

高吸水树脂对机制砂混凝土收缩性能和强度的影响研究

魏定邦^{1,2} 李晓民^{1,2} 王起才^{*1} 姚志杰¹ 韩博³

(1. 兰州交通大学 土木工程学院, 兰州 730070; 2. 甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司, 兰州 730000; 3. 兰州理工大学 土木工程学院, 兰州 730000)

摘要: 针对机制砂混凝土在甘肃河西地区干旱多风气候条件下易产生早期开裂的问题, 研究高吸水树脂(SAP)对机制砂混凝土的自收缩、干燥收缩和抗裂性的影响, 对比分析了SAP在标准养护和模拟养护条件下对机制砂混凝土强度发展的影响。结果表明: SAP内养护法可有效抑制机制砂混凝土的自收缩和干燥收缩, 显著降低机制砂混凝土在模拟环境条件下的开裂风险; 在模拟河西地区气候条件下, SAP的掺入能够有效保证机制砂混凝土的强度发展, 但随着SAP掺量的增加, 强度有所下降。综合考虑混凝土的自收缩、干燥收缩、抗裂性和强度的影响, 建议在甘肃河西地区大风低湿度条件下SAP的掺量为 0.76 kg/m^3 , 内养护水引入量为 9.45 kg/m^3 。

关键词: 机制砂混凝土; 高吸水树脂; 收缩; 抗裂性

中图分类号: TU528

文献标志码: A

Study on Shrink Performance and Strength of Manufactured Sand Concrete with Super Absorbent Polymer

WEI Ding-bang^{1,2} LI Xiao-min^{1,2} WAN Qi-cai^{*1} YAO Zhi-jie¹ HAN Bo³

(1. School of Civil Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China;

2. Gansu Provincial Communications Planning Survey and Design Institute Co., Ltd., Lanzhou 730000, China;

3. School of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730000, China)

Abstract: In view of the early cracking problems of manufactured sand concrete caused by the special climate in Hexi region, the influence of super absorbent polymer (SAP) to autogenous shrinkage, drying shrinkage and crack resistance of manufactured sand concrete was studied. Meanwhile, the effect of SAP on the strength of the manufactured sand concrete under standard curing and simulated curing conditions was compared. The results show that SAP internal maintenance method can effectively inhibit autogenous shrinkage and drying shrinkage of manufactured sand concrete, and significantly reduce the cracking risk of manufactured sand concrete in the environment of Hexi region. In addition, the incorporation of SAP can effectively ensure the strength of manufactured sand concrete under the climatic conditions of Hexi region. But the strength decreases with the increase of the SAP content. Based on comprehensive consideration of autogenous shrinkage, drying shrinkage, shrinkage and strength, it is suggested that the SAP dosage is 0.76 kg/m^3 and the amount of internal curing water introduced is 9.45 kg/m^3 under the windy humidity-

收稿日期: 2019-03-12

学报网址: <http://lztj.cbpt.cnki.net>

基金项目: 甘肃省交通厅科研项目(2017-16, 2017-19); 甘肃省科技计划资助(18YF1GA036)

第一作者: 魏定邦(1984-), 男, 甘肃兰州人, 博士研究生, 主要研究方向为道路新材料、新技术。E-mail: 286237855@qq.com.

通信作者: 王起才(1962-), 男, 河北晋州人, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为建筑与桥梁新结构。E-mail: 13909486262@139.com.

ty conditions in Hexi region.

