

石灰石粉掺量和粒径对水泥基材料力学性能影响

张博文¹, 何富强², 何智海^{1,3}, 王勇², 周瑾²

(1. 绍兴文理学院土木工程学院, 浙江 绍兴 312000; 2. 厦门理工学院土木工程与建筑学院, 福建 厦门 361024; 3. 浙江省岩石力学与地质灾害重点实验室, 浙江 绍兴 312000)

摘要: 这是一篇陶瓷及复合材料领域的论文。通过混料设计原理设计石灰石粉水泥配合比, 对石灰石粉掺量及粒径对石灰石粉-硅酸盐水泥体系力学性能的影响展开了研究; 并通过 X 射线衍射 (XRD)、低场核磁共振技术 (NMR) 等技术对掺入 0.44 mm 和 0.025 mm 石灰石粉的硅酸盐水泥净浆水化物相及微孔结构展开了分析。结果表明, 两种石灰石粉对早期抗压强度起负面作用; 但随着水化的进行, 在一定掺量范围内的石灰石粉对水泥后期强度有一定的增强作用, 当掺量超过该范围后抗压强度随着掺量的增加而逐渐减小。石灰石粉的掺入虽使得水化产物中生成了有利于水泥石力学性能的水化碳铝酸钙, 但其对微孔结构的粗化, 使得石灰石粉掺量超过一定值后石灰石粉水泥试件抗压强度大幅降低。

关键词: 陶瓷及复合材料; 石灰石粉; 强度; 孔结构; 水化产物

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2024.05.027

中图分类号: TD989; TU528.01 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2024) 05-0190-07

引用格式: 张博文, 何富强, 何智海, 等. 石灰石粉掺量和粒径对水泥基材料力学性能影响[J]. 矿产综合利用, 2024, 45(5): 190-196.

ZHANG Bowen, HE Fuqiang, HE Zhihai, et al. Effect of limestone powder content and particle size on mechanical properties of cement-based materials[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024, 45(5): 190-196.

石灰石粉是一种以方解石为主要成分的矿物, 其资源丰富, 分布广泛。石灰石作为水泥、混凝土粗、细骨料以及石材等生产原料, 在其开采过程中产生了大量的石屑和石灰石粉等副产物, 如果不进行利用, 必将对环境造成一定的污染并且造成资源浪费。随着国家绿色生态经济概念的提出, 采用混合材或矿物掺合料来部分替代水泥以降低其生产过程中所带来的高能耗和高污染已成水泥混凝土和非金属矿利用领域的研究热点, 也为石灰石粉在水泥混凝土中的利用提供了技术可行性。目前, 石灰石粉用作复合硅酸盐水泥生产的混合材和混凝土的矿物掺合料已在降低生产成本及环境负荷上展现出巨大的优势。因

此, 深入了解石灰石粉在水泥胶凝体系中的作用机理, 使得石灰石粉得到充分合理的利用, 对水泥混凝土和非金属矿行业良好的技术、经济和生态效益的产生有着巨大的现实意义^[1]。

国外大量学者对石灰石粉在混凝土中的应用前景研究较早, 并且在工程中进行了实际应用^[2-3]。国内也对石灰石粉在行业中的不同用途进行了一定的研究^[4-5], 并且出台了国标 GB/T 30190—2013《石灰石粉混凝土》。然而石灰石粉活性较低, 参与水泥水化程度较小, 因此在实际应用中常采用复掺或者减小石灰石粉粒径来达到使用要求^[6], 间接削弱了石灰石粉的成本优势。

因此, 本文以硅酸盐水泥与实际工程中常使

收稿日期: 2022-11-11

基金项目: 国家自然科学基金 (51878583, U1805253)

作者简介: 张博文 (1995-), 男, 硕士研究生, 研究方向为石灰石粉混凝土。

通信作者: 何富强 (1965-), 男, 教授, 主要研究领域为混凝土耐久性表征和设计。

用的两种石灰石粉（0.044 mm 和 0.025 mm）作为原料，通过混料设计原理设计实验配合比，预测强度最大的配合比范围，并结合 X 射线衍射分析（XRD）与核磁共振技术（NMR）解释石灰石粉与水泥之间的相互作用机理；旨在探究石灰石粉掺量及粒径对硅酸盐水泥力学性能的影响规律。

