



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117510162 A

(43) 申请公布日 2024.02.06

(21) 申请号 202410008691.3

(22) 申请日 2024.01.04

(71) 申请人 中冀建勘集团有限公司

地址 050027 河北省石家庄市鹿泉区槐安  
西路555号

(72) 发明人 李华伟 聂庆科 马康 王国辉  
张良 刘双辰 杨海朋 商卫东  
王俊 陈军红 王庆军 秦禄盛  
于俊超 张日华

(74) 专利代理机构 北京卓胜佰达知识产权代理  
有限公司 16026  
专利代理师 杨洋

(51) Int. Cl.

C04B 28/04 (2006.01)

C04B 111/34 (2006.01)

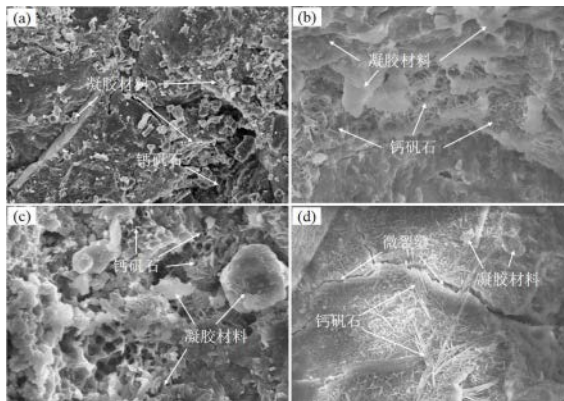
权利要求书1页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

一种高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料及其制备方法

(57) 摘要

本发明提供了一种高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料及其制备方法,属于建筑材料技术领域。本发明通过控制煤气化灰渣粉的掺量和胶凝材料有效化学成分,用煤气化灰渣粉替代部分水泥,制备高韧性混凝土。通过这种方法制备的煤气化灰渣混凝土,混凝土力学性能显著改变,特别是抗折、抗拉强度显著提高,韧性显著增强,表明混凝土具有优良的抗震性、耐久性和安全性。该方法所提供的煤气化灰渣资源化再利用技术,节约资源和能源,有利于工业化生产,能大量处理工业废渣,可以实现大宗工业固废规模化高值化综合利用。



1. 一种高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料,其特征在于,包括以下质量分数的原料:水泥256~405份,煤气化灰渣粉32~90份,砂子720~762份,石子1081~1144份,减水剂3.2~4.2份,水165~170份。

2. 根据权利要求1所述的高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料,其特征在于,包括以下质量分数的原料:水泥288份,煤气化灰渣粉72份,砂子750份,石子1125份,减水剂3.6份,水165份。

3. 根据权利要求1或2所述的高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料,其特征在于,所述凝胶材料中包括质量分数为19.9%~23.3%的 $\text{SiO}_2$ ,7.5%~9.1%的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,53.9%~60.6%的 $\text{CaO}$ 。

4. 根据权利要求1所述的高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料,其特征在于,所述煤气化灰渣粉的制备方法为:将煤气化灰渣烘干后研磨、筛分,得到煤气化灰渣粉;所述筛分为过孔径为0.15mm的方孔筛。

5. 根据权利要求1或2所述的高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料,其特征在于,所述煤气化灰渣粉中粒径小于 $50\mu\text{m}$ 颗粒质量占比为90%以上。

6. 根据权利要求1所述的高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料,其特征在于,所述水泥为42.5强度等级的硅酸盐水泥。

7. 根据权利要求1所述的高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料,其特征在于,所述砂子为黄砂,粒径均小于4.75mm,堆积密度为 $1450\text{m}^3$ 。

8. 根据权利要求1所述的高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料,其特征在于,所述石子为粒径在5~25mm范围内的连续级配的碎石。

9. 根据权利要求1所述的高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料,其特征在于,所述减水剂为聚羧酸高效减水剂。

10. 权利要求1-9任一项所述高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:

将水泥、煤气化灰渣粉、砂子、石子混合,得到混合料;

将减水剂和水混合,将所得混合物加入至所述混合料中,搅拌后成型,得到高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料。

