文章编号：1000-8608(2011)05-0714-05

粗集料对粉煤灰混凝土性能影响

汪振双[1,2]， 王立久*[1]

（1.大连理工大学 土木工程学院，辽宁 大连 116024；
2.东北电力大学 建筑工程学院，吉林 吉林 132032）

摘要： 混凝土的架构理论认为混凝土是由砂浆、粗集料和二者之间的界面构成的.试验研究了石灰石、玄武岩、花岗岩和辉绿岩4种不同类型的粗集料对不同粉煤灰掺量混凝土的坍落度、抗压强度、抗折强度和弹性模量的影响，分析了石灰石粗集料对不同粉煤灰掺量混凝土抗冻性的影响.结果表明，粗集料对混凝土的坍落度、抗压强度、抗折强度和弹性模量影响十分显著.粗集料的掺入降低了砂浆基体的扩展度和抗折强度，提高了砂浆基体的抗压强度和弹性模量，此外，粗集料改善了混凝土的抗冻性.随着粉煤灰掺量的增加，混凝土的坍落度提高，但混凝土的力学性能和抗冻性减弱.不同类型的粗集料对混凝土性能的影响相差不大，随着粉煤灰掺量的提高，不同类型粗集料混凝土性能相差也不大.

关键词： 粗集料；粉煤灰混凝土；强度；抗冻性
中图分类号： TU528.79 **文献标志码：** A

0 引 言

粉煤灰是火力发电厂燃煤粉锅炉排出的一种工业废渣.粉煤灰的综合利用，特别是用于土木建筑材料方面，不仅能彻底解决其堆放占地和环境污染问题，而且具有显著的经济效益和社会效益.将粉煤灰变废为宝，变害为利，已成为我国经济建设中一项重要的技术经济政策[1].传统的混凝土由水泥、水和集料组成.水泥水化产物水泥石是传统混凝土的基点，水灰比是水泥石理论的重要参数.但近代学者的研究表明，这种理论一方面混淆了粗细集料对混凝土各自性能的贡献，另一方面也夸大了水灰比的作用[2].混凝土架构理论认为，混凝土由粗集料、砂浆和界面黏结层三相组成，即混凝土强度来源于粗集料、砂浆和界面黏结层三部分.混凝土集料是混凝土的重要组成成分.研究人员通常把研究重点放在水泥、水灰比、减水剂、活性矿物掺合料等方面，而忽视了占混凝土体积3/4左右的集料.美国的Mehta曾经指出："将集料作为一种惰性填充料这种传统的见解，确实应该被打上一个问号.如果不像对待水泥那样来重视集料，显然是不合适的."[3]随着高性能混凝土的发展，集料的重要作用才真正被研究人员所认识和重点研究.但是多数研究只偏重于混凝土强度，而忽视了集料对混凝土耐久性能方面的影响.实际上集料的几何特性、物理性能、化学成分等对水泥混凝土早期的工作性能、硬化后的力学性能及耐久性能都存在不可忽视的影响[4~6].本文试验从混凝土架构理论出发，研究不同粉煤灰掺量对砂浆性能的影响，探讨不同集料种类对粉煤灰混凝土性能的影响，分析集料对混凝土抗冻性能的影响，力求找寻集料对粉煤灰混凝土性能的影响规律.

1 试 验

1.1 试验材料

(1)水泥：P·O42.5普通硅酸盐水泥，化学成分见表1.水泥的密度为3.15 g/cm^3，比表面积为350 m^2/kg.

收稿日期： 2009-10-20； **修回日期：** 2011-05-30.
基金项目： "十一五"国家科技支撑计划资助项目(重大项目2006BAJ04A04).
作者简介： 汪振双(1982-)，男，博士；王立久*(1945-)，男，教授，博士生导师，E-mail：bmwlj@dlut.edu.cn.

(2)粉煤灰：丹东华丹电厂生产的Ⅰ级灰，化学成分见表 1.

(3)细集料：ISO 标准砂.

(4)粗集料：4 种矿物成分不同的粗集料，其物理性能见表 2.

(5)水：普通自来水.

