

文章编号:1673-9981(2018)04-0287-05

煅烧高岭土粉对低碳混凝土性能影响的研究*

郭春芳¹, 张明²

1. 山东轻工职业学院, 山东 淄博 255300; 2. 山东华伟银凯建材科技股份有限公司, 山东 淄博 256410



摘要:为降低混凝土成本,提高其性能,将煅烧高岭土粉按一定比例替代矿粉配制低碳混凝土,对煅烧高岭土粉的特性及其对低碳混凝土力学性能、收缩性能和抗冻融性能的影响进行了研究。结果表明:煅烧高岭土粉具有填充效应和高水化活性。当其替代矿粉的质量分数为20%时,低碳混凝土的抗压强度与基准混凝土相近,28d收缩率比减少了5%;经过200次冻融循环后,其质量和抗压强度的损失率均比基准混凝土分别减少了0.17%和2.07%。

关键词:煅烧高岭土;低碳混凝土;性能影响

中图分类号:P619.229;TD985

文献标识码:A

低碳混凝土是指水泥用量较低而大量使用粉煤灰和矿粉等工业废渣粉配制的混凝土。因水泥用量少,因此呈现出低碳特点。随着国内工程和房地产规模的不断增大,矿粉的价格也不断攀升,使低碳混凝土的成本不断增加。另一方面,我国高岭土资源总量丰富,达到190亿t,仅次于美国、英国,且其具有良好的可塑性、高粘结性、抗酸溶性、耐火性等理化特性,经济成本低。近几年,有报道高岭土粉作为掺合料应用于混凝土^[1-6],以改善混凝土的内部微观结构,提高混凝土适用性,同时可降低混凝土成本。本文采用煅烧高岭土粉作为掺合料替代矿粉,研究了其对低碳混凝土性能的影响,为后续实际应用提供理论参考。

1 试验部分

1.1 试验材料

水泥:山铝牌P.O 42.5水泥,其熟料的化学成分与物理力学性能列于表1和表2;砂(产地临朐):细度模数为2.5,含泥质量分数为2.0%;骨料:边河

碎石,5~25mm,连续级配,含泥质量分数为0.5%;粉煤灰:莱芜电厂II级灰,其成分见表3;矿粉:张店钢铁厂,等级S95,其成分见表3;高岭土:试剂纯,天津市科密欧化学试剂有限公司,其成分见表4;水:自来水。

1.2 试验方法

将高岭土浆料于110℃烘干3h,然后粉碎、研磨,置于马弗炉500℃煅烧2h,即得煅烧高岭土粉体。将煅烧高岭土粉按一定比例掺入低碳混凝土中代替部分矿粉,并与基准组进行比较,探讨其对低碳混凝土性能的影响。依照GB/T 50081-2002《普通混凝土力学性能试验方法》和GB/T 50082-2009《普通混凝土长期耐久性能试验方法》对所制备的低碳混凝土的物理性能、强度及耐久性能进行检测。

基准低碳混凝土配比为 $m(\text{水泥}):m(\text{矿粉}):m(\text{粉煤灰}):m(\text{砂}):m(\text{石子})=165:149:16:760:1120$,用水量以达到混凝土初始坍落度为(80±10)mm时为准。其中煅烧高岭土粉以基准样矿粉总质量的10%,20%,30%和40%取代矿粉,详见表5。

收稿日期:2018-09-05

* 基金项目:山东省高等学校科技计划项目(J15LA57)

作者简介:郭春芳(1977-),女,山东齐河人,讲师,硕士,从事化学建材和精细化工方面的研究。

表1 水泥熟料的化学成分

Table 1 Chemical compositions of cement clinker

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	烧失量	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
质量分数/%	20.70	6.00	64.0	3.40	4.30	0.02	59.3	14.10	7.83	13.19

表2 水泥的物理力学性能

Table 2 Physical and mechanical properties of cement

标准稠度/%	凝结时间/min		安定法 (试饼法)	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa	
	初凝	终凝		3d	28d	3d	28d
27.0	170	270	合格	22.3	45.8	4.7	7.5

