴线偏位 (mm)		50		经纬仪或拉尺、 尺量	每个构造单元测 2 点或每 20m 测 1 点
4	宽度 (mm)		不小于设计		卷尺	每个构造单元测 2 点或每 20m 测 1 点
5	基底高程 (mm)	土质	±50		水准仪	每个构造单元测 2 点或每 20m 测 1 点
		石质	+50,-200			

注：在空洞充填、管线回填工程中，一般项目内容可不检查。

7.3 质量验收

7.3.1 填筑体的质量验收应符合下列规定：

1 原材料、半成品、成品、器具和设备应按本规程第 6.1 节、第 7.2 节的规定进行检验，检验结果应经监理工程师检查认可。

2 浇筑应按本规程第 6.2 节的规定进行质量控制，各工序之间应进行自检、交接检验，并应形成文件。

7.3.2 质量保证资料应包括下列内容：

- 1 所用原材料、半成品和成品的质量检验结果；
- 2 施工配合比、基坑交接检查、面板施工检查和浇筑检查记录；
- 3 各项质量控制指标的试验数据和质量检验资料；
- 4 施工过程中遇到的非正常情况记录及其对工程质量影响分析；

5 施工过程中如发生质量事故，经处理补救后，达到设计要求的认可证明文件。

7.3.3 检验批合格质量应符合下列规定：

1 主控项目的质量应全部检验合格。

2 一般项目的合格率应达到 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 具有完整的施工质量检查记录。

7.3.4 对工程质量验收不合格的，监理单位应责令施工单位进行缺陷修补或返工，并应重新进行质量检验与验收。

附录 A 发泡剂性能试验

A. 0.1 仪器设备应包括下列内容:

- 1 发泡装置 1 套;
- 2 塑料桶 1 个, 容积 15L;
- 3 电子秤 1 台, 最大量程 2000g, 精度 1g;
- 4 带刻度的不锈钢量杯 1 个, 内径 108mm, 高 108mm, 壁厚 2mm, 容积 1L;
- 5 带刻度的量筒 1 个, 量程 50mL;
- 6 平口刀 1 把, 刀长 150mm;
- 7 钢直尺 1 把, 尺长 150mm, 分度值 0.5mm;
- 8 深度游标卡尺 1 把, 精度 0.02mm;
- 9 方纸片 1 张, 边长 50mm;
- 10 秒表 1 块。

A. 0.2 试验用料应包括下列材料:

- 1 稀释水 20.0L;
- 2 发泡剂 0.5L。

A. 0.3 气泡群制取应按下列步骤进行:

- 1 应按稀释倍率计算好稀释水和发泡剂, 并应将发泡液倒入发泡装置的容器;
- 2 启动发泡装置, 调节阀门, 并应观察出口气泡群质量, 直到气泡群密度满足 $48\text{kg}/\text{m}^3 \sim 52\text{kg}/\text{m}^3$ 时为止;
- 3 用量杯在管口接取气泡群, 并应使气泡群充满整个量杯;
- 4 应采用平口刀沿量杯杯口平面刮平气泡群。

A. 0.4 气泡群密度试验应按下列步骤进行:

- 1 应将电子秤放置于水平桌面上。
- 2 应将量杯平放于电子秤上, 并称取其量杯质量 m_0 。

3 应按本规程第 A.0.3 条的试验步骤制取气泡群，并称取量杯加气泡群质量 m_1 。

4 气泡群密度应按下式计算：

$$\rho_t = \frac{m_1 - m_0}{V_0} \quad (\text{A.0.4})$$

式中： ρ_t ——气泡群密度 (kg/m^3)，精确至 $1\text{kg}/\text{m}^3$ ；

m_1 ——量杯加气泡群质量 (g)，精确至 1g；

m_0 ——量杯质量 (g)，精确至 1g；

V_0 ——量杯体积 (cm^3)，精确至 1cm^3 。

5 应清洗并擦干仪器设备，并应重复 2~4 试验步骤 2 次。

6 应取 3 次试验结果的算术平均值作为气泡群密度。

7 气泡群密度试验应在每次取样后 5min 内完成。

A.0.5 沉降距和泌水量试验应包括下列步骤：

1 按本规程第 A.0.3 条的试验步骤制取气泡群，并应将装满气泡群的量杯平放于水平桌面上；

2 将方纸片平放于标准气泡柱表面中央，并应静置时间 1h；

3 应将钢直尺平放于量杯的杯口中间；

4 应采用深度游标卡尺量测钢直尺下沿至方纸片的垂直距离，即为标准气泡柱静置 1h 的沉降距 (mm)；

5 应将量杯中分泌的水倒入量筒中，测得其水的体积，即为标准气泡柱静置 1h 的泌水量 (mL)；

6 清洗并擦干仪器设备，并应重复 1~5 试验步骤 2 次；

7 取 3 次沉降距试验的算术平均值作为标准气泡柱静置 1h 的沉降距；

8 取 3 次泌水量试验的算术平均值作为标准气泡柱静置 1h 的泌水量；

9 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。

A.0.6 试验结果应填写试验记录，并应符合表 A.0.6 的要求。

表 A.0.6 原材料性能试验记录表

编号:

工程名称			分项工程名称			试验日期					
施工单位			项目技术负责人			项目经理					
项目试验人员			项目试验主管			见证人员					
执行标准名称及编号											
原材料及 试验条件	水泥			细集料		掺合料		外加剂		其他	
	强度等级	厂家	用量	名称	用量	名称	掺量(%)	名称	掺量(%)	名称	用量
	发泡剂					水			试验条件		
	类别	型号	稀释倍率	发泡倍率	用量	发泡水	搅拌水	气温(℃)	发泡方式		
试验成果	标准气泡柱						气泡群密度 (kg/m ³)				
	静置 1h 的沉降距 (mm)			静置 1h 的泌水量 (mL)							
	编号	实测值	平均值	编号	实测值	平均值	编号	实测值	平均值		
	1			1			1				
	2			2			2				
	3			3			3				
	成型体积 (L)			静置 1h 的湿容重增加值 (kN/m ³)							
	流动度 (mm)			初始湿容重 (kN/m ³)			静置 1h 的湿容重 (kN/m ³)				
	编号	实测值	平均值	编号	实测值	平均值	编号	实测值	平均值		
	1			1			1				
	2			2			2				
	3			3			3				
施工单位检查结果											
监理 (建设) 单位检查意见											

附录 B 适应性试验

B.0.1 仪器设备应包括下列内容：

- 1 发泡装置 1 套；
- 2 试验用搅拌机 1 台；
- 3 电子秤 1 台，最大量程 2000g，精度 1g；
- 4 塑料桶 1 个，容积 15L；
- 5 带刻度的不锈钢量杯 2 个，内径 108mm，净高 108mm，壁厚 2mm，容积 1L；
- 6 平口刀 1 把，刀长 150mm；
- 7 秒表 1 块。

B.0.2 试验用料应采用新拌气泡混合轻质土，50L。

B.0.3 试样可在搅拌好的拌合物中制取。

B.0.4 适应性试验应按下列步骤进行：

- 1 用塑料桶接取试样，试样数量应为 10L；
- 2 应按本规程附录 C 测得新拌气泡混合轻质土的初始湿容重 γ_0 ；
- 3 将塑料桶平放于水平地面上，并应静置时间 1h；
- 4 将静置后的试样完全倒入试验用搅拌机中，并应连续搅拌 60s；
- 5 应按本规程附录 C 测得新拌气泡混合轻质土静置 1h 的湿容重 γ_1 ；
- 6 新拌气泡混合轻质土静置 1h 的湿容重增加值应按下式计算：

$$\Delta\gamma = \gamma_1 - \gamma_0 \quad (\text{B.0.4})$$

式中： $\Delta\gamma$ ——新拌气泡混合轻质土静置 1h 的湿容重增加值 (kN/m^3)，精确至 0.1kN/m^3 ；

γ_1 ——新拌气泡混合轻质土静置 1h 的湿容重 (kN/m^3),
精确至 $0.1\text{kN}/\text{m}^3$;

γ_0 ——新拌气泡混合轻质土的初始湿容重 (kN/m^3), 精
确至 $0.1\text{kN}/\text{m}^3$ 。

B. 0.5 试验结果应填写试验记录, 并应符合本规程附录 A 表
A. 0.6 的要求。

附录 C 湿容重试验

C.0.1 仪器设备应包括下列内容：

- 1 发泡装置 1 套；
- 2 试验用搅拌机 1 台；
- 3 电子秤 1 台，最大量程 2000g，精度 1g；
- 4 塑料桶 1 个，容积 15L；
- 5 带刻度的不锈钢量杯 2 个，内径 108mm，净高 108mm，壁厚 2mm，容积 1L；
- 6 平口刀 1 把，刀长 150mm。

C.0.2 试验用料应采用新拌气泡混合轻质土，10L。

C.0.3 试样可采用下列方法制取：

- 1 现场取样：在泵送管出口处制取；
- 2 室内取样：在搅拌好的拌合物中制取。

C.0.4 湿容重试验应按下列步骤进行：

- 1 用水彩笔分别在量杯杯身外侧标明量杯 1、量杯 2；
- 2 应准备好电子秤，并应将其水平放置；
- 3 将量杯 1 平放于电子秤上，并应称取其量杯 1 质量 m_0 ；
- 4 用量杯 2 接取试样，并应将试样慢慢地倒入量杯 1 中；
- 5 当试样装满量杯 1 时，应用平口刀轻敲量杯 1 外壁，并使试样充满整个量杯 1 中；
- 6 用平口刀慢慢地沿量杯 1 端口平面刮平试样；
- 7 将装满试样的量杯 1 平放于电子秤上，并应测得试样加量杯 1 的质量 m_1 ；
- 8 湿容重应按下式计算：

$$\gamma = \frac{10 \times (m_1 - m_0)}{v_0} \quad (\text{C.0.4})$$

式中： γ ——湿容重 (kN/m^3)，精确至 0.1kN/m^3 ；

m_1 ——试样加量杯 1 的质量 (g)，精确至 0.1g ；

m_0 ——量杯 1 质量 (g)，精确至 0.1g ；

v_0 ——量杯 1 体积 (cm^3)，精确至 0.1cm^3 。

9 应重复 3~8 试验步骤，并应取 3 次试验结果的算术平均值为新拌气泡混合轻质土的湿容重；

10 湿容重试验应在每次取样后 5min 内完成。

C.0.5 试验结果应填写配合比设计报告，并应符合表 C.0.5 的要求。

表 C.0.5 配合比设计报告表

编号：

工程名称				分项工程名称				试验日期				
施工单位				项目技术负责人				项目经理				
项目试验人员				项目试验主管				见证人员				
执行标准名称及编号												
浇筑部位				设计湿容重				设计流动度				
原 材 料	发泡剂				水泥			细 集 料	掺合料		外加剂	
	型号	厂家	稀释 倍率	发泡 倍率	种类	标号	厂家		种类 名称	掺量 (%)	种类 名称	掺量 (%)
试 配 配 合 比	编号		每立方原材料用量						理论值			
		水泥 (kg)	细集 料 (kg)	水 (kg)	气泡 群 (L)	掺合 料 (kg)	外加 剂 (kg)	其他 (kg)	湿容重 (kN/m^3)		流动度 (mm)	
试 配 结 果	流动度 (mm)						湿容重 (kN/m^3)					
	编号	实测 值	平均 值	编号	实测 值	平均 值	编号	实测 值	平均 值	编号	实测 值	平均 值
	1			4			1			4		
	2			5			2			5		
	3			6			3			6		

