

DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2024.08.021

## 泵送陶粒混凝土的性能及应用研究

武海英<sup>1</sup>, 戴硕<sup>2,3</sup>, 姚瑞<sup>4</sup>, 陶书庆<sup>2,3</sup>, 陈语阳<sup>2,3</sup>

(1. 合肥工业大学 基建处, 安徽 合肥 230009; 2. 合肥工业大学 土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009; 3. 合肥工业大学 水泥基材料低碳技术与装备教育部工程研究中心, 安徽 合肥 230009; 4. 合肥工大共达工程检测试验有限公司, 安徽 合肥 230051)

**摘要:** 陶粒混凝土具有轻质、保温、耐久性好等优点。文章结合某工程训练中心大楼屋面建设需求, 研究陶粒预处理、黏度改性剂用量、调凝剂用量等因素对泵送陶粒混凝土工作性能及力学性能的影响, 得出满足工程需求的配合比, 并成功应用于屋面工程。试验结果为建筑屋面泵送陶粒混凝土的设计与工程应用提供了试验数据和参考。

**关键词:** 陶粒混凝土; 泵送; 工作性能; 经时损失; 工程应用

**中图分类号:** TU528.041 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-5060(2024)08-1148-05

### Characteristics of pumping ceramisite concrete and its application

WU Haiying<sup>1</sup>, DAI Shuo<sup>2,3</sup>, YAO Rui<sup>4</sup>, TAO Shuqing<sup>2,3</sup>, CHEN Yuyang<sup>2,3</sup>

(1. Infrastructure Department, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. School of Civil and Hydraulic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 3. Engineering Research Center of Low-carbon Technology and Equipment for Cement-based Materials of Ministry of Education, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 4. Hefei University of Technology Gongda Engineering Inspection and Testing Co., Ltd., Hefei 230051, China)

**Abstract:** Ceramisite concrete is characterized by lightness, good thermal insulation as well as durability. In response to the needs of the roofing construction of a training center, the influence of factors like ceramisite pretreatment, dosage of viscosity modifier and retarder on the working performance and mechanical properties of pumping ceramisite concrete is studied. An appropriate proportion of concrete mix is observed to meet the construction needs and applied to the roofing construction. The result provides experimental data and serves as references for the design and application of pumping ceramisite concrete in roofing construction.

**Key words:** ceramisite concrete; pumping; working performance; gradual loss; engineering application

近年来,随着我国建筑工程领域的快速发展及低碳环保政策的推行,对建筑材料提出更高的要求<sup>[1]</sup>。建筑坡屋面是建筑结构中的重要部位,通常要求屋面材料具有轻质、保温、防水等特性<sup>[2-3]</sup>。国内目前采用的屋面材料主要有聚苯乙烯板、聚氨酯泡沫板、挤塑聚苯板等有机材料,传统屋面材料存在易燃、易老化、低强度等缺点<sup>[4-5]</sup>。

陶粒混凝土作为一种具有良好保温隔热性能的轻骨料混凝土,得到国内外许多专家学者的广泛关注<sup>[6]</sup>。由于陶粒混凝土的自重小,用于工业

与民用建筑工程中可以起到减轻结构自重、节省材料用量、提高构件吊装效率、减少地基荷载的作用。同时,由于其内部多孔的特性,使其具有保温隔热、隔音等改善建筑功能的作用<sup>[7-9]</sup>。因此,陶粒混凝土在大体积工程、轻质构件以及建筑屋面工程中得到广泛应用。同时,陶粒因其自重小、吸水率大等特性,给陶粒混凝土的泵送带来较大困难<sup>[10]</sup>。因此,研究泵送陶粒混凝土的性能具有重要意义。

本文基于某工程训练中心屋面项目,针对陶

收稿日期:2024-01-16;修回日期:2024-03-25

基金项目:校地合作产业创新引导资金资助项目(JZ2022YDZJ0085)

作者简介:武海英(1976—),男,山西原平人,合肥工业大学工程师。

粒本身及陶粒混凝土的工作性能、抗压强度进行研究,并成功应用于建筑屋面,取得了良好的经济效益和社会效益。

## 1 原料与试验方法

### 1.1 原料

试验采用的水泥为海螺牌 P·O 42.5 水泥,水泥的主要化学成分和基本性能指标见表 1、表 2

表 1 水泥的主要化学成分

化学成分	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
w/%	61.82	23.74	6.76	4.51	0.51	1.36	0.32	0.10

表 2 P·O 42.5 水泥物理基本性能指标

标准稠度 用水量/%	凝结时间/min		抗折强度/MPa		抗压强度/MPa	
	初凝	终凝	3 d	28 d	3 d	28 d
27.3	159	213	5.3	6.8	28.8	48.9