表 1 水泥和石灰石粉主要化学成分/%

Table 1 Main chemical composition of cement and limestone powders

材料	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	SO ₃	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅
水泥	19.56	4.35	3.36	61.14	1.71	0.33	3.28	0.63	0.27	0.28
石灰石粉	1.15	0.25	0.21	67.09	6.43	0.03	0.04	0.05	0.01	0.01

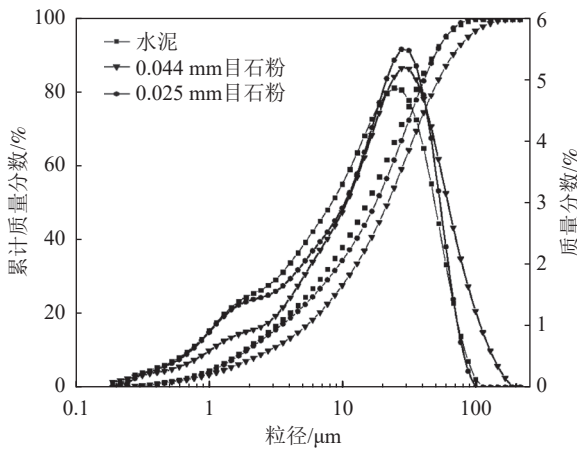


图 1 水泥和两种石粉的粒径分布

Fig.1 Particle size distribution of cement and two types of stone powders

配合比设计：将两种石灰石粉和水泥的质量分数作为因素变量，以两种石灰石粉质量分数均不超过胶凝材料的 25%，水泥不低于 75% 作为限制条件，设定水胶比为 0.37。根据混料设计单纯形格点法，得出胶凝材料实验配合比见表 2。LC1~LC5 为单掺单粒径石灰石粉水泥试件，LC6~LC10 为两种粒径的石灰石粉混掺水泥试件。

1.2 实验方法

试件成型养护及强度测试：根据表 2 配合比，将两种石灰石粉以及基准水泥放入混料机中预混 8 h，保证各组分混合均匀。混料完毕后取出，用行星搅拌机和水搅拌机制成水泥浆体，浇注成型（40 mm×40 mm×160 mm），覆膜后在 20 °C 干燥环境下静置 24 h，脱模放入标准养护室（温度 (20±2) °C，湿度>95%）中进行养护，分别在成型后 3，7 以及 28 d 取出，参照国家标准 GB/T

1 实验设计

1.1 原材料及配合比设计

水泥：采用 P·I 42.5 基准水泥。石灰石粉：采用 0.025 mm 和 0.044 mm 石灰石粉，主要成分为方解石，其次为白云石。其化学成分见表 1，粒径分布见图 1。

17671—1999 《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》执行抗压强度测试。

表 2 石灰石粉水泥配合比及其抗压强度

Table 2 Limestone powder cement ratios and their compressive strengths

组	配合比/%		水泥	抗压强度/MPa		
	0.044 mm	0.025 mm		3 d	7 d	28 d
LC-1	0.0	0.0	100.0	37.7	45.9	57.0
LC-2	12.5	0.0	87.5	33.1	42.8	54.3
LC-3	25.0	0.0	75.0	28.5	37.2	46.3
LC-4	0.0	12.5	87.5	33.6	42.2	55.6
LC-5	0.0	25.0	75.0	27.1	37.0	50.9
LC-6	4.2	4.2	91.6	34.4	46.3	60.4
LC-7	8.3	8.3	83.4	30.4	40.2	57.3
LC-8	12.5	12.5	75.0	28.8	37.2	45.6
LC-9	4.2	16.7	79.1	29.0	38.3	53.0
LC-10	16.7	4.2	79.1	31.1	38.4	47.2

物相成分分析：（1）样品制取：力学性能测试完成后，取碎裂试件的中间部分，在异丙醇溶液中用研钵充分研磨半小时以终止水化，将抽滤后得到的粉末放入真空干燥箱内恒温 40 °C 干燥 48 h 后取出；（2）X 射线衍射（XRD）测试：采用 D2 PHASER，以金红石型二氧化钛为标样，与样品以 1:4 的质量比混合均匀进行测试；测试范围（2theta 值）5~65°，扫描速度为 0.5 °/min；

