

基于正交试验的泡沫混凝土配合比设计

马永炯¹, 杨 安², 洪 芬², 陈立延¹, 王 军³, 乔宏霞²

(1.甘肃第三建设集团有限公司, 甘肃 兰州 730030 ;

2.兰州理工大学 甘肃省土木工程防灾减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730050 ;

3.甘肃建投住宅产业新型材料有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 在进行试验中选择了正交设计的方式,利用极差、方差两种不同的分析方式,针对性的对水胶比、粉煤灰掺量、胶粉 3 个复合因素对泡沫混凝土抗压强度及干密度之间的影响进行探究,其中每个因素设置了三个水平,总共为 9 组配合比设计方案。可以发现,对于抗压强度、干密度来说,水胶比的影响会更显著一些,当水胶比不断提升的情况下,相应的抗压强度会逐渐增强,之后会持续降低。当水胶比不断提升的情况下,干密度则会不断减弱。与此同时,找出最优配合比,也就是:水胶比 0.52,粉煤灰 15%,胶粉 0。

关键词: 泡沫混凝土;正交试验;水胶比;抗压强度;干密度

中图分类号: TU528.062 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-3550(2021)07-0147-04

Design of mix ratio of foam concrete based on orthogonal test

MA Yongjiang¹, YANG An², HONG Fen², CHEN Liyan¹, WANG Jun³, QIAO Hongxia²

(1.Gansu Third Construction Group Co., Ltd., Lanzhou 730030, China ;

2.Key Laboratory of Disaster Prevention and Mitigation in Civil Engineering of Gansu Province ,
Lanzhou University of Technology ,Lanzhou 730050 ,China ;

3.Gansu Construction Investment Housing Industry New Material Co., Ltd. ,Lanzhou 730000 ,China)

Abstract: The orthogonal design method was selected in this experiment.Using the two different analysis methods of range and variance ,the influence of three factors on the compressive strength and dry density of the foam concrete is studied ,including the ratio of water to binder ,the amount of fly ash and the rubber powder.Each factor is set at three levels ,and the total proportion is 9 mixture design.It can be found that for the compressive strength and dry density ,the influence of water binder ratio will be more significant.When the water binder ratio continues to increase ,the corresponding compressive strength will gradually increase ,and then will continue to decrease.When the water binder ratio increases ,the dry density will decrease.At the same time ,the optimum mix proportion was found in this experiment , that is water binder ratio 0.52 ,fly ash 15% ,rubber powder 0.

Key words: foam concrete ,orthogonal test ,water-to-binder ratio ,compressive strength ,dry density

0 引言

现阶段,经济保持良好的发展态势,群众也更加重视环境问题,并且在环保方面进行了大量的投入,与此同时在建筑业上的环保问题也愈加重要,而泡沫混凝土属于复合型节能环保材料。它的优势非常明显,不但能够防火保温,还能进一步减少噪音,质量也比较轻^[1-4],这些条件更好的符合了现今时代建筑材料的潮流和趋势。随着泡沫混凝土的应用领域逐渐变得广泛,还具有更为广泛的应用前景,因此也备受建筑行业的工作者和学者的关注。

国内外许多学者充分利用泡沫混凝土的优点进行了深入的研究,尹万品^[5]讨论了胶粉对泡沫混凝土性能的影响,得出不同胶粉掺量对干密度产生不同的变化,但总体

上来说干密度是降低的。而对于抗压强度,胶粉掺量的变化对其产生较明显的改变。杭美艳^[6]等人探讨了单掺粉煤灰、单掺矿渣粉以及复掺粉煤灰和矿渣粉对泡沫混凝土性能的不同影响。其中掺加矿物掺合料并取代等量水泥可以有效降低生产成本,将效益最大化。王志刚^[7]对此进行了深入的探索,并且利用正交试验,获得了效果最好的比例,得到了比较好的抗压强度。不过,需要看到的是,现阶段,对胶粉、水灰比、粉煤灰掺量影响干密度、抗压强度的分析是比较少的。

本试验在许多学者研究的基础上,利用正交试验的方式,对以上 3 种要素的不同比例进行探究,分析它们能够影响干密度、抗压强度到何种程度。并且,通过数理统计的方式,针对性的开展相应的极差分析,确定了泡沫混凝土配合

收稿日期:2020-04-11

基金项目:甘肃省住房和城乡建设厅科研项目(JK2019-40) 国家自然科学基金(51468039)

