



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107311561 B

(45)授权公告日 2019.08.06

(21)申请号 201710479781.0

C04B 28/06(2006.01)

(22)申请日 2017.06.22

B33Y 70/00(2015.01)

C04B 111/74(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107311561 A

(56)对比文件

CN 105731942 A,2016.07.06,

CN 105948668 A,2016.09.21,

WO 2017059866 A2,2017.04.13,

CN 104891891 A,2015.09.09,

(43)申请公布日 2017.11.03

(73)专利权人 同济大学

地址 200092 上海市杨浦区四平路1239号

审查员 郭庆伟

(72)发明人 杨钱荣 赵宗志

(74)专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限公司 31225

代理人 陈亮

(51)Int.Cl.

C04B 28/04(2006.01)

C04B 28/08(2006.01)

C04B 28/02(2006.01)

权利要求书2页 说明书8页

(54)发明名称

一种用于水下施工的3D打印水泥基材料及其制备方法

(57)摘要

本发明涉及一种用于水下施工的3D打印水泥基材料及其制备方法,采用以下组分及重量份含量的原料制备得到:水泥100,矿粉0-60,粉煤灰0-30,硅灰0-20,减水剂0.1-3,抗分散剂0.1-5,粘结剂0.2-5,引气剂0.005-0.5,保塑剂0.01-25,淀粉醚0-0.5,调凝剂0.01-0.5,膨胀剂0.1-10,早强剂0.1-10,纤维0.01-0.5;细骨料50-300,粗骨料0-400。与现有技术相比,本发明用于水下打印施工时,具有良好的可建造性、抗分散性、耐久性等优点,在水中具有良好的堆积性能、打印出的建筑物不坍塌且力学性能良好。

1. 一种用于水下施工的3D打印水泥基材料,其特征在于,该材料采用以下组分及重量份含量的原料制备得到:

水泥100,矿粉0-60,粉煤灰0-30,硅灰0-20,减水剂0.1-3,抗分散剂0.1-5,粘结剂0.2-5,引气剂0.005-0.5,保塑剂0.01-25,淀粉醚0-0.5,调凝剂0.01-0.5,膨胀剂0.1-10,早强剂0.1-10,纤维0.01-0.5;

细骨料50-300,粗骨料0-400。

2. 根据权利要求1所述的一种用于水下施工的3D打印水泥基材料,其特征在于,该材料采用以下组分及重量份含量的原料制备得到:

水泥100,矿粉10-30,粉煤灰5-20,硅灰5-10,减水剂0.2-1,抗分散剂0.5-3,粘结剂0.5-2,引气剂0.01-0.1,保塑剂0.01-10,淀粉醚0.01-0.1,调凝剂0.01-0.1,膨胀剂0.1-5,早强剂1-5,纤维0.05-0.2;细骨料100-200,粗骨料200-300。

3. 根据权利要求1或2所述的一种用于水下施工的3D打印水泥基材料,其特征在于,所述的抗分散剂选自淀粉胶、聚氧化乙烯、聚丙烯酰胺、羧乙烯基聚合物、聚乙烯醇、菜胶或威兰胶中的一种或几种。

4. 根据权利要求3所述的一种用于水下施工的3D打印水泥基材料,其特征在于,所述的抗分散剂优选数均分子量在600万以上的聚丙烯酰胺和/或威兰胶。

5. 根据权利要求1或2所述的一种用于水下施工的3D打印水泥基材料,其特征在于,所述的水泥选自硅酸盐水泥、矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥或快硬硫铝酸盐水泥中的一种或几种。

6. 根据权利要求1或2所述的一种用于水下施工的3D打印水泥基材料,其特征在于,所述的减水剂选自三聚氰胺减水剂、聚羧酸减水剂、木质素磺酸盐减水剂或 β -甲基萘磺酸盐减水剂中的一种或几种;

所述调凝剂选自碳酸钠、铝酸钠、柠檬酸或其盐类中的一种或几种;

所述早强剂选自硫酸钠、硅酸钠、偏硅酸钠、甲酸钙、碳酸锂或氯化钙中的一种或几种;

所述膨胀剂为钙矾石或氧化钙类膨胀剂;

所述引气剂选自松香树脂类的钠盐化合物、脂肪酸盐类化合物、磺化碳氢化合物、烷基-苯甲基磺酸盐化合物或皂素类表面活性剂中的一种或几种;

