

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2018.03.011

红砖粉及 SAP 对钢管混凝土内养护的影响研究

张卫红¹, 周晓靖², 乔文号^{3,4}

(1. 云南公投工程检测有限公司, 云南 昆明 650000;

2. 云南楚大高速公路改扩建工程建设指挥部, 云南 大理 671000;

3. 中国科学院 武汉岩土力学研究所 岩土力学与工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430071;

4. 中国科学院大学, 北京 100000)

摘要: 内养护是通过混凝土内部水分补偿作用为解决高强低水胶比混凝土收缩开裂提供了重要技术途径。本研究选取高吸水树脂 SAP、红砖粉作为内养护材料, 研究两者单一以及复合后对钢管混凝土性能的影响, 探究两者对钢管混凝土的内养护效果。研究结果表明: 以红砖粉取代细集料作为内养护剂, 随着取代率增大, 混凝土流动性损失越来越大, 当取代率达到 50% 时, 坍落度下降到 220 mm, 混凝土内部湿度也高于空白组。以红砖粉和 SAP 作为复合内养护剂, 28 d 强度略小于单掺 0.2% SAP 组, 混凝土内部湿度也接近单掺 0.2% SAP 组。

关键词: 高吸水树脂; 红砖粉; 内养护; 钢管混凝土; 吸水释水

中图分类号: TU398

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2018)03-0060-06

Influence of SAP and Brick Powder on Internal Curing Performance of Concrete-filled Steel Tube

ZHANG Weihong¹, ZHOU Xiaojing², QIAO Wenhao^{3,4}

(1. Yunan Referendum Engineering Testing Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650000, China;

2. Yunnan Chuda Highway Extension Projection Construction Headquarters, Dali, Yunnan 671000, China;

3. State Key Laboratory of Geo-mechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics,

Chinese Academy of Sciences, Wuhan, Hubei 430071, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100000, China)

Abstract: Internal curing (IC) provides an important technical idea to solve the problem of early shrinkage and cracking of concrete with w/c. In this study, we chose the super absorbent polymer (SAP) and the red brick powder as the internal curing material to analyze the effect of the composite on the performance of the concrete-filled steel tube, and explore the effect of the composite on the concrete curing of the concrete-filled steel tube. The results indicate that with the replacement of fine aggregates with red brick powder as the internal curing agent, the loss of concrete fluidity increases with the increase of the substitution rate. When the replacement rate reaches 50%, the slump decreases to 220 mm. The humidity is also higher than the blank. Using red brick powder and SAP as compound internal curing agent, the strength of 28 days was slightly lower than that of single-doped 0.2% SAP group, and the internal humidity of concrete was similar to the single-doped 0.2% SAP group.

Keywords: super absorbent polymer; red brick powder; internal curing; concrete-filled steel tube; water absorption and water release

钢管混凝土很早就已经被人们所应用, 1879 年在英国赛文铁路桥墩中首次采用了钢管混凝土的结构, 用来提高承重桥墩重量, 发现钢管混凝土性能要优越于普通混凝土, 由于钢管混凝土性能优越在世

界范围内应用开来。1960 年左右, 苏、日、北美、西欧等一些发达国家进行了一系列基础试验研究工作来研究钢管混凝土, 并逐步应用到了厂房的立柱、多层建筑的承重梁、天桥桥墩和特殊要求结构中。

1980 年后期,随着混凝土的工作性能得到提高,先进的泵送浇筑工艺得以实施,解决了钢管混凝土现场浇筑施工难度大的问题。同时,钢管-混凝土复合结构有力的粘结力增强了结构的稳定性,克服了混凝土脆性的缺点,广泛应用于以美国、澳大利亚为代表的高层建筑中^[1-3]。1960 年中期,我国引入了钢管混凝土技术,并应用到了工厂厂房和工业建筑中,主要针对钢管混凝土的力学性能、施工技术、设计原理等方面展开了深入的研究,对于钢管混凝土的理论研究和实际应用的一些方面在当时国际上处于领先地位。随着国内对于钢管混凝土理论及实际应用的日益成熟,施工工艺的逐渐成熟,钢管混凝土结构逐渐应用到高层建筑承重短柱和公路拱桥拱肋上^[4-6]。