表 1　原材料的化学成分

Tab. 1　Chemical components of raw materials

材料种类	烧失量/%	w/%						
		CaO	Al_2O_3	SiO_2	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3
水泥	1.65	63.73	4.03	22.35	1.96	—	0.54	2.74
粉煤灰	3.42	6.61	30.61	50.96	0.63	0.78	0.17	5.61

表 2　粗集料的物理性能

Tab. 2　Physical property of coarse aggregate

集料品种	表观密度/(kg·m^{-3})	最大粒径/mm	吸水率/%	压碎指标/%
石灰石	2 432	10	2.40	22
花岗岩	2 578	12	0.95	12
玄武岩	2 996	12	1.25	9
辉绿岩	1 562	14	3.42	16

1.2　配合比

试验中 C20 混凝土的基准配合比为 m(水泥)∶m(细集料)∶m(粗集料)∶m(水)=1∶2.56∶4.75∶0.63. 试验中 C40 混凝土的基准配合比为 m(水泥)∶m(细集料)∶m(粗集料)∶m(水)=1∶1.38∶3.21∶0.42. 试验中考虑了两种粉煤灰的内掺量(20%和 40%，采用等量取代法).

1.3　试验方法

混凝土的力学性能按《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2002)进行测试. 立方体抗压强度采用 150 mm×150 mm×150 mm 的试件，抗折强度采用 100 mm×100 mm×400 mm 的棱柱体试件，弹性模量试验采用 150 mm×150 mm×300 mm 的棱柱体试件. 试验机为多功能动态液压伺服万能试验机(1 000 kN). 抗冻融耐久性按 GBJ 82—85 进行，试件尺寸为 100 mm×100 mm×400 mm，龄期为 28 d. 冻融循环试验机为北京燕科公司生产的 TRD1 型混凝土冻融试验设备. 动弹性模量采用天津建筑仪器厂生产的 DT-8W 动弹仪测试.

2　试验结果与分析

2.1　坍落度

从图 1 和 2 可以看出，C20 混凝土基体的扩展度(D)为 86 mm，随着粉煤灰掺量的增加混凝土基体的扩展度不断增加，粉煤灰的掺量 40% 时，扩展度达到 112 mm. 对于 C40 混凝土而言，混凝土基体的扩展度为 105 mm，当水胶比不变的情况下，随着粉煤灰掺量的增加，混凝土基体的扩展度不断增加，粉煤灰的掺量 40%时，扩展度达到 148 mm. 粉煤灰的“微珠效应”改善了混凝土拌合物的流动性，对于 C40 混凝土基体，由于水泥用量的增加，增加了混凝土拌合物的流动性，混凝土基体的扩展度大于 C20 混凝土基体. 粗集料的重力作用降低了混凝土的坍落度(S). 粗集料的种类对混凝土坍落度的影响上，玄武岩和花岗岩相差不大，辉绿岩的影响较为明显，原因在于辉绿岩吸水率大，在混凝土拌合过程中，吸收了一部分拌合用水.

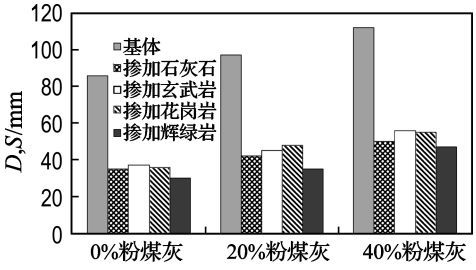


图 1　C20 不同粉煤灰掺量砂浆的扩展度和混凝土的坍落度

Fig. 1　Divergence of different fly ash volume fraction of mortar matrix and slump of concrete for C20

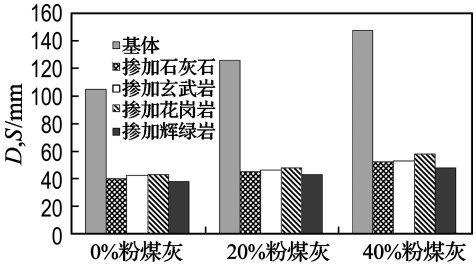


图 2　C40 不同粉煤灰掺量砂浆的扩展度和混凝土的坍落度

Fig. 2　Divergence of different fly ash volume fraction of mortar matrix and slump of concrete for C40