表3 矿粉与粉煤灰的化学成分

Table 3 Chemical compositions of mineral powder and fly ash

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	loss
矿粉	31.85	16.69	0.16	0.76	9.52	35.50	0.37	0.62	0.64	0.012	0.40	0.25
粉煤灰	46.90	36.63	3.62	1.26	0.80	4.30	0.10	0.50	1.2	0.18	0.05	5.21

表4 高岭土的化学组成

Table 4 Chemical compositions of kaolin

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	P ₂ O ₅
质量分数/%	45.01	35.53	0.90	0.21	1.20	0.36

表5 混凝土的配合比

Table 5 Mix proportion of concrete

试样 编号	水泥 /(kg·m ⁻³)	砂子 /(kg·m ⁻³)	石子 /(kg·m ⁻³)	粉煤灰 /(kg·m ⁻³)	用水量 /(kg·m ⁻³)	矿粉 /(kg·m ⁻³)	高岭土 /(kg·m ⁻³)	替代率 w/%
1号	165	760	1120	165	205	149	0	0
2号	165	760	1120	165	203	134	15	10
3号	165	760	1120	165	200	119	30	20
4号	165	760	1120	165	198	104	45	30
5号	165	760	1120	165	197	89	60	40

表5中1号为基准样,2号、3号、4号、5号分别为高岭土替代率为10%,20%,30%,40%的低碳混凝土试样。

2 试验结果与分析

2.1 煅烧高岭土的特性

图1为煅烧后高岭土的SEM与FTIR谱图。由图1(a)可知,煅烧高岭土是由大量的纳微米级管状

和条状颗粒组成,呈疏松的堆积态,这种物态使高岭土具有高分散性。图1(b)显示,谱图中3552 cm⁻¹处为结构配位水和层间吸附水的H—O键伸缩振动峰,说明煅烧后的高岭土没有完全脱水,仍含有少量结构水;1620 cm⁻¹处为Si—O伸缩振动峰,1097 cm⁻¹处为高岭土的Al—O—Si振动峰;469 cm⁻¹处附近为Si—Al振动峰。这些官能团说明煅烧高岭土主要是硅铝化合物,具有水化活性。

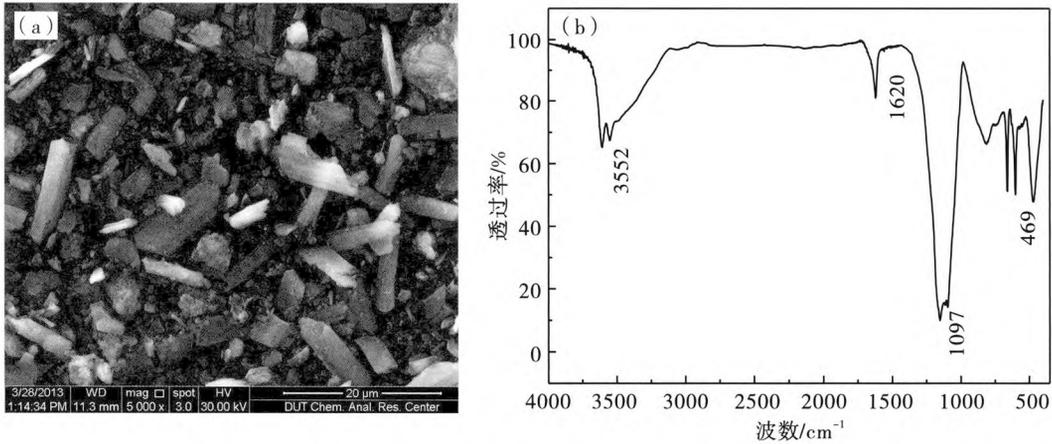


图 1 煅烧后高岭土的 SEM(a)与 FTIR 谱图(b)

Fig. 1 SEM(a) and FTIR(b) spectra of kaolin after calcination

2.2 混凝土试样的力学性能

以煅烧高岭土粉替代基准混凝土中矿粉总质量的 10%~40%，按照表 5 的配合比制作低碳混凝土样块. 根据 GB/T50081-2002《普通混凝土力学性能试验方法》对养护 3d,7d,28d 的混凝土样块进行抗压强度测试,测试结果列于表 6.