比设计最优方案,为泡沫混凝土配合比设计提供了有效的试验依据与理论基础,以此并优化泡沫混凝土的性能。

1 试验

1.1 原材料

硅酸盐水泥选择的是甘肃水泥公司制造的产品,具体成分见表1,而其中的粉煤灰采用的等级为II级,所属兰州二热厂制造的产品。抗裂纤维则是选择聚丙烯抗裂纤维,具体的性能指标见表2。母料为河南某公司提供。发泡剂双氧水由宁夏三雅精化有限公司制造, H_2O_2 含量为27.5%。试验用水为兰州市七里河区当地的自来水,达到了规定的标准 JGJ 63—2006《混凝土用水标准》。

表1 水泥的组成 %

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	SO ₃	Loss
57.28	21.74	6.23	6.79	1.07	3.48	1.39

表2 聚丙烯纤维性能指标

项目	规格	当量直径	当量直径偏差	抗拉强度	断裂伸长率
	/cm	/μm	%	/MPa	%
标准	-	20~25	±10	≥350	8~30
实测	2~3	25	2	500	20

1.2 正交试验设计

通过阅读大量学者相关成果,能够清楚的了解到,对干密度、抗压强度产生影响的重要因素就包括水胶比、粉煤灰。如果将比较少的胶粉加入其中,能够让浆体稠度出现一定的改变,这样就会让其内部变得非常紧密,可以起到良好的填充作用,让其抗压强度出现比较明显的增强。本研究正交试验选择三因素三水平的方式^[9]将水胶比、粉煤灰、胶粉作为其中最重要的研究因素,并且分析它们对抗压强度、干密度起到的重要作用。通过正交表 $L_3(3^3)$ 开展深入查证,并且做好相应的验证,因素水平见表3。

表3 正交试验因素水平表

水平	因素		
	水胶比(A)	粉煤灰(B)/%	胶粉(C)/%
1	0.68	15	0
2	0.60	20	1
3	0.52	25	2

1.3 试验方法及性能测试方法

1.3.1 试验方法

依据相应的设计,对水泥、粉煤灰、水等物质进行细致的称量。再将除发泡剂之外按设计添加的原料通过高速搅拌机搅拌,制出均匀的浆体,搅拌时间控制在2~3 min。然后将发泡剂和水按1:40的比例混合,在制泡机上快速搅拌3 min,得到均匀且稳定的气泡后,最后将膏状浆体浇筑到100 mm×100 mm×100 mm 模具之内,并且将外表处理平整,放置1 d的时间,就要进行脱模处理,并且将其养护在湿度95%的环境中,保持28 d。

1.3.2 性能测试方法

本试验以28 d为标准,将泡沫混凝土试块放进温度为(60±5) °C干燥箱内烘干,烘干过程达4 h后将泡沫混凝土

试件取出,测其试件抗压强度及干密度,均符合国家行业 JGT 266—2011《泡沫混凝土》的要求。

2 结果及分析

通过正交试验,针对性的研究其具体的干密度、抗压强度,同时,还要依照表4配合比,开展相应的测试,得到相关性数值。找出各影响因素的重要程度和最佳掺量,并对干密度及抗压强度进行极差分析。

表4 试验配合比及试验结果

试验编号	水胶比	粉煤灰掺量 /%	胶粉 /%	抗压强度 /kN	干密度 /(kg/m ³)
1	0.68	15.00	0	4.8	300.6
2	0.68	20.00	1.00	3.9	230.9
3	0.68	25.00	2.00	3.4	245.0
4	0.60	15.00	1.00	5.2	313.8
5	0.60	20.00	2.00	6.6	297.1
6	0.60	25.00	0	4.8	317.6
7	0.52	15.00	2.00	5.9	345.6
8	0.52	20.00	0	5.2	348.7
9	0.52	25.00	1.00	5.1	289.3
抗压强度	K_1	12.10	15.90	14.80	
	K_2	16.60	15.70	14.20	
	K_3	16.20	13.30	15.90	
干密度	k_1	4.03	5.30	4.93	
	k_2	5.53	5.23	4.73	
	k_3	5.40	4.43	5.30	
R _j	R_j	1.37	0.87	0.57	
	K_1	776.50	960.00	966.90	
	K_2	928.50	876.60	834.00	
R _j	K_3	983.60	852.00	887.70	
	k_1	258.80	320.00	322.30	
	k_2	309.50	292.20	278.00	
R _j	k_3	327.80	284.00	295.90	
	R_j	69.00	36.00	44.30	