## 一种高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及建筑材料技术领域,特别涉及一种高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 中国是煤炭消耗大国,每年煤气化灰渣的排放量超过5000万吨,对煤气化灰渣的处理方法就尤为重要。若简单直接填埋,占用了宝贵的土地资源,另外填埋场产生的渗透或粉尘容易造成环境污染,直接或间接危害人民健康。若直接做为填充材料和骨料,煤气化灰渣的使用价值偏低。因此,采用环保、高值的资源化、规模化的方式处理煤气化渣不仅是煤化工企业低碳循环发展的迫切需要,同样是提高煤炭资源开发利用效益,构建绿色低碳经济的内在要求。

[0003] 混凝土强度、耐久性一般是混凝土工程技术关注的重点。混凝土强度等级按照抗压值确定,为混凝土工程中最重要参数。抗折、劈裂等抗拉性能由于数值和变化较小,一般研究关注较少。混凝土技术研究多集中于提高混凝土抗压强度,对于抗拉性能研究极少。理论上说,提高混凝土构件的承载力和变形,增加混凝土抗拉强度要比抗压强度更加有效。因此有必要探索提高混凝土抗拉强度方法,以提高混凝土强度、耐久性,获得高韧性混凝土。

[0004] 煤气化灰渣属于煤化工业生产的废弃物。对煤气化灰渣的化学成分分析,硅元素(Si)含量为34.43%,钙元素(Ca)含量为30.35%,铝元素(Al)含量为13.73%,铁元素(Fe)含量为12.19%,其余微量元素含量为9.39%,初步具备了材料活化的可能性,为形成较好的火山灰反应提供了一定的条件。但煤气化渣的矿相以非晶相、石英为主,夹杂方解石、刚玉等矿相,化学反应与胶凝活性低。这是煤气化灰渣规模化和高值化利用的主要障碍。因此对煤气化灰渣活化是当前最可行和最有效的解决途径。提高煤气化灰渣的掺量,制备成混凝土,可以减少水泥用量,消纳工业固废的存储,明显降低混凝土成本。由于原料组配方式和配比差异,混凝土最终性能也将有所不同。因此,设计合适的煤气化渣混凝土配合比,能够为改善混凝土的性能提供条件,也是改善混凝土产品性能的关键因素之一。

[0005] 煤气化灰渣混凝土的原材料包括水泥、煤气化灰渣、砂、石、水、外加剂等,原材料性质和掺量变化对水泥混凝土的强度、耐久性、高韧性影响很大。因此,如何根据原材料性质,有效设计施工配合比,实现水泥混凝土的高韧性质,同时又兼顾经济性,是当前实际应用中亟需解决的难题。

### 发明内容

[0006] 有鉴于此,本发明目的在于提供一种高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料及其制备方法,本发明通过精确控制煤气化灰渣粉的掺量和胶凝材料有效化学成分,用煤气化灰渣粉替代部分水泥,提高了煤气化灰渣掺量,减少了水泥用量,降低了水灰比,明显改善了混凝土强度,尤其是抗拉性质,获得了高韧性混凝土。

[0007] 为了实现上述目的,本发明提供以下技术方案:

一种高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料,包括以下质量分数的原料:水泥256~405份,煤气化灰渣粉32~90份,砂子720~762份,石子1081~1144份,减水剂3.2~4.2份,水165~170份。

[0008] 优选地,所述高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料包括以下质量分数的原料:水泥288份,煤气化灰渣粉72份,砂子750份,石子1125份,减水剂3.6份,水165份。

[0009] 优选地,所述凝胶材料中包括质量分数为19.9%~23.3%的 $\text{SiO}_2$ ,7.5%~9.1%的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,53.9%~60.6%的 $\text{CaO}$ 。

[0010] 优选地,所述煤气化灰渣粉的制备方法为:将煤气化灰渣烘干后研磨、筛分,得到煤气化灰渣粉;所述筛分为过孔径为0.15mm的方孔筛。

[0011] 优选地,所述煤气化灰渣粉中粒径小于 $50\mu\text{m}$ 颗粒质量占比为90%以上。

[0012] 优选地,所述水泥为42.5强度等级的硅酸盐水泥。

[0013] 优选地,所述砂子为黄砂,粒径均小于4.75mm,堆积密度为 $1450\text{m}^3$ 。

[0014] 优选地,所述石子为粒径在5~25mm范围内的连续级配的碎石。

[0015] 优选地,所述减水剂为聚羧酸高效减水剂。

[0016] 本发明还提供了上述技术方案所述高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料的制备方法,包括以下步骤:

