

泡沫混凝土配合比的设计

李应权¹, 朱立德¹, 李菊丽², 扈士凯¹, 段策¹, 王笑帆¹

(1. 建筑材料工业技术监督研究中心, 北京 100024; 2. 徐州工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘要:在研究泡沫混凝土各种原材料性能及大量实验和中试生产实践基础上,运用数理统计归纳分析,设计出既能满足泡沫混凝土干密度、导热率、强度、浇筑稳定性等技术要求,又经济合理、易于操作的各种原材料配合比,达到控制泡沫混凝土导热系数和抗压强度的目的,进而指导泡沫混凝土生产工艺过程,确保产品质量。

关键词:泡沫混凝土;参数;配合比设计;干密度;相关系数

中图分类号:TU528.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-358X(2011)02-0001-05

泡沫混凝土是由预制出的泡沫与水泥(砂)浆均匀混合、硬化而成的一种多孔材料,除具有轻质、保温隔热、低弹性模量、大流动度等特点^[1-2]外,还具有优良的防火性能,在屋面、地暖以及回填工程中有广泛的应用,也是目前代替有机保温材料的最佳选择。现阶段我国泡沫混凝土的配合比设计尚缺乏标准方法,不利于泡沫混凝土质量控制和技术发展^[3]。本文在大量实验研究基础上,探讨泡沫混凝土主要影响参数,建立最佳的泡沫混凝土配合比设计方法,以期对泡沫混凝土生产和质量控制提供参考。

1 配合比设计的基本原则

导热系数和强度决定了泡沫混凝土自身的性能。本配合比将通过确定泡沫混凝土的干密度,达到控制泡沫混凝土导热系数和强度的目的。配合比设计的基本原则如下。

- 1)按泡沫混凝土干密度要求,确定水泥及粉煤灰用量。
- 2)通过水泥及粉煤灰用量,确定泡沫混凝土用水量。
- 3)按照胶凝材料、用水量,确定水泥净浆体积。
- 4)通过水泥净浆体积,确定泡沫剂体积。
- 5)按泡沫体积、实测泡沫密度,确定泡沫质量。
- 6)根据泡沫质量、泡沫剂稀释倍数,确定泡沫剂的用量。

在确定各物料配合比时,应注意某些材料的缓凝性,它们会对早期强度变化特别是料浆的初凝有重要影响,加量较大时可能会降低浇筑的稳定性,甚至引起塌模,因此,要控制他们的用量。任何一种设计计算,与生产实际之间总会存在一定的偏差,还需要进行反复的调整,然后才能在生产中应用,并不断完善。

2 泡沫混凝土的技术参数

技术参数的选择是泡沫混凝土配合比设计的关键环节。只有合理地选择技术参数,才能经济有效地配制出性能指标符合要求的泡沫混凝土^[4]。

2.1 干密度

干密度是泡沫混凝土最重要的一项物理性能指标,是配合比设计的基础,各材料的选择及用量均是围绕其干密度的技术要求展开的。干密度分为气干和绝干密度两种:气干密度是指混凝土在空气中自然干燥后的密度;绝干密度是指混凝土在105~110℃的条件下烘至恒重时的表观密度,简称干密度。普通混凝土一般采用气干密度表示,而泡沫混凝土受其泡沫剂及轻质填料的多孔性和吸水性的影响,一般采用绝干密度表示。

收稿日期:2011-03-18

基金项目:国家科技部科研院所技术开发研究课题(2010EG132282)

作者简介:李应权(1964-),男,河南灵宝人,教授级高级工程师,主要从事泡沫混凝土研究。

通讯作者:李菊丽(1957-),女,教授,主要从事机械设计制造及自动化研究。

干密度反映了泡沫混凝土在完成养护之后的理论干燥质量^[5],包括各基本组成材料的干物料总量和制品中非蒸发物总量(其中包括化学结合水和凝胶水),应根据不同工程的具体使用要求而定。

2.2 强度

泡沫混凝土的强度包括抗压强度、抗折强度和抗冲击强度。对于大多数承重产品来说,主要强调抗压强度,而对一些板材制品则重点考虑抗折及抗冲击强度。每一种产品的设计注重于哪些指标,应根据产品的不同品种及技术要求而定。在强度设计时,应以干密度为基础,即在保证干密度的前提下设计符合产品技术要求的强度值。特别需要注意的是,强度应以满足这一密度等级产品的使用性能为标准,而不能以密实混凝土为参照去盲目追求高强度。为使泡沫混凝土具有必要的强度保证,其配制强度应大于强度标准值的3%~10%,使其具有富余强度。