水胶比较低时,混凝土内部水分含量少,混凝土在硬化初期,这些水分还可以满足水化反应所需,但是随着水化反应的继续进行以及水分自身的蒸发,混凝土内部通道的水面会呈现半月弯,使得混凝土呈现负压状态,这一变化会使混凝土内部的湿度下降很快,混凝土自身会因为相对湿度欠缺出现微裂缝等严重后果,称之为混凝土的内部自干燥。如果混凝土内部发生自干燥现象,水分缺失,结构收缩,通道变窄,会使其出现自收缩现象,自收缩现象更加不利,它会破坏混凝土的结构,致使微裂缝大量衍生,给混凝土带来破坏性和不可逆的后果。要防止其内部自干燥收缩导致混凝土出现开裂等不良后果,需要从混凝土内部寻求方式去养护混凝土本身^[7-17]。

本文选取高吸水树脂 SAP、红砖粉作为内养护材料,研究两者单一以及复合后对钢管混凝土性能的影响,探究两者对钢管混凝土的内养护效果。

1 试验部分

1.1 原材料

(1) 华新水泥 P·O42.5,性能指标见表 1。

表 1					
细度(0.08mm 筛余)/%	凝结时间/(h:min)		抗压强度/MPa		安定性
	初凝	终凝	3 d	28 d	
1.0	2:35	6:47	28.8	49.6	合格

(2) 骨料:砂,洞庭湖中砂,表观密度 2 682 kg/m³,细度模数 2.9;碎石,表观密度为 2 720 kg/m³。

(3) 聚羧酸减水剂,减水率约为 28%,固含量约

为 25%。
(4) 超吸水树脂 SAP,粒径 190 μm ~ 250 μm,密度 0.70 g/ml,吸水倍率达 180 g/g ~ 270 g/g,释水率达 80%。
(5) 红砖粉,粉磨至最大粒径约 4.75 mm,吸水倍率为 70% ~ 100%。

1.2 试验方法

(1) 吸水测试。把质量为 M_1 的吸水材料放置于烘箱中,调整温度约为 80℃ ~ 90℃,使水分蒸发后干燥保存,然后与适量等离子水混合后加入到烧杯中,置于常温、阴冷、干燥环境下,观察至吸水材料充分吸水膨胀后,用 100 目不锈钢筛过滤,称出吸水后的物质质量 M_2 ,此过程要重复进行。

吸水率 $Q = (M_2 - M_1)/M_1$ (1)
式中: M_1 、 M_2 分别为吸水材料吸液先后的质量,单位:g。

(2) 释水测试。将吸水后膨胀的吸水材料(重量为 M_0)放置于常温、相对湿度适宜的环境中,观察至水分释放基本完全,称取剩余质量 M_t ,则释水率 R :

$$R = \frac{M_t - M_0}{M_0} \tag{2}$$

(3) 混凝土性能测试。按给定的配合比拌制成新拌混凝土后,混凝土拌合物的和易性参照《普通混凝土拌合物性能测试方法标准》^[18](GB/T 50080—2002)中的规定进行测定,然后在实验室成型为 100 mm×100 mm×100 mm 立方体试块,表面覆盖保鲜膜,在(20±1)℃室内静置 24 h 后脱模,用保鲜膜进行密封,放置在(20±1)℃室内继续养护至 3 d,7 d 及 28 d。抗压强度参照《普通混凝土力学性能试验方法标准》^[19](GB/T 50081—2002)中的规定进行。

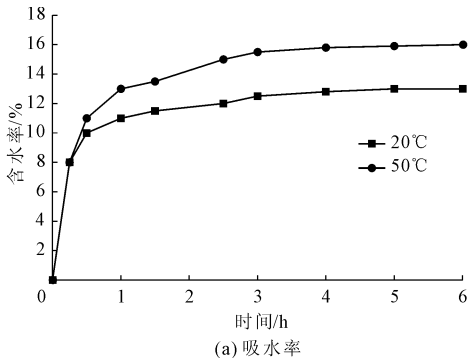
(4) 混凝土内部湿度测定。在混凝土试件成型时,在距离干燥面 50 mm 的位置预埋胶管,胶管长度方向平行于干燥面,将成型的 100 mm×100 mm×100 mm 正方体试块剩余五个 100 mm×100 mm 面采用液态石蜡涂层密封,试件成型以后用胶塞将胶管密封。在混凝土试件达到一定龄期后,将温度传感器探头插入到胶管中来测试时间内部相对湿度。测量仪器采用芬兰维萨拉公司生产的 HMP42 型号温湿度传感器。