2.1 正交试验下抗压强度的极差分析

在表4中,能够清楚的了解到,对抗压强度产生重要影响的因素中,按照重要性,依次为:A>B>C,由此能够发现,水胶比有着最重要的影响,而粉煤灰要小一些,胶粉则是其中最小的。通过图1中可知,分析抗压强度发现,它会先升后降。而当水胶比是0.6的情况下,有最大的抗压强度,之所以会有这样的效果,就是因为黏聚性能降低,泡沫之间相融合成为连通孔并减少了泡沫体积,泡沫混凝土中胶凝材料不断流动充分发生水化反应,将其中的孔隙结构填充起来,进一步减小了其中的孔隙率,让强度得到有效的提升。若水胶比过大,泡沫孔径也会变大,气孔总体上来讲,会分布不均匀情况出现各别集中应力的现象,降低了泡沫混凝土的抗压强度^[9-10]。除此之外,当胶凝材料与不足的水量发生反应的情况下,浆体会变得难以流动,并导致水泥浆体搅拌不充分不均匀。如果加水过多会使浆体稠度变差,易形成塌模^[11-12]。从图1中(b)可以看出抗压强度随粉煤灰掺量的增加而减小,这是由于粉煤灰随着取代水泥量

增多,要用到更多的水,水量增加,导致浆体会变得难以流动,产生的气泡不能充分且均匀的接触混合作用,形成孔径较大的气泡结构,使得泡沫混凝土变得易破坏,所以抗压强度有所降低^[13]。最后对抗压强度影响最小的是胶粉,在图1中(c)的抗压强度随胶粉的增加呈先降低后上升的趋势,这有可能是由于粉煤灰与胶粉的复合作用,通过对泡沫混凝土进行深入分析可以看到,如果其中的粉煤灰里面掺有大量的胶粉,往往会因为水化作用的影响,会包裹住各种产物,让其结构更加紧密,这样就会让其强度进一步提升。除此之外,不排除在试验过程中操作误差的可能,对于胶粉对抗压强度的影响需要进一步的试验探索。

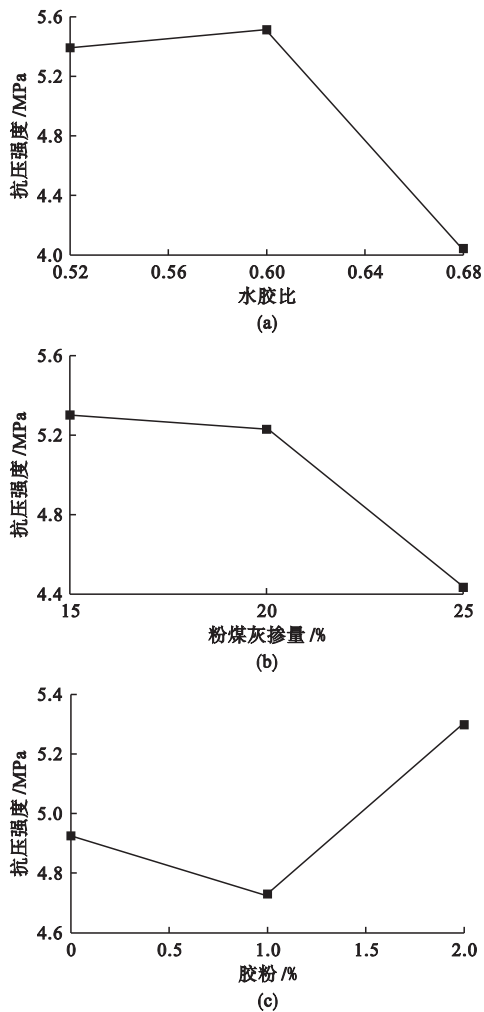


图1 各因素与泡沫混凝土抗压强度之间的关系

2.2 正交试验下干密度的极差分析

通过表4可以清楚的了解到,在对干密度产生重要作用的要素中,最重要的是A因素,排名次席的则是B因素,最后是C因素,这说明对于干密度的控制主要取决于A因素(水胶比)。从下图2也可以看出,当水胶比不断提升的情况下,干密度会逐渐降低,由此可以看到,如果水胶比较高,浆体就会出现比较差的均匀性,并且产生沉浆的情况,浆体当中会进入一部分的水,让其得到一定的稀释,想要在其表面产生保护层就变得并不容易,这样就会让孔隙率进一步提升,使其干密度下降。粉煤灰掺量对泡沫混凝土干密度也是影响因素之一,从图2中(b)可以看出干密度