续表 C. 0. 5

设计 配合 比	水泥 (kg/m ³)	细集料 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	气泡群 (L/m ³)	掺合料 (kg/m ³)	外加剂 (kg/m ³)	其他 (kg)
施工单位 检查结果	签名： 年 月 日						
监理（建设）单位 检查意见	签名： 年 月 日						

附录 D 流动度试验

D. 0. 1 仪器设备应包括下列内容：

- 1 发泡装置 1 套；
- 2 试验用搅拌机 1 台；
- 3 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；
- 4 光滑硬塑料板 1 块，边长 400mm×400mm；
- 5 带刻度的不锈钢量杯 2 个，内径 108mm，净高 108mm，壁厚 2mm，容积 1L；
- 6 平口刀 1 把，刀长 150mm；
- 7 深度游标卡尺 1 把，精度 0. 02mm；
- 8 秒表 1 块。

D. 0. 2 试验用料应采用新拌气泡混合轻质土，10L。

D. 0. 3 试样可采用下列方法制取：

- 1 现场取样：在泵送管出口处制取；
- 2 室内取样：在搅拌好的拌合物中制取。

D. 0. 4 流动性试验应按下列步骤（图 D. 0. 4）进行：

- 1 用水彩笔分别在量杯杯身外侧标明量杯 1、量杯 2；
- 2 应清洗并擦干仪器设备；
- 3 应将空心圆筒垂直竖于光滑硬质塑料板中间；
- 4 用量杯 1 接取试样，并应将试样倒入量杯 2 中；
- 5 应慢慢地将量杯 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；
- 6 用平口刀慢慢地沿空心圆筒的端口平面刮平试样；
- 7 应慢慢地将空心圆筒垂直向上提起，并应使试样自然坍落；

8 静置 1min 时,应采用深度游标卡尺测得坍落体最大水平直径,即为试样的流动度;

9 应重复 2~8 试验步骤,并应取 3 次试验结果的算术平均值为新拌气泡混合轻质土的流动度。

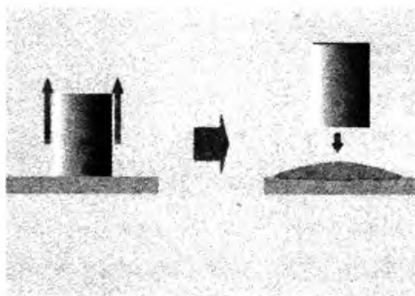


图 D.0.4 流动度测定示意图

D.0.5 试验结果应填写配合比设计报告,并应符合本规程附录 C 表 C.0.5 的要求。

附录 E 表干容重、饱水容重试验

E.0.1 仪器设备应包括下列内容:

- 1 钢模二组, 规格 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$;
- 2 电子秤 1 台, 最大量程 2000g , 精度 1g ;
- 3 钢直尺 1 把, 尺长 300mm , 分度值 0.5mm ;
- 4 饱水容重试验装置 1 套 (图 E.0.1), 压力容器容积 0.3m^3 ;

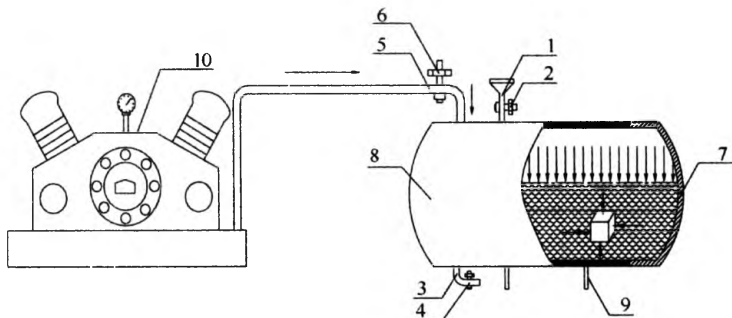


图 E.0.1 测定饱水容重试验装置

- 1—进水和排气口; 2—进水和排气阀门; 3—排水口; 4—排水阀门;
5—进气口; 6—进气阀门; 7—可开闭密封盖; 8—静水压力容器;
9—支座; 10—空气压缩机

5 空气压缩机 1 台, 含压力调节阀 1 个, 排气量 $0.36\text{m}^3/\text{min}$ 。

E.0.2 标准试件制作应包括下列内容:

- 1 试件成型: 在钢模内浇筑成型;
- 2 规格数量: $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的立方体试件, 共二组, 每组 3 块;

3 试件养护：试件由试模中拆出后，应按组放入塑料袋内密封养生 28d，养生温度应为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

E.0.3 表干容重试验应按下列步骤进行：

- 1 取标准试件一组，应分别量取试件的长度、宽度、高度；
- 2 应分别计算出 3 块标准试件的体积；
- 3 应分别称取 3 块标准试件的质量；
- 4 应分别按下式计算标准试件的表干容重；

$$\gamma_a = \frac{10m_a}{V_a} \quad (\text{E.0.3})$$

式中： γ_a ——表干容重 (kN/m^3)，精确至 0.1kN/m^3 ；

m_a ——标准试件的质量 (g)，并应精确至 0.1g；

V_a ——标准试件的体积 (cm^3)，并应精确至 0.1cm^3 。

5 应取 3 块试件表干容重的算术平均值作为气泡混合轻质土的表干容重。

E.0.4 饱水容重试验应按下列步骤进行：

- 1 接通电源，并应启动空气压缩机；
- 2 取标准试件一组，并应放入静水压力容器内；
- 3 往压力容器加水，应使其水位高出试件高度 100mm，合上密封盖，并应用螺钉拧紧；
- 4 应按试验规定的水头压力，调节好空气出口压力，并应打开进气阀门；
- 5 浸水 72h 后，应先关闭进气阀门、打开排气阀门，再打开排水阀门；
- 6 拧松螺钉并打开密封盖后，应从压力容器内取出试件，并应用湿布擦拭表面水分；
- 7 应分别量取标准试件长度、宽度、高度；
- 8 应分别计算出 3 块试件的体积；
- 9 应立即称取 3 块试件的质量；
- 10 应分别按下式计算出 3 块试件的饱水容重：

$$\gamma_s = \frac{10m_s}{V_s} \quad (\text{E.0.4})$$

式中： γ_s ——饱水容重 (kN/m^3)，精确至 $0.1\text{kN}/\text{m}^3$ ；

m_s ——标准试件的饱水质量 (g)，并应精确至 0.1g ；

V_s ——标准试件的饱水体积 (cm^3)，并应精确至 0.1cm^3 。

11 应取 3 块试件饱水容重的算术平均值作为气泡混合轻质土的饱水容重。

E.0.5 试验结果应填写强度检验报告，并应符合本规程附录 F 表 F.0.4 的要求。

附录 F 强度试验

F.0.1 仪器设备应包括下列内容：

1 材料试验机：除应符合现行国家标准《试验机通用技术要求》GB/T 2611 中技术要求的规定外，精度不应低于 $\pm 2\%$ ，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 $20\% \sim 80\%$ 范围内；

2 电子秤：最大量程 2000g，精度 1g；

3 钢直尺：尺长 300mm，分度值为 0.5mm。

F.0.2 标准试件制作应包括下列内容：

1 试件成型：在钢模内浇筑成型；

2 规格数量：100mm $\times$ 100mm $\times$ 100mm 的立方体试件，共一组，每组 3 块；

3 试件养护：试件由试模中拆出后，应按组放入塑料袋内密封养生至 28d，养生温度应为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

F.0.3 强度试验应按下列步骤进行：

1 应检查每块试件外观，试件表面必须平整，不得有裂缝或明显缺陷；

2 应测量每块试件尺寸，并应计算试件的承压面积；

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；

4 开动材料试验机，当上压板与试件接近时，应确保试件接触均衡；

5 应以 2kN/s 速度连续均匀地加荷，直至试件破坏，并应记录破坏荷载；

6 应重复 1~5 的试验步骤，并应测定记录试件的承压面积、破坏荷载；

7 试件的抗压强度、饱水抗压强度应分别按下式计算：

$$q_u = \frac{P}{A} \quad (\text{F.0.3-1})$$

$$q_s = \frac{P}{A} \quad (\text{F.0.3-2})$$

式中： q_u ——试件的抗压强度（MPa），精确至 0.01MPa；

q_s ——试件的饱水抗压强度（MPa），精确至 0.01MPa；

P ——试件的破坏荷载（N）；

A ——试件的承压面积（mm²）。

8 应取 3 块试件抗压强度、饱水抗压强度的算术平均值分别作为气泡混合轻质土的抗压强度、饱水抗压强度。

F.0.4 试验结果应填写强度检验报告，并应符合表 F.0.4 的要求。

表 F.0.4 强度检验报告单

编号：

工程名称				分项工程名称				桩号及部位			
委托单位				检验单位				送样日期			
试件					表干容重 ☐ 饱水容重 ☐ (kN/m ³)		破坏 荷载 (N)	抗压强度 ☐ 饱水抗压强度 ☐ (MPa)			
编号	成型 日期	养护 条件	龄期 (d)	尺寸 (mm)	测定值	平均值		测定值	平均值		
				长							
				宽							
				高							
				长							
				宽							
				高							

续表 F.0.4

				长						
				宽						
				高						
施工配合比										
检验依据										
备注										
检验：		记录：		审核：		批准：		日期：		

