

光磁耦合式自愈合混凝土的制备与研究

龚志明¹, 王 鹏¹, 周晓锋^{2*}

(1. 盐城市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 南通 224000; 2. 河海大学 理学院, 江苏 南京 210000)

摘要:混凝土作为应用最广泛的建筑材料,其耐久性越来越成为工程关注的重点,而基体裂纹损伤和内部钢筋锈蚀是影响混凝土耐久性的最主要原因。从引入外场的角度,为提高水泥基复合材料的耐久性和自修复效率提出了新的思路。为了解决传统微胶囊修复混凝土不可控、完全依赖外界环境变化的技术问题,提供了一种光磁耦合式自愈合混凝土的制备方法及其响应装置,这种混凝土在制备时加入了磁性微胶囊和导光装置,在光热场和磁场的协同作用下,使得微胶囊能够及时有效地破裂,达到最佳的修复效果。

关键词:混凝土;自愈合;微胶囊;光磁耦合;协同作用

中图分类号:TV431 文献标识码:B 文章编号:1007-7839(2022)11-0001-0003

Preparation and study of optomagnetically coupled self-healing concrete

GONG Zhiming¹, WANG Peng¹, ZHOU Xiaofeng^{2*}

(1. Yancheng Surveying and Design Institute of Water Resources, Yancheng 224000, China;
2. College of Science, Hohai University, Nanjing 210000, China)

Abstract: As the most widely used building material, the durability of concrete is increasingly becoming the focus of engineering attention, while matrix crack damage and internal reinforcement corrosion are the most important causes of concrete durability. In this paper, new ideas are proposed to improve the durability and self-healing efficiency of cementitious composites from the perspective of introducing external fields. In order to solve the technical problem that traditional microcapsules repair concrete are uncontrollable and totally dependent on external environmental changes, a preparation method of optomagnetically coupled self-healing concrete and its response device are provided. The self-healing concrete is prepared with magnetic microcapsules and light-guiding device, which enables the microcapsules to rupture in a timely and effective manner under the synergy effect of light-heat field and magnetic field to achieve the best repair effect.

Key words: concrete; self-healing; microcapsules; photomagnetic coupled; synergy effect

水泥混凝土被广泛应用于公路、桥梁、房屋建筑以及水工建筑物等中。传统的混凝土脆性高、抗拉强度低,很容易出现微观裂缝,如果不加控制会演变为宏观裂缝,甚至造成建筑物的坍塌,威胁人们的生命财产安全^[1]。因此,混凝土裂缝的修复一直是学术界和工程界所关注和研究的热点。

1 混凝土自愈合方法

为了规避灾害,延长混凝土的使用寿命,有必要采取修复措施。由于微观裂缝不易察觉,人们往往采用被动的事后修复,如,灌浆、涂膜等,具有一定的局限性及滞后性。而自修复/自愈合利用仿生原理,

收稿日期: 2022-08-07

基金项目: 江苏省水利科技项目(2019011)

作者简介: 龚志明(1963—),男,高级工程师,本科,主要从事水利工程设计工作。E-mail:275399891@qq.com

通信作者: 周晓锋(1978—),男,副教授,博士,硕士生导师,主要从事微纳米功能材料制备及应用研究。E-mail:22873411@qq.com

用修复胶粘剂和混凝土材料相复合的方法,实现对损伤混凝土的自修复与再生,变被动为主动。

目前混凝土自愈合方法主要有微胶囊法、结晶沉淀法、渗透结晶法、微生物法等6种^[2]。由于微胶囊具有保护和隔离的作用、对混凝土的力学性能影响小,而且分散性更强,加入特殊材料甚至可改善混凝土的物理性质,考虑用微胶囊法制备自愈合混凝土(图1)。

