

燃煤炉渣粉对粉煤灰 - 炉渣混凝土的影响

王宁^{1,2}, 安巧霞^{1,2}, 管裕^{1,2}, 王柯^{1,2}, 王艳虎¹

¹塔里木大学水利与建筑工程学院, 新疆 阿拉尔

²塔里木大学南疆岩土工程研究中心, 新疆 阿拉尔

收稿日期: 2022年3月24日; 录用日期: 2022年4月13日; 发布日期: 2022年4月22日

摘要

研究燃煤炉渣粉掺量(外掺含量分别为胶凝材料的0%、5%、10%、15%、20%)对粉煤灰 - 炉渣混凝土物理力学性能的影响。试验结果表明:随着燃煤炉渣粉掺量的增加,混凝土抗压强度、劈裂抗拉强度、轴心抗压强度等呈现逐渐上升的趋势,从掺量和强度综合考虑,燃煤炉渣粉掺量为20%可以配制56 d抗压强度为37.19 MPa混凝土;混凝土的吸水率随着燃煤炉渣粉掺量的增大而增大,该研究对于燃煤炉渣粉在工程中的应用具有一定价值。

关键词

粉煤灰 - 炉渣混凝土, 燃煤炉渣粉, 抗压强度, 劈裂抗拉强度, 吸水率

Effect of Coal-Fired Slag Powder on Fly Ash-Slag Concrete

Ning Wang^{1,2}, Qiaoxia An^{1,2}, Yu Guan^{1,2}, Ke Wang^{1,2}, Yanhu Wang¹

¹School of Hydraulic and Architectural Engineering, Tarim University, Alaer Xinjiang

²Nanjiang Geotechnical Engineering Research Center, Tarim University, Alaer Xinjiang

Received: Mar. 24th, 2022; accepted: Apr. 13th, 2022; published: Apr. 22nd, 2022

Abstract

The effect of the content of coal-fired slag powder (0%, 5%, 10%, 15% and 20% of cementitious material respectively) on the physical and mechanical properties of fly ash-slag concrete was studied. The test results show that with the increase of the content of coal-fired slag powder, the compressive strength, splitting tensile strength and axial compressive strength of concrete show a gradual upward trend. Considering the content and strength, when the content of coal-fired slag powder is 20%, the concrete with 56 d compressive strength of 37.19 MPa can be prepared; the water absorption rate of concrete increases with the increase of the content of coal-fired slag powder. This study has certain value for the application of coal-fired slag powder in engineering.

Keywords

Fly Ash-Slag Concrete, Coal-Fired Slag Powder, Compressive Strength, Splitting Tensile Strength, Water Absorption Rate

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

目前,我国火力燃煤发电约占全国发电总量的七成,燃煤发电仍然占据着主导地位[1],将这些废渣加以再利用于建筑材料,是实现工业废渣综合利用的有效途径之一。这样做解决了部分废渣堆放占用土地、破坏土壤结构和污染环境等问题[2][3]。目前,国内外对燃煤炉渣混凝土的试验研究也取得了一定的成果,研究发现,燃煤炉渣适量掺入混凝土中,不仅能提高工业废料的利用率,还能产生显著的社会效应、经济效益和环保效益。其中,宋远明等[4][5]采用化学分析方法,研究了燃煤灰渣的火山灰反应活性。周俊龙[6]、吴耀鸿[7]分别对燃煤炉渣的成分、性质进行了详细地分析,研究煤渣对水泥混凝土性能的影响,通过相关试验指出煤渣具有一定的活性,可用作混凝土的掺和料。李燕[8]对废渣用作混凝土掺和料进行了系统的试验研究,研究表明可以用沸腾炉渣制备高性能混凝土。潘攀[9]研究煤渣粉掺量对混凝土相关性能的影响,结果表明:煤渣粉可作为高性能混凝土的掺合料。但是对燃煤炉渣粉加入粉煤灰-燃煤炉渣混凝土中少有研究,本次试验在满足强度设计要求下进一步提高工业废渣的利用率,不仅节约建筑成本还反应出显著的环境效益,所以对一定掺量的燃煤炉渣粉掺入粉煤灰-炉渣混凝土的研究还是具有一定意义的。

本文以新疆阿拉尔市青松化工电厂的燃煤炉渣作为掺和料,燃煤炉渣粉以一定掺量的胶凝材料(掺量分别为0%、5%、10%、15%、20%)用其制备混凝土材料。研究燃煤炉渣粉掺量对粉煤灰-炉渣混凝土物理力学性质的影响。