微孔结构分析：采用氢质子低场核磁共振分析仪 MicroMR 02-050V，该仪器共振频率为 2 MHz，磁体温度为 (32±0.01) °C；测试前需将试块用蒸馏水真空饱水至恒重，测试数据处理中表面弛豫率取值 50 μm/s。

2 实验结果分析与讨论

2.1 石灰石粉掺量及粒径对强度的影响

图 2 为单掺单粒径石灰石粉水泥试件 (LC-1~LC-5) 抗压强度随养护龄期的变化, 由图可知: 在单掺情况下, 两种粒径的石灰石粉水泥试件在 3、7 及 28 d 的强度均随着石灰石粉掺量增加而减小, 表明单掺 0.044 或 0.025 mm 石灰石粉对水泥早期和后期抗压强度均有负面作用。

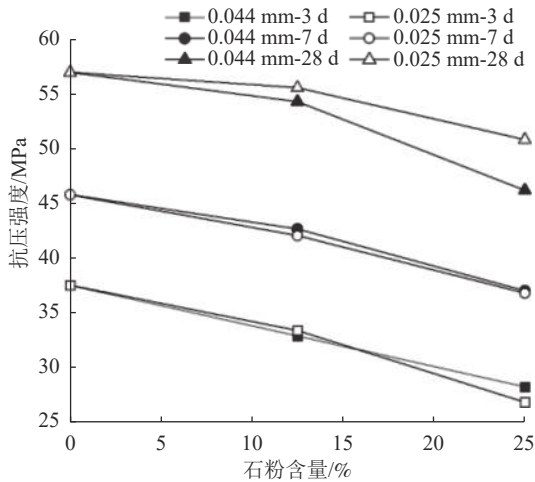


图 2 不同掺量石灰石粉水泥试件强度随养护龄期的变化
Fig.2 Variation of strength of cement specimens with different dosage of limestone powder with curing age

由图 2 对比石灰石粉粒径的影响可发现: 在早期 (3、7 d), 0.044 和 0.025 mm 两种粒径的石灰石粉水泥试件抗压强度没有显著差别, 而在 28 d 龄期时, 同掺量下掺 0.025 mm 石灰石粉水泥试件的强度均大于掺 0.044 mm 石灰石粉水泥试件的强度, 且两者之间的差距随石灰石粉掺量的增加显著增大。这一结果表明石灰石粉粒径对硅酸盐水泥早期强度几无影响; 但随着龄期增长, 石灰石粉粒径对硅酸盐水泥强度的影响出现分化: 细粒径石灰石粉对硅酸盐水泥强度的负面影响低于粗粒径石灰石粉。

图 3~5 是根据表 2 抗压强度测试结果绘制的混掺两种粒径的石灰石粉水泥试件分别在 3、7 及 28 d 龄期时的强度等值线趋势。由图 3 可知, 3 d 龄期时石灰石粉对抗压强度的影响基本为负面作用: 基准组 (LC-1 石灰石粉掺量为 0) 抗压强度最高, 随着石灰石粉掺量的增加, 抗压强度呈梯度下降; 但试件抗压强度的变化并不是随着水泥的含量的减少而线性降低的。在水泥占胶凝材

料的 75%~90% 范围内, 抗压强度随着石灰石粉掺量的增大而减小的趋势有所减弱。结合图 2 实验结果可发现, 在水泥含量相等的情况下, 0.044 mm 石灰石粉对水泥强度的负面作用要小于 0.025 mm 石粉, 但是差别较小。