Key words: manufactured sand concrete; super absorbent polymer; shrinkage; crack resistance

随着我国土木工程数量的逐年增长,建筑用砂量逐年攀升,因天然砂资源的逐渐枯竭和严格的开采限制,越来越多的工程采用机制砂代替天然砂。但机制砂由于自身级配较差、棱角多、石粉含量高,导致混凝土的工作性差、易离析、开裂敏感性高^[1-4]。甘肃河西地区天然砂储量少,自然气候极端干旱、蒸发量大,部分地区6级风天数超过300 d/a,机制砂混凝土在这种恶劣气候条件下极易发生因水分快速蒸发引起的自收缩、干缩开裂^[5]。机制砂混凝土在这些耦合因素作用下,其耐久性面临更严峻的考验。掺加膨胀剂、加强养护等方法虽可预防混凝土的早期开裂,但是膨胀剂在干燥环境下的补偿收缩效果有限。传统的浇水覆盖外养护方法一般需待拆模后才能实施,难以预防混凝土的早期开裂,同时,河西地区蒸发量巨大、风速较高,浇水养护不及时或表面覆盖物风损,都达不到外养护的要求。内养护法通过吸水材料在混凝土内部补充水分,使混凝土内部相对湿度始终保持较高水平,既可有效缓解因养护不足导致的混凝土早期开裂,又能克服河西地区特殊气候条件造成的养护困难问题。

高吸水树脂(SAP)是一种能够吸收自身质量几十倍甚至上千倍水溶液的高分子聚合物,掺入到混凝土中能起到内部“蓄水池”的作用,随着混凝土内部水泥矿物的水化缓慢释放出储存的水分,维持混凝土内部相对湿度,从而降低混凝土的收缩^[6]。近年来已有众多学者针对SAP内养护法改善混凝土收缩、预防开裂作用进行了研究。刘成虎等^[7]通过研究SAP对混凝土自收缩和强度的影响,发现SAP可显著抑制自收缩,且能提高混凝土强度。孔祥明等^[8]的研究结果表明,SAP对高强混凝土14 d的自收缩减缩率可达90%以上,虽对早期强度发展不利,但对后期强度影响不大。Jensen等^[9]发现SAP能够增大砂浆内部的相对湿度,改善砂浆的自收缩。此外,大量研究表明SAP的引入可以增加混凝土含气量,改善混凝土的孔结构,从而改善其抗冻性和抗渗性^[10-13]。然而这些研究中,SAP的作用对象均是天然砂混凝土,鲜有针对机制砂混凝土的收缩改善效果的研究,因而本文以甘肃河西地区的特殊气候条件为背景,研究了以SAP应对机制砂混凝土恶劣环境下早期开裂的可行性,以期对河西地区机制砂

混凝土的推广应用提供理论依据和实践指导。

1 试验

1.1 原材料

水泥采用祁连山P. O42.5普通硅酸盐水泥;粗集料采用临洮5~20 mm连续级配石灰岩碎石;细集料采用甘肃建投干法生产的石灰岩机制砂,细度模数3.2,石粉含量3.6%,表观密度、堆积密度、泥含量等均满足要求;减水剂为苏博特聚羧酸高效减水剂;高吸水树脂SAP选用济南华迪化工生产,粒径为150~200目,纯水中的饱和吸水率为自身质量的200倍。

1.2 混凝土配合比

采用水灰比为0.36的C40-0混凝土为基准混凝土,通过调整减水剂的用量,将基准组的坍落度控制在 230 ± 5 mm。由于SAP的高吸水性,在掺入混凝土后会迅速吸收混凝土中的拌合用水,使混凝土工作性显著降低^[14]。为保证混凝土具有良好的工作性,本研究分别在保证砂浆的流动度为230 mm,混凝土的坍落度为230 mm、扩展度为400 mm的情况下,确定了SAP在砂浆和混凝土中的吸水倍率。结果表明,将SAP吸水倍率控制在12.5倍时,其对砂浆和混凝土的工作性均无显著影响。根据Powers模型计算得到C40混凝土所需的理论内养护水胶比为0.06,本文研究了以SAP引入35%、70%和100%的内养护水三种情况时,C40混凝土的强度、自收缩和抗裂性能。

SAP的混凝土的拌合工艺为:先将SAP同水泥、粗集料、机制砂一起干拌30 s,然后加入总水量的1/2,搅拌120 s,使SAP充分吸水,然后再加入减水剂和剩余1/2的水,可避免SAP吸收减水剂,且能使减水剂充分分散。混凝土配合比设计如表1所列。

