

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2016.06.012

# 矸石及粉煤灰混凝土力学性能试验研究

黄金坤,姚文杰,严旺,何壮志,肖洁

(安徽理工大学 土木建筑学院,安徽 淮南 232001)

**摘要:** 煤矿生产使用过程中产生大量煤矸石和粉煤灰等废弃物处理不当会造成环境污染,为了降低污染和废物的二次利用,将一定配合比废弃物代替部分水泥和沙石配制出混凝土,进行粉煤灰和煤矸石混凝土抗压强度和抗剪试验,并与普通混凝土进行强度对比和经济效益分析。实验结果表明粉煤灰混凝土和煤矸石混凝土即可以满足强度要求,并且具有施工简单和成本低廉等优点,具有较为广泛应用前景。

**关键词:** 煤矸石;粉煤灰;混凝土;抗压强度;抗剪强度;经济效益

中图分类号: TU528

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2016)06-0059-04

## Mechanical Property Experiment of Gangue Concrete and Fly Ash Concrete

HUANG Jinkun, YAO Wenjie, YAN Wang, HE Zhuangzhi, XIAO Jie

(Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001, China)

**Abstract:** Coal mine production process use a large number of coal gangue and fly ash and other wastes disposal which can cause environmental pollution, in order to reduce the secondary pollution and promote waste utilization, this paper proposed a mixing proportion instead of some cement and stone to makes concrete with fly ash and coal gangue concrete compressive strength and shear test, and compared with normal concrete strength contrast and the analysis of economic benefits. The results show that fly ash concrete and the coal gangue concrete can meet the strength requirement, and has advantages of simple construction and low cost, thus has a wider application prospect.

**Keywords:** coal gangue; fly ash; concrete; compressive strength; shear strength; economic benefits

国家“十三五”规划绿色发展理念的提出,指导了企业对绿色混凝土的发展和推广。所谓绿色混凝土就是指将工业上残留下来的废渣作为制作混凝土主要的细掺料,从而使混凝土的制作中水泥用量降低到30%~50%的水泥含量低的生态型混凝土。在确保不损害混凝土的内部结构及其合理性能的前提下,研究制出具有高耐久性、适用性、工作性、体积稳定性以及经济合理的中等强度的混凝土是非常必要的<sup>[1-3]</sup>。在现实生活中对粉煤灰和煤矸石作为工业废料是没有办法避免的,长时间的积累存放和排弃的情况不单单是占用了大量的土地,与此同时在遇到一定的条件还会产生自燃的情况,对空气及地下水都会造成严重的污染。工业中利用煤矸石来当作混凝土细掺料来生产我们工业中常使用的普

通混凝土,一方面能减少煤矸石的堆积量,减轻对环境造成的压力;另一方面也可以明显减少在建筑工程过程中对天然集料的使用量情况<sup>[4-6]</sup>。

粉煤灰和煤矸石被用来当作混凝土的细掺料,但是具体掺量的多少不单单会影响混凝土的强度,还会在一定程度上影响混凝土的耐久性、和易性以及潮水性。据有的研究表明,粉煤灰和煤矸石的掺入会对混凝土的早期强度产生一定的强度影响,会使其强度有一定的降低,但是后期的强度会明显优于普通的混凝土<sup>[7-8]</sup>。为了研究不同掺量的粉煤灰和煤矸石对混凝土强度的影响,本文选用10%和20%掺量的粉煤灰以及煤矸石三种集料分别掺入混凝土中,对其抗压和抗剪强度进行研究分析,试验其强度能否达到使用要求,同时能否具有良好的发展

收稿日期:2016-08-11

修稿日期:2016-09-09

基金项目:国家安全监管总局安全生产重大事故防治关键技术科技资助项目(Anhui-0003-2016AQ);安徽省高校自然科学重大资助项目(KJ2015ZD20)