将水泥、煤气化灰渣粉、砂子、石子混合,得到混合料;

将减水剂和水混合,将所得混合物加入至所述混合料中,搅拌后成型,得到高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料。

[0017] 与现有技术相比,本发明具有以下有益技术效果:

本发明提供了一种了一种高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料,通过将煤气化灰渣烘干、研磨、筛分活化,并精准控制其粒度分布,用煤气化灰渣粉替代部分水泥,调试渣粉掺量和胶凝材料有效化学成分,制备高韧性混凝土。通过这种方法制备的煤气化灰渣混凝土,其力学性能显著改变,特别是抗折、抗拉强度显著提高,韧性显著增强,表明混凝土具有优良的抗震性、耐久性和安全性。与传统混凝土相比,抗拉强度幅度大幅度提升。将煤气化灰渣粉取代混凝土中部分水泥,降低了水泥用量,在消纳了大量固废材料的同时,还显著提高混凝土韧性,增加了其使用价值,对大宗工业固废的高值化综合利用具有重要意义。

## 附图说明

[0018] 图1为本发明中煤气化灰渣原料SEM形貌特征图;

图2为本发明中硅酸盐水泥和煤气化灰渣粉的粒度分布图,其中图(a)为硅酸盐水泥的粒度分布图,图(b)为煤气化灰渣粉的粒度分布图;

图3为养护28天的煤气化灰渣混凝土试样的SEM图。

## 具体实施方式

[0019] 本发明提供了一种高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料,包括以下质量分数的原料:水泥256~405份,煤气化灰渣粉32~90份,砂子720~762份,石子1081~1144份,减水剂3.2~4.2份,水165~170份。

[0020] 在一些实施方式中,所述高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料,包括以下质量分数的原料:水泥288~340份,煤气化灰渣粉50~75份,砂子740~755份,石子1081~1125份,减水剂3.2~3.6份,水165~168份。

[0021] 在一些实施方式中,所述高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料,包括以下质量分数的原料:水泥288份,煤气化灰渣粉72份,砂子750份,石子1125份,减水剂3.6份,水165份。

[0022] 在本发明中,煤气化灰渣的掺量为煤气化灰渣的质量份数占煤气化灰渣和水泥总质量份数的比值。随着煤气化灰渣的掺量的增多,混凝土的力学性能先增加后降低,当煤气化灰渣粉的掺量在20%时,所得混凝土的力学性能最好。

[0023] 在一些实施方式中,所述凝胶材料中包括质量分数为19.9%~23.3%的 $\text{SiO}_2$ ,7.5%~9.1%的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,53.9%~60.6%的 $\text{CaO}$ ,更优选为包括19.9%~21.6%的 $\text{SiO}_2$ ,7.5%~8.3%的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,57.2%~60.6%的 $\text{CaO}$ 。在本发明中, $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 随着煤气化灰渣的掺量增多而总量也逐渐增加,为凝胶材料水化反应和二次水化反应提供更加充足和更为准确的氧化物配比。

[0024] 在一些实施方式中,所述煤气化灰渣粉的制备方法为:将煤气化灰渣烘干后研磨、筛分,得到煤气化灰渣粉;所述筛分为过孔径为0.15mm的方孔筛。

[0025] 在本发明中,煤气化灰渣中铁质微珠、石英相、方解石被非晶相铝硅酸盐包裹,化学反应与胶凝活性低,如图1所示,因此采用机械研磨破碎,增强煤气化灰渣火山灰性和比表面积,之后通过0.15mm方孔筛除去大颗粒的惰性物质。