2. 原材料

试验选用新疆青松化工集团股份有限公司生产的青松牌P.O42.5级水泥,各项性能指标见表1;粗骨料粒径为5~20mm连续级配破碎卵石,表观密度为2730 kg/m³,堆积密度1580 kg/m³,空隙率42.12%;细度模数为2.66的水洗中砂,含水率1.8%,表观密度为2625 kg/m³,堆积密度1556 kg/m³,空隙率40.72%;新疆阿拉尔市青松化工电厂的二级粉煤灰,表观密度为1690 kg/m³,新疆阿拉尔市青松化工电厂的炉渣如图1所示,其表观密度为1273 kg/m³,堆积密度461.5 kg/m³,吸水率25.61%,空隙率63.75%,压碎指标为46.3%,其化学成分见表2;湖南中岩建材科技有限公司的聚羧酸早强型高效减水剂,减水率为30%,固含量为53.6%;拌和用水为阿拉尔市政供应的自来水。

Table 1. Various performance indexes of cement

表 1. 水泥各项性能指标

比表面积/(m ² /kg)	标准稠度/%	凝结时间/min		28 d 抗压强度/MPa	安定性
		初凝	终凝		
346	28.1	168	219	49.1	合格

Table 2. Chemical composition of fly ash and slag
表 2. 粉煤灰、炉渣化学成分

氧化物	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
粉煤灰	49.73	25.49	2.13	6.74	0.28	4.06	2.05	0.45
炉渣	45.68	12.68	16.08	5.26	2.13	3.15	1.56	4.31



Figure 1. Coal slag
图 1. 燃煤炉渣

3. 混凝土配合比设计及试验方法

本文针对民用建筑常用的 C30 混凝土进行试配, 研究燃煤炉渣粉掺量对粉煤灰 - 炉渣混凝土物理力学性能的影响。参照 JGJ 55-2011《普通混凝土配合比设计规程》[10], 以 C30 为基准混凝土, 炉渣粉以 0%、5%、10%、15% 和 20% 掺量的胶凝材料外掺, 对混凝土进行配合比设计, 水灰比 0.7。混凝土配合比设计如表 3。

试配混凝土拌合物性能采用 GB/T 50080-2016《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》[11]进行测定。采用 150 mm × 150 mm × 150 mm 试模成型试件, 经标准养护后, 混凝土的抗压强度、吸水率指标参照 GB/T 50081-2019《混凝土物理力学性能试验方法标准》[12]的规定进行。

Table 3. Concrete mix design
表 3. 混凝土配合比设计

试验编号	水灰比	骨料粒径(mm)	混凝土中组成材料用量(kg/m ³)						
			水泥	石子	砂	粉煤灰	炉渣	减水剂	炉渣粉
D-1	0.7	5-20	255	1209	750	45	64	3	0
D-2	0.7	5-20	255	1209	750	45	64	3	15
D-3	0.7	5-20	255	1209	750	45	64	3	30
D-4	0.7	5-20	255	1209	750	45	64	3	45
D-5	0.7	5-20	255	1209	750	45	64	3	60

4. 试验结果与分析

4.1. 燃煤炉渣粉掺量对混凝土力学性能的影响

燃煤炉渣粉掺量分别为 0%、5%、10%、15%、20% 对粉煤灰 - 炉渣混凝土抗压强度、劈裂抗拉强度、轴心抗压强度和钢筋握裹强度的影响如图 2~图 5 所示。

结果表明, 随着燃煤炉渣粉掺量的增加粉煤灰 - 炉渣混凝土抗压强度、劈裂抗拉强度、28 d 轴心抗压强度和钢筋握裹强度大体趋势先降低后增加, 燃煤炉渣粉 20% 掺量时 56 d 抗压强度能达到 37.19 MPa、56 d 劈裂抗拉强度 2.15 MPa、28 d 轴心抗压强度 33.73 MPa 和钢筋握裹强度 29.95 MPa。这是由于煤渣粉为多孔、不规则表面粗糙[7]的颗粒, 燃煤炉渣粉前期只起填充性作用, 不利于混凝土的强度, 但随养护时间的增加煤渣粉中的活性二氧化硅及活性氧化铝与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生了反应, 物料之间开始频繁接触生成 C-S-H、C-A-H 等胶凝体[13], 提高混凝土的整体强度。