1.3 自收缩和干燥收缩试验

为研究引入SAP内养护对机制砂混凝土因自干燥引起的早期收缩和处于干燥环境中因水分蒸发引起的干燥收缩的影响,本文分别进行了自收缩和干燥收缩试验。自收缩试验采用SBT-AS100混凝土自收缩应变测试仪,试验过程参照规范^[15]进行,干燥收缩试验参照规范^[16]中的接触法进行。

1.4 抗裂试验

根据《混凝土结构耐久性设计与施工指南》中的平板试件混凝土抗裂性试验研究 SAP 对 C40 混凝土早期开裂性能的影响,在专用模具中成型 600 mm ×

600 mm × 63 mm 的平面薄板. 试件浇筑后以塑料薄膜覆盖,保持环境温度 30 ℃; 2 h 后将塑料薄膜取下,用电风扇吹混凝土表面,保持风速 8 m/s,环境温度 30 ℃,湿度 10%,以模拟河西地区气候条件.

表 1 混凝土配合比设计

Tab. 1 Concrete mix design

组别	水灰比	材料用量/(kg/m ³)							内养护水 /%
		水泥	粗骨料	细骨料	水	减水剂	SAP	内养护水	
C40-0	0.36	450	1 008	730	162	6.5	0	0	0
C40-S1	0.36	450	1 008	730	162	6.5	0.76	9.5	35
C40-S2	0.36	450	1 008	730	162	6.5	1.51	18.9	70
C40-S3	0.36	450	1 008	730	162	6.5	2.16	27.0	100

2 结果与分析

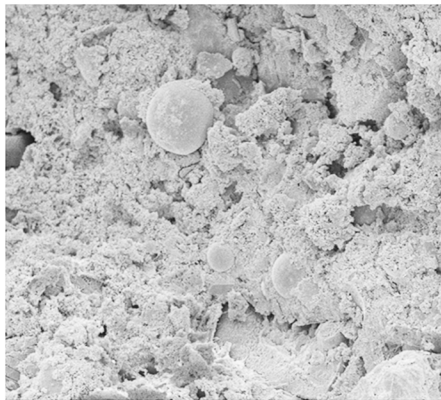
2.1 微观结构

掺入 SAP 的混凝土在模拟环境条件下养护 28 d 的 SEM 图如图 1 所示,由图 1(a) 可以看出所掺入的 SAP(图中球形颗粒状)在混凝土内部的水泥浆体中分散性较好,说明本文所采取的混凝土拌和方式有效地避免了 SAP 颗粒在混凝土搅拌过程中的团聚问题,使得吸收内养护水的 SAP 对混凝土各部位湿度调节较为均匀. 观察放大 30 000 倍图 1(b) 可发现,由于 SAP 在水泥水化过程中释放出储存的

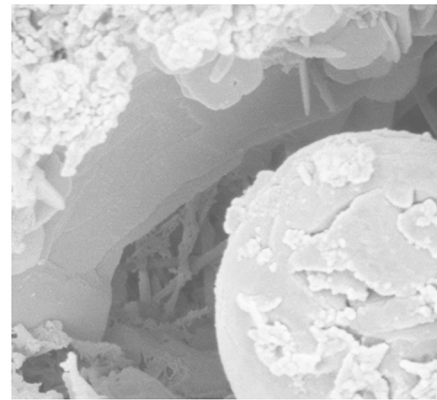
水分后,其体积变小,水泥浆体硬化后,SAP 与水泥浆体之间形成了空隙.

