

DOI: 10.12164/j.issn.1003-8965.2023.02.008

快硬早强无收缩混凝土在外墙板中的应用

Application of fast-hardening and early-strength non-shrinkage concrete in exterior wall panel

钮旋敏

(天津华北地质勘查局, 天津 300170)

NIU Xuanmin

(Tianjin North China Geological Exploration Bureau, Tianjin 300170)

摘要: 利用超细钢渣微粉f-CaO、f-MgO的梯度水化特性, 开发了一种外墙用快硬早强无收缩混凝土, 解决了收缩开裂难题。快硬无收缩混凝土具有良好的流动性与填充性, 不离析、不泌水, 快硬早强, 扩展度达到680mm以上, 泌水率为0, 12h抗压强度19.4MPa以上, 不掺膨胀剂保证混凝土无收缩不开裂, 24h竖向膨胀率0.42%以上。快硬早强无收缩混凝土制备的外墙板, 180min耐火试验后, 背火面平均温升34℃、最高温升39℃, 未出现火焰。

关键词: 无收缩混凝土; 快硬早强; 超细钢渣粉; 外墙板; 膨胀剂

Abstract: Based on the gradient hydration characteristics of ultrafine steel slag powder f-CaO and f-MgO, a kind of fast-hardening and early-strength non-shrinkage concrete(FHESNFC) for exterior wall is prepared, which solves the problem of shrinkage cracking. This concrete has good fluidity and filling property, no segregation, no bleeding, fast-hardening and early-strength. The expansion degree is greater than 680mm, bleeding rate is 0, and 12-hour compressive strength is greater than 19.4MPa. This concrete has no shrinkage cracking without expansive agent, and 24-hour vertical expansion rate is 0.42%. An exterior wall panel is prepared by FHESNFC. After 180 minutes of fire resistance test, the average temperature rise of the back fire surface of exterior wall panel is 34℃, and the maximum temperature rise is 39℃, without any flame.

Key words: non-shrinkage concrete; fast-hardening and early-strength; ultrafine steel slag powder; exterior wall panel; expansive agent

中图分类号: TU528 文献标志码: A 文章编号: 1003-8965(2023)02-0025-04

0 引言

保温装饰一体化外墙板兼具围护、装饰、保温、防水等功能^[1], 可提升建筑品质与生活质量, 其节能降耗有助于我国双碳战略实施。为加快模具周转率, 保温装饰一体化外墙板可采用快硬早强无收缩混凝土, 其具有良好的填充性、不离析、不泌水、早强快硬无收缩等特性。目前, 早强快硬混凝土大多采用硅酸盐水泥与硫铝酸盐水泥^[2]或硫铝酸盐水泥复合使用技术, 凝结时间、施工性能易受温度和季节变化的影响。其收缩基本依靠掺加膨胀剂来解决, 但由于膨胀剂市场混乱、质量参差不齐, 导致掺后混凝土依然开裂。而硫铝酸钙-氧化钙类双膨胀源高性能混凝土膨胀剂^[3]、氧化镁膨胀剂^[4]等高端产品价格昂贵, 不适合大规模应用。且现有的混凝土存在施工性能不稳定、高流态下易离析泌水及干燥收缩体积稳定性差等缺点。因此, 研发一种施工性能稳定、不借助膨胀剂又能解决收缩开裂、体积稳定性好的早强快硬无收缩混凝土, 有助于自由拼接式外墙板在建筑行业的推广应用。

1 试验

1.1 原材料

水泥, 唐山冀东水泥股份有限公司生产的P.O42.5R早强型硅酸盐水泥, 勃氏比表面积390m²/kg, 熟料中硅酸三钙65%, 铝酸三钙7.5%。超细钢渣微粉, 液态钢渣经压缩空气喷吹冷却成平均粒径2mm左右的钢渣粒, 通过空气压缩冷却至室温, 再通过立磨-球磨联合粉磨系统选粉制得, d₉₀≤5.0μm, 碱度2.5, f-CaO含量为5.6%, f-MgO含量为7.2, 勃氏比表面积为820m²/kg。矿渣, 磨细粒化高炉矿渣粉, 碱性系数M₀ 1.2, 质量系数1.4, 勃氏比表面积为600m²/kg, 需水量90%, 28d活性指数110%。盐渣, 废硫酸钠盐渣微粉, 细度为45μm方孔筛筛余8.5%。碱渣, 制碱和碱处理过程中排放的碱性废渣, 按重量百分比计, 其组成为60%的碳酸钙、25%硫酸钙及4%氯化钙, 45μm方孔筛筛余10%, 且通过低温干燥脱水脱氯。流态稳定改性材料, 按重量百分比计, 其组成为70.0%沸石、22.0%消泡剂与8.0%纤维素, 作用在于增加混凝土的流动性、和易性与粘聚性, 降低混凝土对用水量波动的敏感性, 保证混凝土在高流态性下不离