[0026] 煤气化灰渣经烘干、研磨、筛分的制备出的煤气化灰渣粉,与普通硅酸盐水泥粒度分布对比,如图2和表1所示,两种物质的粒度分布达到10%和50%时,其对应的粒径相近,分别在 $2.6\mu\text{m}$ 和 $13.6\mu\text{m}$ ~ $15.6\mu\text{m}$ ,当粒度分布达到90%时,水泥与煤气化灰渣粉的颗粒粒径较为相似,可达 $40.0\mu\text{m}$ 和 $49.6\mu\text{m}$ 。可见,煤气化灰渣粉的粒度分布与水泥粒度分布相当,在同一数量级别,相差不大。因此特别的,煤气化灰渣粉的粒度分布,应与水泥粒度分布相当,粒径小于 $50\mu\text{m}$ 颗粒质量占比为90%以上。水泥和煤气化灰渣粉的等效粒径如表1所示,普通硅酸盐水泥和煤气化灰渣的化学成分组成如表2所示。

[0027] 表1.水泥和煤气化灰渣粉的等效粒径

等效粒径	普通硅酸盐水泥	煤气灰渣粉
$D_{10}$	$2.6\mu\text{m}$	$2.6\mu\text{m}$
$D_{50}$	$13.6\mu\text{m}$	$16.5\mu\text{m}$
$D_{90}$	$40\mu\text{m}$	$49.6\mu\text{m}$

[0028] 表2.水泥和煤气化灰渣化学成分组成

凝胶材料	化学成分组成 (%)						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	其他
普通硅酸盐水泥	18.2	6.7	63.9	3.4	2.2	3.0	2.6
煤气化灰渣粉	35.3	14.6	30.6	13.2	1.0	1.7	3.6

[0029] 煤气化灰渣的主要化学成分和水泥相同,为煤气化灰渣替代水泥提供可能。四种氧化物二氧化硅、氧化铝、氧化铁和氧化钙总量在熟料中占90%以上,为凝胶材料水化反应和二次水化反应提供充足的氧化物。其中烧失量LOI,水泥为2.5%,煤气化灰渣为4.3%。

[0030] 在一些实施方式中,所述水泥为42.5强度等级的硅酸盐水泥。

[0031] 在一些实施方式中,所述所述砂子为黄砂,粒径均小于4.75mm,堆积密度为1450m<sup>3</sup>。

[0032] 在一些实施方式中,所述石子为粒径在5~25mm范围内的连续级配的碎石。

[0033] 在一些实施方式,所述减水剂为聚羧酸高效减水剂。

[0034] 本发明还提供了上述技术方案所述高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料的制备方法的制备方法,包括以下步骤:

将水泥、煤气化灰渣粉、砂子、石子混合,得到混合料;

将减水剂和水混合,将所得混合物加入至所述混合料中,搅拌后成型,得到高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料。

[0035] 本发明先将水泥、煤气化灰渣粉、砂子和石子混合得到混合料。本发明优选在搅拌机中将水泥、煤气化灰渣、砂子和石子混合,本发明对所述搅拌机的转速没有特殊的限定,能够将物料混合均匀即可。

[0036] 得到混合料后,本发明将减水剂和水混合,将所有混合物加入至所述混合料中,搅拌后成型,得到掺煤气化灰渣混凝土。本发明对减水剂和水混合的过程没有特殊的限定,按照本领域熟知的过程能够将物料混合均匀即可。

[0037] 在本发明中,将减水剂和水的混合物加入至混合料中后,搅拌的时间优选为120~150s,更优选为130~140s。本发明所述搅拌的速率没有特殊的限定,按照本领域熟知的过程能够将物料混合均匀即可。

[0038] 在本发明中,所述成型优选采用振动台振动成型。本发明对所述振动的具体过程没有特殊的限定,按照本领域熟知的过程能够将物料振实得到混凝土即可。

[0039] 为了更好地理解本发明,下面结合实施例进一步阐明本发明的内容,但本发明的内容不仅仅局限于下面的实施例。

[0040] 以下实施例,以混凝土强度等级C30、C40、C50为例,水泥为42.5强度等级的普通硅酸盐水泥,砂子为黄砂,粒径均小于4.75mm,堆积密度为1450m<sup>3</sup>;石子为粒径在5~25mm范围

