

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0972.2018.02.028

# 珍珠岩混凝土基本力学性能试验分析

高原<sup>1</sup>, 刘林超<sup>2</sup>, 吕强<sup>2\*</sup>

(1. 华南理工大学 土木与交通学院, 广东 广州 510641;

2. 信阳师范学院 建筑与土木工程学院, 河南 信阳 464000)

**摘要:** 选用 20~30 目珍珠岩矿砂和 20~30 目膨胀珍珠岩作为混凝土的细骨料, 替代一定量的砂子, 采用微观角度和宏观角度相结合的方法研究了珍珠岩种类和替代率对混凝土基本力学性能的影响。试验结果表明: 将表面圆润的 20~30 目膨胀珍珠岩掺入混凝土中, 膨胀珍珠岩混凝土的保水性比珍珠岩矿砂混凝土更好。膨胀珍珠岩混凝土(20%替代率)的水化反应温差峰值跟基准混凝土的基本一致, 达到峰值的时间提前。通过试验综合分析发现, 选取 20~30 目膨胀珍珠岩, 替代率为 20% 左右时, 珍珠岩混凝土的基本力学性能最为优异。

**关键词:** 水化反应; 珍珠岩矿砂混凝土; 膨胀珍珠岩混凝土; 基本力学性能

中图分类号: TU528.2 文献标志码: A 文章编号: 1003-0972(2018)02-0318-04

## Experimental Analysis of Basic Mechanical Properties of Perlite Concrete

GAO Yuan<sup>1</sup>, LIU Linchao<sup>2</sup>, LYU Qiang<sup>2\*</sup>

(1. South China University of Technology, Guangzhou 510641, China;

2. College of Architecture and Civil Engineering, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, China)

**Abstract:** The 20~30 mesh perlite ore and the 20~30 mesh expanded perlite were selected to replace a certain amount of sand as the concrete fine aggregate, the influence of perlite state and substitution rate on the basic mechanical properties of concrete were studied by means of microcosmic and macroscopic angles. The experimental results showed that the water retention performance of expanded perlite concrete was stronger than that of perlite ore. The peak value of the hydration reaction temperature of expanded perlite concrete (20% substitution rate) was basically the same as that of the reference concrete, and the peak time was ahead of. It was found that the basic mechanical properties of perlite concrete were the best when 20~30 mesh expanded perlite was selected and the blending ratio was about 20%.

**Key words:** hydrothermal reaction; perlite raw slag concrete; expanded perlite concrete; basic mechanical properties

## 0 引言

珍珠岩作为我国重要矿产资源, 储量充足, 价格便宜, 在建筑工业领域具有重要应用价值。对于珍珠岩作为建筑材料的研究, 国内外已有大量的相关报道。在早期, 通过试验配置了膨胀珍珠岩混凝土, 研究发现膨胀珍珠岩具有质量轻、保温性好等优点, 是较好的轻骨料<sup>[1]</sup>。因此, 研究珍珠岩砂浆及混凝土的物理力学性能, 对珍珠岩的广泛应用具有重要意义。相关的研究表明, 掺入适量的珍珠岩不仅能够降低轻质混凝土的密度, 而且其强度和可泵送性能也能达到规范要求<sup>[2, 3]</sup>。将膨胀珍珠岩作

为细骨料替代一定量的砂子, 制取轻质保温混凝土是混凝土发展的重要方向<sup>[4, 5]</sup>。但是, 随着珍珠岩替代率的增加, 砂浆及混凝土力学性能降低速度加快, 抗裂性能变差。将聚丙烯(PP)纤维加入珍珠岩混凝土中, 能有效提高混凝土的劈裂抗拉强度<sup>[6]</sup>。此外, 实验发现: 珍珠岩矿砂粉具有一定的活性, 可部分替代水泥做掺合料<sup>[7]</sup>。

有效提高珍珠岩矿产利用价值是珍珠岩行业最为关心的问题, 至今未见关于采用多手段结合的方法综合研究珍珠岩混凝土物理力学性质的报道。本文首先从微观角度对珍珠岩原材料进行了分析, 结合珍珠岩混凝土(珍珠岩矿砂混凝土及膨胀珍