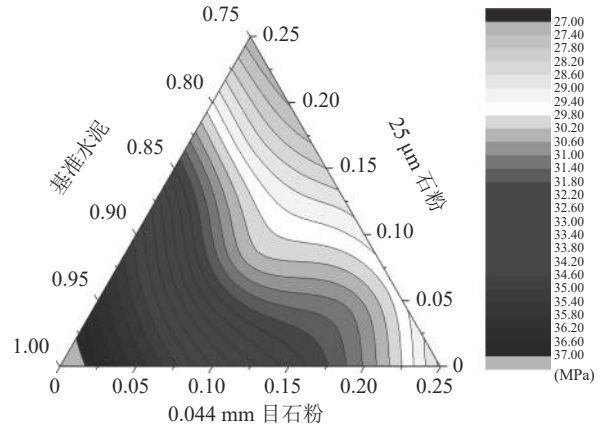


图 3 3 d 强度等值线
Fig.3 3 d intensity contours

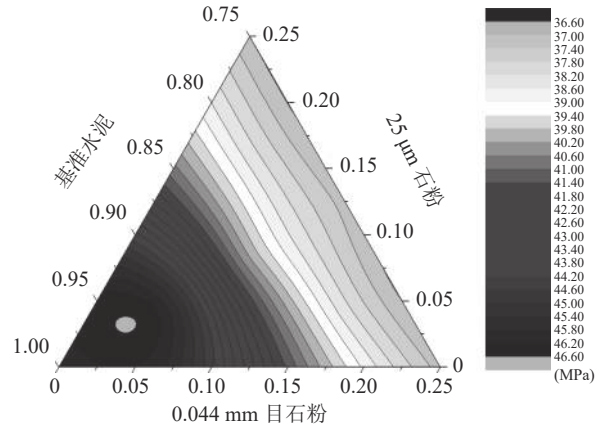


图 4 7 d 强度等值线
Fig.4 7 d intensity contours

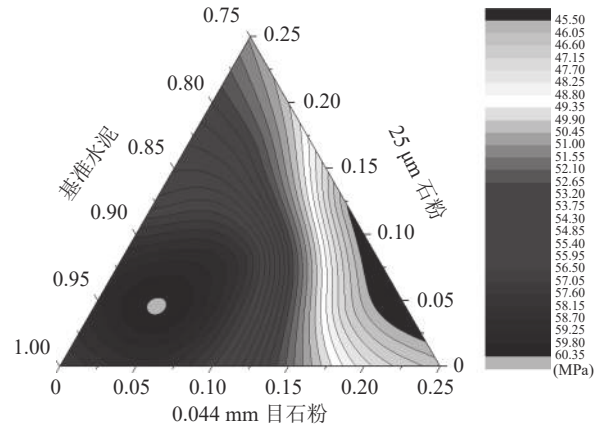


图 5 28 d 强度等值线
Fig.5 28 d strength contours

7 d 龄期时 (图 4), 石灰石粉水泥净浆在低

石灰石粉掺量处出现抗压强度高峰：水泥含量在95%~97.5%，0.025 mm石粉和0.044 mm石粉掺量均在0~5%范围内时，可以得到强度最大的配合比区域；当石灰石粉掺量继续增加，水泥掺量小于90%时，抗压强度等值线基本与坐标轴平行，即抗压强度与水泥含量成正线性相关，不受石灰石粉粒径的影响。到28 d龄期时（图5），抗压强度最高峰往高石灰石粉掺量区域偏移：在水泥含量为90%~95%，0.025 mm石粉和0.044 mm石粉掺量均在2.5%~7.5%范围内时存在强度最大的区域；随着石灰石粉掺量继续增加，石灰石粉水泥试件强度逐渐降低，强度最小值出现在水泥含量为75%，0.025 mm石灰石粉掺量5%~10%，0.025 mm石粉掺量15%~20%范围，表明对于28 d强度而言，0.044 mm石灰石粉对于水泥强度的负面作用要小于0.044 mm。

2.2 石灰石粉掺量和粒径对水泥产物的影响

图6为石灰石粉水泥（LC-4）和基准组（LC-1）的X射线衍射图谱。由图6可知，衍射物相主要为标定物TiO₂、硅酸盐水泥及其水化产物（氢氧化钙、钙矾石（AFt）和单硫型水化硫铝酸钙（AFm））等；水化龄期达到3 d时，两组试件均可观测到AFt衍射峰，但是没有明显的AFm衍射

峰；7 d及28 d龄期时，基准组可以观测到明显的AFt和AFm衍射峰，而石灰石粉水泥衍射图谱中未观测到AFm衍射峰，但出现了较为明显的水化碳铝酸钙（C₃A·CaCO₃·11H₂O）衍射峰，经分析原因如下：石灰石粉中主要化学组成碳酸钙在水化过程中消耗了硅酸盐水泥中的铝相（C₃A），生成了水化碳铝酸钙（C₃A·CaCO₃·11H₂O）；而AFm的生成受水化硅酸钙（C-S-H）凝胶与C₃A摩尔比的影响，碳酸钙不断地消耗C₃A生成水化碳铝酸钙，导致摩尔比一直处于较大的范围，所以抑制了AFm的产生，并且间接地稳定了AFt^[7]。

