

高钛重矿渣混凝土基础力学性能试验分析

梁 贺 之, 李 超, 闵 凌 飞, 张 伟

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610072)

摘 要:利用高钛重矿渣作为建筑材料具有显著的耐久性能、经济效益及社会效益,是解决高钛重矿渣堆积和环境保护问题的重要途径之一。对高钛重矿渣混凝土基础力学性能进行了试验分析。试验采用水胶比为 0.5、0.55、0.6,粉煤灰掺量为 0、10%、20%的材料对不同配合比的 C30 高钛重矿渣混凝土的抗压强度、抗折强度和劈裂抗拉强度等基础力学性能进行分析,发现 C30 高钛重矿渣混凝土的适宜水胶比为 0.5,粉煤灰掺量宜为 10%,试块的抗压强度达到 45.9 MPa,抗折强度为 4.7 MPa,劈裂抗拉强度为 3.28 MPa,同时具有较好的和易性能。介绍了具体的试验及分析过程。

关键词:高钛重矿渣;混凝土;力学性能

中图分类号:TV41;TV43;TV42

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2022)01-0123-06

Experimental Analysis on Mechanical Properties of Concrete with High-titanium Heavy Slag

LIANG Hezhi, LI Chao, MIN Lingfei, ZHANG Wei

(Sinohydro Bureau 10 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610072)

Abstract: When high-titanium heavy slag is used as building material, it has significant durability, economic and social benefits, and by doing so the problems of high-titanium heavy slag accumulation and environment pollution is solved in some way. This paper carries out experimental test and analysis on basic mechanical properties of high titanium heavy slag concrete, and such basic mechanical properties as compressive strength, flexural strength and splitting tensile strength of concrete C30 with different mix design are analyzed applying water-binder ratio of 0.5, 0.55, 0.6, and fly ash content of 0, 10%, 20% respectively. It is found that the suitable water-binder ratio of C30 high titanium heavy slag concrete is 0.5 and the fly ash content should be 10%. The experimental test shows that and the compressive strength of the concrete specimen reaches 45.9 MPa, the flexural strength 4.7 MPa, and the split tensile strength 3.28 MPa, meanwhile the concrete itself is with good workability. The specific test and analysis process are introduced in this paper.

Key words: high-titanium heavy slag; concrete; mechanical properties

1 概 述

高钛重矿渣是钛精矿冶炼提取钛金属形成的多孔型块状废渣,攀钢集团冶炼取钛金属产生的高钛重矿渣具有含钛量高、力学性能良好、抗冲击韧性、耐久性能好、无碱集料反应、抗渗性和干燥收缩小等特点^[1,2]。高钛重矿渣骨料可替代天然骨料配制泵送混凝土,其拌和性、力学性、耐久性和结构性均满足相关规范要求^[3]。徐春生等^[4]研究了干燥与饱水状态下高钛重矿渣对混凝土力学性能的影响,并与天然砂石混凝土进行对比,发现其拥有更好的混凝土性能。王伟^[5]将再生高钛重矿渣粗、细骨料按三个取代率取代高钛重矿渣粗、

细骨料制备高钛重矿渣再生混凝土并测定其 28 d 强度,得到其耐腐蚀性能良好的结论。虽然高钛重矿渣混凝土得到不少学者的研究,但对于其基本力学性能进行的研究还是相对较少^[6]。介绍了对高钛重矿渣混凝土基础力学性能进行的试验与分析。

2 试 验

2.1 试验材料

(1) 高钛重矿渣。高钛重矿渣取自攀枝花市环业冶金渣有限公司。由于高钛重矿渣碎石的多孔结构,其吸水率较高,因此,在进行试验前需提前浸泡 24 h 以使其达到饱水状态,表观密度为 2 840 kg/m³,堆积密度为 1 350 kg/m³,吸水率为

收稿日期:2021-11-20

6.2%,压碎指标为8%,高钛重矿渣主要化学成分见表1。采用方孔筛筛分出粒径为5~31.5 mm、连续级配的高钛重矿渣碎石作为粗骨料,细骨料则采用细度模数为2.8的高钛重矿渣砂。

表1 高钛重矿渣主要化学成分表 /%				
MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂
7.7	16.7	24.9	27	21.7

