

Effects of Mineral Admixtures on Physical and Mechanical Properties of Concrete

Jiangang Chen^{1*}, Yong Qiu², Jingfeng Zhao², Chuanhui Tang³, Xiao Huang³, Yidong Xu³

¹Ningbo Gute Concrete Co. Ltd., Ningbo Zhejiang

²Zhejiang Provincial Erjian Construction Group Ltd., Ningbo Zhejiang

³Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, Ningbo Zhejiang

Email: *10388559@qq.com

Received: May 1st, 2020; accepted: May 22nd, 2020; published: May 29th, 2020

Abstract

In this paper, the effect of different mineral admixture on the workability and compressive strength of concrete was investigated. As is shown in the results, the addition of fly ash can save the amount of cement and improve the workability of concrete, but also reduce the early strength of concrete. Slag can improve the early strength of concrete, but greatly reduce its fluidity. There is an optimal content of mineral admixture in the concrete with double mix of fly ash/slag. The reason can be attributed to that when the content is 30%, the dense filling effect reaches the maximum and the strength is high.

Keywords

Fly Ash, Slag, Concrete, Workability, Compressive Strength

矿物掺合料对混凝土物理力学性能的影响

陈坚钢^{1*}, 裘泳², 赵景锋², 唐传辉³, 黄孝³, 徐亦冬³

¹宁波固特砼混凝土有限公司, 浙江 宁波

²浙江省二建建设集团有限公司, 浙江 宁波

³浙大宁波理工学院, 浙江 宁波

Email: *10388559@qq.com

收稿日期: 2020年5月1日; 录用日期: 2020年5月22日; 发布日期: 2020年5月29日

*通讯作者。

摘要

本文研究了不同矿物掺合料对混凝土工作性与力学性能的影响。结果表明：粉煤灰的掺入可以节约混凝土中水泥的用量、改善其和易性，但同时也使混凝土的早期强度降低；矿粉能使混凝土的早期强度得到提高，但却极大降低了其流动性；双掺粉煤灰/矿渣混凝土中矿物掺合料的掺量存在一个最佳掺量，其原因可能是当掺量为30%时，密实填充效应达到最大，所以强度较高。

关键词

粉煤灰，矿粉，混凝土，工作性，抗压强度

Copyright © 2020 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. 引言

普通混凝土存在水泥用量较大、凝固时产生的水化热较高及后期延性较差的问题，一般可以通过外加剂及矿物掺合料来使其性能得到改善。矿物掺合料可以按照一定比例取代水泥，一方面改善了混凝土的工作性能，另一方面，由于减少了水泥的用量，从而有利于保护环境。随着人们对高性能混凝土研究的不断深入，逐渐认识到粉煤灰和矿粉的作用不仅仅是取代水泥、节约能源以及减少环境污染。目前，矿物掺合料作为混凝土改性的一种重要材料，在提升混凝土工作性能方面起着不可或缺的作用[1] [2] [3]。本文通过实验研究了单掺粉煤灰、单掺矿粉以及复掺粉煤灰和矿粉对混凝土流动性能、经时损失及早期强度的影响，研究结果可为实际工程提供一定的参考。

2. 实验

2.1. 实验原材料

水泥：采用 P.O42.5 级普通硅酸盐水泥，其物理性能指标如表 1 所示。

粉煤灰：采用 I 级粉煤灰，其性能指标如表 2 所示。

矿渣粉：采用 S95 级矿渣粉，其性能指标如表 3 所示。

外加剂：高效减水剂，减水率为 19%。

粗骨料：采用粒径为 5~31.5 mm 的碎石，针片状颗粒含量 6.0%，含泥量 0.4%，压碎指标为 7.0%。

细骨料：中砂，细度模数 2.6，含泥量 0.5%，Cl⁻含量为 0.01%。

水：自来水。

Table 1. Main physical properties of cement

表 1. 水泥主要物理性能指标

细度 (%)	初凝时间 (min)	终凝时间 (min)	安定性	标准稠度用水量 (%)	3 天抗压强度 (Mpa)	3 天抗折强度 (Mpa)	28 天抗压强度 (Mpa)	28 天抗折强度 (Mpa)
1.0	136	200	合格	27.8	29.1	5.6	52.2	8.3