2.2 SAP 对机制砂混凝土收缩性的影响

各配合比的混凝土的自收缩曲线如图 2 所示. 由图 2 可知,C40-0 机制砂混凝土自收缩主要发生在 0~24 h,该阶段水泥快速水化,混凝土中因水泥的化学收缩形成大量的孔隙,而混凝土中的水由于蒸发和水化反应被大量消耗,导致这部分孔隙处于不饱和状态而产生自干燥现象,引发自收缩. 经过该阶段以后,水泥水化速率降低,且混凝土开始硬化,抵抗变形能力增强,混凝土的收缩逐渐趋于稳定.



(a) 2 000 倍



(b) 30 000 倍

图 1 掺入 SAP 的混凝土内部硬化水泥浆体的 SEM 图

Fig. 1 SEM image of cement paste with SAP

利用 SAP 引入内养护水后,可显著降低机制砂混凝土的自收缩值,这是因为 SAP 能够随着水泥的水化,在混凝土内部相对湿度梯度的作用下缓慢释放出储存的水分,使内部较长时间内保持较高的相对湿度,孔隙处于饱和状态,从而延缓混凝土的自收缩. 由图 2 可知,以 SAP 分别引入 9.45 kg/m³ 和

18.9 kg/m³ 内养护水的 C40-S1 和 C40-S2 的 48 h 自收缩值仅有 C40-0 的 35% 和 30%; 但当 SAP 的掺量进一步增大时,C40-S3 的自收缩值反而大于 C40-S1 和 C40-S2,这表明机制砂混凝土自收缩值并非一直随着 SAP 的掺量增大而减小. 这可能是由于过量的 SAP 在混凝土中形成了较多的大孔,这部分

孔隙在 SAP 释放水分过程中发生了收缩,导致 SAP 掺量超过一定程度后,自收缩值反而随着 SAP 掺量的增大而增大。

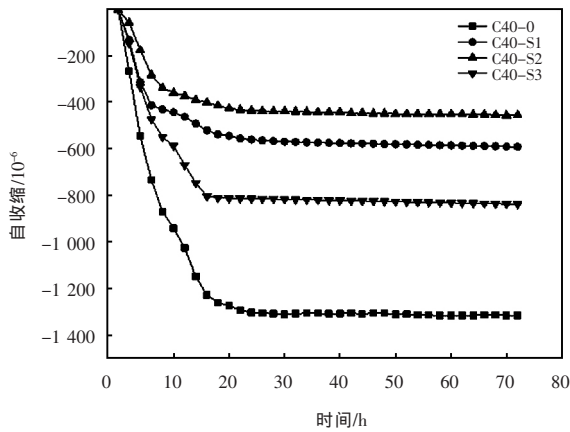


图2 SAP对混凝土自收缩的影响

Fig. 2 Autogenous shrinkage of different SAP dosage

2.3 干燥收缩

各组试件在模拟环境条件下的干缩试验结果如图3所示,可以看出,C40-0组的干燥收缩明显大于其他添加SAP引入内养护水的试验组,表明以SAP对机制砂混凝土进行内养护可有效抑制其在恶劣环境条件下的干燥收缩。但SAP对机制砂混凝土的减缩率并非随其掺量增加而提高,由图3可知,C40-S1组28d的干燥收缩为 -335.2×10^{-6} ,当SAP引入的内养护水逐渐增多时,C40-S2和C40-S3组28d的干燥收缩分别为 -353.6×10^{-6} 和 -375.2×10^{-6} ,反而有所增大。这是由于混凝土的干燥收缩与其水分损失率密切相关,过多的内养护水加剧了混凝土表面的水分蒸发,从而导致内养护水超过一定临界值后,反而会使混凝土的干燥收缩增大。

2.4 SAP对机制砂混凝土抗裂性的影响

混凝土平板开裂试验的照片如图4所示,各试件的平板开裂试验开裂参数如表2所列。可以看到,在模拟环境的高温、大风、低湿度条件下,各试件均发生了不同程度的开裂,其中C40-0的开裂最为严重,表面出现大量裂缝,且裂缝较长、宽度较大。掺入SAP进行内养护以后,各试件的开裂情况得到有效抑制,C40-S1表面仅有非常细的裂纹,需借助放大镜才能看清楚,其平均裂开面积、单位面积的开裂裂缝数目和单位面积上的总裂开面积均大幅度降低,这表明,掺入SAP能有效增强机制砂混凝土在恶劣环境条件下的早期抗裂性;但当SAP掺量进一步增大时,机制砂混凝土的抗裂性又有所降低,这是由于随着SAP掺量的增大,混凝土中的可蒸发的内养护