表2 水泥各项品质指标表									
抗压强度 /MPa		抗折强度 /MPa		凝结时间 /min		烧失量	SO ₃	MgO	Cl ⁻
3 d	28 d	3 d	28 d	初凝	终凝	/%	/%	/%	/%
28.5	45.4	5.3	7.5	180	280	1.91	2.4	1.9	0.02

表3 粉煤灰主要化学成分表 /%				
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂
55.7	23.1	6.6	4.3	1.7

(4)外加剂。采用陕西某公司生产的液体均衡性聚羧酸减水剂,其无色透明液体,减水率为30%,泌水率比为42%,含气量为2.5%。

(5)水。试验用水采用攀枝花市的自来水。

表4 高钛重矿渣混凝土配合比表 /kg·m ⁻³						
序号	水胶比	水泥	粉煤灰	水	高钛重矿渣砂	高钛重矿渣石
1	0.5	294	0	147	755	1 230
2	0.5	265	29	147	755	1 230
3	0.5	235	59	147	755	1 230
4	0.55	268	0	147	755	1 230
5	0.55	241	27	147	755	1 230
6	0.55	214	54	147	755	1 230
7	0.6	245	0	147	755	1 230
8	0.6	220	25	147	755	1 230
9	0.6	196	49	147	755	1 230

为开展力学性能抗压强度试验制作了尺寸为100 mm×100 mm×100 mm试块9组,每组9块(7 d、14 d、28 d),共81块。为开展力学性能抗折强度试验制作了尺寸为100 mm×100 mm×400 mm试块9组,每组9块(7 d、14 d、28 d),共81块。为开展力学性能劈裂抗拉强度试验制作了尺寸为150 mm×150 mm×150 mm试块9组,每组9块(7 d、14 d、28 d),共81块。

3 试验结果与分析

3.1 抗压强度试验

抗压试块破坏形态见图1。高钛重矿渣混凝土受压破坏后出现局部整体块状掉落,试件表面

(2)水泥。采用攀枝花攀煤水泥制品有限公司生产的P.O.42.5 R普通硅酸盐水泥,其水泥各项品质指标见表2。

(3)粉煤灰。采用攀枝花某公司出售的Ⅰ级粉煤灰,该粉煤灰的细度为10%,需水量比为90%,烧失量为4%,粉煤灰主要化学成分见表3。

2.2 试验方法

参照《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2011),试验得到的高钛重矿渣混凝土的设计强度等级为C30,砂率为38%,水胶比为0.5、0.55、0.6、粉煤灰掺量为0、10%、20%,采用A、B两个因素进行试验,高钛重矿渣混凝土配合比见表4。

出现许多纵向裂缝,边角处的混凝土呈压碎破坏状态。在试件受压破坏过程中,能够听见清晰的压碎破坏声。高钛重矿渣混凝土7 d、28 d不同龄期试件的抗压强度见表5。

由表5可知:在有养护的条件下,每一种水胶比、粉煤灰掺量的高钛重矿渣混凝土的抗压强度随龄期延长而增长。单一影响因素下,水胶比越低,高钛重矿渣混凝土抗压强度越高;当粉煤灰采用内掺的做法等量取代试验中的水泥时,其高钛重矿渣混凝土抗压强度有所降低。高钛重矿渣混凝土7 d抗压强度普遍达到28 d抗压强度的70%左右,28 d抗压强度均超过《混凝土强度检