表 6 混凝土试块抗压强度的试验结果

Table 6 Experimental results of compressive strength of concrete blocks

试样编号	抗压强度/MPa		
	3d	7d	28d
1 号	13.9	20.8	32.6
2 号	14.2	21.5	33.8
3 号	13.9	20.2	32.1
4 号	13.5	19.3	31.9
5 号	12.4	18.4	31.7

由表 6 可知,随着煅烧高岭土粉用量增加,低碳混凝土的抗压强度呈先增后减的趋势. 当煅烧高岭土粉替代 10%矿粉时,混凝土抗压强度略有提高,3 d、7 d 和 28 d 的强度分别提高了 2.2%、3.4%和 3.7%. 一方面,煅烧高岭土粉多为纳米级颗粒,在混凝土混合中起到了填充效应,减少了用水量;另一方面,高岭土经过煅烧之后,活化了矿物组分,参与了早期的水化反应,有效地提高了混凝土的抗压强度. 当煅烧高岭土粉替代率达到 20%时,低碳混凝土的试样的抗压强度与基准低碳混凝土的相近. 继续增

大替代率,低碳混凝土试样在 3 d 和 7 d 的抗压强度低于基准混凝土,但在 28 d 的抗压强度与基准混凝土相差不大. 这可能是因为:虽然煅烧高岭土纳米级颗粒的填充使混凝土用水量降低,但煅烧高岭土中的活化矿物组分 Al_2O_3 和 SiO_2 早期水化程度仍低于钙质的矿粉,使受检低碳混凝土的早期强度低,但随着水泥水化产生 $Ca(OH)_2$,并与煅烧高岭土中的 Al_2O_3 和 SiO_2 继续反应,保证了 28 d 的抗压强度与基准混凝土的相差不大.

2.3 混凝土试样的收缩性能

将所制备的混凝土试样 1~5 号养护 28 d 后进行收缩性检测. 基准混凝土试样 28 d 收缩率为 2.65×10^{-6} ,以低碳混凝土 28 d 的收缩率与基准混凝土收缩率的比值为收缩率比,测试结果如图 2 所示. 由

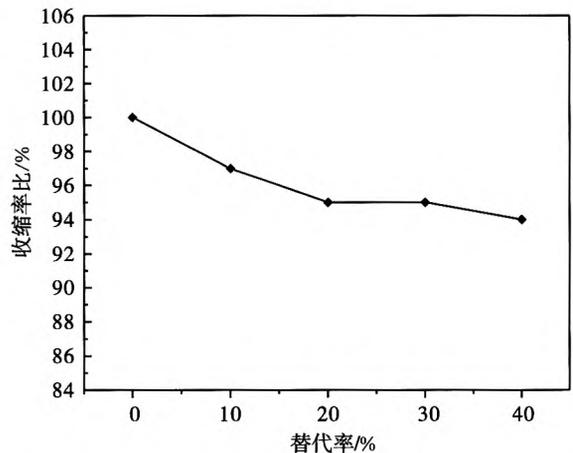


图 2 煅烧高岭土粉的添加量对混凝土收缩率比的影响

Fig. 2 Effect of addition amount of calcined kaolin powder on concrete shrinkage ratio

图2可知,低碳混凝土试样的收缩率比均小于基准低碳混凝土的收缩率比。当煅烧高岭土替代矿粉质量分数为20%时,试样的收缩率比为95%。继续增大煅烧高岭土的替代率,混凝土的收缩率比变化不明显。煅烧高岭土中含有大量的活化矿粉组分 Al_2O_3 和 SiO_2 , Al_2O_3 和 SiO_2 与 $Ca(OH)_2$ 反应生成硅铝酸盐结构的胶凝材料,进一步填充了混凝土的毛细孔,在一定程度上降低了其表面张力,减小了收