表 3 陶粒基本性能指标

表观密度/ (kg/cm <sup>3</sup> )	堆积密度/ (kg/cm <sup>3</sup> )	1 h 吸水 率/%	饱和吸 水率/%	筒压强 度/MPa
652	407	13.5	23.0	4.7

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 原料预处理

陶粒孔隙较多,在拌合混凝土时会吸收水分影响混凝土的性能,因此需对陶粒进行预湿。陶粒预湿还可以作为一种内养护的方式,提高混凝土

后期强度以及减小后期的收缩。首先使用 2.36 mm 方孔标准筛筛除碎渣,然后将陶粒置于水中浸泡,在混凝土拌合前 1 h 取出陶粒,晾至面干。

土后期的强度以及减小后期的收缩。首先使用 2.36 mm 方孔标准筛筛除碎渣,然后将陶粒置于水中浸泡,在混凝土拌合前 1 h 取出陶粒,晾至面干。

#### 1.2.2 配合比设计

泵送陶粒混凝土的配合比参照 JGJ 51—2002《轻集料混凝土技术规范》的设计要求,并在此基础上加以调整,以研究诸因素对泵送陶粒混凝土性能的影响。传统混凝土首先确定设计强度,而泵送陶粒混凝土的配合比设计出发点是制备出的材料能否顺利泵送。

本文试验的泵送陶粒混凝土配合比见表 4 所列,表 4 中:D 表示陶粒未预湿处理;W 表示陶粒预湿处理。

表 4 泵送陶粒混凝土配合比

编号	$\rho$ (水泥)/ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho$ (砂)/ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho$ (陶粒)/ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho$ (水)/ (kg/m <sup>3</sup> )	$w$ (减水剂)/ %	$w$ (黏度改性 剂)/%	$w$ (调凝剂)/ %
PD	300	284.9	343.5	122.4	0.3	0	0
PW-1h	300	284.9	343.5	122.4	0.3	0	0
PW-24h	300	284.9	343.5	122.4	0.3	0	0
PW-1h-1	300	284.9	343.5	122.4	0.3	0.1	0
PW-1h-2	300	284.9	343.5	122.4	0.3	0.2	0
PW-1h-3	300	284.9	343.5	122.4	0.3	0.1	0.01
PW-1h-4	300	284.9	343.5	122.4	0.3	0.1	0.02

注:外加剂的掺量按照水泥的质量分数计算。

#### 1.2.3 工作性能测试方法

泵送陶粒混凝土的塌落度和扩展度按照 GB/T 50080—2016《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》中的规定进行测试。

#### 1.2.4 力学性能测试方法

抗压强度测试参照 GB/T 50081—2019《混

凝土物理力学性能试验方法标准》进行,抗压强度试件采用 100 mm×100 mm×100 mm 的立方体。试件成型 24 h 后脱模,然后于标准养护箱中养护 3、28 d,每组 3 个试样取平均值。采用 STYE-3000E 全自动压力试验机进行测试,加载速度为 0.3 MPa/s。抗压强度计算公式为:

$$f_c = F/A,$$

其中:  $f_c$  为试件抗压强度;  $F$  为试件破坏荷载;  $A$  为试件受压面积。

## 2 结果与讨论

### 2.1 预湿条件对泵送陶粒混凝土性能的影响

文献[5-7]研究表明陶粒的吸水率大于普通粗集料,集料的吸水特性对混凝土的性能具有一定的影响。陶粒预湿时间对制备泵送陶粒混凝土工作性能的影响如图 1 所示。

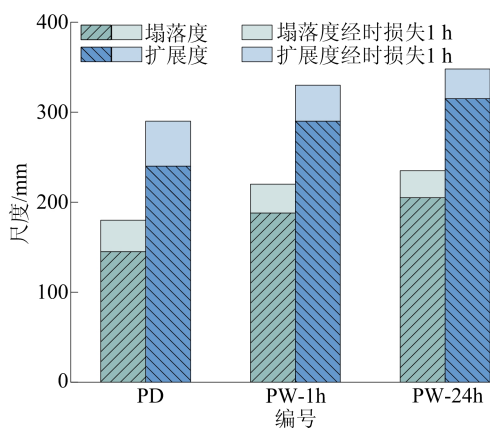


图 1 陶粒预湿时间对混凝土工作性能的影响

从图 1 可以看出,陶粒的预湿时间对陶粒混凝土的塌落度、扩展度和经时损失有较大影响。在其他条件不变的情况下,陶粒预湿时间增加即陶粒的含水率增加,相当于增加了混凝土中的水量。因此,随着陶粒预湿时间的增加,陶粒混凝土的塌落度、扩展度均逐渐增加,塌落度和扩展度的 1 h 经时损失呈减小趋势。此外,从图 1 还可以看出,较预湿 1 h 的陶粒混凝土,预湿 24 h 的陶粒混凝土的塌落度和扩展度增长幅度不大,分别增长了 6.8%、5.5%。因为陶粒预湿 1 h 后陶粒混凝土的工作性能变化较小,所以本文后续试验中采用预湿 1 h 的陶粒。