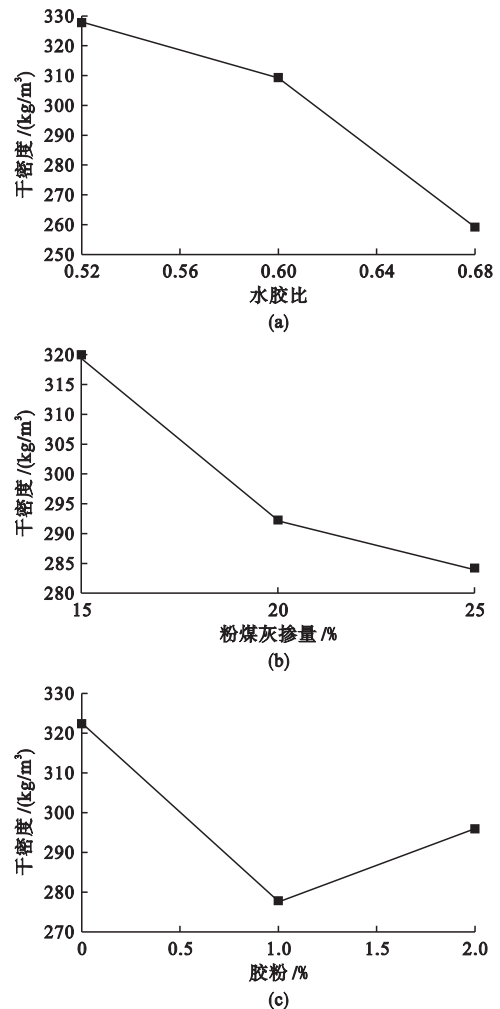


图2 各因素与泡沫混凝土干密度之间的关系

随粉煤灰掺量增加而下降,之所以出现这样的情况,就是因为其中的一些水泥被粉煤灰所替换,而粉煤灰有着相对较低的表观密度,因此,干密度出现了一定的降低^[14]。

2.3 方差分析

对表4的数据运用方差分析,求出各个因素的均方值和F值,结果由表5列出。通过此表能够清楚的了解到,水胶比是非常重要的,会主要影响到其中的强度、干密度,尤其是干密度,有着非常明显的作用,而粉煤灰掺量和胶粉这两者因素对干密度具有显著影响。而抗压强度则不同,三种因素都没有明显的对抗压强度起到重要的作用。

表5 方差分析表

因素	抗压强度			干密度		
	SS	df	F值	SS	df	F值
水胶比	4.135 67	2	3.225 96	7 670.05	2	103.80
粉煤灰掺量	1.395 67	2	1.088 67	2 136.08	2	28.91
胶粉	0.495 67	2	0.386 65	2 979.86	2	40.33
组内误差	1.281 99	2		73.89	2	
总和	7.309 00	8		12 859.88	8	

2.4 最佳配合比确定

当水胶比不断提升的情况下,抗压强度先升后降,并且处于A₂的情况下,出现最大值,而粉煤灰掺量则不同,如果它不断提升,抗压强度则会进一步减弱,最佳掺量在B₁时,抗压强度最好,而胶粉最佳掺量在C₃时抗压强度最

佳。整体来讲,最好的配合比是 $A_2B_1C_3$ 。

干密度的最佳配合比方案可由表 5 的极差分析数据和图 2 线型图结合看出,最优方案为 $A_3B_1C_1$ 。

综合各方面因素考虑,结合方差分析表结果,发现 3 种因素都没有明显的对抗压强度起到重要的作用,所以本试验确定干密度最优配合比: $A_3C_1B_1$ 。

3 结论

(1)通过正交试验能够了解到,水胶比、粉煤灰、胶粉为三者因素,每个因素设置三个水平,共为 9 组的设计配合比进行抗压强度和干密度测试,得出泡沫混凝土抗压强度和干密度数值并进行极差计算。

(2)试验发现影响抗压强度的重要性次序是:水胶比 > 粉煤灰 > 胶粉,影响干密度的重要性次序是:水胶比 > 胶粉 > 粉煤灰。由此可以看到,水胶比的是这里面首要的影响因素。

(3)因为三者因素没有非常明显的影响到抗压强度,所以本试验选取以干密度为主的最优配合比组合,为水胶比为 0.52,胶粉 0,粉煤灰 15%。而因为胶粉的提升,抗压强度先升后降,还应该继续开展深入的试验,这样才能对其进行有效的证明。

参考文献:

- [1] AMRAN Y H M, FARZADNIA N, ABANG ALI A A. Properties and applications of foamed concrete: a review[J]. Construction and Building Materials, 2015(101): 990-1005.
- [2] 褚会超,吕宪俊,张燕,等.降低泡沫混凝土吸水率的研究现状及展望[J].硅酸盐通报, 2016, 35(9): 2852-2859.
- [3] 李猛,黄寅生,张少波,等.泡沫混凝土的研究进展及展望[J].材料导报, 2016, 30(S1): 402-405.

