

Preparation and Properties of Lauric Acid Phase Change Energy Storage Concrete

Hao Chen

Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400000, China

Abstract: This paper, lauric acid was chosen as the phase change material, diatomite as the matrix material to prepare phase change energy storage concrete to control the temperature rise inside the concrete and to suppress the temperature cracks in the concrete. Through the proportioning test, the phase change aggregate was prepared with the mixing ratio of 10: 9. Phase change aggregate was used to prepare phase change energy storage concrete with phase change aggregate content of 0%, 5%, 7.5% and 10% respectively. Then, we test and analyze the mechanical properties and thermal properties of phase-change energy storage concrete. The experimental results show that the mechanical properties of phase-change energy storage concrete have no obvious changes when the phase change aggregate content is below 7.5. The results of thermal performance tests of phase change energy storage concrete show that the heat transfer property of concrete is lower than that of ordinary concrete, which is beneficial to the control of cement hydration heat. The specific heat of phase change energy storage concrete Ordinary concrete has been more obvious improvement, that phase change energy storage concrete has better thermal properties than ordinary concrete.

Keywords: Lauric acid; Diatomite; Phase change energy storage concrete; Mechanical property; Thermal property

月桂酸相变储能混凝土的制备与性能研究

陈灏

重庆交通大学, 重庆, 400000

摘要: 本文选用月桂酸作为相变材料, 硅藻土作为基体材料制备相变储能混凝土以控制混凝土内部温升, 抑制混凝土内部温度裂缝的产生。通过配比试验选取配合比为 10:9 制备相变骨料。利用相变骨料分别制备相变骨料含量为 0%、5%、7.5% 和 10% 的相变储能混凝土。随后我们对相变储能混凝土力学性能和热学性能进行了试验和分析, 试验结果显示当相变骨料含量在 7.5 以下时, 相变储能混凝土力学性能无明显变化, 超出则有明显影响。对相变储能混凝土的热学性能试验结果显示相比普通混凝土的热传递性对比普通混凝土有了一定的降低, 有利于对水泥水化热的控制, 而相变储能混凝土的比热对比普通混凝土有了较为明显的提高, 即相变储能混凝土较于普通混凝土有着更好的热物性。

关键词: 月桂酸; 硅藻土; 相变储能混凝土; 力学性能; 热学性能

1 引言

随着我国社会和经济的快速发展, 对于各种大型的基础设施, 大型地下结构以及大型水利工程有着大量的需求, 以实现能源的转型、高效调节和充足供应。而与此同时, 在修筑大型水利工程时, 混凝土充当了相当重要的角色。在国内学者关于三门峡重力坝孔口应力的研究结果中, 对于各种荷载应力的大小排序: 温度 > 内水压力 > 自重 > 外水压力, 而且由于温度而产生的应力比其他各种荷载产生的应力总和还大。所以, 温度应力问题存在其紧迫的现实危害性。

相变材料具有在一定温度范围内改变其物理状态

的能力。以固-液相变为例, 在加热到熔化温度时, 就产生从固态到液态的相变, 熔化的过程中, 相变材料吸收并储存大量的潜热; 当相变材料冷却时, 储存的热量在一定的温度范围内要释放到环境中去, 进行从液态到固态的逆相变。物理状态发生变化时, 材料自身的温度在相变完成前几乎维持不变, 形成一个宽的温度平台, 虽然温度不变, 但吸收或释放的潜热却相当大。本文利用月桂酸作为相变材料制备相变储能混凝土, 最终改善混凝土的内部温度应力。

2 制备试验相关工作

2.1 相变骨料的制备

本文拟用月桂酸与硅藻土的拌合物作为相变骨料代替混凝土制备中的砂，故首先我们开始进行月桂酸和硅藻土的配比试验，观察拌合物的成沙情况。我们拟定了三种月桂酸与硅藻土的配比分别是 5:4, 10:9, 1:1。分别观察拌和后的成型情况，并对三种拌合物进行对比分析，最终选定配比为 10:9。

2.2 相变储能混凝土的制备

2.2.1 配合比设计

按照《轻骨料混凝土技术规程》JGJ51-2002，相变储能混凝土配比设计采用绝对体积法进行混凝土的配合比设计，设计强度等级按相应标准中的 C30 进行配比计算。其中系列 1 为强度为 C30 的普通混凝土配比，系列 2 为 5% 相变骨料替换砂砾的相变储能混凝土的配比，系列 3 为 7.5%，系列 4 为 10%。每种系列的混凝土试件浇筑 4 个，总计需浇筑 16 个 150mm×150mm×150mm 的标准混凝土试件。