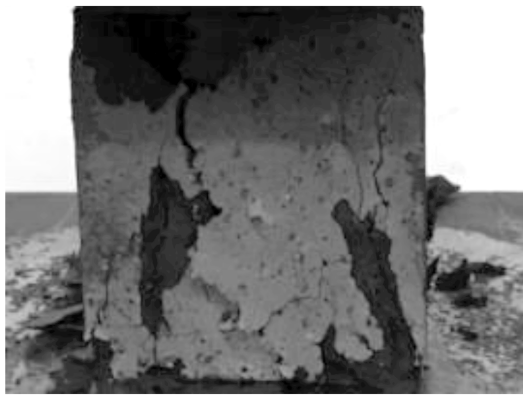


图 1 抗压试块破坏形态图

表 5 高钛重矿渣混凝土抗压强度表

组号	水胶比	粉煤灰掺量 /%	抗压强度 /MPa		
			7 d	14 d	28 d
1-1	0.5	0	37.8	41.7	46.8
1-2	0.5	10	36.4	40.5	45.9
1-3	0.5	20	34.5	38.3	43.1
1-4	0.55	0	32.9	35.3	39.9
1-5	0.55	10	31.1	33.7	38.1
1-6	0.55	20	29.2	32.3	36.2
1-7	0.6	0	27.2	31.1	36.9
1-8	0.6	10	26.3	30.9	35.1
1-9	0.6	20	25.1	28.1	34.5
7 d 极差	10.03	3.03			
14 d 极差	10.17	3.13			
28 d 极差	10.3	3.27			

验评定标准》(GB/T 50107—2010)所规定的 C30 混凝土强度值。

由极差时的值可以看出,影响高钛重矿渣混凝土抗压强度的因素为:水胶比大于粉煤灰掺量。为了更直观地观察、分析试验结果,将表 5 中测得的高钛重矿渣混凝土的抗压强度数据分别以水胶比、粉煤灰掺量为变量绘制成抗压强度曲线,不同水胶比抗压强度示意图见图 2,不同粉煤灰掺量抗压强度示意图见图 3。

由图 2 可知:水胶比是影响高钛重矿渣混凝土抗压强度的显著因素。由 28 d 抗压强度可以看出:当水胶比为 0.5 时,抗压强度最高;而相对于水胶比为 0.6 时,抗压强度提升了 27%左右。由图 3 可知:粉煤灰的掺入对抗压强度不利。虽然粉煤灰的掺入改善了高钛重矿渣混凝土的和易

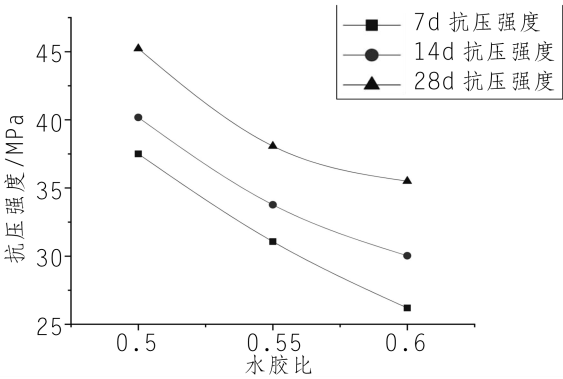


图 2 不同水胶比抗压强度示意图

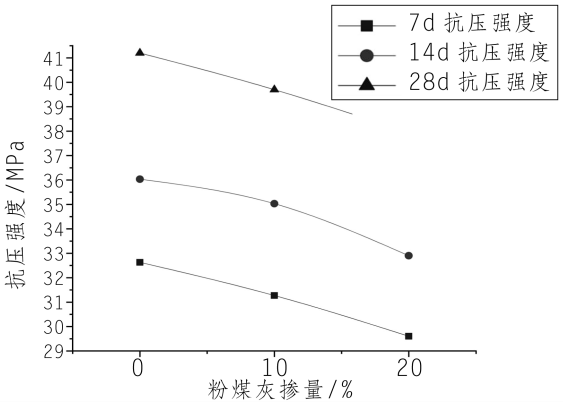


图 3 不同粉煤灰掺量抗压强度示意图

性,使其流动性得到提升,但当粉煤灰掺量为 10%时,抗压强度下降 3.5%左右;当粉煤灰掺量为 20%时,抗压强度下降了 4.5%左右。综合分析可知:28 d 龄期时,高钛重矿渣混凝土的抗压强度以第 1-1 组为最高,第 1-9 组为最低,第 1-1 组比第 1-9 组的抗压强度高 36%。

3.2 抗折强度试验

试验过程中,在加载初期,试块表面并未发现有裂缝出现;随着荷载的增加,试块底面开始出现微小的细缝且裂缝全部集中在所施加的两个集中荷载之间的区域;随着荷载继续增大,裂缝开始沿着垂直方向扩展,宽度进一步增大,最终导致试块折断且试件基本是沿着试件的中部位置发生断裂。当试件表面开裂时,裂缝会迅速断裂并发出脆响,试件的断面较多为粗骨料发生断裂,仅有少部分粗骨料发生脱落,抗折试块的破坏形态见图 4。高钛重矿渣混凝土不同龄期试件的抗折强度见表 6。

