

废弃水泥的循环再利用及力学性能试验分析

陈亮

(重庆邮电大学,重庆市 400065)

摘要:为了将废弃水泥进行二次循环再利用,在试验室内收集建筑废弃水泥材料,对其进行破碎、研磨和热处理,方便再次使用,然后将废弃水泥与常用的粉煤灰活性掺和料进行结合,制备出新型水泥材料进行试验分析。结果表明:用工业副产品粉煤灰和废弃水泥材料生产的新型水泥材料的方案是可行的,少量添加建筑废弃水泥材料(约5%)可使水泥的28 d抗压强度提高50%以上,并且所制备的建筑材料的抗压强度可达90 MPa左右。

关键词:废料水泥;循环利用;力学性能;试验分析

中图分类号:U414

文献标志码:A

可持续发展是当今世界的一个紧迫课题,节能减排是建筑业发展的关键因素。众所周知,再生建筑垃圾作为一种环境友好型建筑材料具有巨大的应用潜力^[1]。对于再生粗骨料,其对再生混凝土性能的影响受到广泛研究。其中许多研究集中在再生粗骨料混凝土的疲劳性能^[2]、耐久性^[3]、力学性能^[4]等。但是,由于再生粗骨料基本性能的变化,使得再生骨料混凝土的性能会有很大的差异。此外,近年来再生细骨料也引起了人们的广泛关注。例如,再生细骨料的特性^[5]、再生细骨料混凝土的新拌和硬化特性^[6]等。然而,值得注意的是,大量关于建筑垃圾再生利用的研究都集中在再生骨料上,对再生建筑废弃水泥的应用研究较缺乏。

在再生建筑废弃水泥材料中,硬化水泥浆体是主要成分,在高温(300~1 000 °C)环境下可恢复水化能力^[7-8]。然而,所有相关的研究都只集中在高温下硬化水泥浆体的性能评价上,脱水水泥浆在实践中应用很少。根据之前的调查,发现脱水水泥浆具有高pH值和高活性^[9]。实际上,脱水水泥浆的这些基本性质可以合理地再利用。例如,高pH值的脱水水泥浆适合于活化酸性氧化物,制备预制材料,而高活性的脱水水泥浆则可以促进水泥水化,促进水泥微观结构的发展^[10]。

本文主要研究如何有效地利用再生建筑废弃水

泥材料。首先从建筑垃圾凝胶材料中回收建筑废弃水泥材料,然后用于生产预制建材和高性能水泥外加剂,并对其影响因素进行研究。

1 材料和试验方法

1.1 材料

试验采用普通硅酸盐水泥P.O52.5级(在试验室中已经废弃不使用的水泥材料)和平均粒径小于0.075 mm的粉煤灰。所用水泥和粉煤灰的基本性能如表1所示。

表1 材料基本性能

性质	表面积/ ($\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$)	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	初凝时 间/min	终凝时 间/min
水泥	334	3 040	190	240
粉煤灰	325	2 136	—	—

1.2 试验方法

1.2.1 废弃水泥材料的处理

在考虑不同热处理温度后的废弃水泥材料的活性和试验过程中的能量消耗后,对废弃水泥进行处理,制备出脱水水泥浆,即废弃水泥的二次应用^[11],然后将其用于生产新型建筑材料。脱水水泥浆的化学成分如表2所示。

收稿日期:2022-01-04

科技项目:国家自然科学基金资助项目(编号:51505054)

作者简介:陈亮,男,工程师.E-mail:chenliang@cqupt.edu.cn

表 2 材料的化学成分 %

材料	废弃水泥	粉煤灰
SiO ₂	22.45	50.26
Al ₂ O ₃	6.13	38.88
Fe ₂ O ₃	3.76	3.76
CaO	60.37	3.44
MgO	3.28	0.29
SO ₃	1.86	0.73
Na ₂ O	0.26	0.31
K ₂ O	0.75	0.96
其他	1.15	1.35

1.2.2 稠度和凝固时间测量

根据《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》(GB/T 1346—2011)对水泥基复合材料正常稠度和凝固时间所需的水进行测定^[12]。测量稠度和凝固时间的配合比见表 3。