内的连续级配的碎石;煤气化灰渣的粒径小于0.15mm;减水剂为聚羧酸高效减水剂;水为自来水。

[0041] 以下实施例,凝胶材料主要化学成分组成如表2所示。

#### 实施例1

[0042] 混凝土强度等级为30MPa,配合比为:水泥288kg;煤气化灰渣粉32kg;砂子762kg;石子1144kg;减水剂3.2kg;水170kg。

[0043] 制备方法:将水泥、煤气化灰渣粉、砂子、石子置于搅拌机,混合均匀,得到混合料;将减水剂和水混合,将所得混合物加入至所述混合料中,搅拌150s,采用振动台振动实成型,得到高韧性煤气化灰渣混凝土凝胶材料。

#### 实施例2

[0044] 混凝土强度等级为30MPa,配合比为:水泥256kg;煤气化灰渣粉64kg;砂子762kg;石子1144kg;减水剂3.2kg;水170kg。

[0045] 制备方法同实施例1。

#### 对比例1

[0046] 混凝土强度等级为30MPa,配合比为:水泥224kg;煤气化灰渣粉96kg;砂子762kg;石子1144kg;减水剂3.2kg;水170kg。

[0047] 制备方法同实施例1。

#### 对比例2

[0048] 混凝土强度等级为30MPa,配合比为:水泥320kg;砂子762kg;石子1144kg;减水剂3.2kg;水170kg。

[0049] 制备方法同实施例1。

#### 实施例3

[0050] 混凝土强度等级为40MPa,配合比为:水泥324kg;煤气化灰渣粉36kg;砂子750kg;石子1125kg;减水剂3.6kg;水165kg。

[0051] 制备方法同实施例1。

#### 实施例4

[0052] 混凝土强度等级为40MPa,配合比为:水泥288kg;煤气化灰渣粉72kg;砂子750kg;石子1125kg;减水剂3.6kg;水165kg。

[0053] 制备方法同实施例1。

#### 对比例3

[0054] 混凝土强度等级为40MPa,配合比为:水泥252kg;煤气化灰渣粉108kg;砂子750kg;石子1125kg;减水剂3.6kg;水165kg。

[0055] 制备方法同实施例1。

#### 对比例4

[0056] 混凝土强度等级为40MPa,配合比为:水泥360kg;砂子750kg;石子1125kg;减水剂3.6kg;水165kg。

[0057] 制备方法同实施例1。

#### 实施例5

[0058] 混凝土强度等级为50MPa,配合比为:水泥405kg;煤气化灰渣粉45kg;砂子720kg;石子1081kg;减水剂4.2kg;水170kg。

[0059] 制备方法同实施例1。

#### 实施例6

[0060] 混凝土强度等级为50MPa,配合比为:水泥360kg;煤气化灰渣粉90kg;砂子720kg;石子1081kg;减水剂4.2kg;水170kg。

[0061] 制备方法同实施例1。

#### 对比例5

[0062] 混凝土强度等级为50MPa,配合比为:水泥315kg;煤气化灰渣粉135kg;砂子720kg;石子1081kg;减水剂4.2kg;水170kg。

[0063] 制备方法同实施例1。

#### 对比例6

[0064] 混凝土强度等级为50MPa,配合比为:水泥450kg;砂子720kg;石子1081kg;减水剂4.2kg;水170kg。

[0065] 制备方法同实施例1。

[0066] 依据《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55-2011)和《混凝土物理力学性能试验方法标准》(GB/T 50081-2019)测试实施例1-6及对比例1-6制得的混凝土的28天抗压强度、抗折强度、劈裂抗拉强度。测量强度时,加载速度为0.02 MPa/s,持续加载,混凝土试验样品数为3个,误差控制范围为±15%。煤气化灰渣混凝土经试验加载后,具体检测数据结果如表3所示。

[0067] 表3. 实施例1-3的抗压强度、抗折强度和劈裂抗拉试验结果



混凝土试件	28d 抗压强度 (MPa)	28d 抗折强度 (MPa)	28d 劈裂抗拉强度 (MPa)
对比例 2	31.86	4.10	2.5
实施例 1	33.45	5.50	2.6
实施例 2	34.57	4.60	2.8
对比例 1	29.06	3.90	2.4
对比例 4	41.7	4.80	3.1
实施例 3	44.6	5.90	3.3
实施例 4	45.20	5.00	3.4
对比例 3	37.1	4.80	2.8
对比例 6	51.68	5.40	3.7
实施例 5	54.62	7.07	3.8
实施例 6	55.78	5.67	4.0
对比例 5	49.71	4.62	3.5