水增多,在高温、大风、低湿度条件下,加剧了机制砂混凝土的水分损失速率和干燥收缩,从而导致抗裂性有所降低。

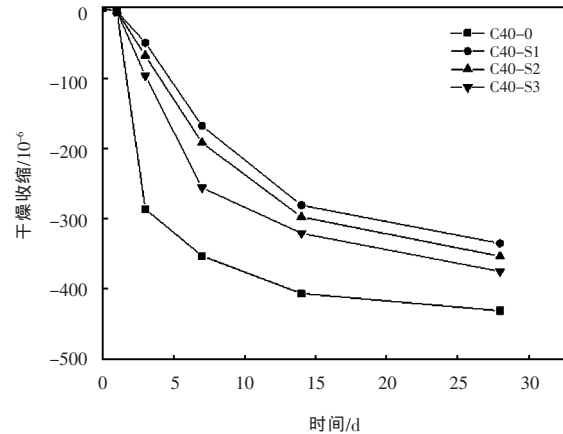


图3 SAP对混凝土干燥收缩的影响

Fig. 3 Drying shrinkage of different SAP dosage

2.5 SAP对机制砂混凝土强度的影响

力学性能是混凝土最重要的性能,故在考察SAP对混凝土收缩开裂性能的同时,必须同时验证其力学性能。本文同时研究了文中各配合比机制砂混凝土在标准养护和模拟河西地区环境(同平板开裂试验)养护条件下的3d、7d和28d强度,试验结果如图5所示。

对比图5可知,由于在模拟环境条件下的混凝土快速失水,产生内部水化不均、形成大量失水孔道等原因所致,所有掺加SAP的试件在模拟环境条件下的抗压强度均低于标准养护条件下。在标准养护环境下,混凝土受环境条件作用导致的失水较少,即使不添加SAP引入内养护水,其水泥也能水化较为充分,而SAP在释放水分后会在水泥石中留下空隙,降低混凝土的致密性,从而对强度产生负面影响,故标准养护条件下的机制砂混凝土强度随SAP掺量的提高而降低。而在模拟养护环境下,受大风、高温和低湿度条件影响,混凝土水分蒸发加剧,若仅依靠拌合用水,其水泥水化不充分,强度较低,C40-0组28d强度仅为35.5 MPa;而C40-S1、C40-S2和C40-S3组的28d强度分别为46.4 MPa、42.3 MPa和37 MPa,均大于C40-0标准组。这是由于添加SAP引入内养护水以后,混凝土的总水胶比增大,且SAP在水泥水化过程中缓慢释放出预先吸附的水分,使得水泥水化更充分,故在模拟养护条件下,添加SAP的试件的强度普遍高于标准组;但随着SAP引水量的增加,其在混凝土中造成的空隙亦随之增多,故混凝土的强度并不随SAP引水量的增大而提高。