注：在对应检验内容□中打√。

附录 G 质量检验验收记录

G.0.1 面板质量检验记录表见表 G.0.1。

表 G.0.1 面板质量检验记录表

编号：

工程名称			分项工程名称			验收部位							
施工单位			项目技术负责人			项目经理							
现场施工员			现场检测员			工程数量							
执行标准 名称及编号													
序号	项目内容	规定值/ 允许偏差	实测值或偏差值										
			1	2	3	4	5	6	应检 数量	合格 数量	合格率 (%)		
挡 板 预 制	1 混凝土强度 (MPa)	不小于设计值											
	2 边长 (mm)	±0.5%											
	3 两对角线差 (mm)	±0.7%											
	4 厚度 (mm)	+5, -3											
	5 表面平整度 (mm)	±0.3%											
	6 预制件位置 (mm)	10											
面 板 施 工	1 基础混凝土强度 (MPa)	不小于设计值											
	2 基础断面尺寸 (mm)	不小于设计值											
	3 面板顶高程 (mm)	±50											
	4 轴线偏位 (mm)	50											
	5 挡板垂直度或坡度	-0.5%											
施工单位 检查结果		签名： 年 月 日											
监理(建设)单位 检查意见		签名： 年 月 日											

G.0.2 浇筑质量检验记录表见表 G.0.2。

表 G.0.2 浇筑质量检验记录表

编号：

工程名称		分项工程名称		验收部位				
施工单位		项目技术负责人		项目经理				
现场施工员		现场检测员		工程数量				
执行标准 名称及编号								
施工配合比		气泡群 密度 (kg/ m ³)	设计 湿容重 (kN/ m ³)	天气		施工 日期		
				气温				
序号	浇筑桩号	浇筑 层序	浇筑 时间	浇筑层 底标高 (m)	平均浇 筑厚度 (m)	浇筑 方量 (m ³)	检查记录	
							湿容重 (kN/m ³)	流动度 (mm)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
试样制取		组数		湿容重 (kN/m ³)		流动度 (mm)		
		编号						
		制取部位						
施工单位 检查结果		签名： 年 月 日						
监理（建设） 单位 检查意见		签名： 年 月 日						

G.0.3 检验批质量评定表见表 G.0.3。

表 G.0.3 检验批质量评定表

编号：

工程名称		分项工程名称		验收部位												
施工单位		项目技术负责人		项目经理												
现场施工员		现场检测员		工程数量												
执行标准 名称及编号																
主控项目	序号	项目内容		规定值/允许偏差	实测值或偏差值											
					1	2	3	4	5	6	应检 数量	合格 数量	合格 率 (%)			
		1	表干容重 (kN/m^3)		底层	符合表 7.2.6 的规定										
			顶层													
		饱水容重 (kN/m^3)														
	2	抗压强度 (MPa)	底层	符合表 3.2.2 的规定												
		顶层														
		饱水抗压强度 (MPa)														
	一般项目	1	外观质量检验		符合第 7.2.7 条 第 1 款的规定											
2			质量保证资料		符合第 7.3.2 条 的规定											
3		顶面高程 (mm)		道路 工程	建筑 工程											
				+50, -30	±50											
		4		厚度 (mm)		—	±100									
		5		轴线偏位 (mm)		50										
		6		宽度 (mm)		不小于设计										
7		底面高程 (mm)		石质	土质											
				+50, -200	±50											
施工单位 检验结果				签名： 年 月 日												
监理 (建设) 单位 验收意见				签名： 年 月 日												

注：对单个构造单元内存在不同表干容重和抗压强度时，可在表中按填筑部位从底层到顶层分行填写。

本规程用词说明

1 为了便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

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用词：

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，在条件许可时首先这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 规程中指定应按其他有关标准执行时的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081
- 2 《通用硅酸盐水泥》GB 175
- 3 《试验机通用技术要求》GB/T 2611
- 4 《蒸压加气混凝土性能试验方法》GB/T 11969
- 5 《硫铝酸盐水泥》GB 20472
- 6 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 7 《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1
- 8 《公路路基设计规范》JTG D 30
- 9 《混凝土试验用搅拌机》JG 244

中华人民共和国行业标准

气泡混合轻质土填筑工程技术规程

CJJ/T 177 - 2012

条文说明

制 定 说 明

《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》CJJ/T 177-2012, 经住房和城乡建设部 2012 年 1 月 11 日以第 1247 号公告批准、发布。

本规程制订过程中, 编制组进行了广泛的调查研究, 总结了气泡混合轻质土在我国工程建设中的道路工程、建筑工程等领域填筑工程的实践经验, 同时参考了日本道路公团《FCB 工法设计施工指南》有关资料, 通过多项室内外试验, 取得了有关气泡混合轻质土用于填筑道路、建筑等领域工程的重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研院校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定, 《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明, 对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是, 本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力, 仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目 次

1	总则	50
2	术语和符号	51
2.1	术语	51
2.2	符号	52
3	材料及性能	53
3.1	原材料	53
3.2	性能	54
4	设计	56
4.1	一般规定	56
4.2	性能设计	57
4.3	结构设计	63
4.4	附属工程设计	66
4.5	设计计算	69
5	配合比	77
5.1	一般规定	77
5.2	配合比计算	78
5.3	配合比试配	79
6	工程施工	80
6.1	施工准备	80
6.2	浇筑	80
7	质量检验与验收	82
7.1	一般规定	82
7.2	质量检验	82

1 总 则

1.0.1 气泡混合轻质土是一种新型微孔类轻质环保材料，具有轻质性、自立性、自密性、容重和强度可调节性、施工便捷性、保温隔热性等特点，可广泛用于软基路堤、加宽路堤、陡坡路堤、寒区冻胀路堤、结构顶减荷、桥台台背回填、预埋管线回填、空洞充填、塌方快速抢险及各类管线保温隔热等领域填筑工程。

为使设计、施工、监理和建设等人员使用该技术有章可循，保证填筑工程质量，特制定《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》（以下简称“规程”）。本规程以编写单位现有的科研成果、试验总结和工程实例为基础进行编制，同时参考了日本道路公团《FCB工法设计施工指南》等有关资料。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 本条文阐述了气泡混合轻质土的概念。处于流体状态下的拌合物称为新拌气泡混合轻质土，由新拌气泡混合轻质土现浇硬化成型的块状体简称填筑体。

条文中的可选添加材料包括细集料、掺合料及外加剂，添加材料可根据目标性能和经济指标进行选用。如在粉煤灰、尾矿粉、石粉、粉砂丰富且价格便宜地区，可将其作为添加材料掺入使用；当需要高强度时，可掺入细砂及其他掺合料；用于计算水位以下部位填筑时，可掺入防水剂等材料。

2.1.4 本条文中的发泡剂是一种经加水稀释后，通过引入空气后能产生独立、稳定、微细、均匀气泡群的表面活性材料，产生的气泡群与水泥基浆料混合后，具有良好的流动性、轻质性和稳定性，并形成一定的强度。不同厂家生产的发泡剂，其稀释倍率、发泡倍率均会有所不同，使用时应按厂商规定的倍率进行稀释、发泡。

2.1.8 条文中的标准气泡群是指配制气泡混合轻质土的最佳气泡群，其密度应满足 $50\text{kg/m}^3 \pm 2\text{kg/m}^3$ 要求。标准气泡柱是指将标准气泡群灌入内径为 108mm、高度为 108mm，容积为 1L 的容器，所形成的圆柱体标准气泡群。在配制气泡混合轻质土前，应先称量气泡群密度，使其在允许的偏差范围内，试验方法见本规程附录 A。

2.1.9 流动度是指新拌气泡混合轻质土在自重作用下坍落形成的最大水平直径，流动度一般采用圆筒法测得，其试验方法见本规程附录 D。

2.1.10 本规程所提到的湿容重即湿容重标准值或设计容重，其

试验方法见附录 C。

2.1.11~2.1.14 条文中的标准试件是指边长为 100mm 的立方体试件，在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 条件下，采用塑料薄膜密封养生 28d 龄期。

条文中的干容重、饱水容重、抗压强度及饱水抗压强度均是按本规程附录的相关试验方法测得。饱水容重、饱水抗压强度是标准试件经吸水 72h 测得的容重、抗压强度，其试验方法分别见本规程附录 E、附录 F。

2.2 符 号

本规程的符号编写符合《标准编写规则 第 2 部分：符号》GB/T 20001.2 的规定。一般情况下， q_u 为 28d 龄期的抗压强度， γ_s 、 q_s 分别是在零水头压力条件下，测得气泡混合轻质土的饱水容重、饱水抗压强度，如有规定水头压力条件下测得的饱水容重、饱水抗压强度，则在符号后面加水头压力数值，如 5m 水头压力测得的饱水容重和饱水抗压强度分别写成 γ_{s05} 、 q_{s05} 。

3 材料及性能

3.1 原材料

3.1.1 水泥是制作气泡混合轻质土的主要原材料。在工程应用中，一般采用通用硅酸盐水泥。当有快硬要求和其他用途时，可选用快硬水泥或特殊水泥。一般情况下，建议选用 42.5 级及以上的水泥，当采用 32.5 级的水泥时，使用前应进行配合比试验。

3.1.2 条文中的水包括拌合用水、稀释用水。水的选用一般以不影响气泡混合轻质土强度和耐久性为原则，可采用饮用水、自来水、河水、湖泊水和鱼塘水，不宜采用油污水、海水、含泥量大的水。

3.1.3 发泡剂是制作气泡混合轻质土的关键材料，发泡剂的种类和质量好坏直接影响到气泡混合轻质土的品质。目前，市场上的发泡剂主要有表面活性系列、蛋白质系列及树脂肥皂系列三种，前面两种应用较多。其中，表面活性剂类发泡剂效果较好。但是，每个厂家生产的发泡剂质量相差非常大，稀释倍率、发泡倍率也差别很远，这也就是微孔类轻质材料品质差异的关键所在。

质量好的发泡剂经稀释发泡产生的气泡群具有液膜坚韧、细微均匀、互不连通等特性，不易在浆体挤压下破灭或过度变形，保证了气泡混合轻质土不离析分层。

沉降距是测定标准气泡群在大气中静置 1h 的沉陷距离，泌水量是测定标准气泡群在大气中静置 1h 所分泌出的水量，其试验方法见本规程附录 A。条文中规定的数值是在满足配制气泡混合轻质土品质要求前提下，综合国内常用发泡剂种类，经过多次试验后总结得出的，具有一定代表性。

3.1.4 条文中规定添加材料的粒径不宜大于 4.75mm 是指方孔筛直径，含泥量不宜大于 15%，如超过时应通过试验确定。

3.1.5 条文中原材料检验主要是原材料自身质量检验和原材料之间的适应性检验。为保证填筑工程质量，条文中规定了气泡群静置 1h 消泡后的湿容重增加值，该值为编写单位采用国内常用发泡剂，经过多次试验总结得出，具有一定代表性，其试验方法见本规程附录 B。如超出该规定值时，则可认为发泡剂质量不合格或原材料中的某种材料与发泡剂不适应。