·上接第 141 页

- [13] 方俊,李泉新,许超,等.松软突出煤层瓦斯抽采钻孔施工技术及其发展趋势[J].煤炭科学技术, 2018, 46(5): 130-137, 172.
- [14] 李卫彬,翟清伟,刘春,等.高强内支撑护孔管提高瓦斯抽采钻孔稳定性技术应用研究[J].能源与环保, 2018, 40(6): 13-19, 25.
- [15] 叶高榜.高强内支撑护孔管提高瓦斯抽采钻孔稳定性技术及应用研究[D].北京:中国矿业大学, 2017.
- [16] 周斌,郝晋伟,张春华.松软煤层瓦斯钻孔失稳分析及动态密封技术[J].煤田地质与勘探, 2016, 44(4): 161-166.
- [17] 聂百胜,薛斐.软煤钻杆研究进展及发展趋势[J].煤炭科学技术, 2016, 44(1): 47-54.

·上接第 146 页

- [8] 张巨松,李宗阳,张娜,等.水泥基灌浆料工作性的试验[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2013, 29(6): 1072-1077.
- [9] 韩超,郑毅敏,赵勇.钢筋套筒灌浆连接技术研究与应用进展[J].施工技术, 2013, 42(21): 113-117.
- [10] 熊杨,李俊华,孙彬,等.装配式建筑套筒灌浆料强度及影响因素[J].建筑材料学报, 2019, 22(2): 272-277.

- [4] 刘超,苏敦磊,于琦,等.泡沫混凝土研究综述[J].建设科技, 2018(19): 45-48.
- [5] 尹万品.胶粉对泡沫混凝土性能和结构影响[J].江西建材, 2016(7): 4-5.
- [6] 杭美艳,杨冉.矿物掺合料对泡沫混凝土的性能影响[J].硅酸盐通报, 2018, 37(4): 1480-1486.
- [7] 王志刚,习会峰,龙志勤,等.泡沫混凝土配合比的正交试验研究[J].新型建筑材料, 2015, 42(7): 82-84.
- [8] 田雨泽,耿玲,李娜.基于正交设计的陶粒泡沫混凝土配合比试验研究[J].混凝土, 2017, 338(12): 174-177.
- [9] 胡艳丽,郝晋高,赵向敏,等.泡沫轻质混凝土性能与孔结构关系研究[J].南京理工大学学报(自然科学版), 2019, 43(3): 363-366.
- [10] 郑秀梅,付丽艳,刘晓丹,等.水胶比对泡沫混凝土性能影响试验[J].低温建筑技术, 2014, 36(10): 12-13, 30.
- [11] 刘军,崔云鹏,杨元全,等.粉煤灰泡沫混凝土力学性能的研究[J].材料导报, 2014, 28(8): 139-142.
- [12] 魏向明,董超,冯竟竟,等.双掺粉煤灰矿渣泡沫混凝土性能试验研究[J].混凝土与水泥制品, 2019(7): 63-66.
- [13] 张旭,王武祥,杨鼎宜,等.泡沫混凝土孔结构特征及其影响因素研究进展[J].混凝土与水泥制品, 2018(7): 63-68.
- [14] 刘军,齐玮,刘润清,等.双氧水发泡泡沫混凝土抗压强度与孔隙特征关系的研究[J].混凝土, 2016(5): 1-4.

第一作者: 马永炯(1982-) 男,本科,高级工程师,主要研究方向: 混凝土耐久性,建筑材料,混凝土组合结构。

联系地址: 甘肃省天水市麦积区天水经济技术开发区 甘肃建投总部经济城(741000)

联系电话: 13919093949

通讯作者: 杨安(1995-) 男,硕士研究生。

联系电话: 13831181587

2016, 44(1): 47-54.

- [18] 成艳英.本煤层钻孔瓦斯抽采失效机制及高效密封技术研究[D].北京:中国矿业大学, 2014.

第一作者: 刘超(1981-) 男,教授,博士生导师,研究方向为: 煤岩体破裂失稳机理与监测预警。

联系地址: 陕西省西安市碑林区雁塔中路 58 号 西安科技大学研究生院(710054)

联系电话: 15289368370

- [11] 钢筋连接用套筒灌浆料 JG/T 408—2019[S].

第一作者: 孙小巍(1979-) 男,高级试验师,硕士研究生导师,主要从事水泥基复合材料的研究。

联系地址: 辽宁省沈阳市浑南区浑南中路 25 号 沈阳建筑大学材料科学与工程学院(110168)

联系电话: 13998893416