作者简介:黄金坤(1992-),男,江苏泰州人,硕士研究生,研究方向为岩土工程。E-mail: jkunhuang@163.com

前景。

## 1 原材料及试验方法

### 1.1 材料组成

材料选用见表 1。

表 1 材料组成

胶凝材料	骨料	外加剂	水
水泥、粉煤灰	石子、砂、煤矸石	减水剂	自来水

表 2 粉煤灰的主要化学含量

成分	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	烧失量
含量/%	53.26	34.72	4.07	2.47	0.39	0.00	1.90	0.00	4.07

(2) 煤矸石:采用淮南某矿产的煤矸石,主要成分为石灰岩,颜色为黑色,堆积密度为 1 300 kg/m<sup>3</sup>。

减水剂:采用苏州某厂生产的聚羧酸减水剂。

## 2 试件制备和试验测试

### 2.1 材料配合比

试验制作了普通混凝土试件、粉煤灰混凝土试件、煤矸石混凝土试件以及商混试件。每种试件分别制作两种尺寸,尺寸分别为 300 mm × 300 mm × 150 mm 和 300 mm × 240 mm × 120 mm。粉煤灰混凝土样品里粉煤灰的掺量分别占水泥用量的 10% 和 20%,矸石混凝土里矸石完全取代石子,具体配合比见表 3。

表 3 样品的原材料和配合比

样品	原材料	配合比(重量比)
纯混凝土	水泥 黄砂 石子 水	1:1.34:3.11:0.45
10% 粉煤灰混凝土	水泥 黄砂 石子 粉煤灰 10% 水	1:1.34:3.11:0.60:0.45
20% 粉煤灰混凝土	水泥 黄砂 石子 粉煤灰 20% 水	1:1.34:3.11:1.36:0.45
矸石混凝土	水泥 黄砂 矸石 水	1:1.34:3.52:0.45
商品混凝土	水泥 黄砂 石子 粉煤灰 水	1:3.51:4.33:0.49:0.45

### 2.2 试件制备

参照正交试验法,共设计了 6 组试验,每组试验都有 1 个 300 mm × 300 mm × 150 mm 试件和 300 mm × 240 mm × 120 mm 试件。在标准养护条件下养护 28 d,达到一定强度后,对试件钻芯取样,每一个试件上取 5 个芯,3 个取芯用于测定抗压强度,2 个取芯用于测定抗剪强度。抗剪强度测试所取芯的高度为抗压强度测试所取芯的高度的 1/2。

### 1.2 试验原材料

水泥:采用淮南当地某水泥厂生产的 P. O42.5 级水泥。

粉煤灰:采用淮南某电厂 I 级粉煤灰,粉煤灰主要组成成份见表 2。

石子:采用石子粒径为 5 mm ~ 16 mm,堆积密度为 1 580 kg/m<sup>3</sup>。

(1) 砂:采用淮南本地河砂,含泥量小于 2%,堆积密度为 1 480 kg/m<sup>3</sup>,细度模数为 2.7。

### 2.3 试验仪器选用

本试验采用 WAW - 600 微机控制电液伺服万能试验机,测定所提供样本的抗压强度和抗剪强度。

## 3 试验结果与分析

### 3.1 试验结果

#### 3.1.1 抗压强度

通过试验对制作的所有样品进行测试,依次得到其抗压强度,其中每组样品的抗压强度有 2 个,对每组样品的抗压强度取平均值进行分析,并将其以柱状图的形式整理,具体参见图 1,试件破坏情况见图 2。