3.2 性 能

3.2.1 施工过程中，湿容重因环境变化产生细微变化。湿容重越轻，气泡含有量越多，在同等体积条件下，湿容重变化率越大，反之，湿容重变化率则越小。根据以往施工经验和试验数据，湿容重允许偏差宜统一按 $\pm 0.5\text{kN/m}^3$ 控制，每等级湿容重的允许偏差范围见条文中表 3.2.1。同时，气泡群用量越多，其容重等级越小，抗压强度越低。为保证设计同时满足容重等级和强度等级要求，设计时容重等级和强度等级可参考表 1 选取。

表 1 容重等级与强度等级参考对应表

容重等级	湿容重 γ (kN/m^3)	参考对应强度等级
W3	3.0	CF0.3~CF0.5
W4	4.0	CF0.4~CF0.7
W5	5.0	CF0.6~CF0.8
W6	6.0	CF0.8~CF1.5
W7	7.0	CF1.2~CF4.0
W8	8.0	CF1.5~CF6.0
W9	9.0	CF1.5~CF8.0
W10	10.0	CF1.5~CF9.0
W11	11.0	CF1.5~CF12.0
W12	12.0	CF1.5~CF14.0
W13	13.0	CF1.5~CF16.0
W14	14.0	CF1.5~CF20.0
W15	15.0	CF1.5~CF25.0

3.2.2 气泡混合轻质土试件尺寸是参照国外相关标准和现行国家标准《蒸压加气混凝土性能试验方法》GB/T 11969 的规定执行，其抗压强度标准值为标准试件 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的立方体，在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 条件下，采用塑料薄膜密封养生至 28d 龄期，按标准试验方法测得的无侧限抗压强度值。

为区别普通混凝土强度等级符号，条文中规定的强度等级采用符号 CF 与抗压强度标准值来表示，抗压强度标准值即为此强度等级的规定值。抗压强度的每块最小值是按抗压强度标准值的 85% 取值，每组平均值按抗压强度标准值取值。其中，按 3 块试件为一组试件，条文提到的每组平均值即为 3 块试件抗压强度的算术平均值。

4 设 计

4.1 一 般 规 定

4.1.1 本条文明确了设计原则。因气泡混合轻质土含有大量气泡群，其性能与普通水泥砂浆、水泥混凝土差异较大。同时，其填筑体具有类似挡土墙结构的特点，与一般填料形成的构筑物有较大的差异。因此，本条规定“安全性、适用性和经济性”三大设计原则。

- 1) 安全性除体现在强度、填筑体的抗滑抗倾覆稳定性和包括地基在内的整体稳定性等要求外，还体现了耐久性的要求，耐久性是指使用期间在循环加载、干湿循环、冻融循环、长期暴露等条件下气泡混合轻质土的性能指标不会明显衰减。

由气泡混合轻质土耐久性试验的图 1(交通运输部公路科学研究所检测)可以看出：当离路面顶面的厚度大于 25cm 时，汽车等外部荷载所引起的附加应力不超过总应力的 1/5

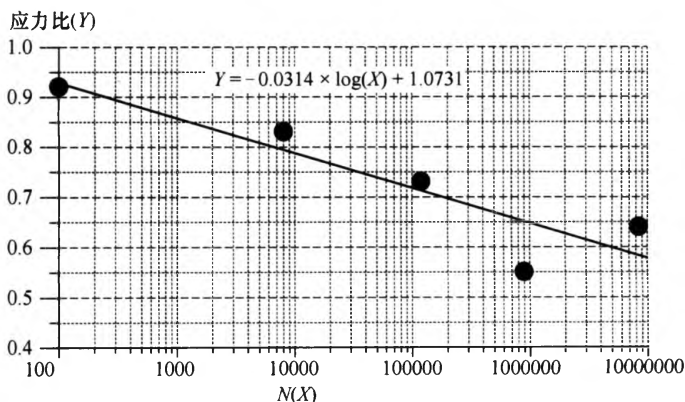


图 1 气泡混合轻质土耐久性试验

(0.14MPa), 气泡混合轻质土强度取疲劳试验强度均值 0.88MPa, 则应力比 $Y=0.16$ 。按 95% 保证率下的疲劳方程, 此应力比下的疲劳寿命 $N \approx 10^{29}$ 次。显然, 对于公路工程的使用年限来说, 是完全够的。

2) 适用性体现在气泡混合轻质土的用途上。气泡混合轻质土的主要优势在于轻质性、自密性、自立性和良好施工性, 适合于需要减少荷重或土压力的软基路堤、直立加宽路堤、高陡路堤、桥梁减跨、结构物背面及地下管线、狭小空间、采空区、岩溶区等填筑工程。

3) 经济性体现在气泡混合轻质土的容重、强度和良好施工性。设计时, 应选择经济合理的容重等级和强度等级。

4.1.2 条文中给出了气泡混合轻质土最主要的两项设计目标。除条文给出的两项设计目标外, 还具有保温隔热、减少占地的作用。

4.2 性能设计

4.2.1 用于路基填筑时, 《公路路基设计规范》JTG D 30 对不同部位规定了相应的最小强度要求。本条文是根据日本道路公团《FCB 工法设计施工指南》和主编单位的试验成果, CBR 与抗压强度 q_u 存在一定的比例关系 $\left(q_u = \frac{100CBR}{3.5}\right)$, 并考虑安全系数 F_s , 提出了用于填筑时不同填筑部位路基的最小抗压强度要求。

一般情况下, 用于路基填筑是为了减少荷重或土压力, 本条规定了用于路基填筑的最小强度等级和最小容重等级。

大部分工况是要求气泡混合轻质土从下至上填筑至路面底部, 用于路基填筑的一般断面设计如本规程表 4.3.1 所示。填筑体顶部与路面间有其他填筑材料时, 建议最小强度等级不应低于 CF0.6。

4.2.2 用于计算水位以上部位的填筑时, 气泡混合轻质土的容重等级、强度等级按工程要求确定。但对于临河、鱼塘、地下水位高的浸水地区, 气泡混合轻质土常用于计算水位以下部位的填筑。本条文提出的用于计算水位以下部位填筑的最小容重等级和最小强度等级是考虑到填筑体的抗浮要求, 表中计算水位指设计水位(计入壅水、浪高)加安全高度。

主编单位针对长期吸水对容重和抗压强度的影响进行了详细研究, 其研究结果表明:

- 1) 气泡混合轻质土浸水后, 由于吸水而使容重增加, 气泡含量越多(即容重小的)的气泡混合轻质土浸水后容重增加的越多, 但总体增加有限。

图 2 为通过将直径 5cm、高 10cm 的试件全部浸入水中进行试验的结果。图 3 为长期浸水试验结果, 浸水深度分为 0m 和 2m(从试件顶面算起)两种情况, 显然浸水 2m 的试件, 其容重增加的比例大于浸水 0m 的。

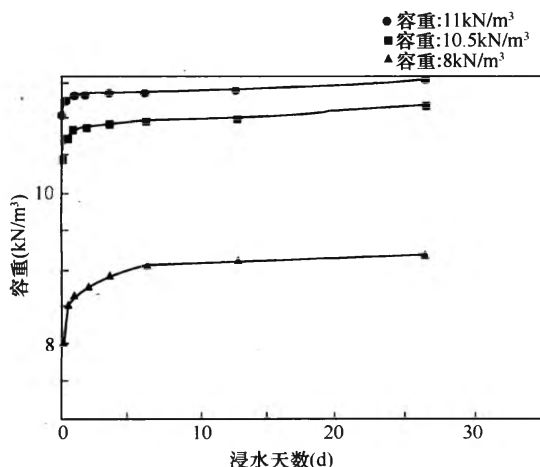


图 2 不同容重下浸水天数与容重的变化关系

- 2) 气泡混合轻质土的使用条件, 一般都存在吸水干燥反复出现的情况。图 4 表明试体浸水期间, 抗压强度不

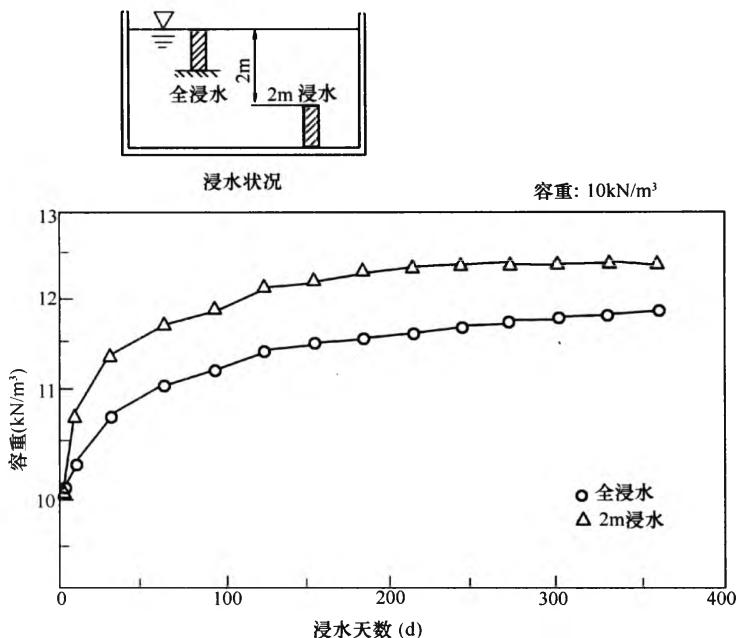


图3 同一容重下长期浸水天数与容重的关系

但没有显著下降的趋势，反而随龄期的增长而增长。图5为气泡混合轻质土干湿循环试验结果，从试验结果可以看出：第1个周期时强度下降比较明显，但以后还有上升趋势，这种现象是由于试件的强度随着龄期的增长而增大，且增加的强度大于因干湿循环而损失的强度所产生的。

因此，设计时应考虑浸水对容重的影响，在计算水位以下部位填筑时，容重等级应适当提高。但也需强调一点，气泡混合轻质土中虽然含有大量的气泡群，但气泡群是分散独立的，且气泡膜具有强韧性、不通水性。因此，气泡混合轻质土吸水量是有限的。抗压强度受浸水影响很小，但从长期使用上看，强度仍会有一些的损失，本条文提出了用于计算水位以下部位填筑时的最小强度等级。