2.3 导热系数

大多数泡沫混凝土是作为保温材料使用,因而导热系数也是它的一项主要指标。导热系数的设计应以干密度为基准,一般情况下,泡沫混凝土的导热系数与干密度之间具有相关性,干密度低的导热率一般也较低。为了保证能达到预期的保温效果,配合比设计时就应有降低导热系数的考虑,特别是材料的选择和配比。

2.4 水泥配比

水泥是泡沫混凝土强度的主要来源,也是首要影响因素。因为泡沫混凝土常温养护居多,且又大量掺入泡沫,过少的水泥用量会造成塌模,这就需要加大其水泥配比。但为了保证泡沫混凝土较低的干密度,就必须在满足产品性能的基础上尽量降低水泥配比。在一般情况下,水泥的用量要占干物料总量的70%~100%。

2.5 轻集料配比

轻集料的特点是孔隙率高,因而大多数吸水率亦较高,而且密度较低,故其加入量对产品的吸水率、密度影响很大,对导热率的影响也很大^[6]。

2.6 水料比

在实际生产时,泡沫混凝土采用的可能不是水灰比,而是水料比。水料比是总用水量与各种干物料质量的比值,它是泡沫混凝土设计的一个重要技术参数。水料比不仅要满足水泥水化反应的需要,而且要满足搅拌及浇筑成型的需要,既要容易浇筑,又不会影响浇筑的稳定性。

3 泡沫混凝土配合比设计

水泥—粉煤灰—泡沫—水原料体系的泡沫混凝土配合比设计关系式为

$$\rho_{\text{干}} = S_a(M_c + M_{fa}), \quad (1)$$

$$M_w = \varphi(M_c + M_{fa}), \quad (2)$$

式中: $\rho_{\text{干}}$ 为泡沫混凝土设计干密度(kg/m^3); S_a 为泡沫混凝土养护28 d后,各基本组成材料的干物料总量和制品中非蒸发物总量所确定的质量系数,普通硅酸盐水泥取1.2,硫铝酸盐水泥取1.4; M_c 为 1 m^3 泡沫混凝土的水泥用量(kg); M_{fa} 为 1 m^3 泡沫混凝土的粉煤灰用量(kg),一般情况下 M_{fa} 为干粉料的0~30%; M_w 为 1 m^3 泡沫混凝土的基本用水量(kg); φ 为基本水料比,视施工和易性,可作适当调整,一般情况下取0.5。

1 m^3 泡沫混凝土中,由水泥、粉煤灰和水组成的浆体总体积为 V_1 ,按式(3)计算,泡沫添加量 V_2 按式(4)计算。即配制单位体积泡沫混凝土,由水泥、粉煤灰和水组成浆体体积不足部分由泡沫填充。

$$V_1 = \frac{M_{fa}}{\rho_{fa}} + \frac{M_c}{\rho_c} + \frac{M_w}{\rho_w}, \quad (3)$$

$$V_2 = K(1 - V_1), \quad (4)$$

式中: ρ_{fa} 为粉煤灰密度,取 $2600 \text{ kg}/\text{m}^3$; ρ_c 为水泥密度,取 $3100 \text{ kg}/\text{m}^3$; ρ_w 为水的密度,取 $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$; V_1 为加入泡沫前,水泥、粉煤灰和水组成的浆体总体积(m^3); V_2 为泡沫添加量(m^3); K 为富余系数,通常大于1,视泡沫剂质量和制泡时间而定,主要应考虑泡沫加入到浆体中再混合时的损失,对于稳定性较好的泡沫剂,一般情况下取1.1~1.3。

泡沫剂的用量 M_p 按下式计算

$$M_y = V_2 \rho_{\text{泡}}, \quad (5)$$

$$M_p = M_y / (\beta + 1), \quad (6)$$

式中: M_y 为形成的泡沫液质量(kg); $\rho_{\text{泡}}$ 为实测泡沫密度(kg/m³); M_p 为 1 m³ 泡沫混凝土的泡沫剂质量(kg); β 为泡沫剂稀释倍数。

为便于理解泡沫混凝土配合比设计方法,特举实例计算如下。

1) 在无粉煤灰情况下,生产 1 m³ 干密度为 300 kg/m³ 的泡沫混凝土的配比计算。

普通水泥质量

$$M_c = 300/1.2 = 250 \text{ kg.}$$

用水量

$$M_w = 0.5 \times 250 = 125 \text{ kg.}$$

净浆体积

$$V_1 = 250/3100 + 125/1000 = 0.206 \text{ m}^3.$$

泡沫体积(假设富余系数 K 取 1.1)

$$V_2 = 1.1 \times (1 - 0.206) = 0.873 \text{ m}^3.$$

如泡沫密度实测为 34 kg/m³,泡沫剂使用时稀释倍数为 20 倍,则

泡沫液质量

$$M_y = 0.873 \times 34 = 29.68 \text{ kg.}$$

泡沫剂质量

$$M_p = 29.68 / (20 + 1) = 1.41 \text{ kg.}$$

从而可以计算出生产 1 m³ 干密度为 300 kg/m³ 的泡沫混凝土需要普通水泥 250 kg,水 125 kg,泡沫剂 1.41 kg. 其他干密度级别配合比设计见表 1.