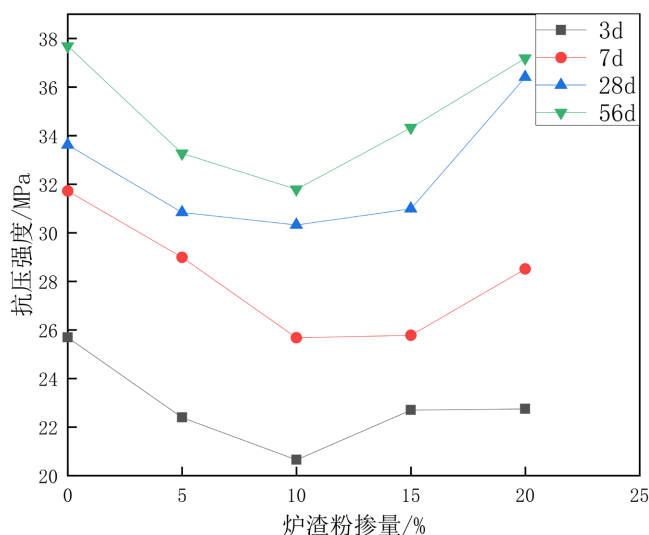


Figure 2. Compressive strength

图 2. 抗压强度

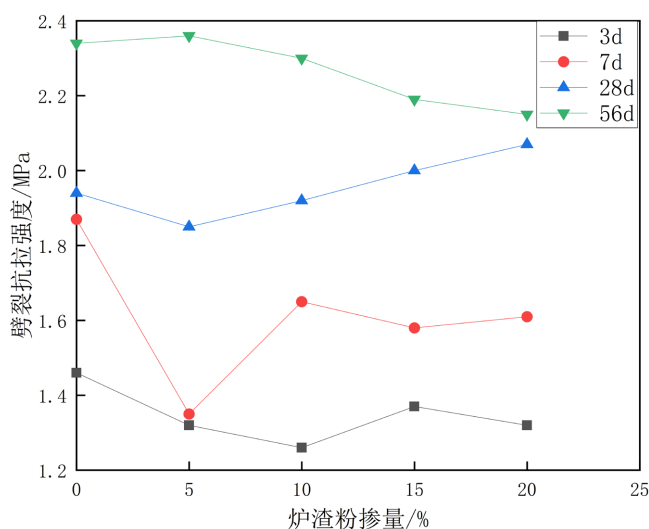


Figure 3. Splitting compressive strength

图 3. 劈裂抗压强度

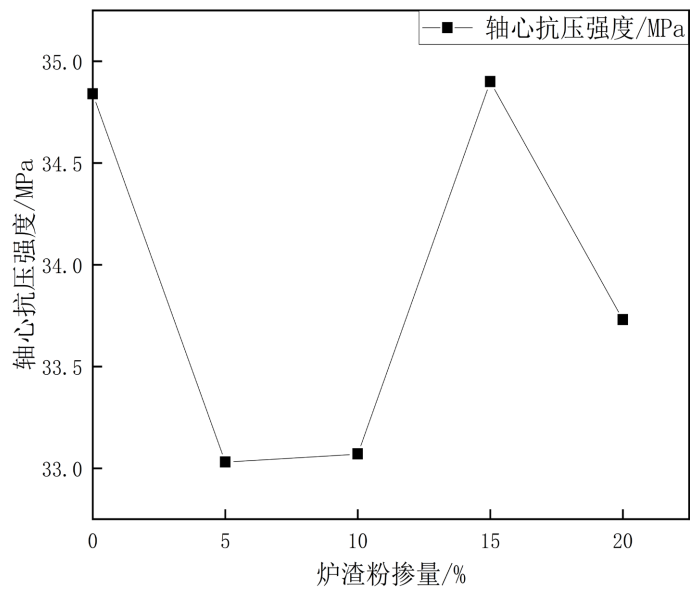


Figure 4. Axial compressive strength

图 4. 轴心抗压强度

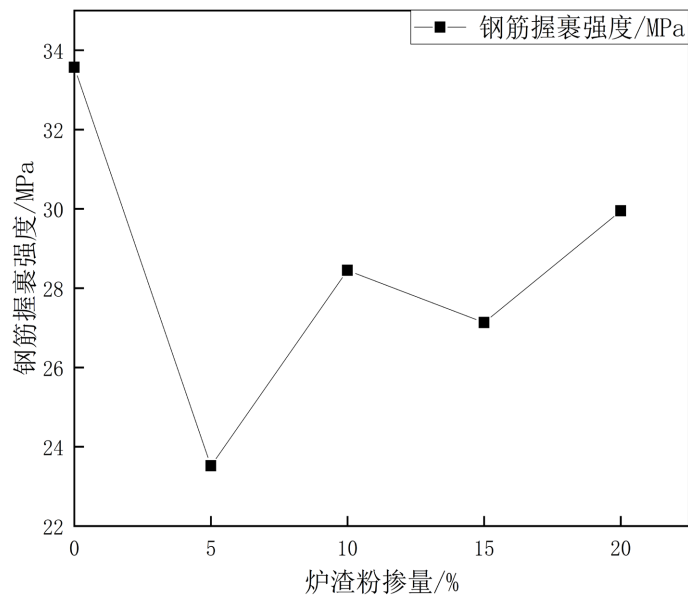


Figure 5. Bond strength of reinforcement

图 5. 钢筋握裹强度

4.2. 燃煤炉渣粉掺量对混凝土物理性能的影响