2 试验过程及分析

2.1 吸释水能力规律

按照上述吸释水测试方法,测试红砖粉、SAP 分

别置于 20℃、50℃ 环境下的吸释水倍率,通过对比试验,比较内养护材料的养护特性。



(1) 红砖粉吸水 – 释水规律曲线。红砖粉吸水 – 释水规律曲线见图 1。

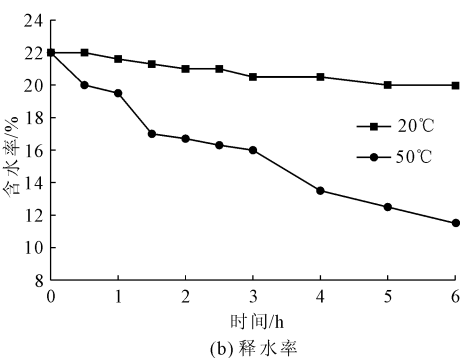


图 1 红砖粉的吸水 – 释水特性图

(2) SAP 的吸水 – 释水规律曲线。SAP 吸水 – 释水规律曲线见图 2。

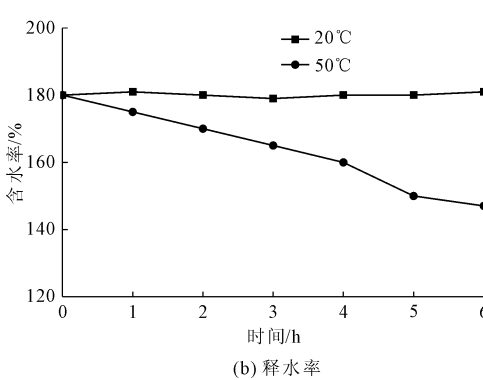
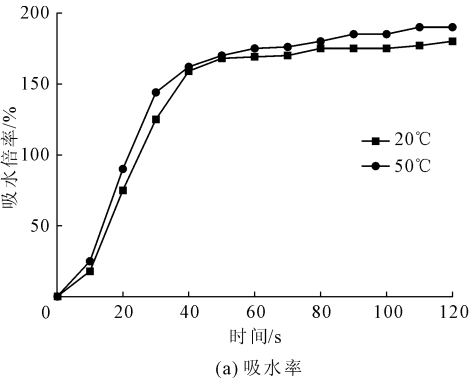


图 2 SAP 的吸水 – 释水特性曲线图

由图可知,在 20℃ 及 50℃ 下,红砖粉的吸水率在 0.5 h 内迅速增加,然后增加幅度变小,最后稳定下来,SAP 的吸水率在 40 s 内迅速增加,之后趋于平缓,这说明 SAP 的吸水能力要大大强于红砖粉;对于同一材料,不同温度下的吸水速率也不相同,50℃ 时,红砖粉的吸水速率几乎 2 倍于 20℃ 时,对温度的敏感性很大,相比 SAP 吸水速率对于温度的敏感性较小,说明在对 SAP 进行预吸水处理时可以忽略温度对其吸水能力的影响。

释水率反映材料保水能力,同一温度 20℃ 时,两者的含水率都随着时间的增加而减少,但是明显

看出红砖粉的曲线斜率大于 SAP,且 SAP 在 20℃ 时,含水率几乎不随着时间而变化说明了 SAP 吸水能力优越的同时还具备了较好的保水性能。随着温度的增加,可以看出两者含水率的下降幅度都变大,说明保水能力随着温度增加会下降很多。

2.2 SAP 及红砖粉对钢管混凝土内养护性能的影响

(1) 红砖粉。本试验采用自密实钢管混凝土优化后配合比,保持混凝土总体积不变,为了使引入水分更加均匀,使得混凝土强度不致损失太大,选用红砖粉等体积按照不同比例取代细骨料,配合比见表 2。混凝土性能见表 3。