2.2 抗压强度 f_c 和抗折强度 f_r

配制的 C20 混凝土，基体强度为 16.5 MPa，随着粉煤灰掺量的增加，基体强度不断降低，粉煤灰掺量 20%时，基体强度为 14.5 MPa，当掺量达到 40%时，基体强度降至 11.9 MPa，见图 3. 配制的 C40 混凝土，基体强度为 38.3 MPa，随着粉煤灰掺量的增加，基体强度不断降低，粉煤灰掺量 20%时，基体强度为 37.0 MPa，当掺量达到 40%时，基体强度降至 29.4 MPa，见图 4. 从立方体抗压试验结果可以看出，混凝土破坏发生在砂浆基体和粗集料的界面. 这是由于砂浆基体和粗集料的弹性模量相差较大，在受压破坏时二者的横向变形不一样，在二者的界面处便形成了裂缝. 裂缝的发展导致了混凝土的破坏. 粗集料的加入同时起到了骨架作用，阻碍了裂缝的发展，提高了混凝土的强度，4 种粗集料对混凝土性能的影响相差不大. 与 C20 混凝土相比，掺加粉煤灰之后，C40 混凝土强度下降幅度较小. 这是因为 C40 混凝土中水泥用量相对于 C20 混凝土来说有所提高，使砂浆基体的强度和刚度增加，改善了砂浆基体和粗集料二者之间的界面性能.

值得注意的是，粗集料的加入对混凝土基体的抗折强度影响存在不利的一面. 粗集料的加入增加了混凝土中砂浆和粗集料间薄弱环节，强化了这种不利作用，导致了混凝土抗折强度的降低[7]. 随着粉煤灰掺量的增加，这种现象更为明显，如图 5 和 6 所示.

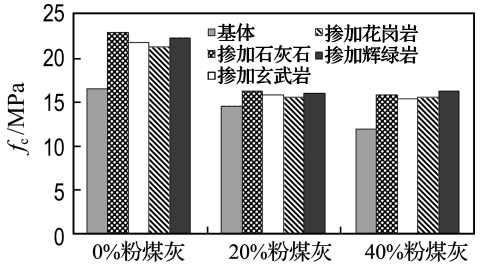


图 3 C20 不同粉煤灰掺量砂浆和混凝土的抗压强度

Fig. 3 Compressive strength of mortar matrix and concrete with different fly ash volume fraction for C20

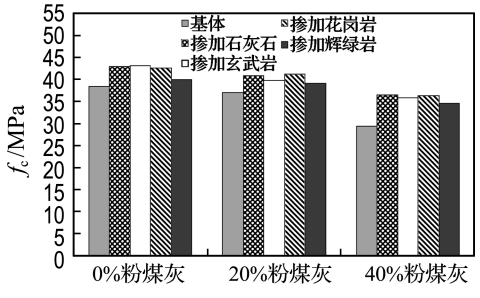


图 4 C40 不同粉煤灰掺量砂浆和混凝土的抗压强度

Fig. 4 Compressive strength of mortar matrix and concrete with different fly ash volume fraction for C40

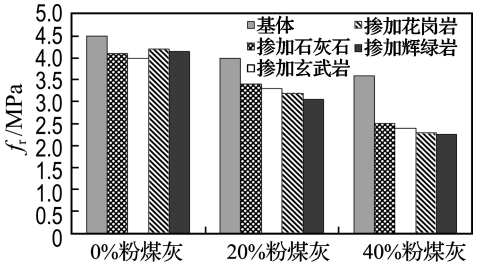


图 5 C20 不同粉煤灰掺量砂浆和混凝土的抗折强度

Fig. 5 Flexural strength of mortar matrix and concrete with different fly ash volume fraction for C20