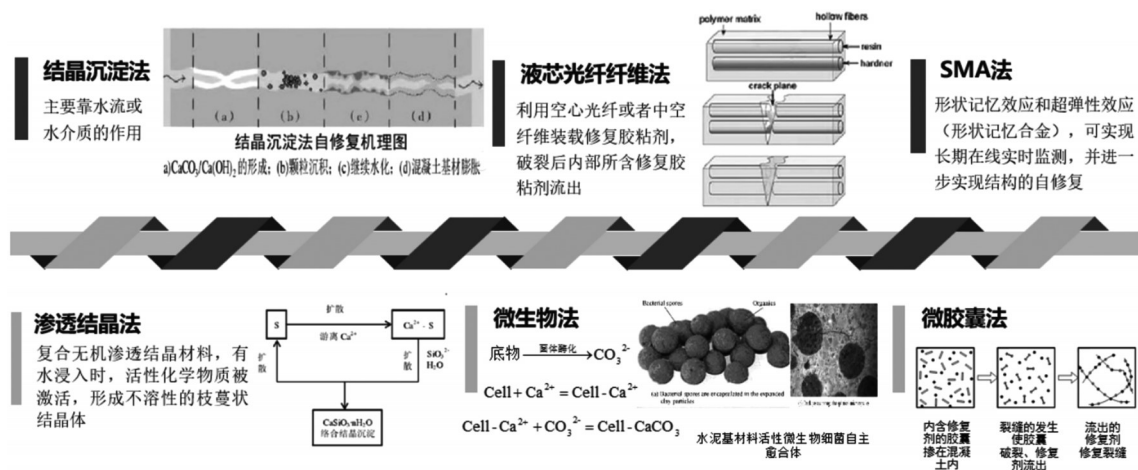


图1 混凝土自愈合方法

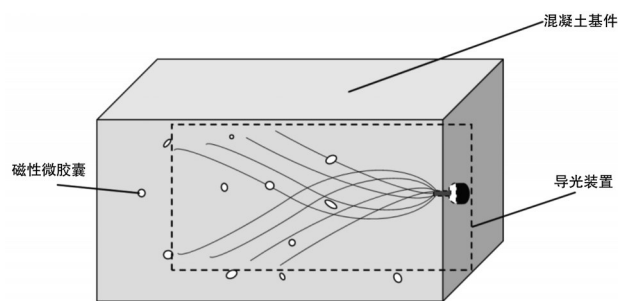


图2 光磁耦合式自愈合混凝土

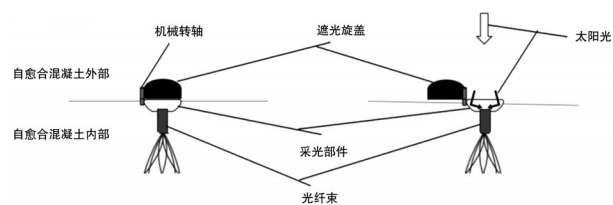


图3 导光装置示意

2.1 微胶囊壁材的制备

将5 g 尿素和13.2 g 质量分数为38%的甲醛溶液,加入到500 mL的三口瓶中,待尿素全部溶解后,用三乙醇胺调节溶液pH=8.0~9.0后,在70℃恒温水浴下用400~450 r/min的转速回流搅拌1 h,得到透

2 光磁耦合式自愈合混凝土的制备方法

为了解决传统微胶囊修复混凝土不可控、完全依赖外界环境变化的技术问题,设计一种光磁耦合式自愈合混凝土,这种混凝土在制备时加入了磁性微胶囊和导光装置,在光热场和磁场的协同作用下,使得微胶囊能够及时有效地破裂,达到最佳的修复效果(图2~3)。其制备方法如下:

明粘稠的脲醛树脂预聚体。

2.2 磁性芯材乳液的制备

称取0.5 g 黑色磁性 Fe_3O_4 纳米粒子、0.5 g 复合乳化剂(十二烷基苯磺酸钠和聚乙烯醇按质量分数2:1混合制成)和10 g 环氧树脂(E-51),加入去离子水200 g,在高速分散均质机上以6 000 r/min的速度分散30 min,形成O/W型乳液,乳化过程中加入1~2滴正辛醇。

2.3 磁性微胶囊的制备

将预聚体与芯材乳液以1:1混合,充分搅拌使其溶解于乳液的分散介质水中,搅拌速度450 r/min,70℃下恒温反应3 h,分批加入催化剂 NH_4Cl ,缓慢调节溶液pH值为3.0,并再加入适量去离子水,以溶液不黏稠为宜,加入适量固化剂间苯二酚,继续搅拌2 h使微胶囊固化。最后,用碳酸钠溶液或者稀NaOH溶液调节pH值为7.0,自然冷却至室温,即得微胶囊溶液,溶液经静置后分为2层,上层为水相层,下层为微胶囊沉积物。将该溶液用去离子水清洗3~4遍并抽滤,于空气中干燥,即得微胶囊粉末产品。

2.4 光磁耦合式自愈合混凝土的制备

将准确称量的440份水泥、600份砂、1 160份碎

石人工翻拌至均匀,再加入195份水、11份固化剂DMP-30继续翻拌至均匀,最后依次加入1.5%(按水泥体积)PVA纤维和22份磁性微胶囊,继续搅拌至均匀。将图2中导光装置固定在混凝土成型模具上,然后浇筑成型,1 d后脱模并置于标准养护室养护至规定龄期,即得自愈合混凝土。