[0068] 从表3中可以看出,掺量(即煤气化灰渣粉的掺量,煤气化灰渣粉的掺量=煤气化灰渣粉渣粉/(煤气化灰渣粉渣粉+水泥))为0时(对比例2、4、6),混凝土抗压强度分别为31.86 MPa、41.7 MPa和51.68 MPa。掺量为10%时(实施例1、3、5)的混凝土抗压强度分别为33.45 MPa、44.6 MPa和54.62 MPa,较未使用煤气化灰渣时提高了4.9%、6.9%和5.7%。掺量为20%时(实施例2、4、6)的混凝土抗压强度分别为34.57 MPa、45.20 MPa和55.78 MPa,较未使用煤气化灰渣时提高了8.5%、8.4%和7.9%。掺量为30%时(对比例1、3、5)的混凝土抗压强度分别为29.06 MPa、37.1 MPa和49.71 MPa,较未使用煤气化灰渣时降低了8.8%、11.0%和9.0%。混凝土中煤气化灰渣掺量不超过20%,掺量越多,抗压强度越高;掺量超过30%,强度下降较多。

[0069] 从表3中可以看出,掺量为0时(对比例2、4、6),混凝土抗折强度分别为4.10 MPa、

4.80 MPa和5.40 MPa;掺量为10%时(实施例1、3、5)的混凝土抗折强度分别为5.50 MPa、5.90 MPa和7.07 MPa,较未使用煤气化灰渣时提高了34.1%、22.9%和30.9%。掺量为20%时(实施例2、4、6)的混凝土抗折强度分别为4.60 MPa、5.00 MPa和5.67 MPa,较未使用煤气化灰渣时提高了12.2%、4.2%和5.0%。掺量为30%时(对比例1、3、5)的混凝土抗折强度分别为3.90 MPa、4.80 MPa和4.62 MPa,较未使用煤气化灰渣时降低了4.9%、0.0%和34.6%。综合对比分析来看,混凝土中煤气化灰渣掺量不超过20%,抗折强度可显著提高,且掺量越少,抗折强度越大;掺量超过了30%,强度有所下降。

[0070] 从表3中可以看出,掺量为0时(对比例2、4、6),混凝土劈裂抗拉强度分别为2.5 MPa、3.1 MPa和3.7 MPa;掺量为10%时(实施例1、3、5)的混凝土劈裂抗拉强度分别为2.60 MPa、3.30 MPa和3.8 MPa,劈裂抗拉强度也较未使用煤气化灰渣时提高了4.0%、6.4%和2.7%。掺量为20%时(实施例2、4、6)的混凝土劈裂抗拉强度分别为2.80 MPa、3.40 MPa和4.0 MPa,劈裂抗拉强度也较未使用煤气化灰渣时提高了12%、9.7%和8.1%。掺量为30%时(对比例1、3、5)的混凝土劈裂抗拉强度分别为2.40 MPa、2.80 MPa和3.5 MPa,劈裂抗拉强度也较未使用煤气化灰渣时降低了4.0%、9.7%和5.4%。综合对比分析来看,混凝土中煤气化灰渣掺量不超过20%,劈裂抗拉强度明显提高,且掺量较多,劈裂强度越大;掺量超过了30%,强度略有下降。

[0071] 养护28天的煤气化灰渣混凝土试样的SEM图,如图3所示。水化产物包裹在水泥表面,部分区域有明显的凹坑,凝胶与水泥的致密度较为疏松,水化产物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的量较少,不能完全紧密包覆水泥和集料,并且有少量钙矾石的存在。随着煤气化灰渣掺量的增加,掺入煤气化灰渣改善了混凝土内部的孔结构,空洞数量减少,凝胶与煤气化灰渣之间的结合更为紧密,钙矾石的针状晶体穿过混凝土表面,额外的凝胶填充了空隙使微观结构更加紧密,极大地提高了混凝土的强度。30%煤气化灰渣的混凝土凝胶形成较少,和微裂缝的形成影响了强度。因此,从微观研究也可以得出结论,20%的煤气化灰渣作为混凝土中水泥的部分替代品可以适当使用。