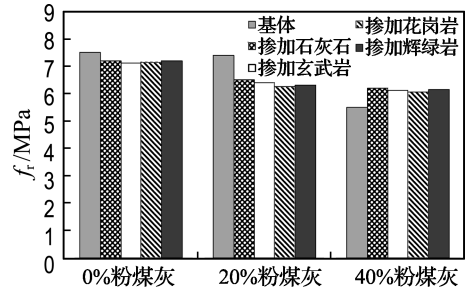


图 6 C40 不同粉煤灰掺量砂浆和混凝土的抗折强度

Fig. 6 Flexural strength of mortar matrix and concrete with different fly ash volume fraction for C40

2.3　弹性模量

无论是 C20 还是 C40 混凝土，其砂浆基体的弹性模量都低于粗集料混凝土的弹性模量. 随着粉煤灰掺量的增加砂浆基体和混凝土的弹性模量均降低，但降低的幅度不大. 4 种粗集料混凝土的弹性模量也相差不大，见图 7 和 8.

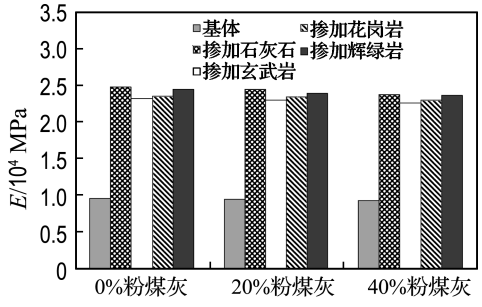


图 7　C20 不同粉煤灰掺量砂浆和混凝土的弹性模量

Fig. 7　Modulus of elasticity of mortar matrix and concrete with different fly ash volume fraction for C20

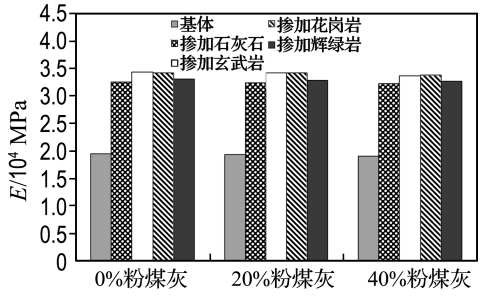


图 8　C40 不同粉煤灰掺量砂浆和混凝土的弹性模量

Fig. 8　Modulus of elasticity of mortar matrix and concrete with different fly ash volume fraction for C40

2.4　抗冻试验

石灰石粗集料混凝土冻融循环试验结果见图 9，掺加粉煤灰后，混凝土基体的抗冻性下降. 这是因为粉煤灰的掺入会改变混凝土孔结构，增加总孔隙率，细化最可几孔径分布，使受冻方式由静水压侵蚀向渗透压侵蚀转变，加速混凝土的冻融劣化[8~10]. 粗集料的加入提高了混凝土的抗冻性，改善了砂浆基体的内部孔结构，提高了混凝土基体的弹性模量，使混凝土基体抵抗变形能力增强，提高了基体的抗冻性. 图 10 为 C40 混凝土经 125 次冻融循环后的 SEM.

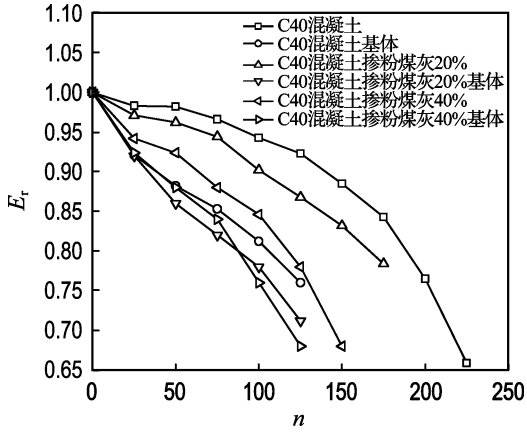


图 9　C40 不同粉煤灰掺量混凝土和砂浆基体相对动弹性模量随冻融循环次数变化

Fig. 9　Relative dynamic modulus of elasticity of mortar matrix and concrete with different fly ash volume fraction for C40 with freezing-thawing cycles