表 2 混凝土配合比

编号	不同材料用量/(kg·m ⁻³)					取代率 /%	PC	W/C
	C	FA	W	G	S 红砖粉			
P0					775	0.0	0	
P1					697	77.5	10	
P2	430	130	165.2	916	595	155.0	3.92	0.295
P3					575	193.7	50	
P4					545	235.0	70	

表 3 混凝土性能

编号	坍落度/扩展度/mm		含气量/%	抗压强度/MPa		
	0 h	2 h		3 d	7 d	28 d
P0	235/640	225/640	1.4	37.7	42.8	64.6
P1	235/635	230/630	1.6	36.2	41.8	62.5
P2	230/630	230/625	1.8	36.5	42.0	64.7
P3	220/600	220/595	1.6	35.5	40.8	61.5
P4	215/585	220/580	2.0	34.8	40.5	59.8

随着用红砖粉取代细集料取代率的不断增加,混凝土流动度损失越来越大,当取代率达到 50% 时,坍落度下降到 220 mm,同时由于取代细集料引起砂率变化,对混凝土强度产生了影响,都出现了不同程度的强度下降,对比发现,当红砖粉等体积取代细集料 20% 时,混凝土的各项性能最为优越,所以选取取代率为 20%,来替代细集料。

图 3 表示混凝土内部相对湿度变化图。

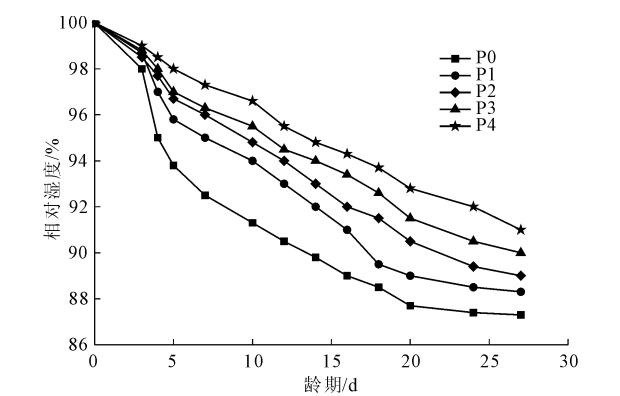


图 3 混凝土内部相对湿度变化图

随着养护龄期的增加,混凝土内部相对湿度都出现下降趋势,这是由于混凝土不断硬化,水化反应会消耗大量水分,同时自身也会有水分蒸发出来,但对比后发现,加入红砖粉的组随着养护龄期的增加,

尤其是后期,这一趋势比不加红砖粉的空白组要小得多。相同龄期时,掺加红砖粉的混凝土内部相对湿度要高于 P0,说明红砖粉的加入会起到一定的内养护作用。同时还发现混凝土内部相对湿度下降在 7 d 之内比较快,然后趋于平缓,这与水化反应进行的速率有关。这就说明越是到后期,红砖粉的作用越明显,其对混凝土内部湿度的影响越能体现出来。

(2) 复合内养护剂。由于考虑到 SAP 吸水后易形成凝胶,导致难以分散,从而不能在混凝土中均匀地分布。因此配制时,对 SAP 不进行预湿,而是直接将其与胶凝材料预先干拌均匀再使用。在掺有 SAP 的混凝土中,额外用水部分地缓解了混凝土骨料吸附用水造成的水分减少,同时一部分水被继续保持在 SAP 颗粒中,在后续的水化过程中缓慢释放。

不同掺量的 SAP 以及轻集料红砖粉(LWA)与高吸水树脂复掺对混凝土工作性能及强度的影响探讨高吸水树脂 SAP 与粉磨至合适粒径的红砖粉复配来内养护 C50 钢管混凝土,设置空白组 T1,并通过前文研究选取红砖粉 20% 等体积取代细集料,与掺内养护剂组做对比试验。表 4 为 SAP 及其与红砖粉复合对混凝土性能影响。

表 4 内养护剂对混凝土性能影响试验

	内养护剂	掺量 /%	坍落度/扩展度/mm		含气量/%	抗压强度/MPa		
			0 h	2 h		3 d	7 d	28 d
T0			235/640	225/640	1.4	37.7	42.8	64.6
T1	SAP	0.1	235/590	220/610	1.8	33.4	41.8	62.3
T2	SAP	0.2	235/610	235/620	2.4	35.6	45.9	68.3
T3	SAP	0.5	200/560	195/550	2.8	28.9	44.5	62.5
T4	SAP + LWA	0.2 + 175kg	230/600	225/600	2.4	32.6	44.8	65.8