由表 6 可知:随着水胶比的增大,高钛重矿渣混凝土的抗折强度呈下降趋势,且随着粉煤灰掺

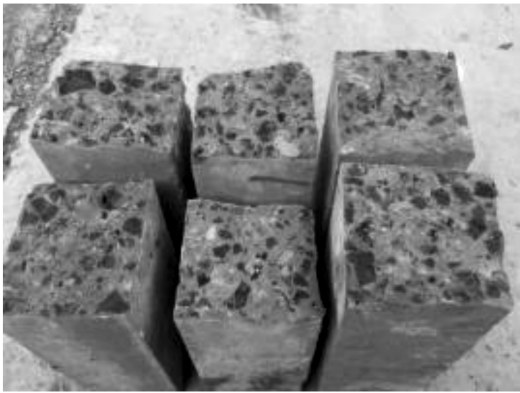


图4 抗折试块破坏形态图

表6 高钛重矿渣混凝土不同龄期试件的抗折强度表

组号	水胶比	粉煤灰掺量 /%	抗折强度 /MPa		
			7 d	14 d	28 d
2-1	0.5	0	3.8	4.2	4.8
2-2	0.5	10	3.7	4.1	4.7
2-3	0.5	20	3.4	3.9	4.6
2-4	0.55	0	3.1	3.5	4.1
2-5	0.55	10	2.9	3.4	3.9
2-6	0.55	20	2.9	3.2	3.8
2-7	0.6	0	2.6	3.1	3.6
2-8	0.6	10	2.5	3	3.5
2-9	0.6	20	2.5	2.9	3.4
7 d 极差	1.1	0.24			
14 d 极差	1.07	0.27			
28 d 极差	1.2	0.24			

量的增大,抗折强度亦有所下降;但在同一水胶比下,高钛重矿渣混凝土的抗折强度前期下降较多,而后期反而相差不大。由此可见:粉煤灰的掺入导致高钛重矿渣混凝土的抗折强度前期有所下降,但在28 d龄期后,由于粉煤灰的填充效应使高钛重矿渣混凝土的密实性提升,从而表现出其抗折强度与不掺粉煤灰组相差不大。总体来说,抗折强度基本上为抗压强度的1/10左右。

从极差强度可以看出,影响高钛重矿渣混凝土抗折强度的因素为:水胶比大于粉煤灰掺量。为了更直观地观察与分析试验结果,将表6中测得的高钛重矿渣混凝土的抗折强度数据分别以水胶比、粉煤灰掺量为变量绘制成抗折强度曲线,不同水胶比抗折强度示意图见图5,不同粉煤灰掺量抗折强度示意图见图6。