表 1 1 m³ 普通水泥泡沫混凝土配合比

泡沫混凝土干密度级别 /(kg/m ³)	普通水泥 /kg	水($\phi=0.5$) /kg	泡沫剂(按 1:20 加水稀释,发泡倍数 30 倍计算) /kg
200	167	83.5	1.54
250	208	104.0	1.48
300	250	125.0	1.41
400	333	166.5	1.29
500	417	208.5	1.17

2) 在粉煤灰占干粉料总量的 25% 情况下,生产 1 m³ 的干密度为 250 kg/m³ 泡沫混凝土的配比计算。

普通水泥与粉煤灰总质量

$$M_c + M_{fa} = 250/1.2 = 208 \text{ kg.}$$

粉煤灰质量

$$M_{fa} = 25\% \times 208 = 52 \text{ kg.}$$

普通水泥质量

$$M_c = 208 - 52 = 156 \text{ kg.}$$

用水量

$$M_w = 0.5 \times 208 = 104 \text{ kg.}$$

净浆体积

$$V_1 = 52/2600 + 156/3100 + 104/1000 = 0.174 \text{ m}^3.$$

泡沫体积(假设富余系数 K 取 1.1)

$$V_2 = 1.1 \times (1 - 0.174) = 0.909 \text{ m}^3.$$

如泡沫密度实测为 34 kg/m³,泡沫剂使用时稀释倍数为 20 倍,则

泡沫液质量

$$M_y = 0.909 \times 34 = 30.91 \text{ kg.}$$

泡沫剂质量

$$M_p = 30.91 / (20 + 1) = 1.47 \text{ kg.}$$

从而可以计算出生产 1 m^3 干密度为 250 kg/m^3 的泡沫混凝土需要粉煤灰 52 kg , 普通水泥 156 kg , 水 104 kg , 泡沫剂 1.47 kg . 其他干密度级别配合比设计见表 2.

表 2 1 m^3 粉煤灰、普通水泥泡沫混凝土配合比

泡沫混凝土干密度级别 /(kg/m^3)	粉煤灰 /kg	普通水泥 /kg	水($\varphi=0.5$) /kg	泡沫剂(按 1:20 加水稀释, 发泡倍数 30 倍计算) /kg
200	42	125	83.5	1.53
250	52	156	104.0	1.47
300	62	188	125.0	1.41
400	83	250	166.5	1.28
500	105	312	208.5	1.16

3) 在使用硫铝酸盐水泥情况下, 生产 1 m^3 的干密度为 200 kg/m^3 泡沫混凝土的配比计算.

硫铝酸盐水泥质量

$$M_c = 200 / 1.4 = 143 \text{ kg.}$$

用水量

$$M_w = 0.5 \times 143 = 71.5 \text{ kg.}$$

净浆体积

$$V_1 = 143 / 3100 + 71.5 / 1000 = 0.118 \text{ m}^3.$$

泡沫体积(假设富余系数 K 取 1.1)

$$V_2 = 1.1 \times (1 - 0.118) = 0.97 \text{ m}^3.$$

如泡沫密度实测为 34 kg/m^3 , 泡沫剂使用时稀释倍数为 20 倍, 则

泡沫液质量

$$M_y = 0.97 \times 34 = 32.98 \text{ kg.}$$

泡沫剂质量

$$M_p = 32.98 / (20 + 1) = 1.57 \text{ kg.}$$

从而可以计算出生产 1 m^3 干密度为 200 kg/m^3 的泡沫混凝土需要硫铝酸盐水泥 143 kg , 水 71.5 kg , 泡沫剂 1.57 kg . 其他干密度级别配合比设计见表 3.

表 3 1 m^3 硫铝酸盐水泥泡沫混凝土配合比

泡沫混凝土干密度级别 /(kg/m^3)	硫铝酸盐水泥 /kg	水($\varphi=0.5$) /kg	泡沫剂(按 1:20 加水稀释, 发泡倍数 30 倍计算) /kg
200	143	71.5	1.57
250	179	89.5	1.52
300	214	107.0	1.47
400	286	143.0	1.36
500	357	178.5	1.26

4 结语

1) 为了控制泡沫混凝土导热系数和强度, 需要先确定泡沫混凝土的干密度, 再设计泡沫混凝土原材料配合比.