陶粒预湿时间对混凝土抗压强度的影响如图 2 所示。从图 2 可以看出,随着预湿时间的增加,所制备陶粒混凝土的抗压强度在养护 3 d 时呈下降趋势,PW-24h 的抗压强度比 PD 的抗压强度降低了 15.8%;而 28 d 时呈上升趋势,PW-24h 的抗压强度比 PD 的抗压强度增长了 5.7%。这主要是由于预湿时间的增加,提高混凝土的水灰比,增加界面区的孔隙率,从而降低混凝土的早期强度<sup>[11]</sup>。随着水化时间的延长,混凝土中的水分被不断消耗,陶粒内外的相对湿度发生变化,陶粒中

的水向外迁移,进一步促进水泥的水化,生成更多的水化产物填充于孔隙中,从而混凝土的强度得到提升。

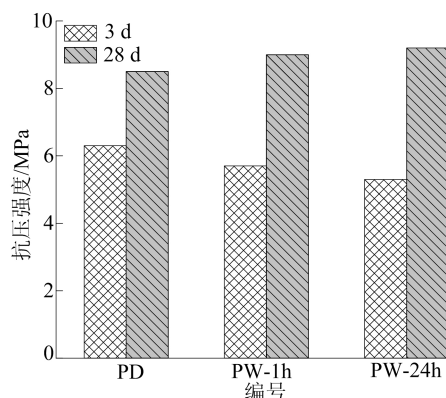


图 2 陶粒预湿时间对混凝土抗压强度的影响

### 2.2 黏度改性剂对泵送陶粒混凝土性能的影响

黏度改性剂是混凝土中常用的外加剂,具有保水、增稠的效果,对混凝土的工作性能起到改善作用。黏度改性剂对混凝土工作性能的影响如图 3 所示。

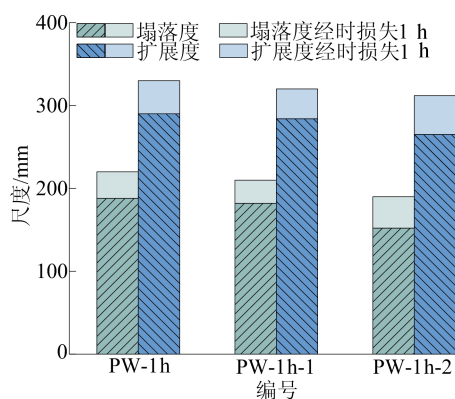


图 3 黏度改性剂对混凝土工作性能的影响

从图 3 可以看出,黏度改性剂的加入会降低混凝土的塌落度和扩展度,当黏度改性剂的掺量由 0 增加到 0.2% 时,PW-1h-2 的塌落度和扩展度分别下降了 13.6%、5.5%。当混凝土静置 1 h 后,水泥水化程度增加,塌落度和扩展度出现经时损失。未掺黏度改性剂的 PW-1h 塌落度和扩展度比 PW-1h-1 下降得快,经时损失较大,掺有 0.1% 黏度改性剂的试样 PW-1h-1 静置 1 h 后,塌落度和扩展度的经时损失分别为 30、27 mm,即为 PW-1h 的 87.5%、90.0%。当黏度改性剂掺量为 0.2% 时,泵送陶粒混凝土的塌落度和扩展度的经时损失均大于未掺黏度改性剂的经时损

失。说明掺入适量的黏度改性剂可改善泵送陶粒混凝土的工作性能,这是由于黏度改性剂与水分子的结合作用,并对水泥颗粒进行包裹,减少了水分的挥发<sup>[12-13]</sup>。