Table 2. Basic performance index of fly ash**表 2.** 粉煤灰基本性能指标

细度(%)	烧失量(%)	需水量(%)	SO ₃ 含量(%)	质量等级
12	4	95	2.3	I 级

Table 3. Basic performance index of slag powder**表 3.** 矿渣粉基本性能指标

7 天活性指数 (%)	28 天活性指数 (%)	流动度比 (%)	烧失量(%)	含水量(%)	SO ₃ 含量(%)	Cl ⁻ 含量(%)	质量等级
80	101	93	2.8	0.4	0.4	0.01	S95

2.2. 试验配合比的选择

根据规范 JGJ 55《普通混凝土配合比设计规程》进行配合比设计, 确定混凝土砂率为 44%, 水胶比为 0.54。矿物掺合料采用等量取代水泥的方法, 粉煤灰、矿粉各等量取代水泥的 20%、30%、40%; 复掺粉煤灰和矿粉, 各掺 10%、15%、20%。混凝土的配合比如表 4 所示。

Table 4. Concrete mix proportion (kg/m³)**表 4.** 混凝土配合比(单位: kg/m³)

编号	水胶比	水	水泥	粉煤灰	矿粉	砂	碎石	减水剂
F-0	0.54	188	350	0	0	814	1036	4.9
F-20	0.54	188	280	70	0	814	1036	4.9
F-30	0.54	188	245	105	0	814	1036	4.9
F-40	0.54	188	210	140	0	814	1036	4.9
S-20	0.54	188	280	0	70	814	1036	4.9
S-30	0.54	188	245	0	105	814	1036	4.9
S-40	0.54	188	210	0	140	814	1036	4.9
FS-20	0.54	188	280	35	35	814	1036	4.9
FS-30	0.54	188	245	52.5	52.5	814	1036	4.9
FS-40	0.54	188	210	70	70	814	1036	4.9

3. 结果与讨论

3.1. 试验结果

根据表 4 中的 10 组混凝土配合比进行试拌, 对拌合物的坍落度、坍落扩展度及坍落度经时变化进行测试, 得到试验结果见表 5。

3.2. 流动性

由表 5 与图 1 可知, 当粉煤灰掺量为 20%、30%、40%时, 坍落度分别为 165 mm、220 mm、160 mm。与基准组的坍落度 60 mm 相比, 单掺粉煤灰混凝土的坍落度有较大幅度提升, 且在掺量为 30%时坍落度达到最大。所以, 在混凝土中掺入适量的粉煤灰可以有效的提高混凝土的流动性, 分析认为其原因是粉煤灰的主要颗粒为球状颗粒, 其中 80% 以上为多孔玻璃体, 其球形颗粒的形貌效应可以减少骨料与砂浆

之间的摩擦,起到了对水泥粉体颗粒的分散和润滑作用,从而可以显著提高混凝土的流动性。当矿粉掺量为 20%、30%、40%时,坍落度分别为 110 mm、75 mm、70 mm。相比于基准混凝土,单掺矿粉混凝土的坍落度也有一定的提升,但是由于矿粉具有很强的胶凝活性,能够提高混凝土拌合物的粘聚力,故随着矿粉的掺量增加,混凝土的坍落度却随之下降。当粉煤灰的掺量为 20%、30%、40%时,混凝土拌合物的坍落扩展度分别为 460 mm、480 mm、500 mm,故混凝土的坍落扩展度随着粉煤灰掺量的增加而增大,而单掺矿粉的混凝土则无坍落扩展度。由此可以看出,单掺粉煤灰的混凝土比单掺矿粉的混凝土具有更好的流动性。此外,周啸尘提出了有效拌和水比的概念,即填充水的数量与固体颗粒空隙率的比值;由于粉煤灰的填充效应能改善混凝土的颗粒级配,减少混凝土的空隙率,增大有效拌和水比;且粉煤灰颗粒较细,导致比表面积较大,所需表面层水的数量会增多,这会减少填充水的数量,从而降低有效拌和水比[4] [5] [6] [7]。