所述保塑剂选自羟丙基甲基纤维素醚、聚丙烯酸脂、聚环氧乙烷、羟乙基纤维素或羟甲基纤维素中的一种或几种;

所述粘结剂为可再分散乳胶粉。

7. 根据权利要求6所述的一种用于水下施工的3D打印水泥基材料,其特征在于,所述减水剂为聚羧酸减水剂,所述保塑剂为羟丙基甲基纤维素醚或羟乙基纤维素。

8. 根据权利要求6所述的一种用于水下施工的3D打印水泥基材料,其特征在于,所述的可再分散乳胶粉选自乙烯与氯乙烯及月桂酸乙烯酯三元共聚胶粉,醋酸乙烯酯与乙烯及高级脂肪酸乙烯酯三元共聚胶粉,醋酸乙烯酯与高级脂肪酸乙烯酯共聚胶粉,丙烯酸酯与苯乙烯共聚胶粉,醋酸乙烯酯与丙烯酸酯及高级脂肪酸乙烯酯三元共聚胶粉,醋酸乙烯酯均聚胶粉或苯乙烯与丁二烯共聚胶粉中的一种或几种。

9. 根据权利要求1或2所述的一种用于水下施工的3D打印水泥基材料,其特征在于,所述的粗骨料为碎石或卵石;所述的细骨料为天然石英砂或人工石英砂或钢渣细颗粒。

10. 如权利要求1所述的用于水下施工的3D打印水泥基材料的制备方法,其特征在于,该方法将除细骨料和粗骨料的组分按配方置于搅拌机中充分搅拌均匀,再投入按比例称量的细骨料和粗骨料,混合、搅拌均匀后即制得3D打印水泥基材料。

一种用于水下施工的3D打印水泥基材料及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于土木工程材料技术领域,涉及一种用于水下施工的3D打印水泥基材料及其制备方法,特别涉及以水泥为胶凝材料同时掺以矿物掺合料、骨料以及各种外加剂所配制的一种用于水下施工的3D打印水泥基材料及其制备方法。

背景技术

[0002] 3D打印建筑技术是以数字模型文件为基础,利用适应于3D打印的建筑材料,通过逐层打印的方式来构筑建筑物的技术。相比于传统建筑技术,3D打印建筑技术具有一系列显著优势:施工速度快、无需模板,劳动力需求量少,降低了建筑成本;打印精度高,可根据数字模型文件打印复杂建筑,从而实现建筑制造自动化;机械化程度高,可取代建筑工人打印传统上难于施工甚至无法施工的建筑;绿色、低碳、环保,能充分利用各种工业废弃物,且打印过程中能有效地利用建筑材料,减少了建筑垃圾的产生。

[0003] 随着人类对水域资源的开发利用逐步深入,在水下进行建筑施工越发普遍。利用传统施工技术构筑水下建筑物,不仅施工难度大,建设周期长,经济成本高,而且建造过程中还会对所在水域造成环境污染。3D打印建筑技术应用于建筑工程领域是对传统建筑技术的革新,在水下建筑的施工建造过程中,3D打印建筑技术可以完全取代人力施工,实现水下建筑物的建造,同时还能避免传统水下建筑施工出现的上述问题。

[0004] 在水下3D打印建筑与传统上的水下施工方法完全不同,对建筑材料也提出了更高的要求,其性能必须满足以下几点:其一,良好的可建造性。材料从打印头挤出后须具有足够的强度和硬度以支撑粘结在其上的打印层不变形、不坍塌,此外,打印材料还必须具有良好的粘结性,从而使打印层能连接成为一个整体。其二,良好的抗水下分散性。由于水下3D打印建筑是在水下施工,面临静水压力和水流冲刷的双重作用,故要求打印材料具有良好的抗水下分散性,打印条从喷头挤出以后在水流作用下质量损失和硬化后的强度损失小。此外,考虑到水下3D打印施工时对所在水域环境的影响,用于水下施工的3D打印建筑材料除应具有良好的抗水下分散性以外,还应具有较高的安全稳定性,对生态环境系统无污染、无破坏。其三,应具有较高的力学性能和耐久性能。由于3D打印是通过材料的逐层叠加实现水下建筑的施工,层与层之间粘结强度的高低直接影响水下3D打印建筑结构的稳定性和安全性。不同于陆上建筑,水下3D打印的建筑在施工和服役阶段都处于水环境中,因而要求所使用的3D打印材料具有良好的耐久性。最后,用于水下施工的3D打印材料不仅应具有合适的可操作时间,即在一定的时间内材料保持良好的可挤出性、可建造性,还应在水下打印后能够尽快产生强度且保持良好的层间粘结性。