缩率比。

2.4 混凝土试样的抗冻融性

根据标准 GB/T 50082-2009《普通混凝土长期耐久性能试验方法》,将混凝土试样经过28 d养护后进行快速冻融试验,经200次冻融循环后,试验结果列于表7。

表7 低碳混凝土试样冻融前后的试验结果

Table 7 Comparison test of low-carbon concrete samples before and after freeze-thaw

试样编号	质量 m/g		质量损失率/%	抗压强度/MPa		强度损失率/%
	冻融前	冻融后		冻融前	冻融后	
1号	9646	9566	0.83	32.6	30.0	7.90
2号	9638	9569	0.72	33.8	31.7	6.12
3号	9625	9561	0.66	32.1	30.2	5.83
4号	9620	9559	0.63	31.9	30.1	5.56
5号	9616	9557	0.61	31.7	29.9	5.67

由表7可知,快速冻融试验后,混凝土试块的质量与抗压强度均比试验前低。当煅烧高岭土替代矿粉的质量分数为20%时,混凝土试样的质量损失率和抗压强度损失率分别比基准样品减少了0.17%和2.07%;继续增大煅烧高岭土的替代率,试样的质量损失率和抗压强度损失率减小。这主要是因为煅烧高岭土粉掺入低碳混凝土后,纳米级的颗粒填充并减少了混凝土内部孔径,使低碳混凝土结构更加致密,从而改善了低碳混凝土的抗冻融性能。

3 结论

(1)500℃煅烧高岭土是由大量纳微米级管状、条状组成,呈疏松的堆积态,含有少量的结构水,这种物态使煅烧高岭土中硅铝化合物具有高分散性和高水化活性。

(2)当煅烧高岭土替代矿粉质量分数为20%时,低碳混凝土样块的抗压强度与基准混凝土的相近,其收缩率比为95%;经过200次冻融循环后,其

质量损失率和抗压强度损失率比基准混凝土减少了0.17%和2.07%。

(3)煅烧高岭土的纳米级颗粒填充效应和活化矿物组分是改善低碳混凝土性能的主要因素。

参考文献:

- [1] 殷海荣,武丽华,陈福,等. 煅烧高岭土粉的研究与应用[J]. 材料导报,2006,20(4):196.
- [2] 张金山,李晨,张国英,等. 纳米高岭土粉对水泥混凝土性能的影响[J]. 中国非金属矿工业导刊,2012(4):24-25.
- [3] 杜小满,刘钦甫,邢楠,等. 煅烧煤系高岭土和硅粉用于混凝土的对比实验[J]. 金属矿山,2010(9):170-172.
- [4] 刘旭晨,赵景海. 矿物掺合料对高强混凝土配制的影响[J]. 混凝土,2002(10):46-49.
- [5] 钱小倩,李宗津. 掺偏高岭土的高强高性能混凝土物理力学性能[J]. 混凝土与水泥制品,2001(1):16-18.
- [6] 陈益兰,赵亚妮,李静,等. 偏高岭土替代硅灰配制高性能混凝土[J]. 硅酸盐学报,2004,32(4):524-529.

Study on the effects of calcined-kaolin powder on low-carbon concrete

GUO Chunfang¹, ZHANG Ming²

1. *Shandong Silk Textile Vocational College, Zibo 255300, China*; 2. *Shandong Huawei Yinkai Building Materials Co., Ltd., Zibo 256410, China*

Abstract: The calcined kaolin powder was replaced by mineral powder in a certain proportion to prepare low carbon concrete. The characteristics of calcined-kaolin powder and the effects on the mechanical properties, shrinkage and freeze-thaw resistance of low-carbon concrete were studied. The results show that the calcined kaolin powder has a filling effect and a high hydration activity. When the mass fraction of the substitute mineral powder is 20%, the compressive strength of the low carbon concrete is similar to that of the reference concrete, and the 28d shrinkage ratio is reduced by 5%; after 200 freeze-thaw cycles, the mass and compressive strength are lost. The rates were reduced by 0.17% and 2.07% compared to the baseline concrete, respectively.

Key words: calcined-kaolin; low-carbon concrete; performance influence