泵送陶粒混凝土 3、28 d 抗压强度随黏度改性剂掺量的变化结果如图 4 所示。

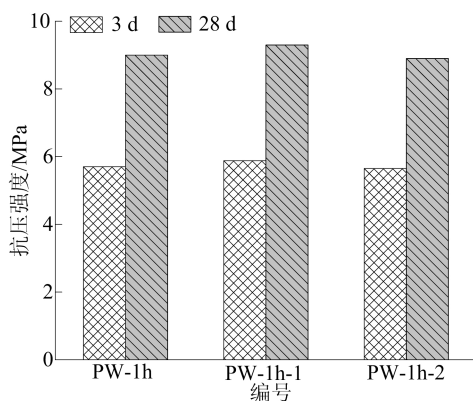


图 4 黏度改性剂对混凝土抗压强度的影响

从图 4 可以看出,掺入黏度改性剂后,混凝土的抗压强度先增加后降低。当黏度改性剂掺量为 0.1% 时,泵送陶粒混凝土的 3、28 d 抗压强度分别为 5.9、9.3 MPa,比 PW-1h 试样分别提升 3.5%、4.5%。当掺量达到 0.2% 时,混凝土的 3、28 d 抗压强度均降低。研究表明,黏度改性剂起到引气作用<sup>[12,14]</sup>,掺量增加将导致混凝土内部的孔隙增多,混凝土的抗压强度降低。

### 2.3 调凝剂对泵送陶粒混凝土性能的影响

调凝剂掺量对泵送陶粒混凝土工作性能的影响如图 5 所示。

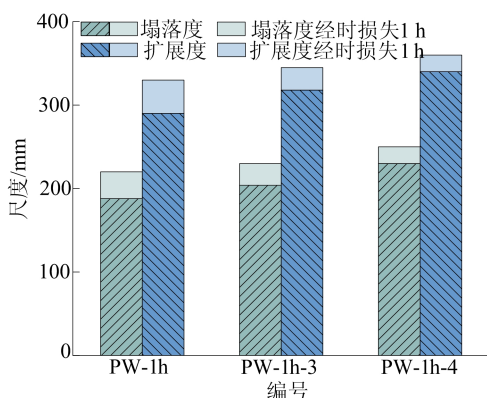


图 5 调凝剂对混凝土工作性能的影响

从图 5 可以看出,随着调凝剂掺量的增加,混凝土的塌落度和扩展度逐渐增大,经时损失逐渐减小。当调凝剂掺量为 0.2% 时,PW-1h-4 的塌

落度和扩展度分别为 250、360 mm,较 PW-1h 试样分别提升了 38.9%、24.1%,泵送陶粒混凝土的可泵性能提高。这主要是由于调凝剂的掺入降低了混凝土的表观黏度、屈服应力,延缓了水泥的水化放热过程和水化产物的形成时间<sup>[15]</sup>。

调凝剂对制备泵送陶粒混凝土抗压强度的影响如图 6 所示。从图 6 可以看出,随着调凝剂掺量的增加,混凝土的 3 d 抗压强度逐渐降低,当调凝剂掺量为 0.2% 时,PW-1h-4 的 3 d 抗压强度为 5.5 MPa,比 PW-1h 试样降低了 3.5%。调凝剂的掺入延缓了水化作用的进行以及水化产物的生长,造成抗压强度损失。

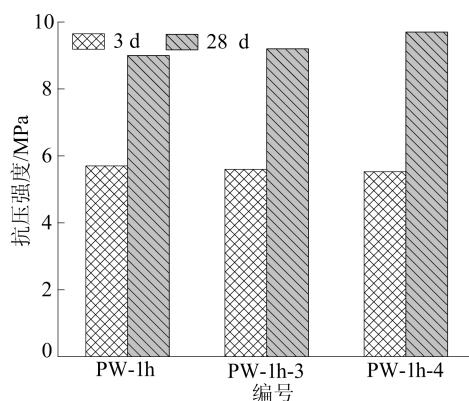


图 6 调凝剂对混凝土抗压强度的影响

## 3 工程应用

某工程训练中心 A 楼、B 楼屋面设计有建筑找坡层,泛水坡度 2%。A 楼屋面最大泛水跨度为 9.25 m,最低处厚度为 30 mm,最高处厚度为 215 mm;B 楼屋面最大泛水跨度为 11.25 m,最低处厚度为 30 mm,最高处厚度为 255 mm。

为保障泵送陶粒混凝土的顺利施工,解决陶粒混凝土性能与泵送技术匹配的难题,根据试验研究的结果,采用配合比 PW-1h-4 进行了应用。陶粒混凝土由安徽天柱混凝土有限公司预拌生产,运送到施工现场采用泵送施工。浇注陶粒混凝土前,清除基层的尘土和杂物,控制表面平整度在 15 mm 内。在铺设陶粒混凝土时,从一端开始由内向外铺设。