图 4 表示内养护剂对混凝土性能影响。

内养护材料的加入,T1—T4 组混凝土的扩展度较未掺加时均有所下降,含气量都变大,且每一组混

凝土的早期 3 d 强度都略微下降。这是因为掺入内养护材料引入额外水,导致水灰比增大,在混凝土早期表现为强度有所降低,但是随着龄期的增长,内养

护材料吸收的水分释放出来,这就又促进水泥水化反应及二次水化反应的持续进行,弥补 SAP 萎缩成凝胶状对水泥石强度的不利影响,同时可以细化水泥浆体的孔结构。

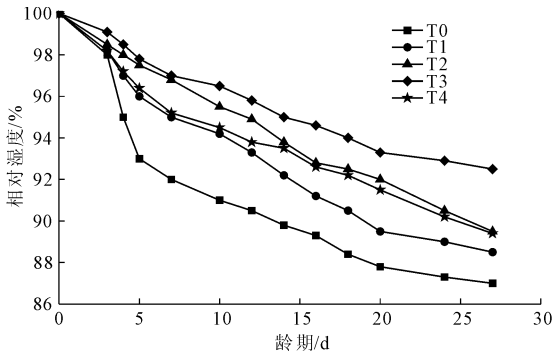


图 4 内养护剂对混凝土性能影响

当掺入 0.1% 的 SAP 时发现,混凝土内部相对湿度还在降低。龄期为 16 d 时,RH 值已经降低到 90% 以下,同时其 28 d 混凝土抗压强度低于空白组,说明其后期强度发展并不明显;当 SAP 掺入 0.5% 时,发现 SAP 掺量的增加使得混凝土的抗压强度反倒降低,原因可能是因为硬化蒸发及水化反应使得混凝土中水分不足,内养护材料会持续释放储

存的水分,来保持相对湿度的不变,在发挥作用后自身逐渐萎缩并最终形成“空穴”,导致水泥石的致密程度降低,内养护促进水泥水化反应效果较孔洞带来的强度损失作用减弱,在两者共同作用下,混凝土强度降低。当 SAP 掺量为 0.2% 时,混凝土内部相对湿度下降,但是下降斜率较慢,后期强度较快增长,在 28 d 时抗压强度就达到 68.3 MPa,这说明 SAP 起到了很好的内养护作用,有效减缓了混凝土内部湿度降低,为混凝土内部的水化反应提供了充足的水源,使得水化产物不断生成,支撑起混凝土硬化时强度的发展。

对比 T2 与 T4 可知,混凝土的工作性能接近,28 d 抗压强度 T4 略低,但加入红砖粉的 T4 组仍然高于空白组,两者的 RH - d 曲线斜率几乎一致,同一龄期的相对湿度差别不大,说明两者都能在水泥水化时释放足够水分保证水化反应进行,保证湿度不至失稳,内养护效果显著。

2.3 内养护混凝土微观结构

利用 SEM 测试手段对掺加内养护材料 SAP 的砂浆混凝土与空白组作对比,微观上探究内养护材料对混凝土内部物质的影响作用及内养护机理的作用(见图 5、图 6)。