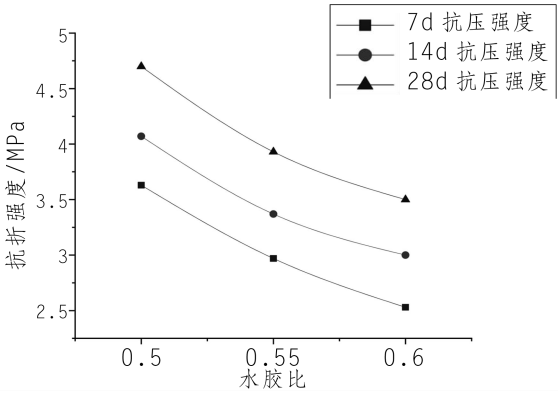


图5 不同水胶比抗折强度示意图

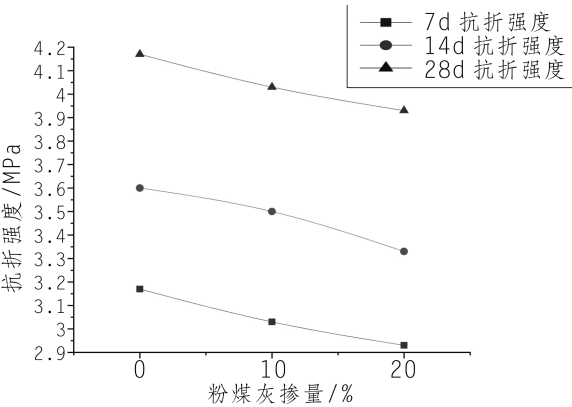


图6 不同粉煤灰掺量抗折强度示意图

由图5可知:当水胶比为0.5时,28 d抗折强度比水胶比为0.55时的抗折强度提升了19.5%,比水胶比为0.6时的抗折强度提升了34.2%。由图6可知:当粉煤灰掺量为20%时,其7 d抗折强度比粉煤灰掺量为10%时的抗折强度下降了3.3%,比粉煤灰掺量为0时的抗折强度下降了7.6%。但是,通过与28 d抗折强度进行比较,得知其分别下降了2.5%、5.8%。综合分析得知:28 d龄期时,2-1组高钛重矿渣混凝土的抗折强度最高,2-9组的抗折强度最低,2-1组比2-9组抗折强度高41%。

3.3 劈裂抗拉强度试验

试块在劈裂荷载作用下在上下垫条之间出现了纵向裂缝并逐渐贯通快速破坏且伴有较大的声响,试件断裂,试验机瞬间卸载,破坏形态呈现出明显的脆性破坏。破坏面基本是两垫条中心所在的平面,破坏后的两个半块大小相当。在试件的劈裂方向其侧面形成较为曲折的断裂线,劈裂抗拉试块破坏形态示意图见图7(a);在劈裂荷载作用的垂直方向形成拉应变,当拉应变达到高钛重

矿渣混凝土极限拉应变时,试件发生断裂破坏形态,劈裂抗拉试块破坏形态示意图见图 7(b),整个过程中只出现了一条主裂缝,无次要裂缝发生。试件断面出现较多的是骨料被拉断,只有较少的砂浆骨料脱落,可以清楚地看见两者脱离后的痕

迹。在拉应力作用下,其劈裂面表现为骨料的断裂。通过破坏形态图可以看出:高钛重矿渣混凝土的劈裂断面以骨料断裂为主并伴有少量的骨料脱落情况。高钛重矿渣混凝土不同龄期试件的劈裂抗拉强度见表 7。

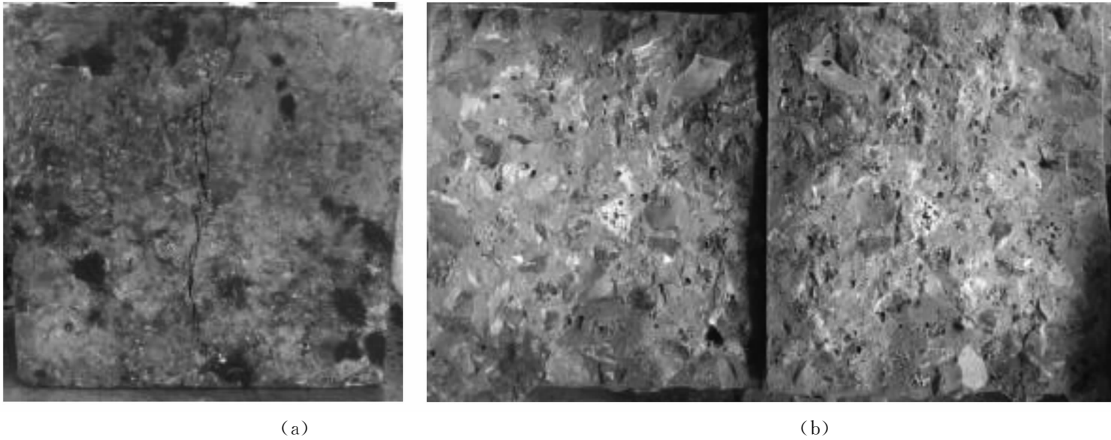


图 7 劈裂抗拉试块破坏形态示意图

表 7 高钛重矿渣混凝土不同龄期试件的劈裂抗拉强度表

组号	水胶比	粉煤灰掺量 /%	劈裂抗拉强度 /MPa		
			7 d	14 d	28 d
3-1	0.5	0	2.53	2.79	3.29
3-2	0.5	10	2.47	2.65	3.28
3-3	0.5	20	2.36	2.63	3.28
3-4	0.55	0	2.23	2.43	2.94
3-5	0.55	10	2.21	2.41	2.92
3-6	0.55	20	2.2	2.41	2.93
3-7	0.6	0	2.06	2.25	2.7
3-8	0.6	10	2.05	2.23	2.69
3-9	0.6	20	2.04	2.22	2.69
7 d 极差	0.4	0.07			
14 d 极差	0.46	0.07			
28 d 极差	3.29	3.29			