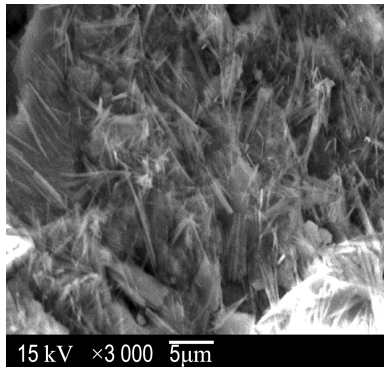


图 10　C40 混凝土经 125 次冻融循环后的 SEM

Fig. 10　SEM of C40 concrete after 125 freezing-thawing cycles

3　结　论

对于普通粉煤灰混凝土而言，粗集料的加入改善了砂浆基体的工作性能和力学性能，提高了混凝土的抗压强度和弹性模量，改善了混凝土的抗冻性，但影响了混凝土的工作性能和抗折强度.

不同种类粗集料对普通粉煤灰混凝土性能的影响差别不大,随着粉煤灰掺量的提高混凝土28 d抗压强度和混凝土的抗冻耐久性下降.

参考文献:

[1] 王 伟,周华强. 粉煤灰对环境的危害及其综合利用[J]. 建材技术与应用,2007(5):4-6

[2] 王立久. 建筑材料学[M]. 北京:中国水利水电出版社,2008

[3] MEHTA P K. 混凝土的结构、性能与材料[M]. 祝永年,沈 威,陈志源,译. 上海:同济大学出版社,1989

[4] WANG Li-jiu, WANG Zhen-shuang, MENG D. Study on concrete framework model on mortar ratio deviation [C] // **Proceedings of the International Symposium on Innovation and Sustainability of Structures in Civil Engineering**. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2009:77-82

[5] WANG Zhen-shuang, WANG Li-jiu, SU Hao-lin, *et al*. Optimization of coarse aggregate content based on efficacy coefficient method [J]. **Journal of Wuhan University of Technology-Materials Science Edition**, 2011, **26**(2):330-335

[6] 周 梅,朱 涵,汪振双. 钢纤维增强自燃煤矸石轻集料混凝土试验研究[J]. 建筑材料学报,2008,**11**(6):715-720

[7] 钱觉时,宋开伟,杨再富,等. 粗集料强度对混凝土抗折强度的影响[J]. 建筑材料学报,2006,**9**(4):468-472

[8] 王立久,汪振双,崔正龙. 基于冻融损伤抛物线模型的再生混凝土寿命预测[J]. 应用基础与工程科学学报,2011,**19**(1):1-7

[9] 崔正龙,汪振双. 城市垃圾熔渣再生混凝土耐久性能的试验研究[J]. 辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2009(2):231-233

[10] 袁晓露,李北星,崔 巩,等. 粉煤灰混凝土的抗冻性能及机理分析[J]. 混凝土,2008(12):43-44

Influence of coarse aggregate on properties of fly ash concrete

WANG Zhen-shuang[1,2], WANG Li-jiu[*1]

(1. School of Civil Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;
2. Architecture and Engineering College, Northeast Dianli University, Jilin 132032, China)

Abstract: Concrete is composed of mortar matrix, coarse aggregate and their interface zone according to concrete framework theory. Four different types of coarse aggregate (lime stone, basalt, granite, and diabase) with different volume fraction of fly ash are used to check slump, compressive strength, flexural strength and modulus of elasticity, and analyze the influence on frost resistance property of different fly ash volume fraction for lime stone coarse aggregate. The analytical results show that, slump, compressive strength, flexural strength and modulus of elasticity of concrete are affected by coarse aggregate significantly. Flow ability and flexural strength of concrete are decreased, but compressive strength and modulus of elasticity of concrete are increased due to coarse aggregate mixed, furthermore, coarse aggregate improves frost resistance of concrete. Slump is increased, and mechanical properties and frost resistance property of concrete are decreased with fly ash volume fraction increasing. There is little difference for concrete properties using different types of coarse aggregate. The properties of concrete using different types of coarse aggregate are little different with fly ash volume fraction increasing.

Key words: coarse aggregate; fly ash concrete; strength; frost resistance property