[0005] 目前,国内外尚无水下3D打印建筑的相关研究报道,专利CN104891891B一种3D打印水泥基材料及其制备方法,采用粉状胶凝材料和骨料组成,所述的粉状胶凝材料由水泥、活性掺合料、减水剂、早强剂、调凝剂、膨胀剂、粘结剂、引气剂、保塑剂、憎水剂、淀粉醚、粉末填料和纤维组成,该3D打印水泥基材料具有良好的工作性能、可建造性能和力学性能,但该材料在水中抗分散性能较差,只适用于陆上施工,在水下施工时会坍塌,因而必须对现有

材料组成进行改进,以适应3D打印材料在水下施工的需求。

发明内容

[0006] 本发明的目的就是为了解决上述现有技术存在的缺陷而提供一种具有良好的可建造性、抗分散性、耐久性的可用于水下施工的3D打印水泥基材料及其制备方法。

[0007] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0008] 一种用于水下施工的3D打印水泥基材料,采用以下组分及重量份含量的原料制备得到:

[0009] 水泥100,矿粉0-60,粉煤灰0-30,硅灰0-20,减水剂0.1-3,抗分散剂0.1-5,粘结剂0.2-5,引气剂0.005-0.5,保塑剂0.01-25,淀粉醚0-0.5,调凝剂0.01-0.5,膨胀剂0.1-10,早强剂0.1-10,纤维0.01-0.5;

[0010] 细骨料50-300,粗骨料0-400。

[0011] 优选地,该材料采用以下组分及重量份含量的原料制备得到:

[0012] 水泥100,矿粉10-30,粉煤灰5-20,硅灰5-10,减水剂0.2-1,抗分散剂0.5-3,粘结剂0.5-2,引气剂0.01-0.1,保塑剂0.01-10,淀粉醚0.01-0.1,调凝剂0.01-0.1,膨胀剂0.1-5,早强剂1-5,纤维0.05-0.2。细骨料100-200,粗骨料200-300。

[0013] 所述的抗分散剂选自淀粉胶、聚氧化乙烯、聚丙烯酰胺、羧乙烯基聚合物、聚乙烯醇、菜胶或威兰胶中的一种或几种。

[0014] 作为优选的实施方式,抗分散剂选用聚丙烯酰胺和/或威兰胶,聚丙烯酰胺属水溶性高分子聚合物,是一种絮凝剂,用它可以制作出亲水而水不溶性的凝胶,它对许多固体表面和溶解物质有良好的黏附力。聚丙烯酰胺的抗分散效果,与其平均分子量的大小、分子的结构以及掺量等有关,优选的分子量为600万及以上;威兰胶是一种多聚糖,具有很好的增稠效果,低浓度的多糖水溶液即可获得高的粘度,该物质还剪切稀释性能,当施加一定的剪切力时,粘度迅速下降,一旦失去剪切力粘度仍能恢复。利用聚丙烯酰胺和威兰胶的絮凝作用和触变性能可提高3D打印水泥基浆体的在水下抗分散性以及工作性和可建造性能。

[0015] 所述的水泥选自硅酸盐水泥、矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥或快硬硫铝酸盐水泥中的一种或几种。

[0016] 所述的减水剂选自三聚氰胺减水剂、聚羧酸减水剂、木质素磺酸盐减水剂或 β -甲基萘磺酸盐减水剂中的一种或几种,优选聚羧酸减水剂与抗分散剂配合使用。

[0017] 所述调凝剂选自碳酸钠、铝酸钠、柠檬酸或其盐类中的一种或几种;

[0018] 所述早强剂选自硫酸钠、硅酸钠、偏硅酸钠、甲酸钙、碳酸锂或氯化钙中的一种或几种;

[0019] 所述膨胀剂为钙矾石或氧化钙类膨胀剂;