2) 通过泡沫混凝土配合比设计, 可以有效控制水泥、轻集料、泡沫剂的掺入量, 优化各原材料组分之间的

比例,进而达到控制泡沫混凝土质量稳定性的目的。

3)此配合比设计应用于实际生产后,将会减少原材料的浪费,有效降低泡沫混凝土的生产成本。

参考文献:

- [1] 李应权,徐洛屹,扈士凯,等. 聚合物水泥泡沫保温材料的研究[J]. 新型建筑材料,2010,37(2):29-33.
- [2] Pan Z H, Fujiwara H, Wee T. Preparation of high performance foamed concrete from cement, sand and mineral admixtures[J]. Journal of Wuhan University of Technology: Materials Science Edition,2007,22(2):295-298.
- [3] 扈士凯,李应权,罗宁,等. 泡沫自身参数对泡沫混凝土性能影响的研究[J]. 墙材革新与建筑节能,2010(5):28-31.
- [4] 闫振甲,何艳君. 泡沫混凝土实用生产技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [5] 王武祥. 泡沫混凝土绝干密度与抗压强度的相关性研究[J]. 混凝土世界,2010(6):50-53.
- [6] 龚洛书,柳春圃. 轻集料混凝土[M]. 北京:中国铁道出版社,1996.

Study on Mix Ratio Design of Foamed Concrete

LI Ying-quan¹, ZHU Li-de¹, LI Ju-li², HU Shi-kai¹, DUAN Ce¹, WANG Xiao-fan¹

(1. Technical Supervision and Research Center for Building Material Industry, Beijing 100024, China;
2. Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: On the basis of studying the properties of various raw materials of foamed concrete, a large number of experiments and the production practical experience, an optimum mixture ratio of foamed concrete was designed by mathematical statistics, which not only meet dry density, thermal conductivity, strength, pouring stability and other technical requirements of foamed concrete, but also is economical and easy to operate. The mixture ratio design achieved the purpose of controlling thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete, therefore, it can be used to guide the production process of foamed concrete to ensure product quality control.

Key words: foamed concrete; parameter; mixture ratio design; dry density; correlation coefficient

(责任编辑 武 峰)

泡沫混凝土配合比的设计

作者: [李应权](#), [朱立德](#), [李菊丽](#), [扈士凯](#), [段策](#), [王笑帆](#)
作者单位: [李应权, 朱立德, 扈士凯, 段策, 王笑帆\(建筑材料工业技术监督研究中心, 北京, 100024\)](#), [李菊丽\(徐州工程学院, 江苏徐州, 221008\)](#)
刊名: [徐州工程学院学报: 自然科学版](#)
英文刊名: [Journal of Xuzhou Institute of Technology](#)
年, 卷(期): 2011, 26(2)

本文读者也读过(10条)

1. [李庆繁](#) [应加大蒸压泡沫混凝土制品生产技术研究——对国家标准《墙体材料应用统一技术规范》强制性条文“墙体不应采用非蒸压加气混凝土制品”的解读](#)[期刊论文]-[墙材革新与建筑节能](#)2011(5)
2. [陈夏冰](#). [龚程](#) [泡沫混凝土施工技术研究](#)[期刊论文]-[城市建设理论研究\(电子版\)](#) 2011(28)
3. [朱立德](#). [李应权](#). [扈士凯](#). [段策](#). [王笑帆](#) [泡沫混凝土配合比设计研究](#)[会议论文]-2010
4. [林王剑](#). [曹决慧](#) [浅谈泡沫混凝土在屋面找坡层中的应用](#)[期刊论文]-[浙江建筑](#)2011, 28(11)
5. [扈士凯](#). [李应权](#). [罗宁](#). [段策](#) [泡沫参数对泡沫混凝土性能的影响研究](#)[会议论文]-2009
6. [吴迎春](#). [耿莉莉](#) [泡沫混凝土在世博会新西兰馆假山项目的应用](#)[会议论文]-2011
7. [扈士凯](#). [李应权](#). [罗宁](#). [段策](#) [泡沫自身参数对泡沫混凝土性能影响的研究](#)[期刊论文]-[墙材革新与建筑节能](#)2010(5)
8. [徐立新](#) [泡沫混凝土在地暖绝热层中的应用](#)[会议论文]-2009
9. [赵树友](#). [申慧芳](#) [浅谈屋面泡沫混凝土保温找坡工程专项施工方案](#)[会议论文]-2009
10. [姜继岩](#). [高波](#) [浅谈泡沫混凝土在屋面保温材料应用中的优势及施工工艺](#)[期刊论文]-[民营科技](#)2011(3)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_xzgcxyxb-zk201102003.aspx