其中,导光装置包括遮光旋盖、采光部件、光纤束、机械转轴4个部分。导光装置固定在混凝土成型模具上,应保证浇筑后,遮光旋盖在混凝土表面,采光部件在其内部,光纤束在内部散开为一条条光纤。采光部件形状为抛物球面,且内表面涂有反射涂层,光纤束的光入射端面位于抛物球面的焦平面上,这样光纤束既可引入直射的太阳光,又可导入经抛物球面反射的太阳光,进一步提高了集热效率。

3 用于混凝土自愈合的响应装置

在传统胶囊配方中加入磁性材料,与相应的响应装置协同工作,通过控制外部磁场,实现与内部磁性微胶囊的响应,提高微胶囊的破裂比例,同时,使得含磁性材料的修复剂在裂缝中均匀流动,增强自愈合效果。设计的响应装置利用了电感耦合变压的原理。单匝的磁场线圈不再与放电系统直接连接,而是由多匝螺线管组成的初级线圈与放电系统相连,通过电感耦合变压器将螺线管能量耦合到左右各一匝的磁场线圈上^[3]。电感耦合线圈的使用提升了电流密度,在磁场线圈中产生更强的磁场,如图4所示。

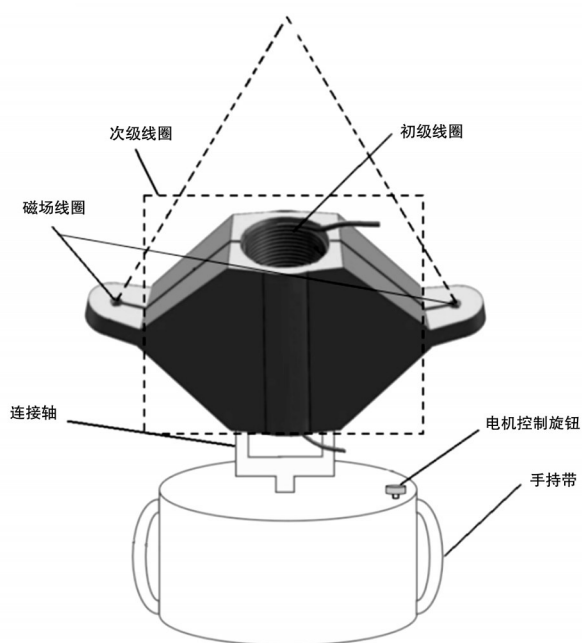


图4 响应装置示意

4 光磁耦合式自愈合混凝土响应装置的工作流程

使用光磁耦合式自愈合混凝土建造的建筑工程,按照传统非承重景观建筑混凝土的检修期,经过10~14个月后可人工携带相应的光磁耦合式自愈合混凝土响应装置,以便携式场响应加载进行外部磁场控制,同时辅以光纤引光,进一步增强自愈合能力。

利用超声技术监测混凝土内部损伤情况,正常情况下遮光旋盖位于采光部件正上方,关闭光通路;若有损伤需要修复时,旋开遮光旋盖,太阳光经光纤束导入到混凝土内部。由于红外线具有极高的热效应,混凝土内部有一定程度的升温。

再搭配磁场响应,利用超声技术监测到自愈合混凝土的裂缝所在位置,将该响应装置移至相应位置,首先打开电源开关,接着摁下电机控制旋钮,使电机开始运作,连接轴旋转,转动电机控制旋钮控制电机的功率,通过控制连接轴的旋转进一步控制次级线圈和磁场线圈的旋转速度,从而实现磁场的调节,改变自愈合混凝土同一位置处磁场的大小以及方向。

5 性能对比试验

制备方法中除去添加磁性材料及导光装置的步骤,得到传统自愈合混凝土;制备方法中除去添加导光装置的步骤,得到磁性自愈合混凝土。分别对传统自愈合混凝土、磁性自愈合混凝土、光磁耦合式自愈合混凝土进行抗压强度测试、修复率测试等^[4],得到数据如表1所示。

由传统自愈合混凝土、磁性自愈合混凝土、光磁耦合式自愈合混凝土的性能对比数据,分析可知:

(1)三者的芯材黏度、抗压强度相差不大。

(2)磁性自愈合混凝土损伤后24 h胶囊破裂率达62.1%,是传统自愈合混凝土(25.5%)的2.4倍;损伤后48 h抗折强度恢复率达38.6%,是传统自愈合混凝土(16.6%)的2.3倍;弹性模量恢复率为64.3%,延长老化期限50%,均较传统自愈合混凝土有明显提升。

(3)光磁耦合式自愈合混凝土损伤后24 h胶囊破裂率达69.8%,延长老化期限58%,在磁性自愈合混凝土的基础上有了进一步的提升。虽然光磁耦合式自愈合混凝土的弹性模量恢复率比磁性自愈合混凝土(64.3%)略低,为60.7%,但相比传统自愈合混凝土(43.1%),仍然具有较大的性能改善。