有文献^[8]指出：在硅酸盐水泥水化过程中，石灰石粉可以为氢氧化钙和C-S-H凝胶的生成起到“成核作用”，加速早期C₃S的水化，进而提高早期强度。但在本研究中，3 d龄期时石灰石粉并未表现出对强度的正面效应，表明石灰石粉的加速水化效应并不能解释强度变化。由图6可知，石灰石粉水泥与纯硅酸盐水泥之间水化产物的区别主要为水化碳铝酸钙。有研究表明^[9]：水化碳铝酸钙体积较大，在水化产物中形成较大的结晶聚集体，增强水泥石与硬化水泥浆体之间的界面，使得结构更为致密，一定程度上有助于强度的提升。

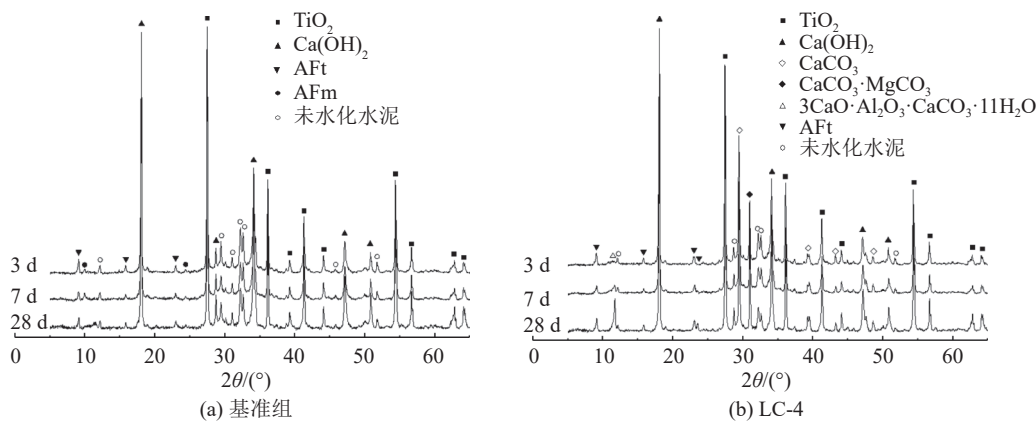


图6 物相分析

Fig.6 Physical phase analysis

因此，为进一步分析石灰石粉掺量及粒径对石灰石粉水泥强度发展的影响，本研究通过XRD分析单掺石灰石粉水泥试件（L1~L5）的物相组成，并采用Rietveld内标法^[10]对其中的水化碳铝酸钙进行定量计算，得出不同水化龄期石灰石粉水泥试件中水化碳铝酸钙质量分数见图7。由图7可知，石灰石粉水泥试件中水化碳铝酸钙含

量随着水化龄期和石灰石粉掺量的增加显著增长；在水化早期（3 d和7 d），水化碳铝酸钙生成量较少，且其生成量基本不受石灰石粉粒径的影响；当水化龄期达到28 d时，掺不同粒径的石灰石粉试件中水化碳铝酸钙生成量开始出现差异：单掺0.025 mm石灰石粉水泥试件中水化碳铝酸钙生成量普遍低于单掺0.044 mm石灰石粉水泥

试件。

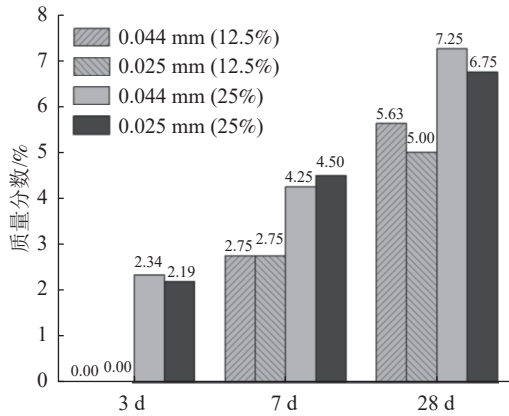


图 7 不同水化龄期石灰石粉水泥试件中水化碳铝酸钙质量分数

Fig.7 Mass fraction of hydrated calcium carbonate-aluminate in limestone powder cement specimens of different hydration ages