收稿日期: 2017-05-20; 修订日期: 2017-11-17; \* 通信联系人, E-mail: m15537651744@163.com

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(U1504505)

作者简介: 高原(1997—), 男, 河南信阳人; 吕强(1991—), 男, 河南信阳人, 博士生, 主要从事梁振动、黏弹性力学等研究。

珍珠岩混凝土)水化反应和珍珠岩混凝土的基本力学性能试验,从微观和宏观两种角度综合阐述珍珠岩对混凝土的作用机理,分析了相关参数对混凝土力学性能的影响。

### 1 珍珠岩材料微观测试

试验所用水泥为信阳华新水泥厂生产的普通硅酸盐水泥(P·O 42.5);砂子为天然河砂;珍珠岩为信阳上天梯某生产车间生产;石子采用信阳本地矿山压碎碎石。图1为20~30目珍珠岩矿砂、20~30目膨胀珍珠岩的XRD衍射图谱,衍射结果显示,珍珠岩主要成分为SiO<sub>2</sub>。通过XRF检测发现膨胀珍珠岩化学成分中含有部分活性物质。珍珠岩化学成分(质量分数)如表1所示。

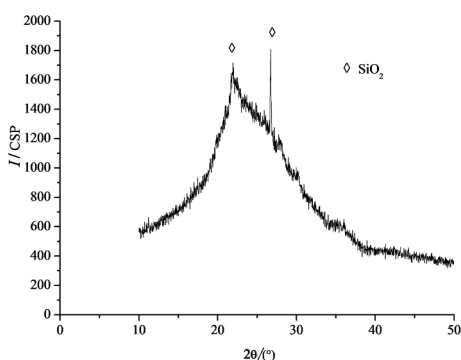


图1 珍珠岩XRD分析图谱  
Fig. 1 XRD analysis of perlite

表1 膨胀珍珠岩的化学成分

Tab. 1 Chemical composition of expanded perlite

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO
73.0%	13.0%	4.4%	1.2%	3.0%	5.0%	0.4%

图2分别为珍珠岩矿砂(150倍率)和膨胀珍珠岩(30倍率)的SEM扫描图。由图可以看出:珍珠岩矿砂的表面有明显的棱角和凹凸不平;膨胀珍珠岩表面呈蓬松状,颗粒表面比珍珠岩矿砂表面更为圆滑。

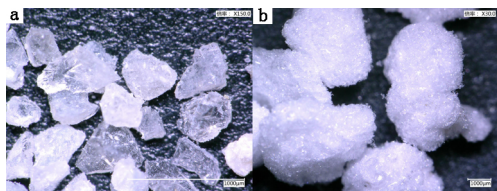


图2 珍珠岩SEM扫描图  
Fig. 2 VHX-500 scanning chart of perlite  
a. 珍珠岩矿砂; b. 膨胀珍珠岩

在混凝土搅拌试验中发现:膨胀珍珠岩混凝土的保水性能更佳,但其在搅拌过程中容易碎裂。分析发现细骨料的表面形状和圆滑程度对其与净浆胶合性及保水性有一定影响。

### 2 混凝土的水化热

本试验混凝土试样所采用的质量配合比主要通过参照规范《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ55-2011)<sup>[8]</sup>和试验微调获得。试验研究了普通混凝土(基准混凝土)、20%替代率的膨胀珍珠岩(20~30目)混凝土、40%替代率的膨胀珍珠岩混凝土、20%替代率的珍珠岩矿砂(20~30目)混凝土、40%替代率的珍珠岩矿砂混凝土的水化热。试验结果如图3所示。