基金项目: “十三五”国家重点研发计划(2018YFD1101004)

作者简介: 钮旋敏(1988-), 助理工程师, 主要从事混凝土及水泥制品研究与应用。

表1 混凝土配合比/(kg/m³)
Tab.1 Concrete mix ratio /(kg/m³)

编号	水泥	超细钢渣微粉	矿渣	盐渣	碱渣	流态稳定改性材料	减水剂	细骨料	粗骨料	水
1	245	55	65	6.0	5	4.0	2.8	780	1078	160
2	245	60	63	4.5	4	3.5	2.8	780	1078	160
3	250	70	50	4.0	3	3.0	2.8	780	1078	160
4	250	75	42	5.0	4	4.0	2.8	780	1078	160
5	250	75	41	4.0	5	5.0	2.8	780	1078	160

析、不泌水。减水剂,粉状早强型聚羧酸高性能减水剂,含有4.5%纳米CSH成核剂,12h抗压强度比190%,28d收缩率比105%。细骨料,机制砂,MB值1.0,石粉含量为12.5%,II区级配中砂,细度模数为2.5。粗骨料,碎卵石,粒径为5~20mm,含泥量0.5%。水,自来水。

1.2 混凝土配合比

为保证外墙板质量外观,快硬早强混凝土应具有自密实特性,扩展度大于600mm,且不离析、不泌水。混凝土配合比见表1。

1.3 外墙板制作

反打石材外墙板制备工艺见图1。混凝土浇筑时布料均匀,边角部位可用振捣棒辅助密实。浇筑完成后,用铝合金刮尺初步刮平表面,并在混凝土初凝后进行首次压光,压光作业时从一侧开始,从前往后倒退作业。一次压光作业完成待混凝土终凝后对构件表面进行二次压光,操作顺序同首次压光。压光完成后混凝土构件表面平整度2m靠尺测量,不超过3mm,构件表观质量平整光滑,无空隙,无铁板纹路。

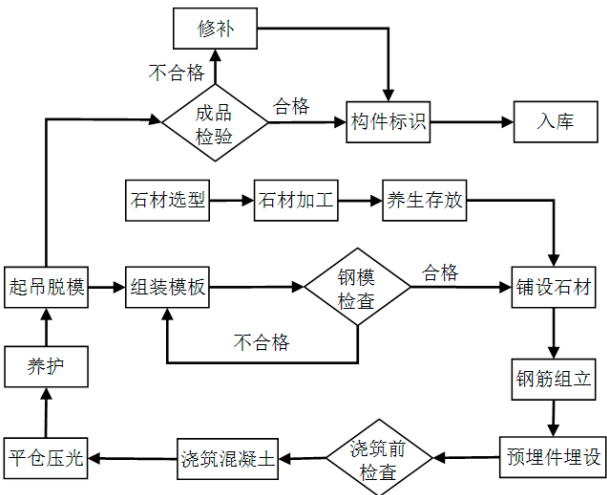


图1 外墙板制备工艺流程

Fig.1 Process flow of exterior wall panel

外墙板混凝土强度达到设计强度的75%以上时脱模吊运,检查板底表观质量,合格品置于临时成品堆放区(图2)。

1.4 试验方法

混凝土坍落扩展度、J环障碍高差与竖向膨胀率依据TJ/GW 112-2013《高速铁路CRTSⅢ型板式无砟轨道自密实混凝土暂行技术条件》^[5]测试。泌水率依据GB/T 50080-2016《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》测试。抗压



图2 外墙板吊运

Fig.2 Lifting of exterior wall panels

强度依据GB/T 50081-2019《混凝土物理力学性能试验方法标准》测试。

外墙板尺寸偏差依据JG/T 287-2013《保温装饰外墙外保温系统材料》测试。外墙板耐火性依据GB/T 9978.8-2008《建筑构件耐火试验方法 第8部分:非承重垂直分隔构件的特殊要求》测试。