对照强度可以发现，3 d 龄期时，水化碳铝酸钙生成较少，强度随着石灰石粉掺量的增加而减小；在 7 d 和 28 d 龄期时，水化碳铝酸钙含量增加，出现了基准组以外的最大强度组。经分析原因如下：有文献^[1]表明石灰石粉硅酸盐水泥由于石灰石粉的“稀释作用”而会降低水化数量，进而影响强度。在 3 d 龄期，石灰石粉对水泥促进水化

作用并不明显，且水化碳铝酸钙的生成较少，由于石灰石粉的“稀释作用”，强度随着石灰石粉掺量的增加而减小；在 7 d 及 28 d 龄期时，水化碳铝酸钙的生成增多，在掺量较小的情况下，水化碳铝酸钙起到了提高强度的作用，因此出现了基准组以外的最大强度组，且由于水化碳铝酸钙的含量增加，28 d 龄期的最大强度范围相对于 7 d 龄期向石灰石粉掺量增加的方向偏移。但是随着石灰石粉掺量增加，“稀释作用”逐渐增强，水化碳铝酸钙生成并不能弥补其带来的强度损失，因此超过一定范围后，强度随着石灰石粉掺量的增加而减小。

2.3 石灰石粉掺量和粒径对微孔结构的影响

图 8 为由低场核磁共振测得 LC1~LC5 在 7 d 及 28 d 水化龄期的孔径分布曲线。由图 8 可知：在 7 d 和 28 d 龄期时，两种掺量下的石灰石粉均未起到细化孔径的作用，且随着石灰石粉掺量的增加，孔径粗化更为明显。7 d 龄期时，在 12.5% 掺量下，0.025 mm 石灰石粉试件的最可几孔径要小于 0.044 mm。在 25% 掺量下，0.044 mm 石灰石粉试件的最可几孔径要小于 0.025 mm。28 d 龄期时，规律与 7 d 龄期一致，且掺量的影响更为明显，较 7 d 龄期孔径均有所细化。

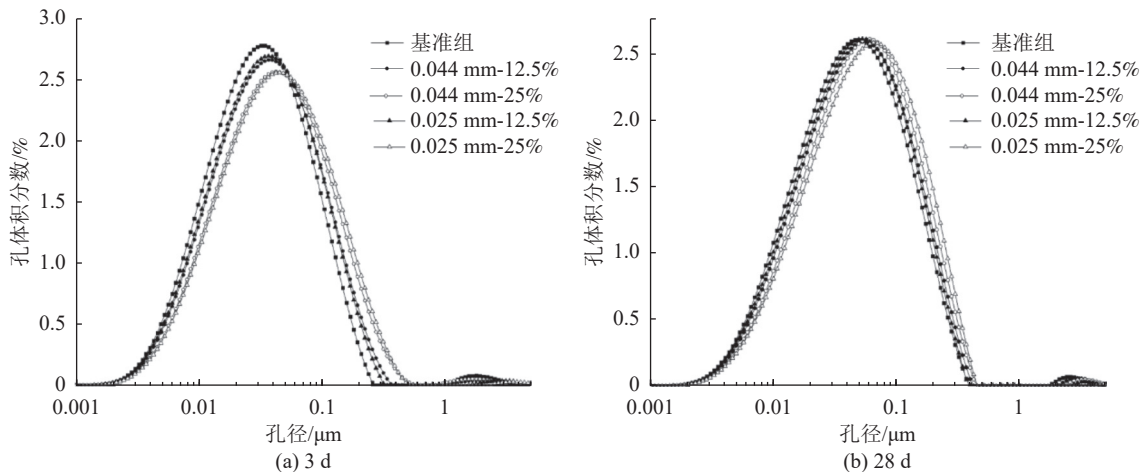


图 8 孔径分布

Fig.8 Pore size distribution

为进一步分析石灰石粉对硅酸盐水泥孔隙结构的影响规律，本文根据相关研究^[12]将水泥中的孔隙分为微孔 (<0.02 μm)、小孔 (0.02 ~ 0.05 μm)、中孔 (0.05 ~ 0.2 μm) 及大孔 (>0.2 μm) 四类，对图 8 孔径分布按孔隙分类进行统计处理，得到图 9 不同龄期下 LC1~LC5 中

四类孔的孔隙率堆积图。从图中可知：随着水泥水化的进行，所有试件 28 d 龄期总孔隙率相对于 7 d 龄期均显著减小。7 d 龄期时，掺入 0.025 mm 石灰石粉 12.5% 的试件总孔隙率低于基准组，除基准组以外，总孔隙率随着石灰石粉掺量的增加而增加。同掺量下，细粒径石灰石粉的试件总孔