由表 7 可知:单一因素下,水胶比越小,劈裂抗拉强度越大。粉煤灰的掺量使早期劈裂抗拉强度有所下降,但使其后期劈裂抗拉强度得到发展,基本上达到不掺粉煤灰组的劈裂抗拉强度。粉煤灰有效填充了骨料间的空隙,使孔隙率减少,改善了其内部孔隙结构,使高钛重矿渣混凝土更加密实,进而使其后期的劈裂抗折强度得到提升。总体来说,高钛重矿渣混凝土的劈裂抗拉强度基本上为其抗压强度的 1/15 左右。

从劈裂抗拉强度极差情况可以看出,影响高钛重矿渣混凝土劈裂抗拉强度的因素为:水胶比依然大于粉煤灰掺量。粉煤灰掺量相对来说其影响并不显著;但是,在同一水胶比情况下,反而在其后期达到了等量替代水泥的作用。为了更直观地观察、分析试验结果,试验室技术人员将表 7 中测得的劈裂抗拉强度数据分别以水胶比、粉煤灰掺量为变量绘制成劈裂抗拉强度曲线,不同水胶比劈裂抗拉强度示意图见图 8,不同粉煤灰掺量劈裂抗拉强度示意图见图 9。

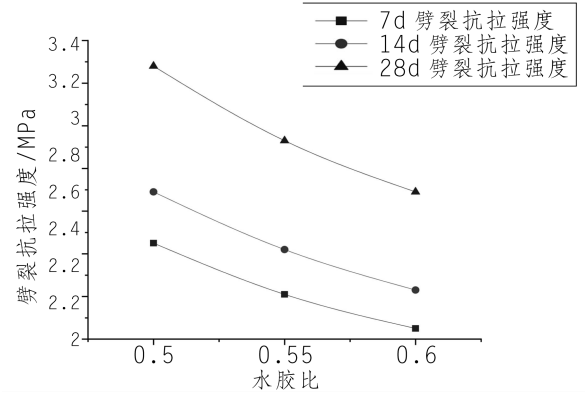


图 8 不同水胶比劈裂抗拉强度示意图

由图 8 可知其 7 d 的劈裂抗拉强度为:水胶比为 0.6 时,比水胶比为 0.5 时下降了 19.5%; 28 d 的劈裂抗拉强度为:水胶比为 0.6 时,比水胶比为 0.5 时下降了 21.9%。通过图 9 可以看出

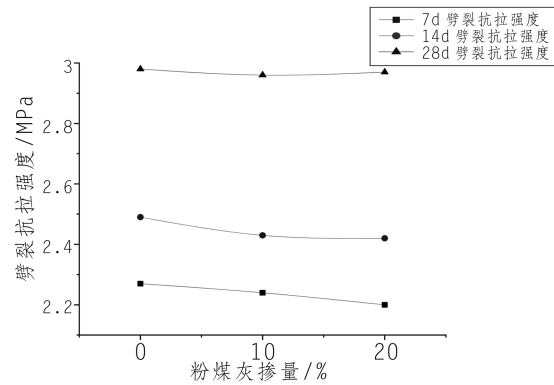


图9 不同粉煤灰掺量劈裂抗拉强度示意图

其7d的劈裂抗拉强度为:粉煤灰掺量为20%时,比不掺粉煤灰组下降了3%;而其28d的劈裂抗拉强度在粉煤灰掺量为20%时比不掺粉煤灰组下降了0.3%。由此可知:高钛重矿渣混凝土的劈裂抗拉强度由于不同的水胶比受到了较大的影响,粉煤灰的掺入虽然导致其前期劈裂抗拉强度有所下降,但其后期强度与不掺粉煤灰组相同。综合分析得知:28d龄期时,3-1组高钛重矿渣混凝土的劈裂抗拉强度最高,3-8组与3-9组的劈裂抗拉强度最低,3-1组比最低组劈裂抗拉强度高22%。