Table 5. Test result
表 5. 试验结果

编号	坍落度(mm)	坍落扩展度(mm)	坍落度 1 h 经时变化(mm)
F-0	60	0	10
F-20	165	460	150
F-30	220	480	200
F-40	160	500	145
S-20	110	0	105
S-30	75	0	70
S-40	70	0	35
FS-20	40	0	35
FS-30	50	0	45
FS-40	65	0	55

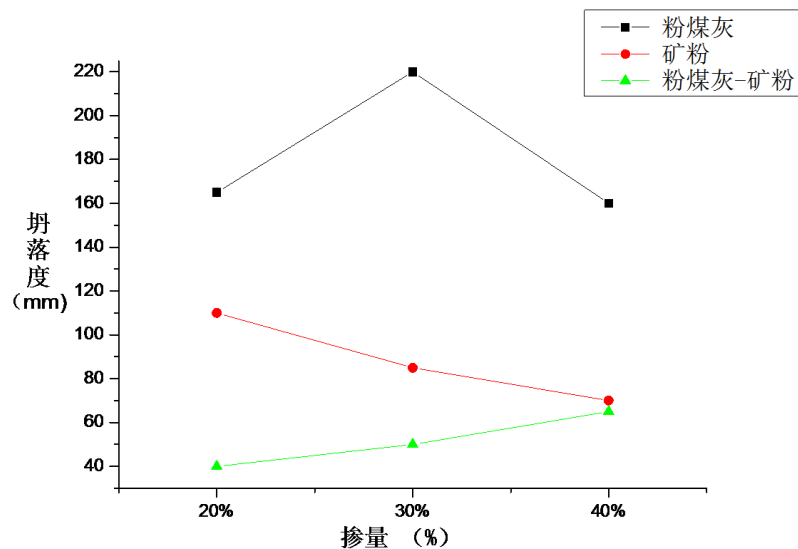


Figure 1. Effect of different amount of mineral admixtures on concrete slump
图 1. 不同掺量矿物掺合料对混凝土坍落度的影响

3.3. 坍落度损失

从表 5 中可以看出, 基准混凝土的坍落度损失很大, 1 h 后混凝土基本上已经失去了流动性。在掺入了一定量的粉煤灰后, 混凝土的坍落度损失得到明显的改善, 虽然随着时间的增加, 其坍落度损失也在增加, 但是相较于基准混凝土, 单掺粉煤灰的混凝土仍能保持较高的流动性。对于单掺矿粉的混凝土, 当矿粉掺量为 20% 和 30% 时, 混凝土的坍落度经时损失较小, 其流动性几乎不随时间变化而减小; 当矿粉掺量为 40% 时, 混凝土的坍落度经时损失较大。由此可以看出, 粉煤灰和矿渣粉均有改善混凝土坍落度经时损失的效果[8], 但是对于单掺矿粉时, 需要注意控制其掺量, 过大的掺量会使得其效果变差。混凝土坍落度的变化, 实质上是水泥浆体流动性的变化, 也就是水泥颗粒的分散与聚集的结果。在掺入粉煤灰和矿粉后, 由于矿物掺合料表面较为光滑密致, 在混凝土的搅拌过程中, 这些粒子能够对水泥颗粒起到分散作用, 且这种分散效果不随时间的增加而减弱; 掺合料取代了部分水泥, 降低了水泥水化热, 一定程度上减少了混凝土拌合物内部温度的升高[9]; 粉煤灰具有很强的保水作用, 能减少拌合物水分的外溢, 而矿粉其保水性没有粉煤灰好, 故其对混凝土坍落度经时损失的改善效果不如粉煤灰好。对于远距离运输的泵送的高性能混凝土, 在设计配合比时会添加粉煤灰、矿粉等掺合料, 不仅能降低混凝土成本, 同时有利于改善混凝土的和易性及工作性[8]。

3.4. 抗压强度

按表 4 所示配合比浇筑试件并进行标准养护, 分别对每组试件的 7 d 抗压强度进行测试, 比较了相同掺量下单掺粉煤灰、单掺矿粉以及复掺粉煤灰和矿粉对混凝土早期强度的影响, 试验结果如图 2 所示。