[0072] 综合来看煤气化灰渣混凝土抗压、抗折和劈裂抗拉强度均有所提高,其中抗折、劈裂抗拉强度提高最为明显。主要原因是煤气化灰渣具有火山灰活性, $\text{SiO}_2$ 等活性物质的含量增高,通过火山灰反应进行二次水化反应产生更多的凝胶材料,可以进一步提高混凝土的结构密实度,从而使强度升高。

[0073] 综上,实施例1-6的各组分配合比是目前最优配合比,使用经过烘干、研磨、筛分后活化煤气化灰渣粉,制备的煤气化灰渣混凝土,减少了水泥用量,消纳了煤气化灰渣的固废存储量,明显降低了混凝土成本,重要的是提高了混凝土强度,尤其抗折、抗拉强度,获得高韧性煤气化灰渣混凝土,有助于提高混凝土工程抗裂能力。

[0074] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

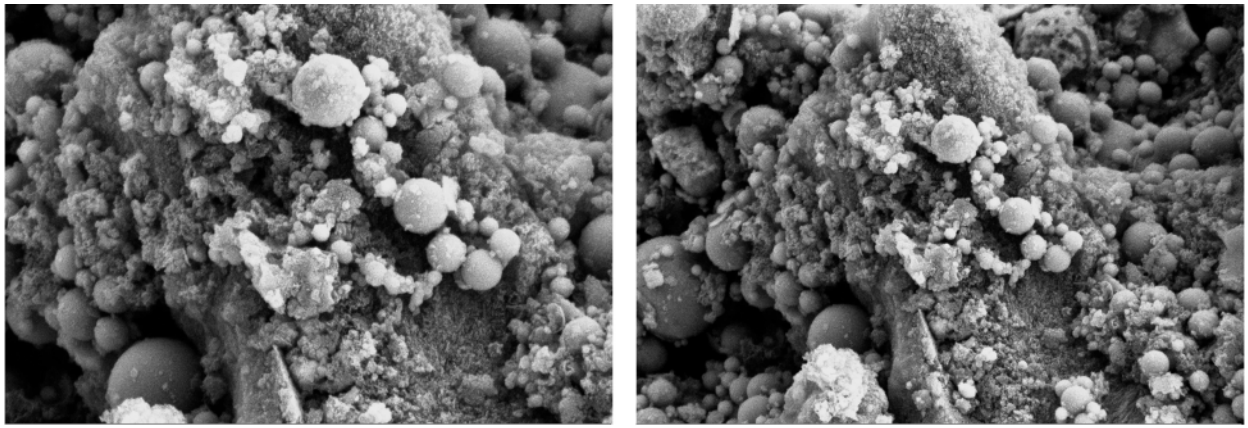


图 1

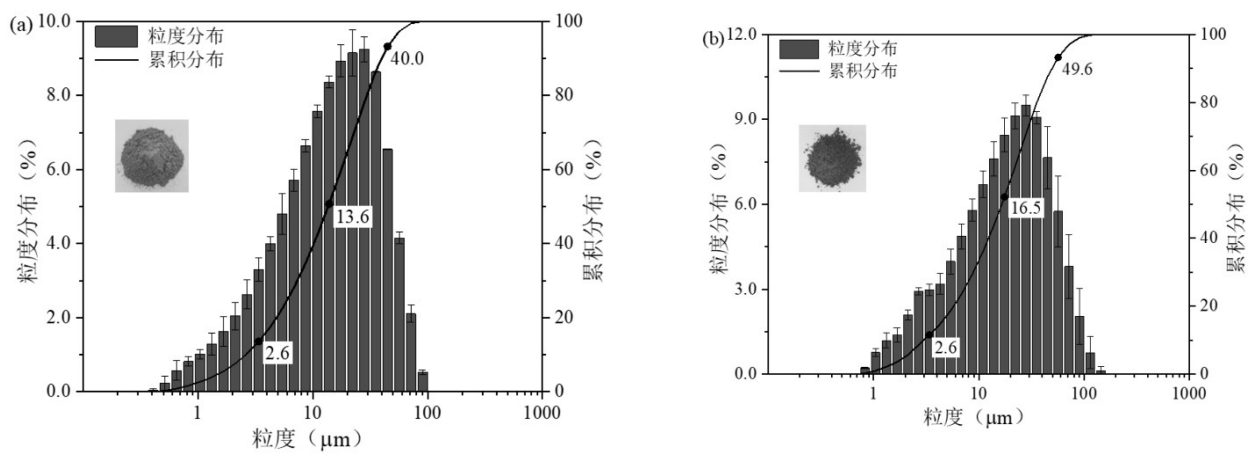


图 2

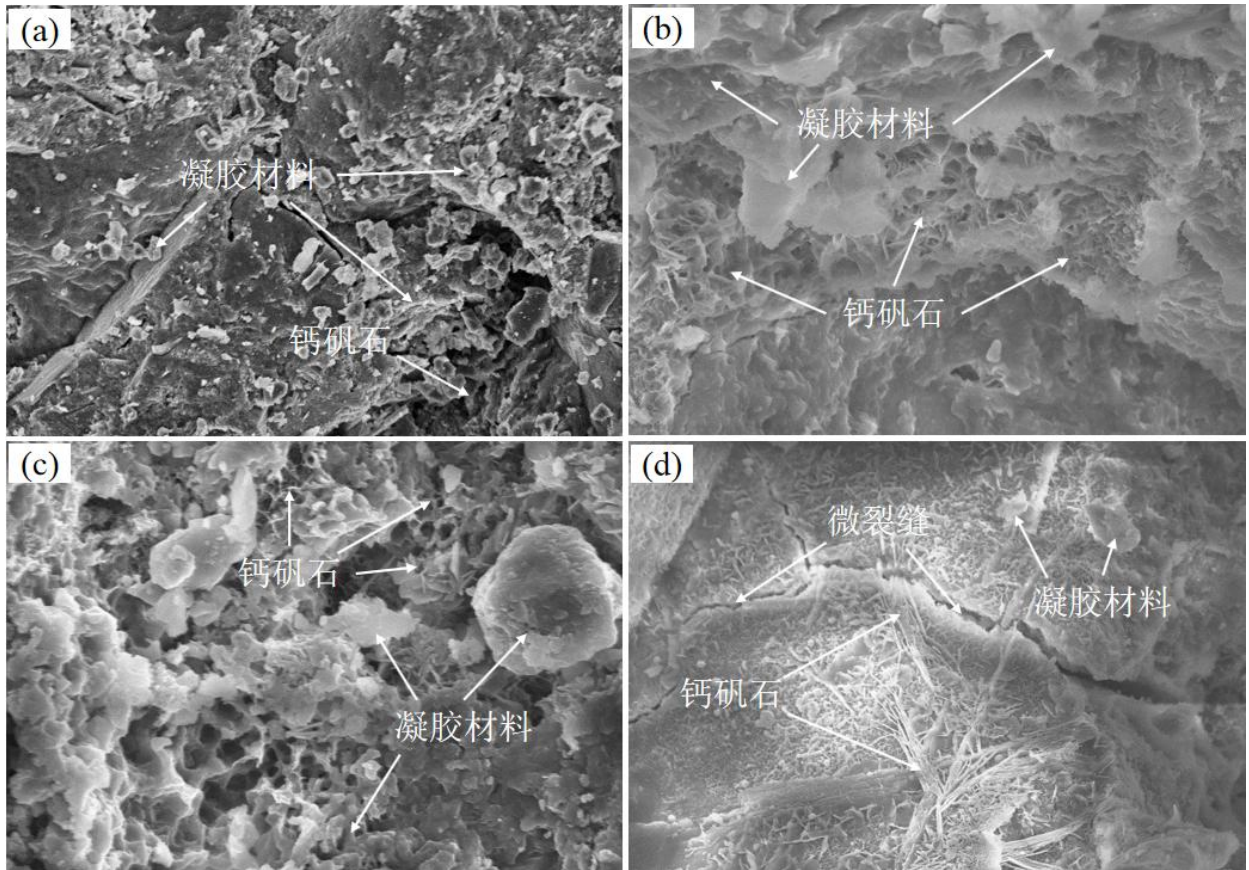


图 3