[0020] 所述引气剂选自松香树脂类的钠盐化合物、脂肪酸盐类化合物、磺化碳氢化合物、烷基-苯甲基磺酸盐化合物或皂素类表面活性剂中的一种或几种;

[0021] 所述保塑剂选自羟丙基甲基纤维素醚、聚丙烯酸酯、聚环氧乙烷、羟乙基纤维素或羟甲基纤维素中的一种或几种;优选羟丙基甲基纤维素醚或羟乙基纤维素与抗分散剂和减水剂配合使用。

[0022] 所述粘结剂为可再分散乳胶粉。

[0023] 更加优选地,可再分散乳胶粉选自乙烯与氯乙烯及月桂酸乙烯酯三元共聚胶粉,醋酸乙烯酯与乙烯及高级脂肪酸乙烯酯三元共聚胶粉,醋酸乙烯酯与高级脂肪酸乙烯酯共聚胶粉,丙烯酸酯与苯乙烯共聚胶粉,醋酸乙烯酯与丙烯酸酯及高级脂肪酸乙烯酯三元共聚胶粉,醋酸乙烯酯均聚胶粉或苯乙烯与丁二烯共聚胶粉中的一种或几种。

[0024] 所述的粗骨料为碎石或卵石;所述的细骨料为天然石英砂或人工石英砂或钢渣细颗粒。用于水下施工的3D打印水泥基材料的制备方法,将除细骨料和粗骨料的组分按配方置于搅拌机中充分搅拌均匀,再投入按比例称量的细骨料和粗骨料,混合、搅拌均匀后即制得3D打印水泥基材料,使用时,按所需用水量加水搅拌均匀即可使用。

[0025] 如粘结剂或抗分散剂等聚合物为液体,则固体组分按配比准确称量后,投入搅拌机中充分搅拌均匀后,形成干粉产品。液体组分按比例投入混合机中搅拌混合均匀后即形成液体产品。实际使用时,将上述组分按比例混合后即可制得用于水下施工的3D打印水泥基材料。

[0026] 用于陆上施工的3D打印水泥基材料不适用于水下施工,这是由于水泥基材料(混凝土或砂浆)拌合物是一种粗分散体系,颗粒之间的粘结力较小,各组分的密度、粒径也各不相同。这种粗分散体系在水中打印时,由于水的作用而使拌合物极易分散,造成水泥流失,砂石离析、分层,从而造成打印构筑物坍塌或强度大幅度降低,同时又污染水质。因此,用于水下施工的混凝土(水下不分散混凝土)一般会将某些性能的抗分散剂或聚合剂加入到新拌混凝土(砂浆)中,使其与水泥颗粒表面生成离子键或共价键,起到压缩双电层、吸附水泥颗粒和保护水泥的作用,同时,水泥颗粒之间、水泥与骨料之间,可通过抗分散剂的高分子长链的桥架作用,使拌合物粗分散体系联系起来,形成稳定的空间柔性网络结构,提高浆体的粘聚力,限制浆体的分散、离析及避免水泥流失。由于抗分散剂或聚合剂的减水增塑作用,新拌混凝土具有较好的流动性,不需振捣。自流平、自密实,遇水抗分散性强,有缓凝作用,几乎没有泌水现象,而且安全无毒,不污染环境。但普通的水下不分散混凝土(砂浆)也是不适用于水下打印施工的,因为3D打印水泥基材料对工作性能(挤出性能、可操作性)、可建造性能(塑性变形、可堆积性、衔接性能)以及力学性能和耐久性都有明确要求。水下不分散混凝土(砂浆)具有很高的保水性、抗分散性和流动性,但其不具备堆积性能,不能用于基于层堆积的打印施工。由此,设计一种既能满足3D打印施工要求又可在水下施工的水泥基材料,对材料的选用、配伍以及发挥它们的协同作用提出了更高的要求。

[0027] 通过优选、合理调配,如选用多聚糖、聚丙烯酰胺等高分子为主要抗分散剂,同时与保塑剂、减水剂配合使用,可增加混凝土拌和物的粘度,从而达到提高它的抗分散性的目的,同时又使浆体具有触变性能、屈服应力及塑性粘度高且剪切降粘的特征,即抗分散剂在低浓度溶解于水中的就能产生粘度,但它对剪切力敏感,当施加一定的剪切力时,粘度迅速下降,一旦失去剪切力粘度仍能恢复。由于这些特性可赋予水泥基材料具有较好的挤出性能、可堆积性、衔接性能以及高抗分散性,同时辅以矿物掺合料、早强剂、调凝剂、引气剂、膨胀剂以及纤维等组成,可赋予水泥基材料较好的力学性能和耐久性。