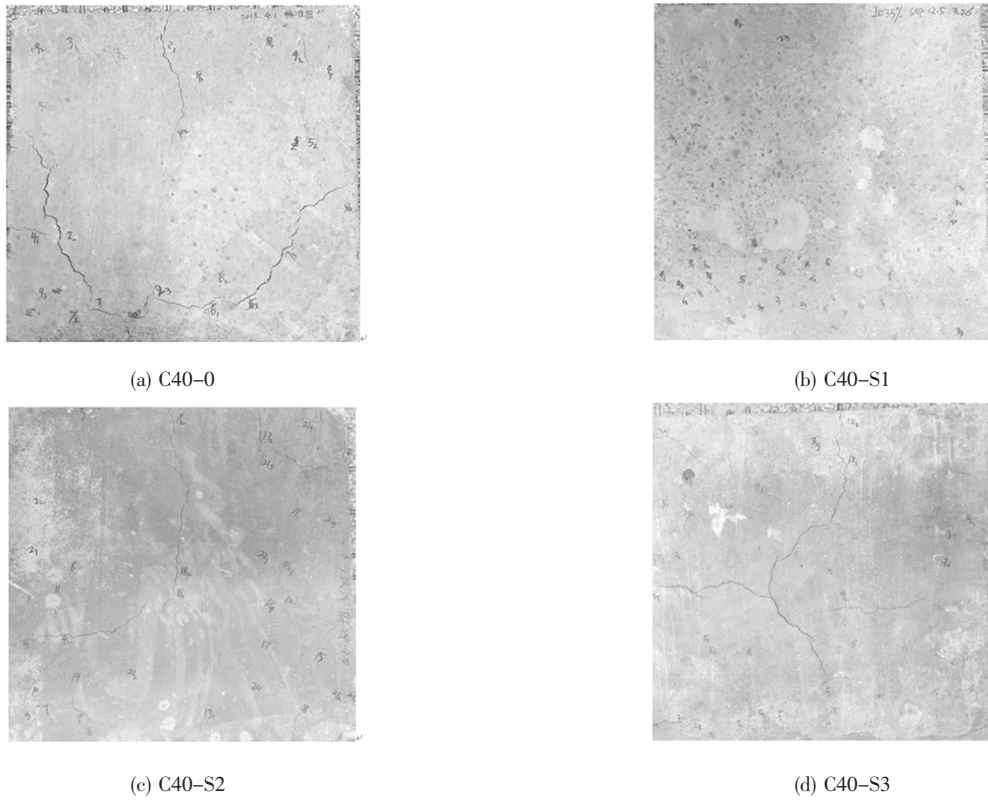


图 4 平板开裂试验照片

Fig. 4 Experimental photos of plate cracking

表 2 平板开裂试验参数

Tab. 2 Plate cracking parameter

组别	总裂缝数量 /个	平均开裂面积 /(mm ² /根)	单位面积的开裂裂缝 数目/(根/m ²)	单位面积上的总开裂 面积/(mm ² /m ²)
C40-0	38	48.4	105.6	5 110.2
C40-S1	33	5.9	91.7	542.7
C40-S2	32	13.2	88.9	1 171.6
C40-S3	37	17.1	102.8	1 757.5