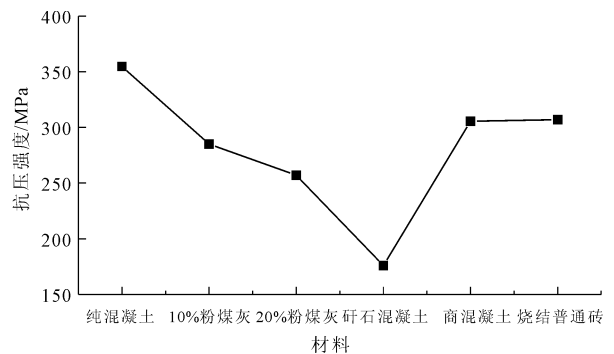


图 1 抗压强度结果对比

由图 1 我们可以发现矸石混凝土的抗压强度是较大的,大约为商用混凝土强度的 158.32%,可是看出这个测试结果是大大优于商用混凝土的早期强度的。在对比之后会发现 10% 和 20% 粉煤灰混凝土与我们工业中的商用混凝土以及烧结的普通砖的抗压强度差不多是相同的,即使 20% 粉煤灰混凝土在早期其抗压强度比较差,但是其在强度上也达到了我们普通的商用混凝土抗压强度的 84.58%,进而可以得出其能够满足抗压强度要求。

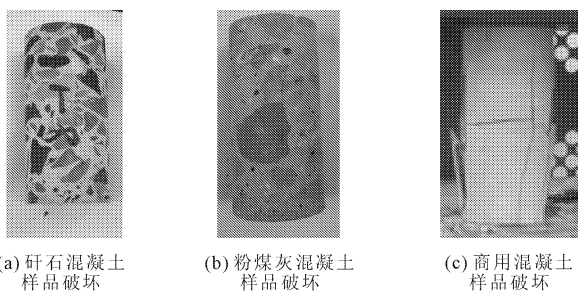


图 2 样品抗压破坏情况

由样品的抗压强度破坏图 2(a)~图 2(c) 观察得出,矽石混凝土的破坏特征不很明显,而粉煤灰破坏只有一道不很明显的裂缝,商用混凝土破坏明显。就破坏结果可以看出,矽石混凝土强度及整体性能优越,粉煤灰稍差,破坏的节理不明显,可以看到只在一侧出现裂缝,而混凝土的裂缝发展明显。

### 3.1.2 抗剪强度

抗剪强度的测量较之抗压强度又略显复杂,在测试过程中调节了 4 种剪切角度,分别为 45°、53°、61°以及 69°剪切角。由测量数据得出折线图,具体参见图 3。

由图 3 可以看出,在任意剪切角下,纯混凝土材料其早期抗剪强度优于其他材料,尤其是在 45°和 53°剪切角下优势极为明显。由图 3 可以看出 10%和 20%粉煤灰混凝土以及矽石混凝土其抗剪强度也较大,在 45°及 53°剪切角下,矽石混凝土的抗剪强度优于商用混凝土的抗剪强度。矽石混凝土抗剪强

度最大达到商用混凝土的 169.73%,最少达商用混凝土的 132.67%,矽石混凝土的优势明显。相比之下,粉煤灰混凝土抗剪强度较之商用混凝土略有不足,最差时在 69°剪切角下,20%粉煤灰混凝土的剪切强度仅为商用混凝土的 28.71%,大大不足,但从整体折线图观察发现抗剪强度并无太大差距,这种现象的出现可能是由于样品在制作及养护过程中出现了问题,属于奇异数据,可不作考虑。在绝大多数情况下,在对抗剪强度要求较高时,如剪力墙等,矽石混凝土非常适用;而在对抗剪要求不高的地方,如装饰墙等,选用粉煤灰混凝土也是可行的。各样品破坏图见图 4。