[0028] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0029] (1) 水中施工时可建造性能优良。该材料具有优良的保水性能及水下抗分散性能且打印连续性良好,在水下打印施工时,打印混凝土可形成良好堆积,且塑性变形小。材料粘结性能好,即使在水下,打印层间也能形成良好衔接,层与层之间没有宏观缺陷,可形成

一个整体。

[0030] (2) 该材料具有良好的耐水性能,在水中成型后强度损失小,水陆强度比高。

[0031] (3) 该材料在水中抗裂性能良好。采用该材料在水中打印施工,没有溶胀和收缩现象,体积稳定性良好。

[0032] (4) 该材料不含有害物质,不会污染水质。

具体实施方式

[0033] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明,但不以任何形式限制本发明。应当指出的是,对本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进。这些都属于本发明的保护范围。

[0034] 实施例1

	水泥(P.II52.5 硅酸盐水泥)	100
	活性掺合料 (S105 矿粉)	20
	减水剂 (聚羧酸减水剂)	0.3
	早强剂 (硫酸钠)	1
	调凝剂 (柠檬酸钠)	0.1
	膨胀剂 (UEA 膨胀剂)	8
	引气剂 (皂素)	0.05
[0035]	抗分散剂 (聚丙烯酰胺)	0.5
	抗分散剂 (威兰胶)	0.5
	粘结剂 (可再分散乳胶粉)	2
	保塑剂 (羟乙基纤维素醚)	0.5
	淀粉醚	0.05
	纤维 (聚丙烯纤维)	0.1
	细骨料(细度模数为 2.5 的中砂)	150

[0036] 制备方法:按配方称取各种原材料,在搅拌机中依次加入水泥(P.II52.5硅酸盐水泥)、活性掺合料(超细矿渣粉)、减水剂(聚羧酸减水剂),早强剂(硫酸钠)、调凝剂(柠檬酸钠)、膨胀剂(UEA膨胀剂)、引气剂(皂素)、抗分散剂(聚丙烯酰胺、威兰胶)、粘结剂(可再分散乳胶粉)、保塑剂(羟乙基纤维素醚)、淀粉醚、纤维(聚丙烯纤维)充分搅拌均匀,得到粉状胶凝材料,包装形成产品。

[0037] 现场施工时,按比例称取细骨料(细度模数为2.5的中砂)放入专用搅拌机与粉状胶凝材料混合均匀,按1000kg混合料中加入120kg水搅拌均匀,制得打印混凝土拌合物,即可进行打印施工。材料性能见表1。

[0038]	实施例2	
	水泥 (P.I 52.5 硅酸盐水泥)	100
[0039]	活性掺合料 (S105 矿粉)	10
	活性掺合料 (硅灰)	5
	减水剂 (氨基减水剂)	1.0
	早强剂 (甲酸钙)	2.0
	膨胀剂 (ZY 混凝土膨胀剂)	10
	粘结剂 (可再分散乳胶粉)	1.5
[0040]	引气剂 (十二烷基硫酸钠)	0.01
	抗分散剂 (威兰胶)	1.0
	保塑剂 (羟丙基甲基纤维素醚)	0.8
	淀粉醚	0.08
	纤维 (聚丙烯纤维)	0.2
	细骨料 (10-60 目石英砂)	200
[0041]	制备方法:按配方称取各种原材料,在搅拌机中依次加入水泥 (P.I 52.5硅酸盐水泥)、活性掺合料(矿粉、硅灰)、减水剂(氨基减水剂),早强剂(甲酸钙)、膨胀剂(ZY混凝土膨胀剂)、引气剂(十二烷基硫酸钠)、抗分散剂(威兰胶)、粘结剂(可再分散乳胶粉)、保塑剂(羟丙基甲基纤维素醚)、淀粉醚、纤维(聚丙烯纤维)充分搅拌均匀,包装形成产品。	
[0042]	现场施工时,按比例称取细骨料(10-60目石英砂)放入专用搅拌机与粉状胶凝材料混合均匀,按1000kg混合料中加入130kg水搅拌均匀,制得打印混凝土拌合物,即可进行打印施工。材料性能见表1。	
[0043]	实施例3	
	水泥(P.II52.5R 硅酸盐水泥)	100
	活性掺合料 (超细矿渣粉)	25
	活性掺合料 (硅粉)	10
	减水剂 (聚羧酸减水剂)	0.5
[0044]	早强剂 (铝酸钠)	1
	膨胀剂 (UEA 膨胀剂)	10
	粘结剂 (可再分散乳胶粉)	1.0
	引气剂 (皂素)	0.02
	抗分散剂 (聚丙烯酰胺)	2.5