由以上数据分析可知,磁性自愈合混凝土的总

(下转第19页)

4 结 论

本文研究了甲酸钙(CF)对轻烧氧化镁(LBM)和LBM水泥基材料水化和膨胀性能的影响,得到了以下结论:

(1)在蒸馏水中,CF对LBM的水化具有抑制作用,主要表现在延缓LBM的凝结时间,降低水化热和水化程度。

(2)在水泥基材料中,CF对LBM的膨胀性能具有促进作用。CF掺量越大,水泥净浆的28 d膨胀率越大。CF掺量为1%时,LBM的28 d膨胀性能提升最大。

(3)XRD和SEM分析表明,掺入CF促进了水泥基材料中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和C-S-H纤维的生成,加速MgO的水化,促使LBM的膨胀性能增加。

参考文献:

- [1] 张财会. 建筑工程大体积混凝土温控防裂施工技术[J]. 建筑技术开发,2021,48(12):45-46.

- [2] 邱毓财. 关于大体积混凝土防裂技术措施的探究[J]. 四川水泥,2021(10):3-4.
- [3] 徐可,曹华,闵强,等. 轻烧氧化镁在大体积混凝土模型抗裂试验中的应用研究[J]. 江西建材,2019(9):25-27.
- [4] 柏红元,邓敏,唐明述. 外掺轻烧氧化镁混凝土的膨胀研究[J]. 科技导报,2008(10):61-64.
- [5] 阎培渝,韩建国,曹丰泽,等. 补偿收缩混凝土性能的影响因素与质量控制[J]. 施工技术,2018,47(16):97-99.
- [6] 张帅. 硫铝酸钙-氧化钙类膨胀剂对混凝土自愈性能的影响[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2020.
- [7] 闵治安,吴其胜,刘家祥,等. 煅烧时间对死烧MgO水化膨胀性能的影响[J]. 材料科学与工程学报,2019,37(4):625-630.
- [8] 严淳,曹蔚然,黄汉文,等. 早强剂在混凝土中的应用与研究进展[J]. 建材发展导向,2021,19(24):148-150.
- [9] 贲询钦,蒋林华,孟远远,等. 甲酸钙对砂浆抗氯离子侵蚀性能的影响[J]. 混凝土与水泥制品,2020(11):6-9,14.
- [10] 官敏,胡匡艺,于涛,等. 水泥矿物体系诱导期的水化进程及机理的研究进展[J]. 硅酸盐通报,2021,40(7):2129-2137.

(上接第3页)

表1 3种自愈合混凝土的性能对比

类型	芯材黏度/ ($\text{mPa}\cdot\text{s}^{-1}$)	24 h胶囊 破裂率/%	抗压强度/ MPa	25℃下 修复率/%	弹性模量 恢复率/%	延长老化 期限比例/%
传统自愈合混凝土	2 200	25.5	36.2	11.2	43.1	40
磁性自愈合混凝土	2 000	62.1	35.8	25.1	64.3	50
光磁耦合式自愈合混凝土	1 950	69.8	34.7	32.9	60.7	58

体性能明显优于传统自愈合混凝土;在磁性自愈合混凝土的基础上,加入导光装置,使得光磁耦合式自愈合混凝土的总体性能有了进一步的提升。

6 结 论

本文设计的自愈合混凝土特别之处在于加入了磁性微胶囊和导光装置。这种光磁耦合式自愈合混凝土,受到光热场和磁场的协调响应。磁性微胶囊的外壳一方面在光热场中由于受热而熔化,促进了破壁过程,此外光纤导入的热能也可强化修复液的对流,增强修复粒子的布朗运动;另一方面,微胶囊受磁场扰动而运动,在运动过程中外壳与周围物质碰撞而破裂,同时由于修复液中含磁性材料,被释放

后修复液在裂缝中均匀流动,混凝土内部损伤的修复效率、混凝土的自愈合能力得到了极大的提升。

参考文献:

- [1] 张威.论土建工程项目施工现场管理方法[J]. 居业,2016(4):128-129.
- [2] 周凤梅. 水泥混凝土微胶囊自修复技术研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2015.
- [3] 赵佳羿,胡鹏,王雨林,等. 用于激光等离子体中脉冲强磁场产生的电感耦合线圈[J]. 物理学报,2021,70(16):188-194.
- [4] 李怡冰,龚志明,周晓锋,等. 一种制备磁性混凝土自愈合胶囊时使用的微分装置[P]. 江苏省:CN212025206U,2020-11-27.