4 结 语

通过对三种力学性能试验结果进行对比分析得知:水胶比是综合影响高钛重矿渣混凝土强度的显著因素,水胶比越低,高钛重矿渣混凝土强度越高。粉煤灰的掺入改善了高钛重矿渣混凝土的

和易性,但亦导致其前期强度下降,而后期强度得以发展,并与不掺组强度基本相当。考虑到高钛重矿渣混凝土的实际工作性能与经济成本,经综合分析后得出 C30 高钛重矿渣混凝土的水胶比宜为 0.5,粉煤灰掺量宜为 10%,其抗压强度为 45.9 MPa,抗折强度为 4.7 MPa,劈裂抗拉强度为 3.28 MPa,并具有较好的和易性能。

参考文献

[1] 杨贺,梁贺之,陈伟,等.高钛重矿渣粉复合胶凝材料强度突变机理分析[J].非金属矿,2020,43(4):99-102.
[2] 孙金坤.全高钛重矿渣混凝土应用基础研究[D].重庆大学,2006.
[3] 钱波,胡建春,戚明强,等.C30 西昌全高钛重矿渣骨料混凝土性能试验研究[J].硅酸盐通报,2018,37(6):2062-2066.
[4] 徐春生,娄元涛,邓敏,等.高钛重矿渣混凝土的力学性能与自生体积变形[J].混凝土,2015,37(1):111-114.
[5] 王伟.高钛重矿渣再生混凝土耐久性试验研究[J].钢铁钒钛,2020,41(3):79-83.
[6] 何小龙.全高钛矿渣混凝土的研究与应用[D].重庆大学,2006.

作者简介:

梁贺之(1995-),男,四川内江人,助理工程师,硕士,从事市政工程建设管理工作;
李超(1986-),男,四川成都人,工程师,学士,从事市政工程建设管理工作;
闵凌飞(1993-),男,四川成都人,助理工程师,学士,从事市政工程建设管理工作;
张伟(1995-),男,四川巴中人,助理工程师,学士,从事市政工程建设管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

电建成都院中标仙女堡水电站大坝下游左岸岸坡和溢流面水毁段加固处理抗冲磨材料供应项目

2021年8月,电建成都院中标仙女堡水电站大坝下游左岸岸坡和溢流面水毁段加固处理抗冲磨材料供应项目。仙女堡水电站位于四川省平武县境内的木瓜墩—铁笼堡河段,是涪江上游梯级水电开发中的第三级电站,总装机容量为2×38 MW。电站主要枢纽工程由拦河闸坝、有压引水隧洞、压力钢管和主厂房四大部份组成。本项目的主要内容是为闸下游1-5号溢流面水毁段、护坦局部水毁区域等部位提供CK—抗冲磨材料和界面剂。该项目的成功中标得益于电建成都院成勘特材新材料近几年在修补加固市场获得的品牌影响力。未来,成勘特材将继续做大做强自身品牌,为公司新兴业务的发展贡献力量。

供稿:徐中浩

公司中标重庆轨道交通4号线西延伸段工程施工监测及控制测量项目

2021年12月28日,成都院工程测试科学研究院中标重庆轨道交通4号线西延伸段工程施工监测及控制测量项目,该项目中标是公司轨道交通多城市拓展的又一突破。重庆轨道交通4号线西延伸段工程在4号线一期的基础上向西延伸,西起盘桂路站,东至一期工程民安大道站,主要沿松石大道—盘溪路—红石路—花卉园西路—金龙路—红锦大道—泰山大道敷设。正线全长10.8 km,全部为地下线。设车站9座,全部为地下车站(暗挖车站8个,明挖车站1个)。设停车场一座,共分为6个标段。公司轨道交通监测业务始于2017年,通过四年时间的努力,公司轨道交通监测业务从无到有、从有到专。该项目的中标是公司轨道交通监测业务继成都、杭州和郑州后的又一地区突破。

(供稿:成都院工程测试科学研究院)