隙率更小；28 d龄期时，总孔隙率表现出随着石灰石粉掺量的增加和粒径的变粗而增大。对于大孔和中孔，孔隙率在两个龄期上均表现出随着石灰石粉掺量的增加而增大的规律，且同掺量下粗粒径的孔隙率更大。对比强度可以发现：有研究^[13]显示孔径较大的孔隙与强度关系更为紧密，因此总孔隙率的变化与强度变化并不完全一致，但是孔径较大的大孔和中孔的孔隙率的变化和强度一致，说明孔径较大孔的孔隙率的变化能在一定程度上解释石灰石粉水泥强度的变化。

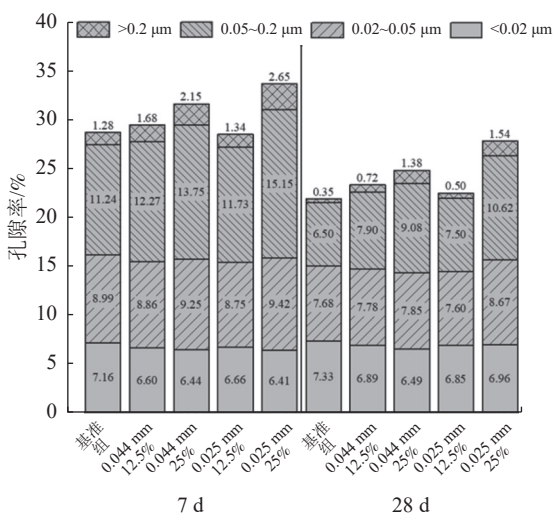


图9 7 d和28 d龄期试件的孔径分类堆积

Fig.9 Pore size classification stacking of specimens at 7 d and 28 d of age

3 结论

(1) 石灰石粉在掺量一定范围内对水泥试件抗压强度具有正面效应。3 d龄期时，0.025 mm和0.044 mm石灰石粉的掺入均使强度降低，且掺量愈大，强度愈低；7 d和28 d龄期时，强度随着石灰石粉掺量的增加先增后减，其中7 d龄期最大强度出现在两种石灰石粉掺量之和在2.5%~7.5%范围内，28 d龄期则出现在两种石灰石粉掺量之和在5%~10%范围内。

(2) 石灰石粉的掺入使水泥水化产物产生了变化。石灰石粉中的碳酸钙与水泥中的铝相反应生成了有利于力学性能发展的水化碳铝酸钙，使得石灰石粉水泥试件中石灰石粉较佳掺量随着水化龄期的增长逐渐增加。

(3) 石灰石粉的掺入对水泥试件的孔结构发展不利。单掺掺量为12.5%和25%的0.025 mm

和0.044 mm石灰石粉均使得试件孔径粗化，孔隙率呈现出随着石灰石粉掺量的增加和粒径变粗而增大的趋势，尤其是中孔及以上(>0.05 μm)孔体积的增加；表明石灰石粉对水泥试件孔结构的劣化作用是石灰石粉掺量超过一定范围后强度降低的原因。

参考文献：

[1] 寿立永, 严鹏程, 韩鹏飞, 等. 陕西某水泥用灰岩矿废石综合利用实验[J]. 矿产综合利用, 2020(5):142-147.
SHOU L Y, YAN P C, HAN P F, et al. Experimental study on comprehensive utilization of waste rock in a cement limestone mine in Shaanxi Province[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(5):142-147.

[2] G. MENENDEZ, V. BONAVETTI, E. F. IRASSAR. Strength development of ternary blended cement with limestone filler and blast-furnace slag[J]. Cement and Concrete Composites, 2003, 25(1):61-67

[3] M. F. CARRASCO, G. MENENDEZ, V. BONAVETT. Strength optimization of "tailor-made cement" with limestone filler and blast furnace slag[J]. Cement and Concrete Research, 2005, 35(7): 1324-1331.