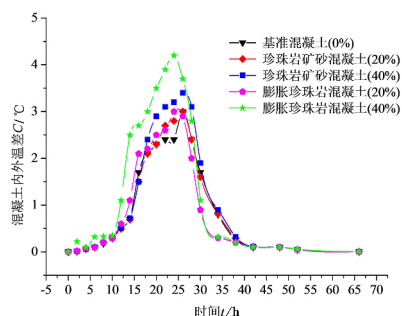


图3 不同含量珍珠岩混凝土的水化热关系

Fig. 3 Hydration heat relationship of perlite concrete with different content

图3水化反应的混凝土内外温差指的是混凝土样品中心温度与表面温度差值。由图3可以看出:珍珠岩矿砂混凝土水化反应变化过程与基准混凝土基本相同。随着珍珠岩矿砂含量的增加,混凝土水化反应峰值有少量提升,这是因为珍珠岩为火山喷发岩,具有一定活性,部分活性物质参与水化反应造成温差峰值增加。膨胀珍珠岩混凝土的水化热峰值产生时间要比基本混凝土提前2h左右,并且水化热峰值有明显上升。原因是普通膨胀珍珠岩结构蓬松,具有一定的吸水性,其本身含有一定活性物质,与水热反应更加充分导致温差峰值增加。

### 3 混凝土基本力学性能

在基本力学性能试验中,试验设计方案、操作流程及试验结果分析均遵照《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T50081-2002)要求进行<sup>[9]</sup>。根据珍珠岩混凝土标准试块基本力学性能的试验结果(试验数据取均值),图4-图8绘制出了混凝土基本力学性能随替代率变化的关系曲线。

图 4 为珍珠岩矿砂混凝土和膨胀珍珠岩混凝土的抗压强度-替代率关系曲线,由图 4 可以看出:随着珍珠岩掺和量的增加,膨胀珍珠岩混凝土试样和珍珠岩矿砂混凝土试样的抗压强度(28 d)不断降低,均低于基准混凝土试样.膨胀珍珠岩混凝土抗压强度降低速度较慢,呈线性关系;珍珠岩矿砂混凝土抗压强度降低速度较快,且降低速度由大逐渐变小.拟合公式发现,膨胀珍珠岩混凝土抗压强度的降低系数的绝对值(0.11)小于珍珠岩矿砂混凝土(0.15),珍珠岩矿砂对混凝土抗压强度的降低作用更加明显.结合材料微观测试结果,因为珍珠岩本身含有一定活性物质,膨胀珍珠岩结构蓬松,搅拌时部分碎裂,与水接触面积更广,且更容易发生水化反应;因此,同样替代率下,膨胀珍珠岩混凝土的抗压强度相对较高.

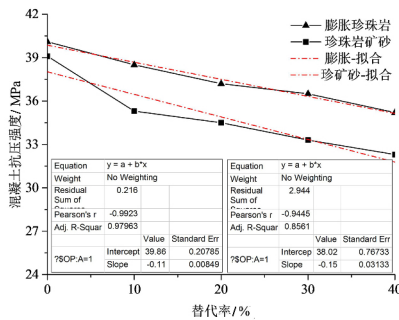


图 4 混凝土的抗压强度与替代率关系

Fig. 4 Relationship between compressive strength and replacement rate of perlite concrete

图 5 为珍珠岩矿砂混凝土和膨胀珍珠岩混凝土的抗折强度-替代率关系曲线.

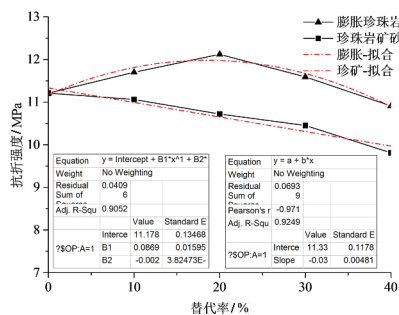


图 5 混凝土的抗折强度与替代率关系

Fig. 5 Relationship between flexural strength and replacement rate of perlite concrete

由图 5 可知,在掺入少量膨胀珍珠岩时,膨胀珍珠岩混凝土的抗折强度少量提升,当替代率为 20%时,抗折强度比基准混凝土提高约 8.1%.分析原因主要为:膨胀珍珠岩的吸水性能提高了混凝土保水性,促进水化进行,提高了水化反应程度.当膨胀珍珠岩含量超过 20%时,膨胀珍珠岩的强度降

低占主导作用,膨胀珍珠岩混凝土抗折强度降低.珍珠岩矿砂混凝土抗折强度随着珍珠岩矿砂掺入量的增加而不断降低.主要原因为:通过 SEM 微观扫描发现,珍珠岩矿砂表面棱角分明、凸凹不平;降低了混凝土保水性能,减低了水化反应程度.