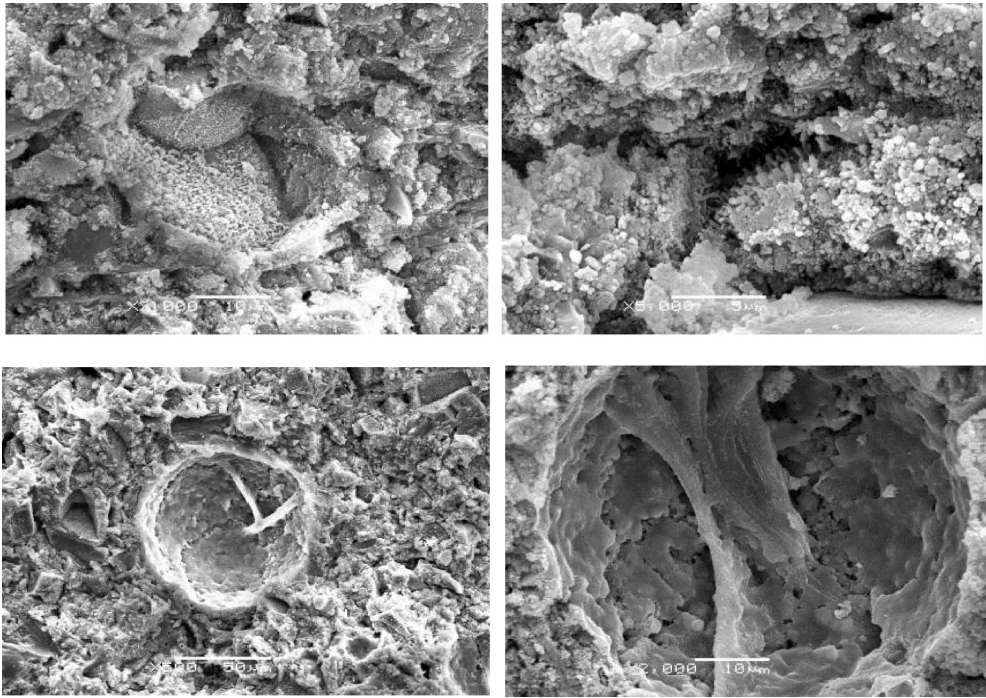


图 5 1 d 龄期 SEM 图像

水化 1 d 后,各组均出现了大量短柱形状的钙矾石 AFt,钙矾石是典型的水化产物,说明了水化反应的进行。可以清晰地观察到球状孔中存在相互交联在一起的物质,经过特殊处理,可以初步判定该物

质就是高吸水树脂 SAP,因为在整个混凝土体系中除了外加剂只有它属于高分子有机物范畴,同时可以看出这些发挥作用失水后的高吸水树脂留下了许多类似于球状的小孔。

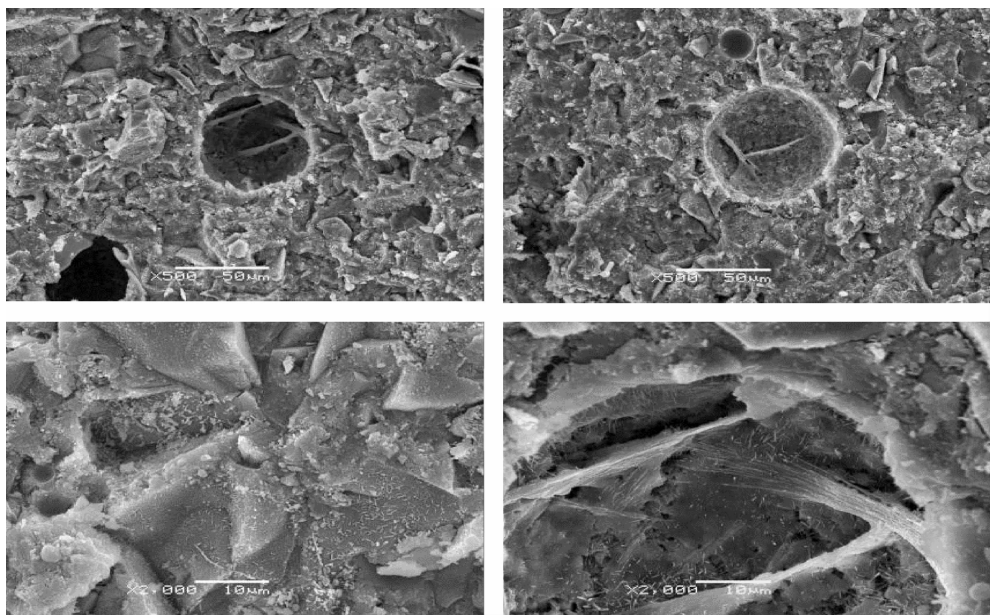


图 6 3 d 龄期 SEM 图像

水化发生 3 d 后,能够清晰的看出各组混凝土试样的水化产物的内部结构变得更加致密,内部的钙矾石由短柱状变成针状形貌。大量的晶棒状钙矾石 AFt 出现高吸水树脂混凝土试样球状孔内,而未参加 SAP 的试样中晶棒数量少。