燃煤炉渣粉掺量分别为 0%、5%、10%、15%、20% 对粉煤灰 - 炉渣混凝土含水率、吸水率、相对含水率、孔隙率和表观密度的影响如图 6~图 9 所示。

结果表明,随着燃煤炉渣粉掺量的增加炉渣混凝土的吸水率、质量逐渐增大,而坍落度则逐渐减小,孔隙率整体呈现上升趋势,表观密度则呈现下降趋势。这是由于燃煤炉渣粉颗粒表面粗糙、形状不规则 [7] 会增大与砂浆之间的黏合力,故引起坍落度降低、强度得到一定的提高。燃煤炉渣结构疏松多孔具有较强的吸水性,故随着燃煤炉渣粉掺量的增加吸水率性能逐渐增大。

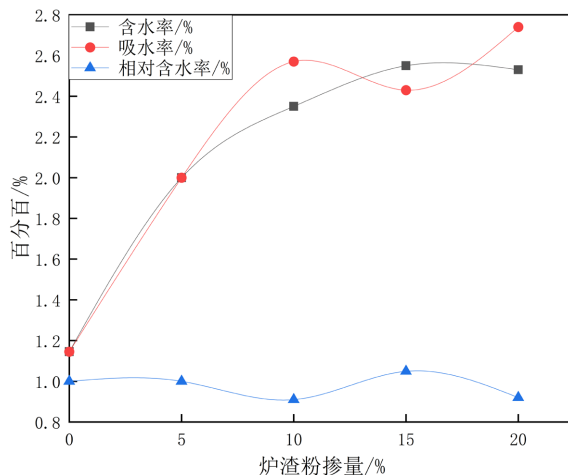


Figure 6. Water content rate, water absorption rate, and relative water content rate
图 6. 含水率、吸水率、相对含水率