	保塑剂（羟乙基纤维素）	0.3
[0045]	淀粉醚	0.05
	纤维（聚丙烯纤维）	0.25
	细骨料(细度模数 2.5 中砂)	220

[0046] 制备方法:按配方称取各种原材料,在搅拌机中依次加入水泥(P.II52.5R硅酸盐水泥)、活性掺合料(超细矿渣粉、硅粉)、减水剂(聚羧酸减水剂),早强剂(铝酸钠)、膨胀剂(UEA膨胀剂)、引气剂(皂素)、粘结剂(可再分散乳胶粉)、抗分散剂(聚丙烯酰胺)、保塑剂(羟乙基纤维素)、淀粉醚、纤维(聚丙烯纤维)充分搅拌均匀,得到粉状胶凝材料,包装形成产品。

[0047] 现场施工时,按比例称取细骨料(细度模数为2.5的中砂)放入专用搅拌机与粉状胶凝材料混合均匀,按1000kg混合料中加入110kg水搅拌均匀,制得打印混凝土拌合物,即可进行打印施工。材料性能见表1。

[0048] 实施例4

	水泥（P.II 52.5 硅酸盐水泥）	90
	水泥（硫铝酸盐超早强水泥）	10
	活性掺合料（矿渣微粉）	15
	活性掺合料（粉煤灰）	10
	活性掺合料（硅粉）	5
	减水剂（萘系减水剂）	1.0
[0049]	调凝剂（柠檬酸钠）	0.05
	粘结剂（可再分散乳胶粉）	2.0
	抗分散剂（UWB—II 絮凝剂）	3.0
	保塑剂（羟丙基甲基纤维素醚）	0.6
	改性淀粉醚	0.3
	纤维（耐碱玻璃纤维）	0.3
	细骨料（石英砂 10-20 目）	200

[0050] 制备方法:按配方称取各种原材料,在搅拌机中依次加入水泥(P.II52.5硅酸盐水泥、硫铝酸盐水泥)、活性掺合料(矿渣微粉、粉煤灰、硅粉)、减水剂(萘系酸减水剂),调凝剂(柠檬酸钠)、抗分散剂(UWB-II絮凝剂)、粘结剂(可再分散乳胶粉)、保塑剂(羟丙基甲基纤维素醚)、改性淀粉醚、纤维(耐碱玻璃纤维)充分搅拌均匀,包装形成产品。

[0051] 现场施工时,按比例称取细骨料10-20目石英砂,按1000kg混合料中加入120kg水搅拌均匀,制得打印建筑砂浆拌合物,即可进行打印施工。材料性能见表1。

[0052] 表1列出了实施例1-实施例4的用于水下施工的3D打印水泥基材料的性能。

[0053] 表1水下3D打印水泥基材料性能

[0054]

编号	挤出时间 /s	可操作时间 /min	下垂度 /mm	侧向变形度 /%	打印连续性 /cm	水中堆积高度 /cm	强度 /MPa	水/陆强度比	拉伸粘结强度 /MPa	体积稳定性
实施例1	22	≥60	30	3.1	510	12	45.1	78.3	1.5	不开裂
实施例2	30	≥30	21	1.6	378	23	36.5	75.5	1.5	不开裂
实施例3	15	≥60	25	2.5	606	18	42.3	83.1	1.8	不开裂
实施例4	30	≥45	15	0	580	28	46.6	76.9	1.2	不开裂