3 结 论

本文通过对比分析单一 SAP、红砖粉以及二者复合材料作为内养护材料时,对钢管混凝土的内养护效果。得出以下结论:

(1) 从 SAP 和红砖粉的吸水 - 释水曲线可以看出,两者的含水率都随着时间的增加而减少,SAP 在 20℃时,含水率几乎不随着时间而变化,表明 SAP 吸水能力优越的同时还具备了较好的保水性能。随着温度的增加,可以看出两者含水率的下降幅度都变大,说明保水能力随着温度增加会下降很多。

(2) 高吸水树脂内部为交互的空间三维结构,具有吸水释水特性,当 SAP 掺量为 0.2%时,混凝土早期强度虽然会稍微下降,但由于内养护效果显著,混凝土的后期抗压强度发展良好,28 d 抗压强度强度达到 68.3 MPa,混凝土工作性能也十分良好,混凝土内部湿度维持稳定,这都说明起到了良好的内养护效果。

(3) 以红砖粉按比例等体积取代细集料与 SAP 复合后作为自密实混凝土的内养护剂发现与单一 SAP 相比,通过测试混凝土内部相对湿度变化及后期强度发展,发现仍然可以起到一定的内养护效果。

参考文献:

[1] J. Justs, M. Wyrzykowski, D. Bajare, P. Lura. Internal curing by superabsorbent polymers in ultra-high performance concrete[J]. Cement and Concrete Research, 2015, 76: 82-90.

[2] Masahiro Suzuki, Mohammed Seddik Meddah, Ryoichi Sato. Use of porous ceramic waste aggregates for internal curing of high-performance concrete[J]. Cement and Concrete Research, 2009, 39(5): 373-381.

[3] Fengjuan Liu, Jialai Wang, Xin Qian, et al. Internal curing of high performance concrete using cenospheres[J]. Cement and Concrete Research, 2017, 95: 39-46.

[4] 王吉忠,刘连鹏,叶 浩. 钢管 - 混凝土组合柱在我国的研究进展与展望[J]. 水利与建筑工程学报, 2014, 12(4): 143-149.

[5] 张明聚,孙乾坤. 不同规程下矩形钢管混凝土抗弯承载力研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2012, 10(5): 1-3.

[6] 袁朝阳,吴成国,张宇亮,等. 基于加速遗传算法的方钢管混凝土柱优化模型[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2016, 37(2): 57-61.

[7] 李 飞,詹炳根. 内养护剂、膨胀剂、减缩剂对高强混凝土早期收缩的影响[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2016(9): 1254-1259.

[8] 陈 锥. 高吸水树脂在混凝土中的应用研究[J]. 福建建材, 2016(8): 14-15.

[9] 崔艳玲,薛 飞,崔建世. 混凝土内养护技术研究现状[J]. 河南建材, 2016(4): 214-216.

[10] 肖 颢. 减缩剂与高吸水树脂对高性能混凝土收缩性能的影响研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2016.

(上接第 65 页)

- [11] 苗 伟.内养护混凝土收缩和早期抗裂性能试验研究[D].郑州:郑州大学,2016.
- [12] 朱长华,李享涛,王保江,等.内养护补偿收缩混凝土的抗裂性能[J].建筑材料学报,2015(6):1033-1037,1044.
- [13] 郭绍武,孙海山,宋国林,等.高吸水性树脂对高性能混凝土力学性能的影响[J].公路交通科技(应用技术版),2015(11):154-156.
- [14] 贾丽莉,赵日煦,吴 雄,等.自养护材料对高强膨胀混凝土性能的影响及机理分析[J].混凝土与水泥制品,2015(8):24-28.
- [15] 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.
- [16] 钟佩华,刘加平,王育江,等.高吸水树脂种类与粒形对高强混凝土自收缩及耐久性的影响[J].新型建筑材料,2015(1):8-12.
- [17] 王文彬,郭 飞,李 磊,等.高吸水树脂内养护对水泥基材料性能的影响[J].混凝土,2014(10):86-88.
- [18] 普通混凝土拌合物性能测试方法标准:GB/T 50080—2002[S].北京:中国建筑工程出版社,2002.
- [19] 普通混凝土力学性能试验方法标准:GB/T 50081—2002[S].北京:中国建筑工程出版社,2002.