图 6 为珍珠岩矿砂混凝土和膨胀珍珠岩混凝土的劈裂抗拉强度-替代率关系曲线.由图 6 可以看出:在膨胀珍珠岩替代率较小时,膨胀珍珠岩混凝土的劈裂抗拉强度相对于基准混凝土有所提高.当膨胀珍珠岩替代率超过 20%时,混凝土劈裂抗拉强度开始降低,降低速度加快,膨胀珍珠岩自身强度占主导地位.随着珍珠岩矿砂替代率的增加,珍珠岩矿砂混凝土的劈裂抗拉强度逐渐减小.替代率较低时,珍珠岩矿砂混凝土劈裂抗拉强度减小的比率为较小,均不超过 5%;当珍珠岩矿砂替代率超过 30%时,混凝土劈裂抗拉强度降低速度加快.

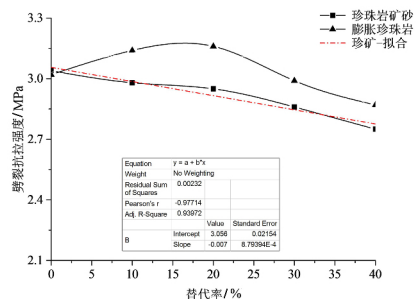


图 6 混凝土的劈裂抗拉强度与替代率关系

Fig. 6 Relationship between splitting tensile strength and replacement rate of perlite concrete

图 7 为珍珠岩矿砂混凝土和膨胀珍珠岩混凝土的轴心抗压强度-替代率曲线.如图 7 所示,珍珠岩矿砂混凝土的轴心抗压强度呈现递减趋势,随着珍珠岩矿砂含量的增加,混凝土的轴心抗压强度降低速率逐渐加快,并且低于基准混凝土的轴心抗压强度.

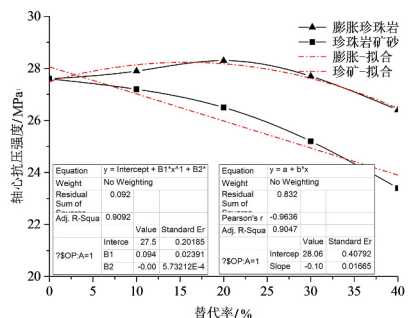


图 7 混凝土的轴心抗压强度与替代率关系

Fig. 7 Relationship between axial compressive strength and replacement rate of perlite concrete

膨胀珍珠岩混凝土的轴心抗压强度先增加后减小,随着膨胀珍珠岩的不断增多,膨胀珍珠岩混凝土的轴心抗压强度开始大幅度降低,低于基准混凝土的轴心抗压强度。

图8为珍珠岩混凝土弹性模量-替代率关系曲线。由图8可得,珍珠岩矿砂和膨胀珍珠岩替代砂子做细骨料对其弹性模量影响很小。这是因为弹性模量的大小由骨料参数决定,在细骨料替代率较低时,粗骨料弹性模量起决定作用。

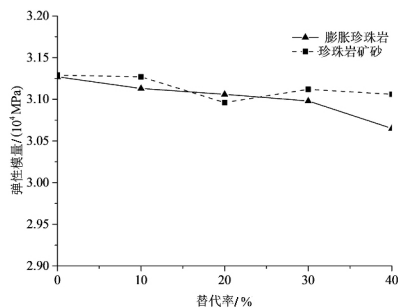


图8 珍珠岩的混凝土弹性模量与替代率关系

Fig. 8 Relationship between modulus of elasticity and replacement rate of perlite concrete