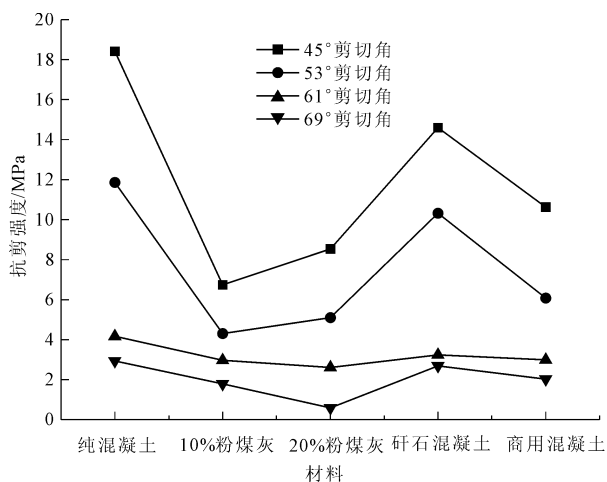


图 3 抗剪强度结果对比

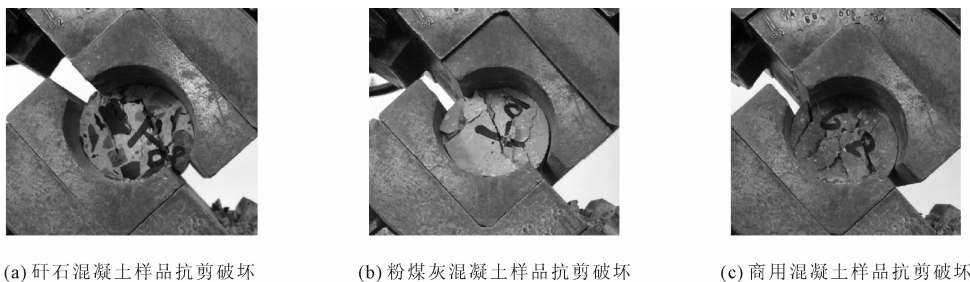


图 4 样品抗剪破坏

## 3.2 对比分析

### 3.2.1 原材料价格

通过对淮南市周边地区材料市场的调研,各项原材料的报价见表 4。结合试件的尺寸,选取了尺寸为 300 mm × 300 mm × 150 mm 的试件来进行分析

计算,分别得出表 5 所示成品价格。

表 4 原材料价格

原材料	水泥	矽石	粉煤灰	黄砂	石子	水
价格/(元·t <sup>-1</sup> )	325.0	—	40.0	140.0	120.0	2.4

表 5 成品价格

材料名称	料石	纯混凝土	10%粉煤灰混凝土	20%粉煤灰混凝土	矽石混凝土	商用混凝土	烧结砖
价格/(元·m <sup>-3</sup> )	460.00	355.31	285.58	260.68	176.43	305.81	307.00

### 3.2.2 试件价格对比

由图 5 得出,纯混凝土价格居高,主要是其原材料的水泥、黄砂及石子的价格较高。同时对 10% 粉煤灰混凝土,20% 粉煤灰混凝土,卵石混凝土和混凝土的造价,发现粉煤灰及卵石混凝土造价低于纯混凝土,尤其是卵石混凝土,其造价远远低于纯混凝土,而 10% 粉煤灰混凝土较之纯混凝土便宜近 70 元/ $\text{m}^3$ ,在大体积使用混凝土的情况下,采用粉煤灰及卵石混凝土是毫无疑问的可以降低工程造价,从而能够节约大笔资金。

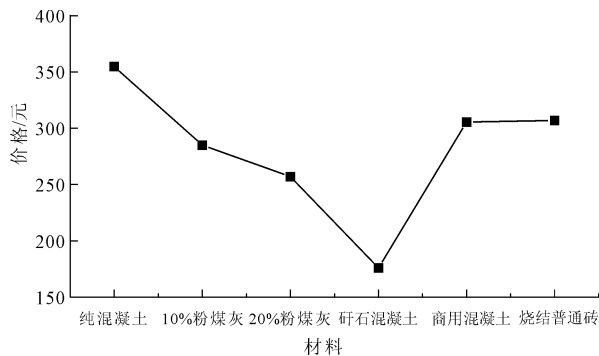


图 5 成品价格与材料关系

普通砖块价格较之粉煤灰及卵石混凝土价格也远远偏高,而料石虽然强度大,取材容易,但其开采难度大,加工制作不宜,导致造价偏高,考虑到其对环境还有较大的破坏,工程上不宜选用。综上所述,粉煤灰及卵石混凝土的性能优越,价格便宜。保护环境的同时提高了企业的综合经济效益,是企业建筑选材和现代生产建筑产品的不二之选,对指导企业建设具有重要意义。