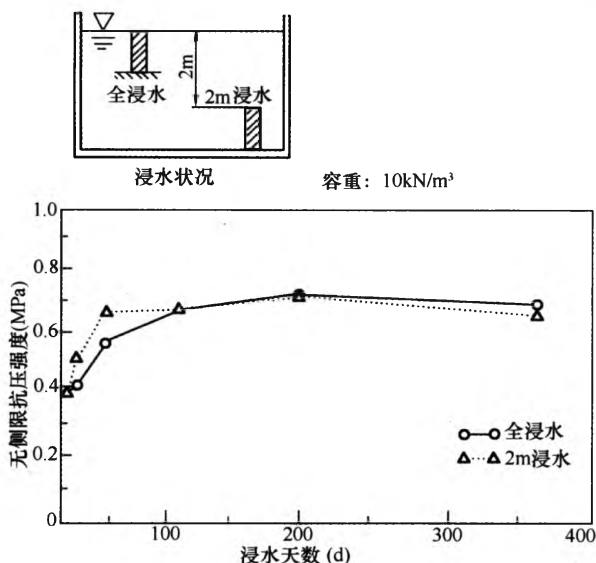


图4 浸水天数与无侧限抗压强度的关系

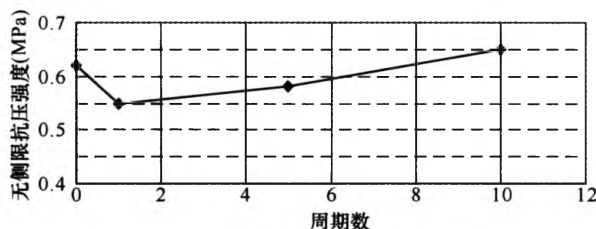


图5 干湿循环试验无侧限抗压强度变化曲线

4.2.3 如无减少荷重或土压力和强度要求时, 空洞填充、管线回填等领域工程的性能指标按填充饱满、经济性、施工性原则进行设计。一般情况下, 最小强度等级可取 CF0.3, 最小容重等级可取 W3。同时, 为便于施工和充填饱满, 流动度可按 180mm~200mm 控制。

另外, 当用于结构物背面、隧道空洞等注浆工程时, 则需采用塑化型气泡混合轻质土, 相关技术可咨询主编单位。

4.2.4 因工程要求需明确抗冻性指标时,可根据现行国家标准《蒸压加气混凝土性能试验方法》GB/T 11969,通过试验确定相关指标。目前,主编单位进行了多次冻融循环试验,试验结果如下:

1 试验 1

对设计容重为 6kN/m^3 的气泡混合轻质土进行了冻融循环试验。

试验条件:将达到 28d 龄期的试件,在 -24°C 放置 24h,然后在 20°C 放置 24h,为 1 周期。分别在 1、5、10 周期对试件的无侧限抗压强度进行检测,试验结果见图 6。

从试验结果可以看出,冻融循环后强度有所下降,但下降量不大。

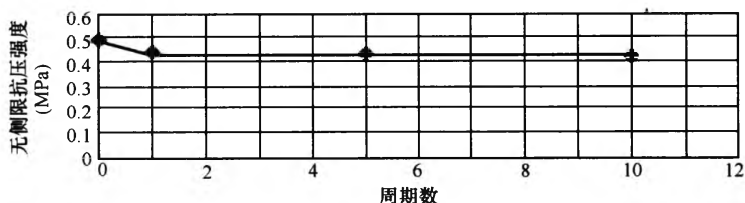


图 6 冻融循环试验结果

2 试验 2

本试验为快速冻融试验:试验温度 $-18^\circ\text{C} \sim +5^\circ\text{C}$; 配合比,水泥:砂 = 1:1,湿容重 10kN/m^3 ; 混合剂氯化钙 3%。试验时,试件在水中浸渍 48h 成饱和状态,然后进行冻融试验。

试件尺寸: $76.2\text{mm} \times 76.2\text{mm} \times 406.4\text{mm}$,试件成型后在 20°C 、湿度 95% 的室内养生 4h 后,接着在 20°C 、湿度 55% 的室内空气中进行养生到试验开始为止。

试验结果见表 2。从动弹性模量比和容重损失两项指标来看,气泡混合轻质土有较好的抗冻融性能。

表 2 冻融试验结果表

试件 编号	项 目	周期数							
		0	23	55	94	146	191	219	245
1	动弹性模量 (10^3)	481	442	442	417	418	416	403	396
	动弹性模量比 (%)	100	92	92	87	87	87	84	82
	试件质量 (g)	2335	2385	2387	2395	2400	2390	2365	2325
	试件重量比 (%)	100	102	102	102	103	102	101	100
2	动弹性模量 (10^3)	528	500	513	481	478	486	486	480
	动弹性模量比 (%)	100	95	97	91	91	92	92	91
	试件质量 (g)	2565	2620	2635	2635	2620	2590	2545	2505
	试件重量比 (%)	100	102	103	103	102	101	99	98
3	动弹性模量 (10^3)	450	414	414	414	390	403	390	378
	动弹性模量比 (%)	100	92	92	92	87	89	87	84
	试件质量 (g)	2465	2525	2545	2545	2525	2435	2380	2300
	试件重量比 (%)	100	102	103	103	102	99	96	93

由上可以看出,在冻融条件下,其容重和强度基本没有变化。但考虑填筑体的长期耐久性,抗冻性指标可按本条文的规定设计。如无试验资料时,可按容重损失率不大于 10%、抗压强度损失率不小于 15%的要求进行设计。

4.2.5 本条文提出的弹性模量与抗压强度关系式是基于主编单位经试验统计回归分析获得的,回归分析曲线见图 7。

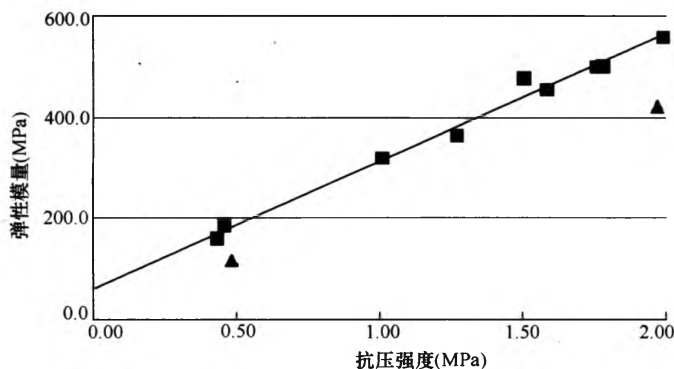


图 7 弹性模量与抗压强度的关系

(注:图中直线为 $E_c = 251q_u + 61$)

根据试验结果, 气泡混合轻质土的抗压强度与弹性模量具有较好的线性关系。

4.3 结构设计

4.3.1 本条文对气泡混合轻质土的断面设计和衔接设计基本原则作了阐述。

- 1) 规定填筑体的底面宽度不小于 2m, 是基于填筑体的整体稳定要求考虑的。
- 2) 规定填筑体的最小填筑厚度、最大填筑高度。

最小填筑厚度不小于 0.5m 是基于以下两点考虑的: ① 填筑体厚度小于 0.5m 时容易引起断裂, 应用效果不明显; ② 气泡混合轻质土的经济性。

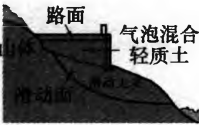
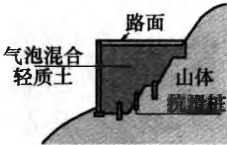
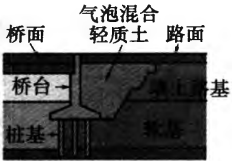
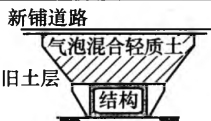
最大填筑高度不超过 15m 是基于经济性、安全性考虑, 如填筑高度超过此范围时, 应与其他工程方案进行经济与技术比较后采用。

- 3) 条文中的符号 B 是指填筑体顶面宽度, 在桥台台背填筑时, 填筑体顶面宽度是指沿路基纵向的长度; 在道路加宽时, 填筑体宽度是指填筑体的顶面加宽宽度。

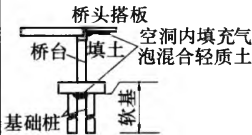
预留宽度综合考虑了填筑体顶部荷载的集中作用效应及填筑体安全性、经济性、耐久性和生态美观性。预留宽度宜根据填筑高度选取, 填筑高度不超过 6m, 预留宽度宜取 0.3m; 填筑高度超过 10m 时, 预留宽度宜大于 0.5m。如有生态景观要求时, 可利用预留宽度进行绿化设计。

- 4) 本条文给出了一般断面设计, 如表 3 所示。针对不同的工程要求, 气泡混合轻质土的结构设计有所不同, 设计可根据地形、地质情况和工程要求等综合考虑。

表 3 一般断面设计图

用途	设计类型	一般断面图	应用特性			应用目的及效果	主要设计内容
			轻质	流动	自立		
减少荷重	软土地基或道路加宽		◎	○	◎	1 可垂直填筑, 减少拆迁、节省土地; 2 可减少荷重, 减少差异沉降; 3 减少软土地基处理费用; 4 缩短施工工期	1 容重等级; 2 强度等级; 3 滑动、倾覆、抗浮等验算; 4 附属工程设施
	滑坡地段填筑		◎	○	◎	1 减少填筑体的下滑力, 提高抗滑稳定性; 2 简化抗滑处理; 3 保持原有地貌; 4 缩短施工工期	1 容重等级; 2 强度等级; 3 滑动、倾覆、抗浮等验算; 4 附属工程设施; 5 滑坡加固处理
	斜陡坡地段填筑		○	○	◎	1 减少填筑体的下滑力, 提高抗滑稳定性; 2 简化挡土结构; 3 保持原有地貌; 4 缩短施工工期	1 容重等级; 2 强度等级; 3 滑动、倾覆、抗浮等验算; 4 附属工程设施
减轻土压力	减轻构造物土压		○	○	◎	1 减轻构造物背面土压力; 2 减轻构造物侧面土压力; 3 减少差异沉降; 4 缩短施工工期	1 容重等级; 2 强度等级; 3 滑动、倾覆、抗浮等验算; 4 附属工程设施
			◎	○	○		

续表 3

用途	设计类型	一般断面图	应用特性			应用目的及效果	主要设计内容
			轻质	流动	自立		
人工山体	隧道坑口		○	◎	○	1 减轻隧道坑口的土压力; 2 保持原有地貌; 3 防止坑口坍塌; 4 施工简单、安全	1 容重等级; 2 强度等级; 3 内部稳定性; 4 隧道土压力计算
狭小空间充填	空洞充填			◎		1 减少地震作用; 2 减少差异沉降; 3 施工方便、快捷	1 容重等级; 2 强度等级; 3 流动性等