通过基本力学试验发现:在替代率为40%以下时,膨胀珍珠岩混凝土基本力学性能优于珍珠岩矿砂混凝土。其主要原因为:膨胀珍珠岩比珍珠岩

矿砂表面光滑,具有更好的保水性,提高水化反应。通过微观扫描发现,膨胀珍珠岩结构蓬松,似棉花絮状,在含量较低时,提高混凝土抗拉性能。

#### 4 结论与讨论

采用微观角度和宏观角度相结合的方法,更加清晰地阐明不同珍珠岩材料对混凝土性能的影响。通过珍珠岩矿砂混凝土及膨胀珍珠岩混凝土的原材料分析、水化热及水化反应和基本力学性能的试验研究,综合分析可得:膨胀珍珠岩表面比珍珠岩矿砂更为圆润,保水性及水化反应更强。珍珠岩矿砂对混凝土抗压强度、劈裂抗拉强度、轴心抗压强度的影响较大;对混凝土的抗折强度和弹性模量影响较小。珍珠岩矿砂替代砂子的含量应控制在30%以内。与珍珠岩矿砂混凝土相比,膨胀珍珠岩对混凝土的基本力学影响较小,保水性能更加优异,并且膨胀珍珠岩具有质量轻、隔热性能更好等优点。

结果表明:选取20~30目膨胀珍珠岩,替代率在20%左右时,混凝土的基本力学性能更加优异,说明20~30目膨胀珍珠岩混凝土在建筑工业等领域具有良好的应用前景。该研究对拓展珍珠岩向更广阔领域的应用提供一定的理论和试验基础。

#### 参考文献:

- [1] 唐民辉,葛勇,于继寿,等.膨胀珍珠岩混凝土试验研究[J].哈尔滨建筑大学学报,1996,29(1):60-63.  
TANG Minhui, GE Yong, YU Jishou, et al. An experimental study on the swelling perlite concrete [J]. Journal of Harbin University of Civil Engineering and Architecture, 1996, 29(1): 60-63.
- [2] 孙诗兵,聂光临,姚晓丹,等.膨胀珍珠岩掺加量对水泥砂浆性能的影响[J].混凝土,2015(3):114-117.  
SUN Shibing, NIE Guanglin, YAO Xiaodan, et al. Influence of adding amount of expanded perlite on the properties of cement mortar [J]. Concrete, 2015(3): 114-117.
- [3] ROZYCKA Agnieszka, PICHOR Waldemar. Effect of perlite waste addition on the properties of autoclaved aerated concrete [J]. Construction and Building Materials, 2016, 120(1): 65-71.
- [4] SENGUL Ozkan, AZIZI Senem, KARAOSMANOGLU Filiz, et al. Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete [J]. Energy and Buildings, 2011, 43(2/3): 671-676.
- [5] KRAMAR Derek, BINDIGANAVILE Vivek. Impact response of lightweight mortars containing expanded perlite [J]. Cement & Concrete Composites, 2013, 37(1): 205-214.
- [6] BIN Ayudhya. Compressive and splitting tensile strength of autoclaved aerated concrete (AAC) containing perlite aggregate and polypropylene fiber subjected to high temperatures [J]. Songklanakarin Journal of Science & Technology, 2011, 33(5): 555-563.
- [7] 喻乐华,欧辉,李明华,等.珍珠岩掺合料混凝土轨枕制备研究[J].混凝土,2006(8):77-79.  
YU Lehua, OU Hui, LI Minghua, et al. Applied test of perlite admixture in concrete railway sleeper [J]. Concrete, 2006(8): 77-79.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ 55-2011, 普通混凝土配合比设计规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.  
Ministry of Housing and Urban Rural Development of People's Republic of China. JGJ 55-2011, Specification for mix proportion design of ordinary concrete [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011.
- [9] 中华人民共和国建设部. GB/T50081-2002, 普通混凝土力学性能试验方法标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.  
Ministry of Construction of the People's Republic of China. GB/T50081-2002, Standard for test method of mechanical properties on ordinary concrete [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.

责任编辑:郭红建