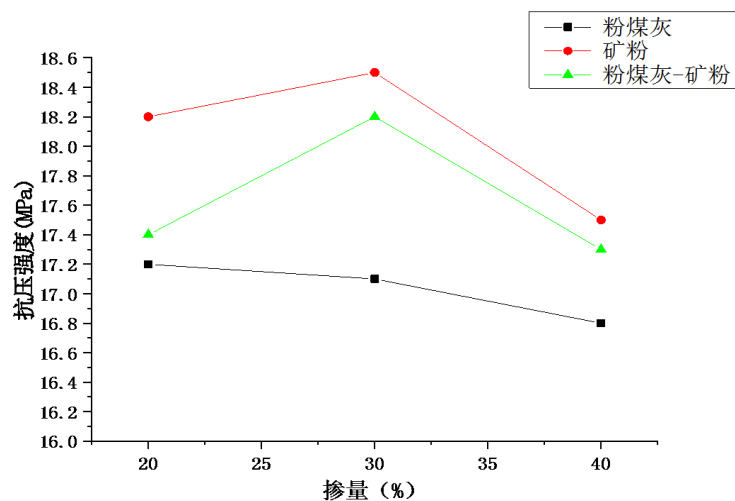


Figure 2. 7-day strength of concrete
图 2. 混凝土 7 天强度

从图 2 可以看出, 单掺粉煤灰混凝土 7d 的强度随着粉煤灰掺量的增加呈明显下降趋势, 原因是粉煤灰的火山灰活性较低, 在早期潜在的水硬性无法发挥, 导致强度明显下降; 而单掺矿渣以及双掺粉煤灰/矿渣混凝土则存在一个最佳掺量, 当掺量为 30% 时强度最高, 其原因一是与矿渣粉的火山灰活性较高有关, 二是当粉煤灰-矿渣双掺且掺量为 30% 时, 此时其密实填充效应达到最大, 所以强度较高。

4. 结论

通过实验可以得到以下结论: 粉煤灰的掺入极大的提高了混凝土的流动性, 但由于活性较低, 导致

对早期强度产生了不利影响；掺矿渣微粒的混凝土比掺同等粉煤灰的混凝土早期强度高，但工作性相对较差，矿物掺合料的加入有助于降低坍落度损失；矿物掺合料双掺时存在一个最佳掺量(30%)，其原因可能是掺量为30%时密实填充效应达到最大，所以强度较高。

致 谢

感谢浙江省建设科技项目(2019K060)、浙江大学宁波理工学院大学生创新创业计划、宁波市自然科学基金(2018A610229)的支持。

参考文献

- [1] 冯乃谦. 高性能混凝土结构[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 4-7.
- [2] 顾晓彬, 刘磊, 高海浪, 王成启. 粉煤灰 - 矿粉胶凝体系对 CRTSIII型板自密实混凝土工作性影响机理研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2019(2): 36-39.
- [3] 杨德胜. 新时代绿色高性能混凝土发展的必要性研究[J]. 混凝土, 2019(11): 145-148.
- [4] 吴耀鹏, 李彦豪, 张旭, 王永辉. 水胶比和粉煤灰掺量对混凝土高温后抗压强度的影响[J]. 建筑结构, 2019, 49(22): 93-96.
- [5] 张明征. 高性能混凝土的配制与应用[M]. 北京: 中国计划出版社, 2003: 240-241.
- [6] 周啸尘, 王新友. 粉煤灰对高性能混凝土工作性的影响[J]. 粉煤灰综合利用, 2003(2): 27-30.
- [7] 吴寅, 尚晓琳, 关萍. 掺矿渣掺合料和粉煤灰高强混凝土强度和可泵性的研究[J]. 大连大学学报, 2003(6): 36-40.
- [8] 肖煜, 廖国胜, 潘会. 影响混凝土坍落度经时损失的主要因素分析[J]. 工程建设与设计, 2013(3): 156-158.
- [9] 黄煜镔, 陈剑雄. 论混凝土的坍落度损失[J]. 四川建筑科学研究, 2002, 28(3): 51-54.