2.2.2 相变储能混凝土的制备

本论文相变储能混凝土的制备采用的是标准试件的立方体钢模具，混凝土拌和的整个流程由 SJD-30 型混凝土搅拌机完成，拌和完成后将其浇模，然后放于振动台上前后进行 80 秒的震动以完成浇模。完成浇模后用保鲜膜进行封装防止水汽蒸发，之后放置于阴凉地一天后进行脱模，脱模完成放入恒温恒湿养护箱中养护 28d 后，即可进行下一步实验。

混凝土养护完成后，在进行我们的力学和热学试验前，需放置于干燥处 7 天，保证其多余水分的蒸发。

3 相变储能混凝土的性能试验及研究

3.1 相变储能混凝土的力学试验

将相变材料与混凝土结合我们制备了相变储能混凝土，其主要意义是提高了混凝土的热学性能，即控制了温度应力的发展。与此同时，我们需要研究所制备的相变储能混凝土的力学性能，研究由于相变材料掺入所带来的对力学性能的影响。

通过观察各试件的抗压强度数据曲线，我们发现混凝土在受压状态下的抗压强度发展趋势没有发生剧烈的变化。整理各试件的极限抗压强度，绘制了各系列试件的极限抗压强度的变化曲线，如图 1 所示。

在测得了常温状态下的相变储能混凝土的力学性能后，回到本论文所考虑的条件下，将相变材料应用于混凝土主要是为了控制由于温升所导致的混凝土温度应力。所以接下来的抗压试验，是在加热后进行，其意图是模拟高温工作环境下，相变储能混凝土的强度是否会受到影响。整理各试件的极限抗压强度，绘制了各系列试件在受热后的极限抗压强度的变化曲线如图 2 所示。

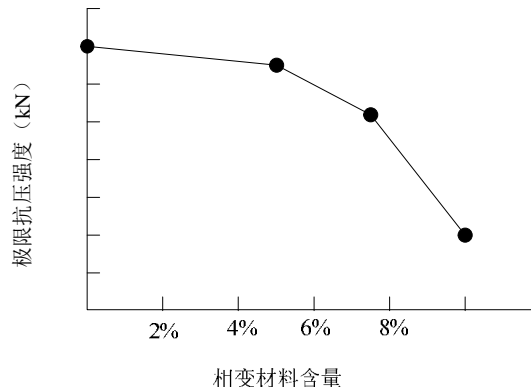


Figure 1. Curve of compressive strength of concrete with different

图 1. 不同相变材料含量混凝土抗压强度变化曲线

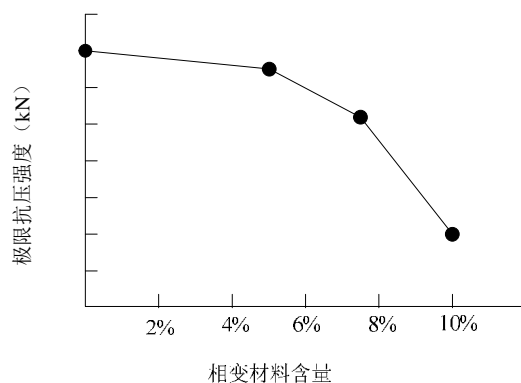


Figure 2. Curves of compressive strength of concrete under different phase change material contents

图 2. 不同相变材料含量混凝土加热抗压强度变化曲线

通过数据和绘图分析，我们发现加热与否基本不会影响混凝土的强度，系列 4 的波动较大，我们分析到可能是因为相变材料的掺入过量导致了混凝土的制备较为困难，试件与时间的差距变得明显，故不将其作为讨论的范围内。综上数据和分析，我们得出结论加热后的混凝土力学性能基本不变，保留之前结论：相变材料的掺入对于混凝土强度是有一定的降低的，但是，当相变材料的含量在 7.5% 以下时，相变材料对