2 结果与讨论

2.1 混凝土拌合物性能

快硬早强无收缩混凝土拌合物工作性见表2、图3、图4。

表2 快硬早强无收缩混凝土性能

Tab.2 Performance of fast-hardening and early strength non shrinkage concrete

编号	坍落扩展度/mm	J环障碍高差/mm	泌水率/%	抗压强度/MPa		24h竖向膨胀率/%
				12h	28d	
1	680	14	0	20.5	46.8	0.42
2	700	12	0	19.4	43.6	0.47
3	690	15	0	19.8	44.7	0.52
4	720	12	0	22.1	48.3	0.54
5	700	13	0	22.8	48.5	0.55

由表2和图3、图4可知,快硬早强无收缩混凝土拌合物工作性能良好,1#~5#混凝土的出机坍落扩展度达到

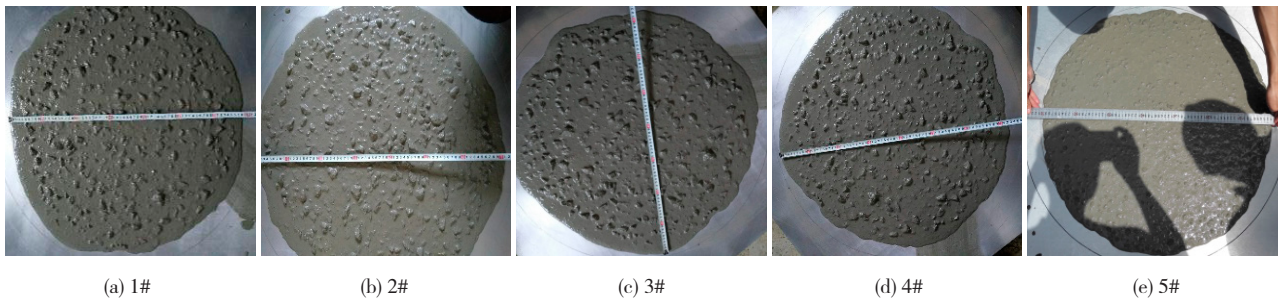


图3 新拌混凝土坍落扩展度
Fig.3 Slump expansion of fresh concrete

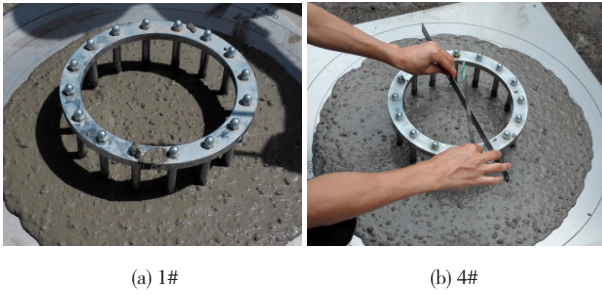


图4 混凝土J环障碍高差
Fig.4 J-ring obstacle height difference of concrete

680~720mm, 远大于设计的600mm以上要求。1#~5#新拌混凝土的J环障碍高差在12~15mm, 远低于TJ/GW 112-2013中自密实混凝土的15mm限值。并且, 混凝土粘聚性好, 1#~5#混凝土的泌水率均为0, 没有出现离析现象。沸石、消泡剂与纤维素所构成的流态改性材料改善混凝土的流变特性、改善粘度^[6], 降低单方用水量对混凝土施工性能的影响, 保证混凝土不离析、不泌水。坍落扩展度与J环障碍高差与泌水率结果表明, 所制备的混凝土具有良好的流动性、填充性, 可有效保证外墙板的外观质量。综合考虑施工性能与力学性能, 早强快硬混凝土采用3#配合比。