注：表中○、◎分别表示好、很好。

4.3.2 当填筑高度不超过 2m 时，衔接面可不设置台阶；当填筑高度超过 2m 时，衔接面宜设置台阶过渡，台阶宽度不宜小于 0.5m，以便对台阶或基底进行压实作业，并使填筑体与填土或自然坡体结合更紧密、牢靠。衔接面的坡度视工程需要和地形等确定，一般情况不宜陡于 1:1；用于加宽路堤填筑时，不宜陡于 1:0.5，并严禁反坡。

4.3.3 由于气泡混合轻质土填筑是采用自流平施工，其成型面是水平的，因此当填筑体顶面有坡度要求时，则需要在填筑体顶层通过设置台阶来实现。其台阶按下图设置，台阶部位一般采用路面基层或底基层材料调平，如图 8 所示。

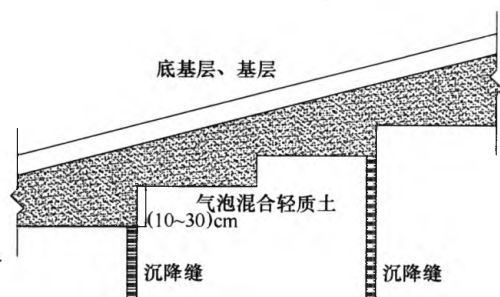


图 8 坡度调平设计参考图

4.4 附属工程设计

4.4.1 面板作为气泡混合轻质土的主要附属工程，设置在气泡混合轻质土外侧面。一般工程中，面板主要由水泥混凝土预制挡板、轻质砖、空心砖或装饰类砌块等砌筑而成，当面板采用水泥混凝土预制挡板砌筑时，面板可由基础、挡板、拉筋及立柱等设施组成，起施工外模、外侧面装饰及使用阶段保护的作用。

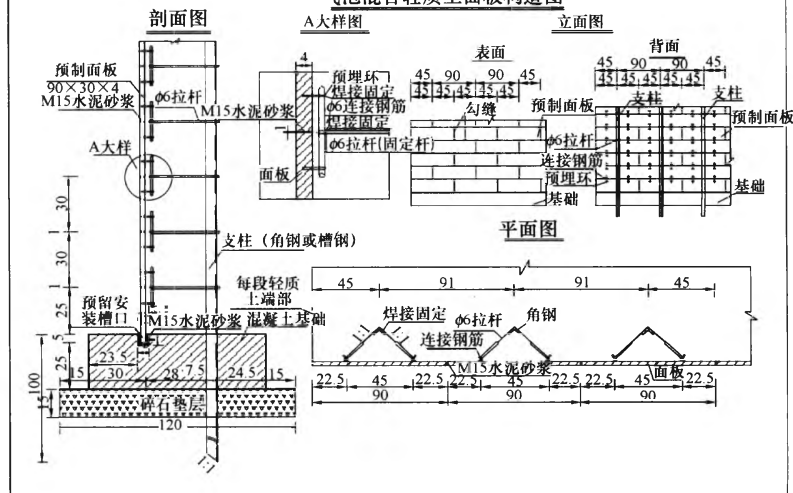
面板应选择合适的构造材料和断面尺寸，确保填筑安全、可靠耐久。本条文说明根据以往施工经验给出了目前常采用的水泥混凝土预制挡板砌筑的面板设计参考图，如图 9 所示，其他轻质砖、空心砖或装饰类砌块砌筑的面板可根据验算后进行设计。

1 基础的断面尺寸，以固定立柱和挡板为原则。一般采用 $90\text{cm} \times 30\text{cm}$ （宽度 $\times$ 高度）。为避免不均匀沉降导致基础开裂，面板的基础及挡板可按 $10\text{m} \sim 15\text{m}$ 间距设置沉降缝。施工时，为保持与填筑体的协调性，其间距可与填筑体沉降缝一致。

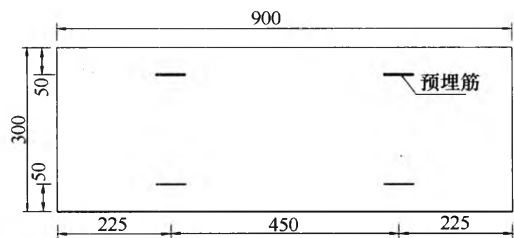
2 在实际工程设计中，挡板采用水泥混凝土预制时，需配细钢丝网现浇，钢丝直径不宜小于 1.0mm 。挡板的断面尺寸以便于施工为原则，一般可选用 $900\text{mm} \times 300\text{mm} \times 40\text{mm}$ （长度 $\times$ 宽度 $\times$ 厚度）。在一些景观要求较高的市政、城镇道路，可采用其他装饰类砌块。

3 立柱除采用条文规定的等边角钢外，还可采用钢管。立

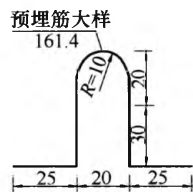
气泡混合轻质土面板构造图



预制混凝土面板平面



预埋筋大样



预制混凝土面板剖面

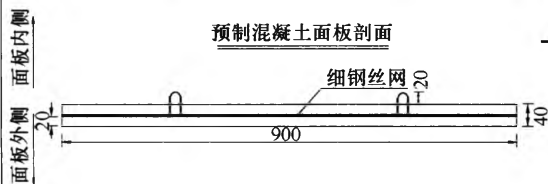


图9 面板设计参考图 (图中尺寸: cm)

柱尺寸可根据填筑高度进行选用。当填筑高度小于 5m 时，角钢边宽宜为 50mm；填筑高度大于 5m 时，角钢边宽宜为 70mm。

4.4.2 条文中的填筑体长度是指沿路基纵向的长度大小。

4.4.3 抗滑锚固设施的作用是增强填筑体与衔接体的联结，以提高其抗滑动性能。根据相关规范和以往施工经验，锚固件长度一般为 1.5m~2.0m，其垂直打入既有坡面或陡坡体的深度不宜小于 1m，具体长度由工程综合确定，抗滑锚固设计参考图见图 10。

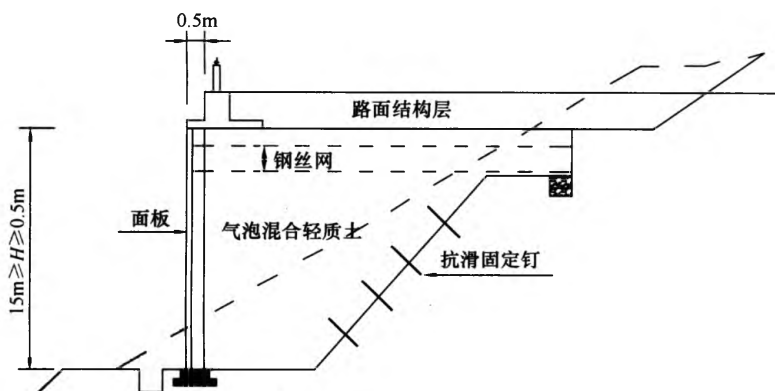


图 10 抗滑锚固设计参考图

4.4.4 在填筑体的底部、顶部及局部承受集中荷载部位设置钢丝网是为了抑制填筑体裂缝的产生，钢丝网设计参考图见图 11。

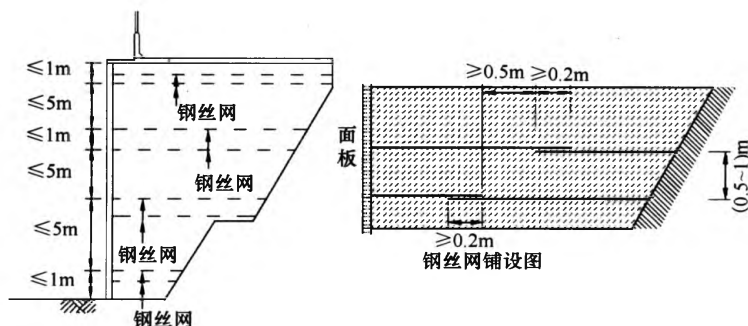


图 11 钢丝网设计参考图

4.4.6 本条文设置碎石垫层的目的是排除路面以下渗水。同时,也起到协调减少地基不均匀沉降的作用。

4.4.7 考虑填筑体的长期耐久性问题,在计算水位以下部位填筑时,可采用防渗土工布包裹等隔水措施。

4.5 设计计算

4.5.1、4.5.2 条文中的荷载分类、荷载组合参考了现行行业标准《公路路基设计规范》JTG D 30 中第 5.4.2 条的相关规定。

4.5.3 除软土地基路段填筑外,当地基较差或在荷载作用下可能产生沉降时,也应进行沉降计算。本条文对沉降验算方法不另行规定,只对气泡混合轻质土用于软土地基填筑时的几种主要工况进行说明。

- 1) 用于软基路段桥台台背的填筑,以减少路桥过渡段的工后沉降,避免桥头跳车。该工况应验算工后沉降,并按紧邻桥台位置工后沉降不超过 10cm (桥头设置有搭板情况时) 或 3cm (桥头设置无搭板情况时) 的要求进行填筑厚度的设计。填筑体顶部的长度宜按 15m~30m 设计。
- 2) 当新建软土地基路段的沉降在规定时间内不能满足设计要求时,可采用气泡混合轻质土减荷换填以控制工后沉降,换填厚度按下式计算确定。

$$h \geq \frac{\beta \gamma_f (h_d - U_t h_e)}{(\gamma_f - \gamma)} \quad (1)$$

式中: h_d ——常规填土总厚度 (m), 包括沉降部分、原地面至路面结构底厚度、路面结构层换算填土厚度;

h_e ——当前预压填土厚度 (m), 包括沉降部分、原地面至现有填土顶面的厚度;

h ——气泡混合轻质土的换填厚度 (m);

γ_f ——填土容重 (kN/m^3);

U_t ——当前地基土固结度, $U = S_t / S_\infty$, S_t 、 S_∞ 分别为已

发生沉降量和推算总沉降量，必要时可钻探确定 S_t ；

β ——系数；一般取 1.2~1.3，当地基平均固结度较小时，取大值。

式 (2) 是基于地基平均固结度的原理推算得到的，采用换填后的永久荷载与当前预压荷载来表征，即：

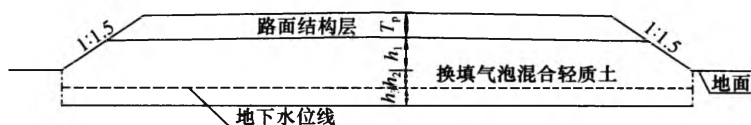
$$\frac{h\gamma + (h_d - h)\gamma_f}{h_e\gamma_f} \quad (2)$$