混凝土的影响是可以接受的。所以，就力学性质方面，本实验所制得的相变储能混凝土能应用于工程。

3.2 相变储能混凝土的热学试验

3.2.1 相变储能混凝土的热传导性试验

为完成相变储能混凝土的热传导性试验，我们选取了各个系列中的一个试件。其具体步骤如下：

先制作混凝土保温层，分别包覆与混凝土受热面的四周四个面，我们选用的保温层为锡纸和石棉布。包覆完成，制得的具有单向通道传热的混凝土试件。

将包覆完成的混凝土试件置于电热阻加热板上进

行加热，加热板设置的温度为 45℃，之后，每隔 5 分钟用红外线温度枪测加热面对应的混凝土另一面的表面温度，直至混凝土的表面温度趋于稳定。

将试验数据绘制成图，然后进行理论分析。

本次相变储能混凝土的热传导性试验我们一共持续观测了 380 分钟，累计 76 次。根据数据显示相变混凝土的测量面的表面温度已经趋于稳定。根据试验所得数据，我们将整个试验划分了三个时间段进行绘图以方便观察和分析，所绘数据图如图 3、图 4 和图 5 所示。

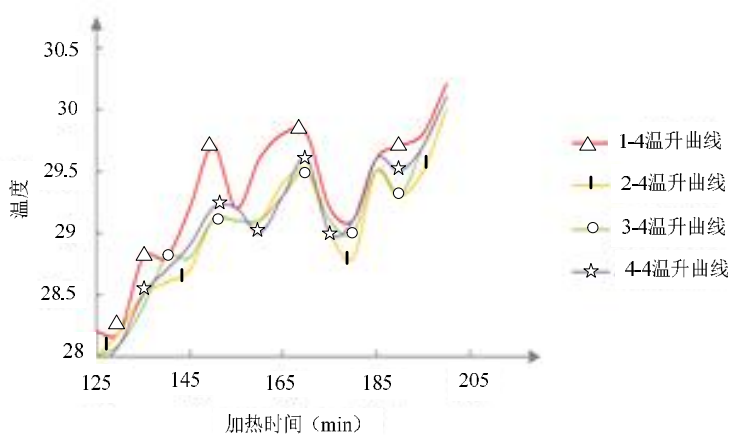


Figure 3. 125min ~ 200min various types of concrete temperature curve

图 3 125min~200min 各类混凝土温升曲线

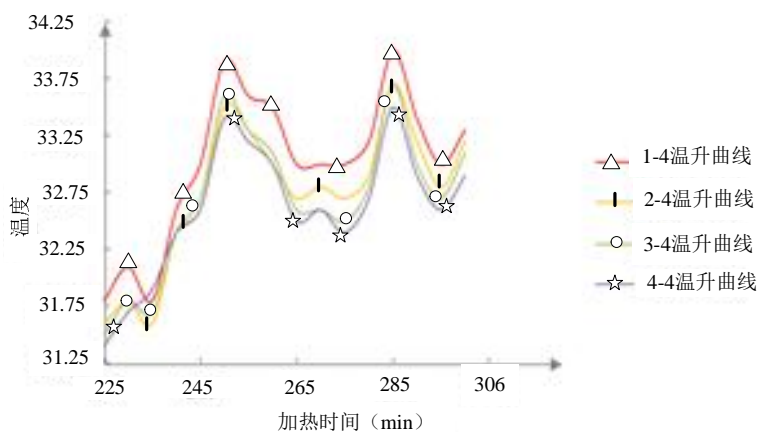


Figure 4. 225min ~ 300min various types of concrete temperature curve

图 4. 225min~300min 各类混凝土温升曲线

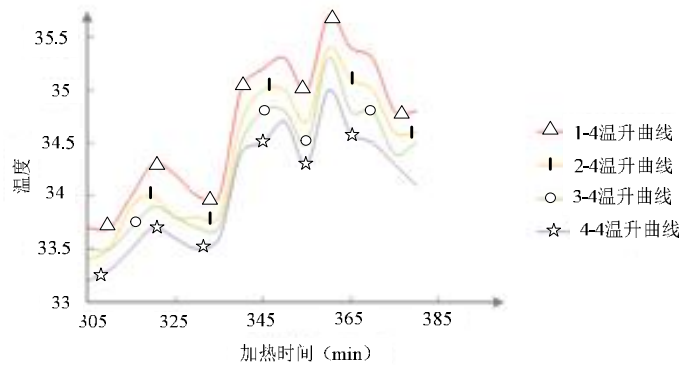


Figure 5. 305min ~ 300min various types of concrete temperature curve

图 5. 305min~300min 各类混凝土温升曲线

由图我们能清楚地看到作为初始温度相同的四个系列混凝土试件，在电热阻加热板的加热下，整个 3 个时间段的大趋势中，各类混凝土的温升速度：系列 1>系列 2>系列 3>系列 4。通过这样的试验数据，我们有理由推断，相变储能混凝土中的相变材料在混凝土受热过程中起到了一定作用，吸收了一部分加热板传递给混凝土的热量，实现了一部分我们将相变材料掺入混凝土的目的，从而导致了在加热过程中混凝土单面的热传递性降低。

3.3 相变储能混凝土的比热容试验