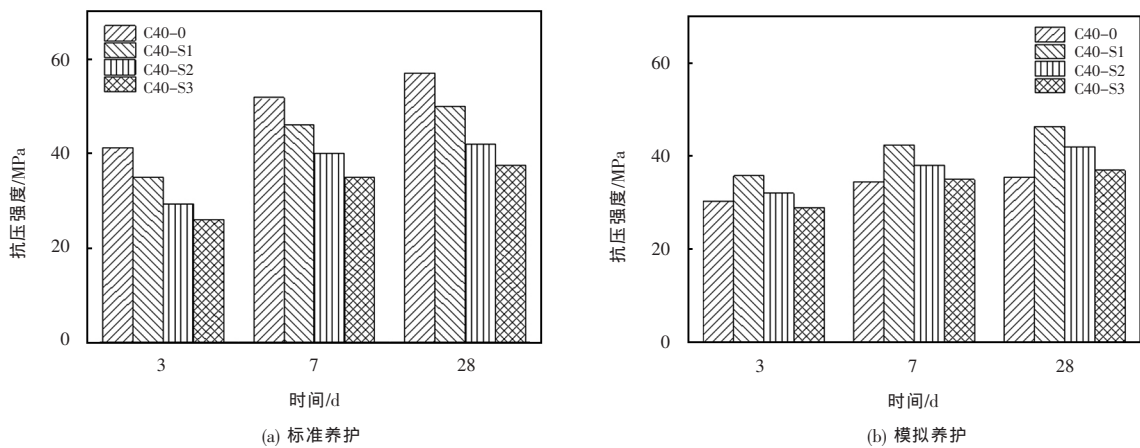


图 5 不同养护条件下混凝土抗压强度

Fig. 5 Compressive strength under different curing condition

3 结论

1) SAP 内养护法可有效抑制机制砂混凝土的自收缩和干燥收缩,显著降低机制砂混凝土在河西地区环境条件下的开裂风险。

2) SAP 失水后会在水泥石中留下微小空隙,对机制砂混凝土在标准养护条件下抗压强度产生不利影响;但在干旱高温模拟环境条件下,SAP 的额外引水量使得混凝土中的水泥水化更充分,有利于机制砂混凝土的强度发展;但随着 SAP 引水量的增加,混凝土的强度有所下降。

3) 在甘肃河西地区大风低湿度条件下,综合考虑混凝土的自收缩、干燥收缩、抗裂性和强度的影响,建议 SAP 的掺量为 0.76 kg/m^3 ,内养护水引入量为 9.45 kg/m^3 。

参考文献:

- [1] 蔡基伟,李北星,周明凯,等.石粉对中低强度机制砂混凝土性能的影响[J].武汉理工大学学报,2006,28(4):27-30.
- [2] 李北星,周明凯,田建平,等.石粉与粉煤灰对 C60 机制砂高性能混凝土性能的影响[J].建筑材料学报,2006,9(4):381-387.
- [3] 郑怡,张耀庭.石灰岩质机制砂混凝土收缩徐变性能的试验研究[J].土木工程学报,2013,46(12):59-65.
- [4] 陈正发,刘桂凤,秦彦龙,等.恶劣环境下机制砂混凝土的强度和耐久性能[J].建筑材料学报,2012,15(3):391-394.
- [5] 朱长华,李享涛,王保江,等.大风干旱地区预防混凝土结构开裂的试验研究[J].铁道建筑,2012(2):123-126.
- [6] 黄天勇,王栋民,刘泽.高吸水树脂作为混凝土内养护剂的研究进展[J].硅酸盐通报,2013,32(11):2281-2285.
- [7] 刘成虎,王辉,任冶,等.高吸水树脂(SAP)对砂浆与混凝土性能的影响[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2015,39(6):1190-1193.
- [8] 孔祥明,张珍林.高吸水树脂对高强混凝土早期减缩效果及机理研究[J].建筑材料学报,2014,17(4):559-565.
- [9] JENSEN O M, HANSEN P F. Water-entrained cement-based materials: II. experimental observations[J]. Cement & Concrete Research, 2002, 32(6):973-978.
- [10] 刘仍光,王力尚,周康,等.燥热环境中混凝土早期开裂的改善措施研究[J].硅酸盐通报,2013,32(4):748-753.
- [11] 钟佩华.高吸水性树脂(SAP)对高强混凝土自收缩性能的影响及作用机理[D].重庆:重庆大学,2015.
- [12] 王文彬,郭飞,李磊,等.高吸水性树脂内养护对水泥基材料性能的影响[J].混凝土,2014(10):86-88.
- [13] HASHOLT M T, JENSEN O M, KOVLER K, et al. Can superabsorbent polymers mitigate autogenous shrinkage of internally cured concrete without compromising the strength[J]. Construction and Building Materials, 2012, 31:226-230.
- [14] 张蕊.非洲干旱地区天然火山灰高性能混凝土内养护技术研究[D].北京:北京交通大学,2017.
- [15] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准:GB/T 50082-2009[S].北京:中国建筑工业出版社,2010:46-50.
- [16] ASTM International. Standard test method for autogenous strain of cement paste and mortar: ASTM C 1698-09[S]. Harrisburg: West Conshohocken press, 2014:1-5.

(责任编辑:马延麟)