[4] 霍冀川, 卢忠远, 张红英, 等. 石灰石硅酸盐水泥的研究[J]. 矿产综合利用, 2000(6):41-44.
HUO J C, LU Z Y, ZHANG H Y, et al. Study on limestone portland cement[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2000(6):41-44

[5] 殷素红, 文梓芸. 低品位石灰岩用作胶凝—灌浆材料的研究[J]. 矿产综合利用, 2002(4):35-40.
YIN S H, WEN Z Y. Research on the low-purity limestone used as cementitious-grout materials[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2002(4):35-40.

[6] 张洪萍, 白培康, 王建弘, 等. 多种掺合料颗粒群分布与水泥基复合体系强度关系研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2019(1):23-25.
ZHANG H P, BAI P K, WANG J H, et al. Study on the relationship between particle swarm distribution of various admixtures and strength of cement-based composite system[J]. China Concrete and Cement Products, 2019(1):23-25.

[7] 肖佳. 水泥-石灰石粉胶凝体系特性研究[D]. 长沙: 中南大学, 2008.
XIAO J. Study on characteristics of cement - limestone powder cementitious system[D]. Changsha: Central South University, 2008.

- [8] D P BENTZ. Modeling the influence of limestone filler on cement hydration using CEMHYD3D[J]. *Cement and Concrete Composites*, 2006, 28(2):124-129.
- [9] 陈剑雄, 李鸿芳, 陈鹏, 等. 石灰石粉锂渣超早强超高强混凝土研究[J]. *硅酸盐通报*, 2007(1): 190-193.
- CHEN J X, LI H F, CHEN P, et al. Study on super early-strength , high-strength and high-performance concrete containing limestone powder composite admixture[J]. *Bulletin of the Chinese Ceramic Society*, 2007(1): 190-193.
- [10] 邱鸿鑫, 陈浙锐, 陈颂, 等. 基于 XRD 与 XRF 分析矿物质对浮选尾煤图像灰度特征影响[J]. *矿产综合利用*, 2020(2):114-117.
- QIU H X, CHEN Z R, CHEN S, et al. Study on the influence of minerals on the gray characteristics of flotation coal image based on XRD and XRF[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(2):114-117.
- [11] M CYR, P LAWRENCE, E RINGOT. Mineral admixtures in mortars: Quantification of the physical effects of inert materials on short-term hydration[J]. *Cement and Concrete Research*, 2005, 35(4): 719-730.
- [12] 吴中伟, 廉慧珍. 高性能混凝土[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.
- WU Z W, LIAO H Z. High performance concrete[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1999
- [13] 徐江涛, 卢都友, 张少华, 等. 不同养护温度下含白云石和石灰石微粉砂浆的孔结构[J]. *硅酸盐学报*, 2017, 45(2):268-273.
- XU J T, LU D Y, ZHANG S H, et al. Pore structures of mortars with dolomite and limestone powders cured at various temperatures[J]. *Journal of the Chinese Ceramic Society*, 2017, 45(2):268-273.

Effect of Limestone Powder Content and Particle Size on Mechanical Properties of Cement-based Materials

ZHANG Bowen¹, HE Fuqiang², HE Zhihai^{1,3}, WANG Yong², ZHOU Jin²

(1.College of Civil Engineering, Shaoxing University, Shaoxing 312000, Zhejiang, China; 2.College of Civil Engineering and Architecture, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, Fujian, China; 3.Key Laboratory of Rock Mechanics and Geohazards of Zhejiang Province, Shaoxing 312000, Zhejiang, China)

Abstract: This is an article in the field of ceramics and composites. The mix proportion of limestone powder cement is designed based on the mixture design principle, and the effects of limestone powder content and particle size on the mechanical properties of limestone powder Portland cement system are studied. The hydrate phase and microporous structure of portland cement paste mixed with 0.44 mm and 0.025 mm limestone powder were analyzed by X-ray diffraction (XRD) and low field nuclear magnetic resonance (NMR). The results show that the two limestone powders have a negative effect on the early compressive strength. However, with the progress of hydration, limestone powder within a certain dosage range can enhance the later strength of cement. When the dosage exceeds this range, the compressive strength decreases gradually with the increase of dosage. Although the addition of limestone powder produces hydrated calcium carboaluminate in the hydration products which is conducive to the mechanical properties of cement stone, its coarsening of microporous structure greatly reduces the compressive strength of limestone powder cement specimens when the content of limestone powder exceeds a certain value.

Keywords: Ceramics and composites; Limestone powder; Strength; Pore structure; Hydration products