陶粒混凝土找坡层泵送施工中未发现陶粒上浮现象;成型后,陶粒混凝土表面平整。经检测,混凝土各项技术指标均满足设计要求。相比于传统非泵送工艺,泵送工艺极大地缩短了施工工期,减少了施工作业人员的投入,具有重要的经济价

值和社会意义。

#### 4 结 论

本文在考虑泵送陶粒混凝土材料和工艺特性的基础上,探讨了泵送陶粒混凝土的工作性能和抗压强度。根据试验结果和分析,得出如下结论。

1) 陶粒吸水率较大,在泵送陶粒混凝土配合比设计中应考虑陶粒的吸水率。预湿陶粒对泵送陶粒混凝土的工作性能具有显著改善效果,且能够提升混凝土的后期抗压强度。

2) 黏度改性剂对泵送陶粒混凝土的工作性能和抗压强度影响与其掺量有关,当黏度改性剂掺量为 0.1% 时,有利于泵送陶粒混凝土的工作性能改善。当黏度改性剂掺量增多,混凝土的孔隙也随之增多,对力学性能有不利影响。

3) 调凝剂可改善泵送陶粒混凝土的工作性能,但掺量过多不利于泵送陶粒混凝土的力学性能改善。

4) 泵送陶粒混凝土施工机械化程度高,可缩短施工周期、减少劳动力投入、降低施工成本,具有显著的综合效益。

#### [参 考 文 献]

- [1] 孙友康. 功能性轻集料及高比强轻质混凝土开发与应用[D]. 南京:东南大学,2017.
- [2] 卢光全. 轻质陶粒混凝土在屋面保温隔热中的应用[J]. 新型建筑材料,2008(11):52-53.
- [3] 曹显志. 陶粒轻质混凝土墙体材料性能研究与应用[D].

- 南京:东南大学,2022.
- [4] 汤劲松,曾楨. 聚苯乙烯泡沫塑料保温材料的研究进展[J]. 合成树脂及塑料,2021,38(2):85-88,92.
- [5] 王熙艳. 屋面保温、隔热技术概述[J]. 中国建筑防水,2017(3):30-34.
- [6] 李辛庚,闫风洁,岳雪涛,等. 陶粒混凝土的研究进展[J]. 硅酸盐通报,2020,39(11):3407-3418,3452.
- [7] 袁璞,朱益胜. 不同龄期碱矿渣陶粒混凝土抗压强度试验与能量特征分析[J]. 硅酸盐通报,2022,41(7):2292-2298.
- [8] 于周平,杨伟军. 偏高岭土对陶粒混凝土抗冻性能和细观结构的影响[J]. 功能材料,2021,52(12):12203-12209.
- [9] FAN L, ZHANG Z, YU Y, et al. Effect of elevated curing temperature on ceramsite concrete performance[J]. Construction and Building Materials, 2017, 153:423-429.
- [10] 卢水良,侯志远,王芳利,等. 泵送陶粒混凝土在工程中的应用研究[J]. 混凝土,2015(4):148-150,158.
- [11] 邓智聪. 3D 打印轻骨料混凝土的制备与性能研究[D]. 南京:东南大学,2022.
- [12] 杨钱荣,赵宗志,肖建庄,等. 矿物掺合料与化学外加剂对 3D 打印砂浆性能的影响[J]. 建筑材料学报,2021,24(2):412-418.
- [13] 陈明. 页岩陶粒的制备与高强次轻混凝土的性能研究[D]. 绵阳:西南科技大学,2023.
- [14] CHEN M, LI L, ZHENG Y, et al. Rheological and mechanical properties of admixtures modified 3D printing sulphoaluminate cementitious materials[J]. Construction and Building Materials, 2018, 189:601-611.
- [15] FAN L, WANG H, ZHANG W L. Development of light-weight aggregate geopolymer concrete with shale ceramsite[J]. Ceramics International, 2023, 49:15422-15433.

(责任编辑 张 镛)

#### · 信息与动态 ·

### 《合肥工业大学学报(自然科学版)》专栏征稿启事

为了贯彻落实党的二十大精神,紧密围绕科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略,《合肥工业大学学报(自然科学版)》设置“机器人与人工智能”“环境污染与防治”两个专栏,面向国内外专家学者征集“机器人与人工智能”“环境污染与防治”领域的原创性学术论文、专题综述;稿件一经录用将优先刊发。

来稿要求政治导向正确、论证充分、具有较强的引领性和创新性。格式要求参见《合肥工业大学学报(自然科学版)》网页投稿指南的征稿简则和投稿模板。

在线投稿网址:<http://xbzss.hfut.edu.cn/xbzk.html>。