[0055] 从表1中数据可看到,实施例1-实施例4的材料挤出时间均不大于30s,可操作时间均不小于30min,可满足打印施工的要求,并且浆体打印成型后下垂度、侧向变形均较小,材料的粘结性能、打印连续性以及在水中的堆积性能均很好,表明本发明材料在水中具有良好的可建造性能,实例中打印材料的抗压强度均大于35MPa且在水中的强度保持率均在75%以上,可满足一般水中建筑物对强度的要求,在水中打印出的构件体积稳定性、整体性良好,可以推测材料的耐久性较好。

[0056] 实施例5

[0057] 一种用于水下施工的3D打印水泥基材料,采用以下组分及重量份含量的原料制备得到:水泥100,减水剂0.1,抗分散剂0.1,粘结剂0.2,引气剂0.005,保塑剂0.01,调凝剂0.01,膨胀剂0.1,早强剂0.1,纤维0.01,细骨料5。

[0058] 其中,使用的水泥为硅酸盐水泥,减水剂为三聚氰胺减水剂,抗分散剂为淀粉胶,粘结剂为乙烯与氯乙烯及月桂酸乙烯酯三元共聚胶粉,引气剂为松香树脂类的钠盐化合物,保塑剂为羟丙基甲基纤维素醚,调凝剂为碳酸钠,膨胀剂为钙矾石,早强剂为硫酸钠,细骨料为天然石英砂。

[0059] 3D打印水泥基材料在制备时,将除细骨料和粗骨料的组分按配方置于搅拌机中充分搅拌均匀,再投入按比例称量的细骨料和粗骨料,混合、搅拌均匀后即制得3D打印水泥基材料,使用时,按所需用水量加水搅拌均匀即可使用。

[0060] 实施例6

[0061] 一种用于水下施工的3D打印水泥基材料,采用以下组分及重量份含量的原料制备得到:水泥100,矿粉10,粉煤灰20,硅灰10,减水剂0.2,抗分散剂0.5,粘结剂2,引气剂0.1,保塑剂10,淀粉醚0.1,调凝剂0.01,膨胀剂0.1,早强剂5,纤维0.05。细骨料100,粗骨料300。

[0062] 其中,水泥为矿渣水泥,减水剂为聚羧酸减水剂,抗分散剂为数均分子量600万以上的聚丙烯酰胺和威兰胶的混合物,粘结剂为醋酸乙烯酯与高级脂肪酸乙烯酯共聚胶粉,引气剂为磺化碳氢化合物,保塑剂为聚环氧乙烷,调凝剂为碳酸钠和铝酸钠的混合物,膨胀剂为氧化钙类膨胀剂,早强剂为甲酸钙,细骨料为人工石英砂,粗骨料为碎石。

[0063] 本实施例中的粘结剂或抗分散剂等聚合物为液体,在制备时将固体组分按配比准确称量后,投入搅拌机中充分搅拌均匀后,形成干粉产品。液体组分按比例投入混合机中搅拌混合均匀后即形成液体产品。实际使用时,将上述组分按比例混合后即可制得用于水下施工的3D打印水泥基材料。

[0064] 实施例7

[0065] 一种用于水下施工的3D打印水泥基材料,采用以下组分及重量份含量的原料制备得到:水泥100,矿粉60,粉煤灰30,硅灰20,减水剂3,抗分散剂5,粘结剂5,引气剂0.5,保塑剂25,淀粉醚0.5,调凝剂0.5,膨胀剂10,早强剂10,纤维0.5;细骨料300,粗骨料400。

[0066] 其中,水泥为粉煤灰水泥,减水剂为木质素磺酸盐减水剂,抗分散剂为威兰胶,粘结剂为醋酸乙烯酯均聚胶粉,引气剂为磺化碳氢化合物,保塑剂为羟甲基纤维素,调凝剂为柠檬酸,膨胀剂为氧化钙类膨胀剂,早强剂为甲酸钙,细骨料为钢渣细颗粒,粗骨料为碎石。

[0067] 3D打印水泥基材料在制备时,将除细骨料和粗骨料的组分按配方置于搅拌机中充分搅拌均匀,再投入按比例称量的细骨料和粗骨料,混合、搅拌均匀后即制得3D打印水泥基材料,使用时,按所需用水量加水搅拌均匀即可使用。

[0068] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是,本发明并不局限于上述特定实施方式,本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变形或修改,这并不影响本发明的实质内容。