表 3 稠度和凝固时间测量配合比 %

废弃水泥	粉煤灰	废弃水泥	粉煤灰
60	40	45	55
55	45	40	60
50	50	35	65

1.2.3 抗压强度测试

基于稠度和凝结时间的测量,新设计的抗压强度试验配合比如表 4 所示。在试验过程中,采用 40 mm×40 mm×40 mm 的钢模浇筑试块,在振动台上振实^[13]。24 h 后,将这些立方体试样脱模,并在 20 ℃和 95% 以上的相对湿度下进行喷雾养护。养护条件:喷雾养护 24 h 后,将试样在 95 ℃的蒸气室中再养护 24 h。然后,将样品缓慢冷却至室温并进行测试。

表 4 抗压强度试验配合比

废弃水泥/%	粉煤灰/%	水胶比	废弃水泥/%	粉煤灰/%	水胶比
25	75	0.3	40	60	0.3
30	70	0.3	45	55	0.3
35	65	0.3	50	50	0.3

2 试验结果与讨论

2.1 粉煤灰掺量对新型材料的影响

2.1.1 正常稠度所需水量和凝固时间

粉煤灰/废弃水泥材料正常稠度所需的水与粉

煤灰掺量之间的关系如图 1 所示。

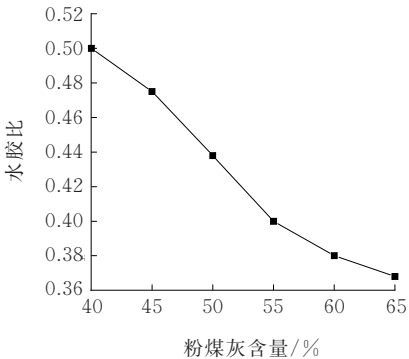


图 1 新型材料正常稠度所需水胶比随粉煤灰掺量变化

图 1 表明:粉煤灰掺量的增加可以使粉煤灰/废弃水泥材料所需水量线性下降,达到正常稠度。例如,当使用 40% 的粉煤灰时,粉煤灰/废弃水泥材料正常稠度所需的水胶比约为 0.50,添加 65% 的粉煤灰后,水胶比急剧下降至 0.37 左右。因此,粉煤灰的加入可以限制废弃水泥材料的吸水能力,有利于胶凝材料的应用。

图 2 为具有正常稠度的粉煤灰/废弃水泥材料的初凝和终凝时间。

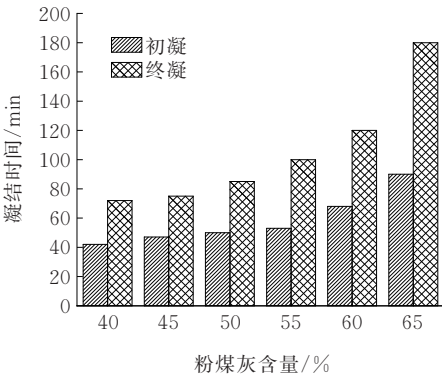


图 2 新型材料的凝固时间随粉煤灰掺量的变化

图 2 表明:粉煤灰的加入可以提高粉煤灰/废弃水泥材料的初凝和终凝时间。当混合料中使用 65% 的粉煤灰时,其初始和最终凝固时间约为 90 min 和 180 min,与硅酸盐水泥的凝固时间相似。

2.1.2 抗压强度

预制样品的抗压强度随新型材料中粉煤灰含量的变化如图 3 所示。

由图 3 可知:当粉煤灰含量从 50% 增加到 55% 时,粉煤灰/建筑废弃水泥材料的抗压强度略有提高。随后,随着粉煤灰含量的进一步增加,粉煤灰/建筑废弃水泥材料的抗压强度急剧下降。根据图 3