从理论上讲，当由换填后确定的地基固结度与当前地基平均固结度相等时，工后沉降应为 0，故：

$$U_t = \frac{h\gamma + (h_d - h)\gamma_f}{h_e\gamma_f} \quad (3)$$

由上式推算并考虑安全系数，即获得式 (1)。当计算的气泡混合轻质土换填厚度超过常规填土总厚度过多时，说明预压时间严重不足，如采用换填，代价较高，建议结合其他处理措施综合控制。从珠江三角洲多条高速公路的工程经验看，换填厚度基本上在 4m~6m。

3) 当直接用于低填软土路基的填筑时，气泡混合轻质土填筑厚度 h 采用下式计算，当地下水位较高时，需分别按地下水位以上和地下水位以下计算。



$$(h_1 + h_2)\gamma + h_3\gamma_a + T_p\gamma_p + h_f\gamma_f = h_2\gamma_0 + h_3\gamma_{0a} \quad (4)$$

式中： h_1 ——气泡混合轻质土地面以上填筑厚度 (m)；

h_2 ——气泡混合轻质土地面以下水位以上填筑厚度 (m)；

h_3 ——气泡混合轻质土地下水位以下填筑厚度 (m)；

T_p ——路面结构厚度 (m)；

γ_p ——路面结构容重 (kN/m^3);

γ_f ——路基填土容重 (kN/m^3), 一般取 $18\sim 19$;

h_f ——车辆荷载换算成填土荷载的等代厚度 (m), 一般取 0.8 ;

γ_0, γ_{0a} ——地基土天然容重、饱和容重 (kN/m^3)。

上式中, h_1, h_2 可以根据填土高度、地面高程、地下水位高程确定, 只需要计算出 h_3 即可得到气泡混合轻质土填筑总厚度。当地下水位埋深大或无地下水时, 式中 h_3 则取 0 。此时, 则需计算出 h_2 值即可确定气泡混合轻质土填筑总厚度 h 。

4) 当用于旧路改造控制工后沉降时, 气泡混合轻质土换填厚度可按式计算:

$$h \geq \frac{\gamma_f[(1+\beta)h_2 - h_1]}{(1+\beta)(\gamma_f - \gamma)} \quad (5)$$

式中: h_2, h_1 ——分别为旧路改造前、后常规填土路基路面永久荷载厚度, 包括沉降部分、原地面至路面结构底的厚度、路面结构层换算填土厚度;

h ——气泡混合轻质土换填厚度 (m);

γ_f ——填土容重 (kN/m^3);

β ——系数, 取 0.75 。

4.5.5 本条文提出了气泡混合轻质土的强度验算方法。

1 气泡混合轻质土用于路基填筑时, 要满足《公路路基设计规范》JTJ D 30 中不同部位填料的 CBR 值。根据国外有关资料 and 主编单位的试验成果 (图 12、图 13), CBR 与抗压强度 q_u 存在一定的比例关系, 即 $q_u \approx \frac{100CBR}{3.5}$ 。本条文根据此关系式并考虑安全系数 F_s , 提出了用于填筑时不同填筑部位路基的最小抗压强度要求。式 (4.5.5-1)、式 (4.5.5-2) 中 F_s 取值是根据长期荷载组合作用安全性、施工经验总结和日本有关资料的规定等综合考虑。

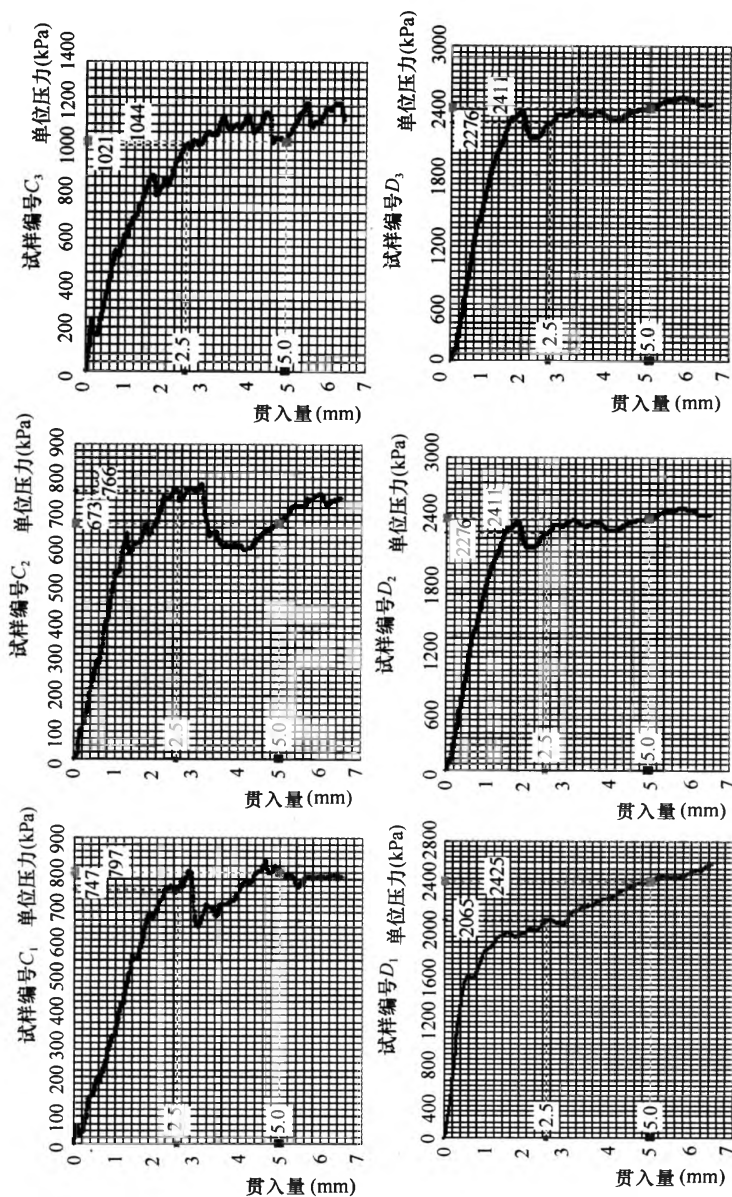


图 12 承载力试验结果

抗压强度(MPa)

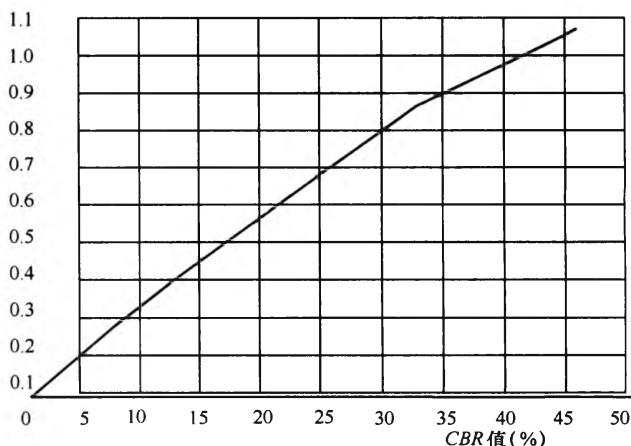


图 13 抗压强度与 CBR 值关系曲线图

2 本条文公式是由下式填筑体自立稳定的高度推导得出：

$$H = 2 \left\{ \left(\frac{2c}{\gamma} \right) \times \tan \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) - \frac{W}{\gamma} \right\} \quad (6)$$

式中：H——填筑体自立稳定的高度 (m)；

c——气泡混合轻质土的黏聚力 (kPa)， $c = 0.5q_{w2}$ ；

φ ——内摩擦角 (°) (偏安全考虑，取 $\varphi = 0$)；

W——填筑体顶部的荷载 (kPa)。

3 一般情况下， q_{w1} 的计算值比 q_{w2} 大。

4.5.6 除空洞填充或管线回填工程外，其填筑体特性类似于挡土墙结构，因此需要验算施工期和营运期的强度是否满足要求。当用于软土地基、高路堤边坡及斜坡体等部位填筑时，还需进行填筑体的抗滑、抗倾覆稳定性验算和包括地基在内的整体滑动稳定性验算。

1 填筑体的抗滑动稳定性、抗倾覆稳定性验算参考了《公路路基设计规范》JTG D 30 第 5.4.3 条的规定。

1) 滑动稳定方程与抗滑稳定系数按下列公式计算：

① 滑动稳定方程：

$$[1.1G + \gamma_{Q1}(E_y + E_x \tan \alpha_0) - \gamma_{Q2}E_p \tan \alpha_0]\mu + (1.1G + \gamma_{Q1}E_y) \tan \alpha_0 - \gamma_{Q1}E_x + \gamma_{Q2}E_p > 0 \quad (7)$$

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

E_y ——填筑体背面主动土压力的竖向分量（kN）；

E_x ——填筑体背面主动土压力的水平分量（kN）；

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

α_0 ——基底倾斜角（°），基底水平时 $\alpha_0=0$ ；

μ ——填筑体与衔接面间的摩擦系数，当无试验资料时，可按表 4 取值；

表 4 填筑体与衔接面间的摩擦系数 μ

地基土的分类	摩擦系数
软塑黏土	0.25
硬塑黏土、半干硬的黏土、砂类土、黏砂土	0.30~0.40
碎石类土	0.50
软质岩石	0.40~0.60
硬质岩石	0.60~0.70

γ_{Q1} 、 γ_{Q2} ——主动土压力分项系数、被动土压力分项系数，按照本规程表 4.5.2-2 的规定执行。

② 抗滑动稳定系数 K_c 按下式计算：

$$K_c = \frac{[N + (E_x - E'_p) \tan \alpha_0] \mu + E'_p}{E_x - N \tan \alpha_0} \quad (8)$$