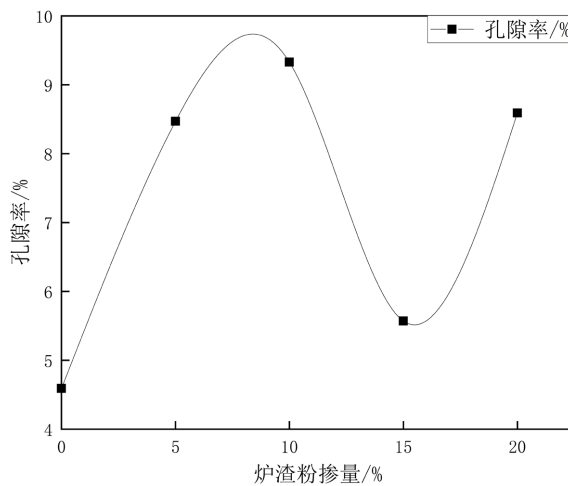


Figure 7. Porosity
图 7. 孔隙率

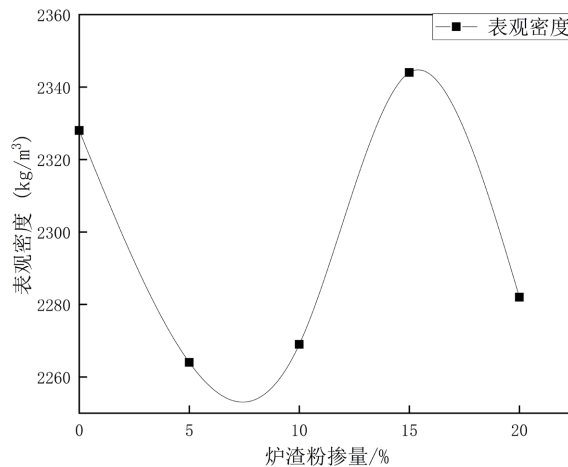


Figure 8. Apparent density
图 8. 表观密度

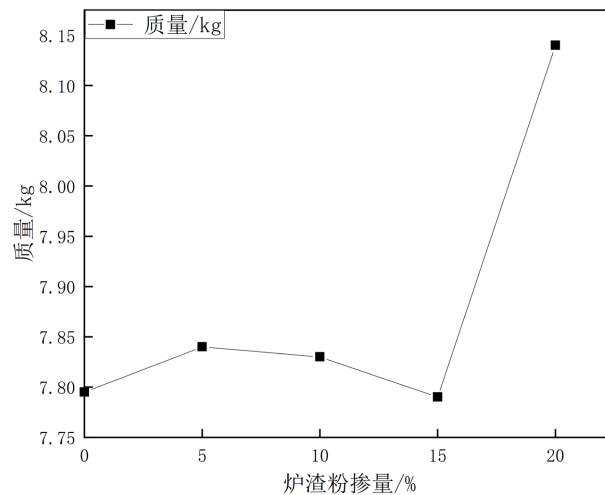


Figure 9. Quality
图 9. 质量

5. 结论与展望

通过试验可以得出以下结论:

1) 随着燃煤炉渣粉掺量的增加, 粉煤灰 - 炉渣混凝土抗压强度、劈裂抗拉强度、28 d 轴心抗压强度和钢筋握裹强度大体趋势先降低后增加。从掺量和强度综合考虑, 燃煤炉渣粉 20% 掺量时 56 d 抗压强度能达到 37.19 MPa、56 d 劈裂抗拉强度 2.15 MPa、28 d 轴心抗压强度 33.73 MPa 和钢筋握裹强度 29.95 MPa。

2) 随着燃煤炉渣粉掺量的增加, 粉煤灰 - 炉渣混凝土的吸水率、孔隙率和质量逐渐增大。

3) 由于燃煤炉渣粉中含有较高含量的碱和 MgO , 基于本文开展的试验, 尚无法对燃煤炉渣粉中所含的碱性物质和氧化物对混凝土耐久性的影响提供足够的科学依据, 需进一步开展耐久性相关试验研究。

参考文献

- [1] 刘炜震, 郭忠平, 何维胜, 侯树宏, 胡文博. 燃煤炉渣混凝土材料配比及强度特性试验研究[J]. 矿业研究与开发, 2020, 40(5): 56-59.
- [2] 聂品. 再生骨料透水混凝土的路用性能研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 华北水利水电学院, 2012.
- [3] 傅垣洪. 建筑垃圾综合利用技术推广与应用[J]. 能源与节能, 2017(12): 99-100+180.
- [4] 宋远明, 钱觉时, 王智. 燃煤灰渣活性研究综述[J]. 粉煤灰, 2007, 19(1): 44-46.
- [5] 宋远明, 钱觉时, 王智. 燃煤灰渣火山灰反应活性[J]. 硅酸盐学报, 2006, 34(8): 962-965.
- [6] 周俊龙, 杨德斌. 煤渣作混凝土掺和料的性能研究[J]. 粉煤灰综合利用, 2003(1): 22-23.
- [7] 吴耀鸿. 预拌混凝土中燃煤炉渣掺合料的应用研究[J]. 江西建材, 2016(14): 2+7.
- [8] 李燕. 沸腾炉渣用作混凝土掺和料的试验研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江工业大学, 2009.
- [9] 潘攀, 欧阳东, 易承波, 宁博, 鲁刘磊, 吴亭亭. 煤渣粉对高性能混凝土性能的影响[J]. 混凝土与水泥制品, 2011(6): 19-22.
- [10] 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, 2016.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB/T 50080-2016. 普通混凝土拌合物性能试验方法标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.

-
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB/T 50081-2019. 混凝土物理力学性能试验方法标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社出版, 2016.
- [13] Lin, K.L., Chang, W.C. and Lin, D.F. (2008) Pozzolantic Characteristics of Pulverized Incinerator Bottom Ash Slag. *Construction and Building Materials*, **22**, 324-329. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.08.012>