2.2 硬化混凝土性能

外墙用快硬早强无收缩混凝土的抗压强度与竖向膨胀率测试结果见表2与图5、图6。

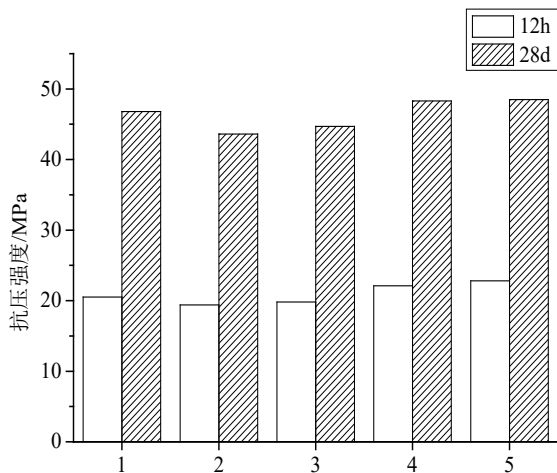


图5 混凝土抗压强度
Fig.5 Compressive strength of concrete

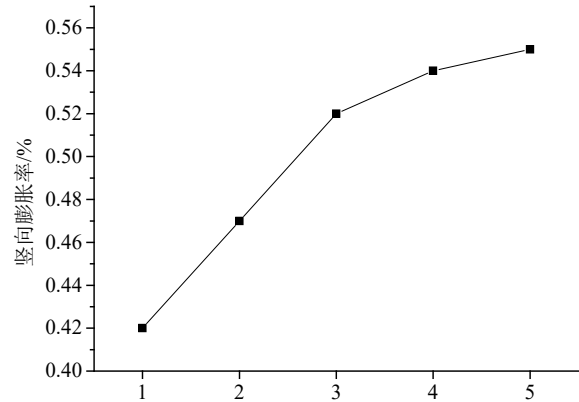


图6 混凝土24h竖向膨胀率
Fig.6 24h vertical expansion rate of concrete

由图5可以看出, 1#~5#混凝土抗压强度增长迅速, 12h抗压强度达到19.4~22.8MPa, 表现出较好的早强快硬特性, 满足外墙板快速制备需求。钢渣、矿渣在水泥、盐渣、碱渣的复合叠加激发下, 加快水化反应进程, 短时间内生成大量水化产物, 从而实现混凝土的早强快硬, 且后期强度持续增长, 28d抗压强度达到43.6~48.5MPa。

由图6可以看出, 1#~5#混凝土未发生收缩, 24h竖向膨胀率0.42%~0.55%, 且竖向膨胀率随着超细钢渣微粉掺量增加而增大。超细钢渣微粉中f-CaO、f-MgO的梯段水化特性使其膨胀性产物Ca(OH)₂和Mg(OH)₂生成速率与混凝土强度增长、体积变化相匹配^[7], 有效膨胀补偿收缩, 提高混凝土的体积稳定性, 实现在无外掺膨胀剂情况下不收缩。

2.3 外墙板尺寸偏差

外墙板设计尺寸为2880mm×2750mm×50mm, 表3是外墙板尺寸偏差测试结果。由表3可以看出, 外墙板的长度偏差值为(-2~+3)mm、宽度偏差值为(-1~+2)mm、厚度偏差值为(-1~+1)mm, 均在允许尺寸偏差(-5~+5)mm范围内, 满足规定设计要求。超细钢渣微粉赋予快硬早强混凝土的无收缩特性, 一定程度上降低了外墙板的长度、宽度与厚度的尺寸偏差。

表3 外墙板尺寸偏差

Tab.3 Dimension variation of exterior wall panel

编号	长度/mm			宽度/mm			厚度/mm		
1	2878	2883	2881	2749	2752	2750	49	51	49
2	2882	2881	2879	2752	2750	2751	50	51	50
3	2879	2883	2883	2749	2750	2752	49	50	51
4	2880	2878	2881	2750	2752	2750	50	49	49
5	2881	2879	2880	2751	2750	2751	51	50	50
6	2883	2881	2879	2750	2751	2750	49	51	51
7	2879	2882	2879	2752	2750	2749	50	51	50
8	2882	2880	2880	2749	2749	2750	49	50	49
偏差	(-2~+3)mm			(-1~+2)mm			(-1~+1)mm		