式中：N——基底作用力的合力的竖向分量（kN），浸水填筑体

的浸水部分应计入浮力；

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

2) 倾覆稳定方程与抗倾覆稳定系数按下列公式计算：

① 倾覆稳定方程

$$0.8GZ_G + \gamma_{Q1}(E_y Z_x - E_x Z_y) + \gamma_{Q2}E_p Z_p > 0 \quad (9)$$

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

Z_x ——主动土压力的竖向分量至填筑体趾部的距离 (m)；

Z_y ——主动土压力的水平分量至填筑体趾部的距离 (m)；

Z_p ——填筑体前被动土压力的水平分量至填筑体趾部的距离 (m)。

② 抗倾覆稳定系数 K_0 按下式计算：

$$K_0 = \frac{GZ_G + E_y Z_x + E'_p Z_p}{E_x Z_y} \quad (10)$$

2 包括地基在内的整体滑动稳定性验算按照相应设计规范的规定进行。

3 基底合力偏心距、基底承载力验算参考了《公路路基设计规范》JTG D 30 第 5.4.3 条的规定。

1) 基底合力的偏心距 e_0 可按下式计算：

$$e_0 = \frac{M_d}{N_d} \quad (11)$$

式中： M_d ——作用于基底形心的弯矩组合设计值 (MPa)；

N_d ——作用于基底上的垂直力组合设计值 (kN/m)。

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

3) 基底压应力 σ 应按下列公式计算:

$$|e| \leq \frac{B}{6} \text{ 时, } \sigma_{1,2} = \frac{N_d}{A} \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) \quad (12)$$

位于岩石地基上的填筑体

$$e > \frac{B}{6} \text{ 时, } \sigma_1 = \frac{2N_d}{3\alpha_1}, \sigma_2 = 0 \quad (13)$$

$$\alpha_1 = \frac{B}{6} - e_0 \quad (14)$$

式中: σ_1 ——填筑体趾部的压应力 (kPa);

σ_2 ——填筑体踵部的压应力 (kPa);

B ——基底宽度 (m), 基底不宜为倾斜面;

A ——基础底面每延米的面积 (m^2)。

本条文未规定填筑体的埋深要求。填筑体宜采用明挖基础, 在大于 5% 纵向斜坡上填筑时, 基底应设计成台阶形; 在横向斜坡地面上填筑时, 面板基础底部埋入地面深度不应小于 1m, 距地表的水平距离不应小于 1m~2.5m。填筑体受水流冲刷时, 应按设计洪水频率计算冲刷深度, 基底应置于局部冲刷线以下不小于 1m。

4.5.7 本条文公式采用湿容重的 95% 进行验算是基于偏安全的考虑。计算时, 取湿容重的 95%, 公式 (4.5.7) 中的体积 V_1 、 V_2 为平均值。

5 配 合 比

5.1 一 般 规 定

5.1.1 气泡混合轻质土的独特工艺要求有严格的配合比设计和科学合理的试验程序，其配合比设计应以工程要求和水泥等原材料性能为基础，通过配合比试配及调整，使新拌气泡混合轻质土在泵送、浇筑阶段，具有规定的流动度和湿容重，以保证泵送施工的最佳工作性及稳定性，并在规定龄期内，抗压强度达到设计值。

5.1.2 在配合比试配前，应对原材料自身质量和适应性进行检验，使选定的原材料具有较好的适应性。适应性检验主要是发泡剂与水泥、水及其他添加材料的配合性试验，检验其湿容重增加值是否满足要求，水一般不宜采用海水、污泥水、含泥量大的水源。

5.1.3 在有减少荷重或土压力要求时，目标配合比主要检验湿容重、流动度、抗压强度是否满足要求。流动度是衡量气泡混合轻质土流动性的指标，空洞填充工程对此指标要求较高。

1 湿容重

本规程所定义的湿容重即标准湿容重或设计容重。在固化前后不发生变化情况下，通过现场试验测得的湿容重应控制在其允许的偏差范围内，以保证其轻质性。

2 流动度

流动度可采用圆筒法测得的流动度来表示。一般情况下，流动度应控制在 $180\text{mm} \pm 20\text{mm}$ 范围。在配合比试配时，应充分考虑泵送距离、气温等条件选择适当的流动度。一般情况下，在泵送距离较短或施工温度较低时，流动度可取偏差范围的小值，一般可取 $160\text{mm} \sim 180\text{mm}$ ，反之可取 $180\text{mm} \sim 200\text{mm}$ 。空洞注

浆与空洞充填属不同工艺，用于隧道等空洞注浆时，流动度可按 80mm~100mm 控制。

3 抗压强度

由于现场配制的抗压强度值具有一定的波动性，为保证施工时的抗压强度满足设计要求，施工配合比的实测抗压强度值应在抗压强度设计值的基础上，予以适当提高。一般情况下，室内实测抗压强度应大于设计抗压强度的 1.05 倍。

5.2 配合比计算

5.2.1 本条文规定了计算配合比中各种材料用量的计算原则和方法。计算时，各种材料用量应同时满足条文公式(5.2.1-1)、公式(5.2.1-2)的要求，常用参考配合比见表 5。

表 5 常用参考配合比

强度等级	设计强度 (MPa)	每立方单位用量				湿容重 (kN/m ³)	流动度 (mm)
		水泥 (kg)	添加材料 (kg)	水 (kg)	气泡群 (L)		
CF0.5	0.50	275	0	190	721.3	5.01	180
CF0.6	0.60	300	0	200	703.2	5.35	180
CF0.8	0.80	350	0	215	672.1	5.99	180
CF1.0	1.00	400	0	230	641.0	6.62	180
		325	325	200	568.2	8.78	180
CF1.2	1.20	350	350	210	540.4	9.37	180
CF1.5	1.50	375	375	215	517.5	9.91	180
CF1.0	1.00	275	412.5	200	550.2	9.15	180
CF1.2	1.20	300	450	205	522.4	9.81	180
CF1.5	1.50	330	495	210	490.2	10.60	180
CF1.0	1.00	275	550	205	491.4	10.55	180
CF1.2	1.20	300	600	210	458.9	11.33	180
CF1.5	1.50	330	660	215	420.7	12.26	180

注：水泥为 PO42.5R。

5.2.2 可通过掺入细集料、掺合料及外加剂等添加材料，以达到高强、低水胶比及经济性等要求。外加剂掺量是根据其减水率和预期达到的水胶比确定，其他添加材料则根据强度等级和经济性指标等要求，在满足湿容重、流动度等条件下，通过试验确定。

5.2.3 条文规定了水泥用量的选取方法，水泥用量可根据表 5 确定。表 5 只是常用参考配合比，其强度等级 CF0.5~CF1.0 的添加材料用量为 0，并不代表不能掺添加材料。此等级的配合比计算时，可通过掺入粉煤灰、细砂等添加材料，减少水泥用量，达到同样强度等级要求。当表中无对应的强度等级时，水泥用量计算可根据经验结果和表中上下强度等级相应增减。

5.2.4 一般情况下，水胶比按 0.55~0.65 选用。当需要低水胶比时，可掺入外加剂解决，其水胶比可根据强度要求，通过试验确定。

5.2.5 当未掺掺合料时，条文中的水胶比即为水灰比。

5.2.6 条文规定了每立方气泡混合轻质土的气泡群体积计算方法。当计算出气泡群体积时，其所需的发泡剂和稀释水用量可按下面公式计算：

发泡液 = 气泡群体积 / 发泡倍率；

发泡剂 = 发泡液 / 稀释倍率；

稀释水 = 发泡液 - 发泡剂。

5.3 配合比试配

5.3.2 条文规定了配合比试配的常用拌制方法，当搅拌量太少或条件不允许时，可采用手工拌制进行试拌。

5.3.4 进行强度试验时，每个配合比可同时多制作几组试件，按现行行业标准《早期推定混凝土强度试验方法标准》JGJ/T 15 早期推定试配强度，用于配合比调整，但最终应满足标准养护 28d 或设计规定龄期的强度要求。

6 工程施工

6.1 施工准备

6.1.4 在没有颁布发泡剂性能检测标准前,发泡剂性能检测均按本规程附录 A 规定的试验方法进行。为保证检验的可靠性,检验时,可派人见证取样和检验。

6.1.5 除条文规定外,在加宽路段开挖基坑时,开挖前,应事先做好行车导向、减速提示等安全措施。

6.2 浇筑

6.2.1 本条文对气泡混合轻质土的发泡设备、搅拌设备及泵送设备的要求进行了规定。第 1 款内容中应满足连续作业要求是指发泡设备应具备能提供连续稳定的气泡群,并能根据现场湿容重情况随时调整空气、发泡液和气泡群流量,达到满足施工质量要求。搅拌设备应具有计量和自动生产功能,并能给泵送设备提供连续稳定的水泥浆料;泵送设备则应有搅拌气泡群和水泥基浆料功能,并能连续泵送作业。

6.2.3 泵送作业是气泡混合轻质土填筑工程施工的关键工序,也是容易出现故障的工序。泵送前,应做好管接头的紧固和检查工作,确保接头牢固。泵送过程中,经常检查泵送管接头的牢固情况。

6.2.7、6.2.8 为减少水化热对填筑体质量的影响,浇筑时采用分层分块方式。泵送管出口与浇筑面宜保持水平,以减少对新拌气泡混合轻质土扰动。图 14 列出了施工中可能出现的三种浇筑方式。其中,方式 A 为正确方式,方式 B 和方式 C 为不正确方式,施工时应避免。

6.2.11 当施工现场环境日平均气温连续 5d 稳定低于 5℃,或

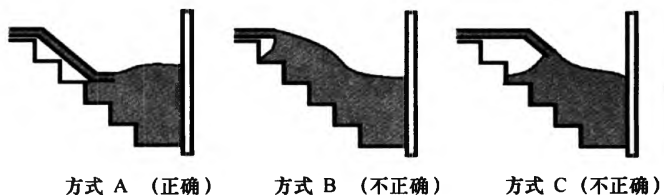


图 14 浇筑方式

最低环境气温低于 -3°C 时，应视为进入冬期施工，施工要求按条文规定执行。当施工现场环境日平均气温连续 5 昼夜平均气温低于 -5°C ，或最低气温低于 -15°C 时，建议停止气泡混合轻质土浇筑。

7 质量检验与验收

7.1 一般规定

7.1.1 本条文是依据《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 和气泡混合轻质土填筑工艺等要求进行编写。

7.1.2 每个连续浇筑区即为一个填筑体，即一个构造单元。质量检验与验收时，如果项目中单个构造单位方量少于 400m^3 时，可把三个以内构造单元划分为一个检验批。

7.2 质量检验

7.2.4 在实际工程中，龄期 28d 抗压强度可采用龄期 7d 抗压强度进行初步判断，当龄期 7d 抗压强度达到设计抗压强度 $1/2$ 以上时，可初步认为合格，但这不能作为质量检验依据。

7.2.6 填筑体的主控项目表干容重、抗压强度的质量检验验收，除浇筑时按本规程第 7.2.3 条的检验方法和检验频率留样检验外，还可采用抽芯法、弯沉法检验表干容重和抗压强度，以便更直观地检验其填筑体的工程质量。



1 5 1 1 2 2 1 7 5 4



统一书号: 15112 · 21754
定 价: 14.00 元