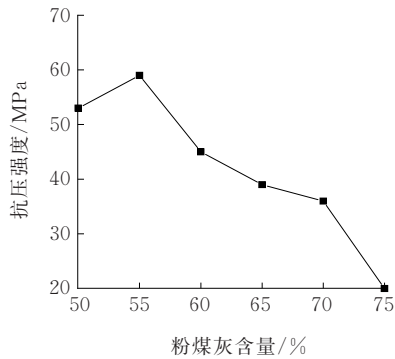


图3 预制建筑材料抗压强度随粉煤灰含量的变化

结果,当粉煤灰掺量为复合材料的55%左右时,可以获得新型建筑材料的最大抗压强度(58 MPa),这一现象应归因于粉煤灰/建筑废弃水泥材料中生成的反应产物的数量^[14-15];当原料(建筑废弃水泥材料和粉煤灰)中活性CaO和SiO₂的总量能够很好地匹配时,可以产生更多的反应产物,并使材料的力学性能得到改善。试验结果表明,当粉煤灰与建筑废弃水泥材料的质量比为21:19左右时,新型建筑材料的抗压强度最大。

2.2 建筑废弃水泥材料掺量对新型材料的影响

2.2.1 正常稠度所需水量和凝固时间

水泥正常稠度所需水量随建筑废弃水泥材料用量的变化如图4所示。

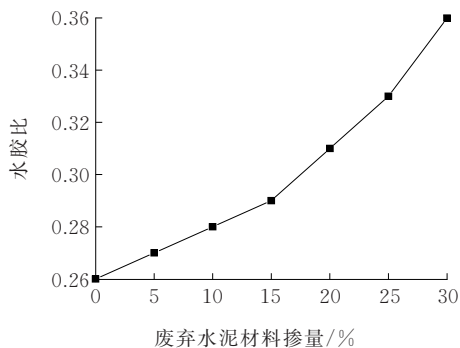


图4 水泥正常稠度所需水胶比随建筑废弃水泥材料掺量的变化

由图4可知:建筑废弃水泥材料的加入使水泥浆体所需水量线性增加,达到正常稠度。但当建筑废弃水泥材料掺量仅为5%左右时,正常稠度所需的水接近纯水泥(0.268)。

图5为正常稠度下,建筑废弃水泥材料的水泥浆初凝和终凝时间。

由图5可见:随着建筑废弃水泥材料掺量的增加,水泥的凝结时间逐渐减少,但建筑废弃水泥材料

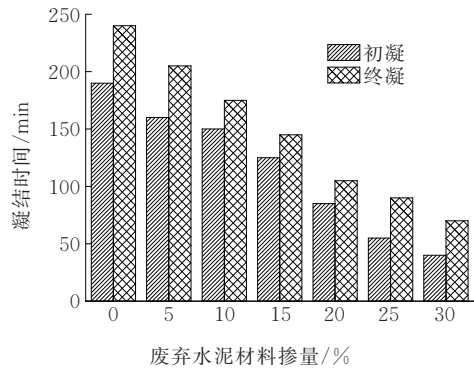


图5 凝结时间随建筑废弃水泥材料掺量的变化

掺量约为5%的水泥凝结时间与纯水泥最接近。因此,当建筑废弃水泥材料掺量为5%左右时,对水泥正常稠度所需水量和凝结时间影响不大。

2.2.2 抗压强度

不同建筑废弃水泥材料含量的水泥28 d抗压强度如图6所示。

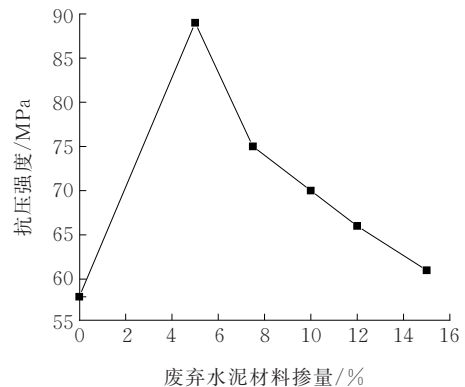


图6 抗压强度随建筑废弃水泥材料含量的变化关系

由图6可知:与纯水泥(56.2 MPa)相比,建筑废弃水泥材料的加入能显著提高水泥(最大89.1 MPa)的抗压强度,但强度发展趋势是先增大后减小。这种现象应归因于建筑废弃水泥材料的细颗粒效应^[16-17]:它能促进水泥水化,改善硬化水泥的微观结构。然而,当添加过量的建筑废弃水泥材料时,水泥量会同时减少,从而导致抗压强度降低^[18-20]。因此,存在最佳的建筑废弃水泥材料用量,在该用量下,建筑废弃水泥材料的正负影响可以很好地平衡。