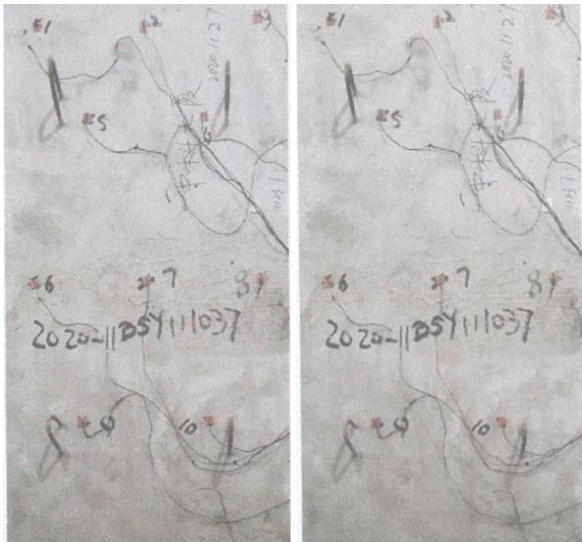
2.4 外墙板耐火性

耐火隔热性与耐火完整性是评价外墙燃烧性能的重要指标,表4是外墙板耐火性测试结果,图7是耐火性测试前后外墙板试件外观。

表4 外墙板耐火性

Tab.4 Fire resistant of exterior wall panel

项目	试验结果
耐火隔热性	180min 试件背火面平均温升 34℃, 最高温升 39℃。
耐火完整性	180min 未点燃棉垫; Φ6mm 金属棒不能穿过试件进入炉内, Φ25mm 金属棒不能穿过试件进入炉内; 试件背火面未出现火焰。



(a) Before-test

(b) After test

图7 外墙板耐火性试验

Fig.7 Fire resistant test of exterior wall panel

由表4可知,180min时,试件背火面平均温升34℃,小于标准规定的不超过140℃。试件背火面最高温升39℃,低于标准规定的任一点位置的温升不超过180℃。因此,外墙板具有较好的耐火隔热性能。

由图7可以看出,180min耐火试验后,Φ6mm与Φ25mm金属棒均不能穿过试件进入炉内,且试件背火面没有出现火焰,表明外墙板具有较好的耐火完整性。

2.5 外墙板混凝土抗压强度

外墙板用混凝土同条件养护试件抗压强度测试结果见表5。由表5可以看出,混凝土实测抗压强度44.0MPa,超过设计C30混凝土强度等级要求,说明所制备的外墙板具有较好的强度富余系数与可靠的安全性。

表5 外墙板立方体抗压强度

Tab.5 Cube compressive strength of exterior wall panels

编号	承压面积/mm	抗压荷载/kN	抗压强度/MPa	平均抗压强度/MPa
1		980.9	43.6	
2	150×150	999.1	44.4	44.0
3		944.3	42.0	

3 结论

1) 采用水泥、超细钢渣微粉、矿粉、盐渣、碱渣制备了外墙板用早强快硬无收缩混凝土,混凝土具有良好的自密性,不离析、不泌水,有助于保证外墙板质量外观。12h抗压强度达到19.4MPa以上,缩短了外墙板制备周期。超细钢渣微粉中f-CaO、f-MgO的梯段水化特性实现混凝土在不掺加膨胀剂情况下无收缩。

2) 基于早强快硬无收缩混凝土所制备的外墙板,长度、宽度与厚度偏差均在允许尺寸偏差(-5~+5)mm范围内。

3) 外墙板具有良好的耐火隔热性与耐火完整性。180min耐火性试验后,试件背火面平均温升34℃、最高温升39℃。Φ6mm与Φ25mm金属棒均不能穿过试件进入炉内,且试件背火面没有出现火焰。

参考文献

- [1] 杨思忠,任成传,齐博磊,等. 结构装饰保温一体化预制外墙板制造关键技术[J]. 施工技术,2015,44(04):102-106.
- [2] 张勇宏,王吉,刘军华,等. 硫铝酸盐水泥基混凝土早强特性及其应用[J]. 中国建材科技,2021,30(05):49-51.
- [3] 李长成,张学文,贾福杰,等. HCSA膨胀剂制备CRTSⅢ型无砟轨道自密实混凝土[J]. 混凝土,2018(09):143-145+151.
- [4] 张占强,陈平,李顺凯,等. 氧化镁膨胀剂对UHPC浆体早期孔结构演变的影响[J]. 硅酸盐通报,2023,42(03):871-877+916.
- [5] TJ/GW 112-2013,高速铁路CRTSⅢ型板式无砟轨道自密实混凝土暂行技术条件[S].
- [6] 李信,陈露一,黄有强,等. 粘度改性材料在C60超高层泵送混凝土中的应用研究[J]. 新型建筑材料,2020,47(02):41-44.
- [7] 高颖,王伟,赫陈萌,等. 钢渣体积膨胀行为及改性方法研究进展[J]. 科学技术与工程,2021,21(33):14040-14048.