### 3.2.3 试件重量对比

对每组试件进行称重,将其称重取其平均值进行对比分析,卵石混凝土重量最轻,纯混凝土重量最大,其次是商用混凝土,而 10% 和 20% 粉煤灰混凝土的重量也较轻,重量降低对工程而言意义重大。

## 4 结 论

(1) 从环保的角度来看,粉煤灰及煤矸石是工业废料,堆置不仅占用土地资源,同时对周围环境造成影响,还需要大量的资金去处理。混凝土是建筑工程中使用最多的材料,因此其水泥及碎石的用量达到了很高的程度,但是水泥及碎石的生产对环境的破坏也是相当巨大的,粉煤灰以及煤矸石代替了混凝土中的水泥与石子,减少了水泥和砂子的用量,减轻对环境的破坏。

(2) 从力学性能与经济的角度来看,煤矸石及

粉煤灰混凝土的质量相对比于商用混凝土,其质量较轻,但是抗压、抗剪强度却没有明显的不足,在施工中,不仅降低了结构物的自重,而且令工人的劳动强度降低,提高施工效率;同等比例条件下,粉煤灰及煤矸石的造价均低于水泥和碎石的造价,在一定程度上降低施工成本,为提高企业经济效益提供了可靠依据。

(3) 从材料的角度来看,在工业中将煤矸石作为配制混凝土的掺合料在实际中使用,不但可以使混凝土的和易性得到改善,而且还能够提高混凝土结构的致密程度以及耐硫酸盐侵蚀的性能。将粉煤灰作为混凝土掺合料,用较低的含水量即可达到不加粉煤灰的混凝土相同的和易性,塌落度损失小,使粘聚性得到提高。

(4) 本研究成果已成功应用于淮北矿业集团杨庄煤矿,并申报了国家发明专利。根据对杨庄煤矿的年混凝土使用量进行统计,大概能达到 10 000  $\text{m}^3$ ,经过计算,选用价格较高的 10% 粉煤灰混凝土能节约近 70 万元,大大节约成本。

### 参考文献:

- [1] 韩晓静. 超细粉煤灰混凝土力学性能实验研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2013: 1-3.
- [2] 朱泽忠. 煤矸石混凝土的研制及其性能测试[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2014: 1-3.
- [3] 冯飞胜, 成云海, 孙振平, 等. 卵石粒径对卵石混凝土性能影响的研究及运用[J]. 混凝土, 2015(3): 108-110, 117.
- [4] 姚韦靖, 庞建勇. 超细粉煤灰与粉煤灰混凝土力学性能对比试验研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2015(12): 10-13.
- [5] 张文博, 毛明杰, 杨秋, 等. 粉煤灰混凝土的单轴与劈裂抗拉强度研究[J]. 兰州理工大学学报, 2015, 41(6): 10-13.
- [6] 丁莎, 牛获涛, 王家滨. 喷射粉煤灰混凝土微观结构和力学性能试验研究[J]. 硅酸盐通报, 2015, 34(5): 1187-1192.
- [7] 韩少渊, 李春晖, 尹利, 等. 粉煤灰混凝土保护层锈胀开裂裂缝形态试验研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2012, 10(3): 67-70.
- [8] 何浙浙, 郑学成, 林社勇. 粉煤灰混凝土强度统计特性的试验研究[J]. 土木工程学报, 2011, 44(S1): 59-65.
- [9] 危加阳. 按水灰比修正的混凝土强度公式在粉煤灰混凝土配合比设计中的应用[J]. 水利与建筑工程学报, 2014, 12(3): 133-137.
- [10] 韩俊涛. 天然轻骨料混凝土外掺粉煤灰力学性能及耐久性能试验研究[J]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013: 1-10.
- [11] 刘佳莹, 唐周鸣. 大掺量粉煤灰混凝土力学性能研究[J]. 四川建筑, 2016, 34(2): 287-290.