3 结语

分析了建筑废弃水泥材料的循环二次利用,经过一系列的处理,将建筑废弃水泥材料与粉煤灰灰

料进行结合制备出新型建筑材料。试验结果表明:建筑废弃水泥材料能有效活化粉煤灰,制备出抗压强度较高(89.1 MPa)的新型建筑材料。研究表明:少量添加建筑废弃水泥材料(约5%)可使水泥的28 d抗压强度提高50%以上。在实际工程中,除了在材料检测试验室外,还可以在其他地方找到和收集废弃的胶凝材料。若能充分利用这些建筑废弃水泥材料,将对建筑业的可持续发展产生较大的社会和经济效益。

参考文献:

- [1] 董剑文,王为民,冯莹,等.粉煤灰作新型建筑砂浆胶凝材料试验[J].建材发展导向,2016(9):278-279.
- [2] 侯永利,郑刚.再生骨料混凝土不同龄期的力学性能[J].建筑材料学报,2013,14(4):683-687.
- [3] 刘珂.硫酸盐与冻融耦合下掺锂渣再生粗骨料混凝土耐久性试验研究[D].乌鲁木齐:新疆大学,2019.
- [4] 王江浩,耿欧,李富民.再生粗骨料多种改性方法对混凝土抗压强度提升效果的试验[J].建筑科学与工程学报,2016,33(2):91-97.
- [5] 薛丽皎,郭光玲,林友军.废玻璃细骨料再生混凝土的性能研究[J].陕西理工大学学报(自然科学版),2019,35(5):39-44.
- [6] 陈欣,郑建岚.高性能再生混凝土硬化浆体水化特性研究[C]//第十届全国高强与高性能混凝土学术交流会,2016:148-157.
- [7] 张书铭.高铁低钙硅酸盐水泥的水化特征及流变性能[D].武汉:武汉科技大学,2019.
- [8] 齐太山.高炉镍铁渣粉在复合胶凝材料中的水化机理与性能研究[D].长沙:湖南大学,2018.
- [9] 颜帮川,李中,刘先杰,等.粉煤灰及矿渣对水泥浆体系早期水化热效应的控制研究[J].硅酸盐通报,2019,38(1):52-59.
- [10] 何小芳.水泥浆体水化产物的非热等温分解反应动力学及理论研究[D].南京:东南大学,2016.
- [11] 高启聚,丛林,郭忠印.废弃水泥混凝土路面板在路面基层中的再生利用[J].公路交通科技,2008,26(2):20-23.
- [12] 孙吉书,肖成志,窦远明.废旧水泥路面板再生混凝土的力学特性试验研究[J].混凝土,2013(2):85-86.
- [13] 马成畅,朱斌,叶青,等.在水热作用下废弃水泥基材料的再生研究[J].新型建筑材料,2011(6):5-7.
- [14] 张超,徐桂萍.废弃水泥混凝土再生集料需水量问题分析[J].公路,2004,59(12):182-185.
- [15] 鲁攀,王明,祝学寿,等.水泥稳定废砖再生集料的路用性能研究[J].中外公路,2016,36(2):244-248.
- [16] 戴范,刘枫,黄希望,等.一级公路高液限土水泥改良试验研究[J].中外公路,2020,40(1):248-250.
- [17] 徐世法,王荣伟,高玉梅,等.水泥再生废旧二灰稳定碎石抗疲劳性能评价[J].公路,2019,64(10):29-33.
- [18] 于皓,林忠财,李永学,等.水泥基材料产生的粉末废弃物的潜在应用与挑战[J].混凝土,2018(8):105-108.
- [19] 李玉梅,栗威,王自浩.建筑废弃物再生水泥稳定基层的配合比设计与力学性能[J].筑路机械与施工机械化,2019(7):52-57.
- [20] 吴相豪,戴圣男,李志卫,等.高温后水泥基材料抗压强度与微观结构研究[J].硅酸盐通报,2019,38(6):1755-1758,1763.