相变储能混凝土的比热容试验，我们继续选用四种系列的混凝土试件各一个，同为热学试验，试件沿用热传递试验的四个试件，待热传递试验的加热温度冷却以后开始试验。具体实验步骤如下：

首先将四个混凝土试件放入烘箱中预热 45 分钟，烘箱温度设定为 70℃，；

将四个混凝土预热后，拿出烘箱静置 30 秒，测其表面温度。

之后，将四个试件又放入烘箱中加热，十分钟拿出，静置 30 秒测其表面温度，整套操作多次循环，直至到达保证相变储能混凝土中的相变材料发生相变，数据清晰，即可停止试验；

整理试验数据绘制成图，然后进行理论分析。

本次试验测温阶段一共持续了 170 分钟，累计 17 次操作。通过实验数据我们判定相变储能混凝土中的相变材料已经发生相变，根据试验所得数据，我们绘制 4 个试件的温升曲线，如图 6 所示。

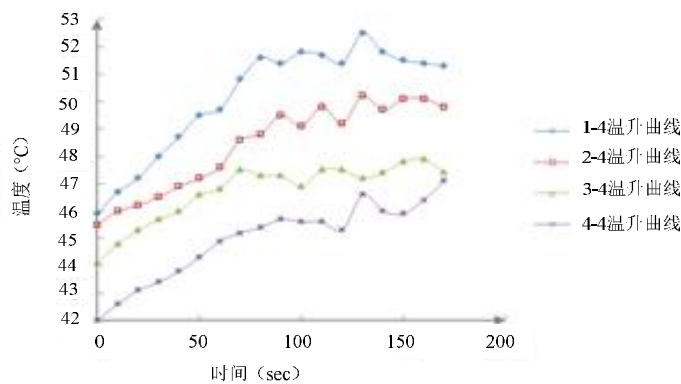


Figure 6. Temperature rise curves of concrete

图 6. 各个混凝土的温升曲线

已知相变材料月桂酸的相变温度为 44°C 左右, 从由试验数据绘制的温度曲线图中, 我们可以清楚的看到加热后的相变储能混凝土已经进入了相变材料的相变温度范围内, 故我们判定相变储能混凝土中相变材料已经发生相变。同时, 由图中的温升曲线观察可知, 温升速度: 系列 1 > 系列 2 > 系列 3 > 系列 4, 同时对比热传递试验, 差值变得更为的明显, 故我们有理由判定, 由于相变储能混凝土中的相变材料发生相变吸热, 导致混凝土温升变化趋缓。而且由图我们还能判断出随着相变储能混凝土中的相变材料的增加, 放缓的程度随之增加。故最终我们得出结论: 硅藻土吸附月桂酸所制得相变骨料应用于混凝土, 制成相变储能混凝土, 有较好的热学性能, 值得进一步研究以应用于工程实际。

4 结论及展望

4.1 结论

因为水泥水化热温升所导致的混凝土破坏是影响混凝土安全性能和耐久性能的重要因素之一。而相变材料有着相变时温度台阶小, 吸热放热大的特点, 将其应用于混凝土的制备有着其独有的优势和适用性。相变材料在水泥水化热期间, 吸收水泥水化热的热量, 但温度不发生较大的变化, 从而降低了实际本应存在的混凝土内表温差, 能从根本上解决温度裂缝产生的原因。

本论文以硅藻土作为基体材料, 吸附月桂酸制成相变骨料这一工艺作为实验创新, 最终完成相变储能混凝土的制备。并通过一系列力学性能试验和热学性能试验对所制得的相变储能混凝土进行研究, 在既有的理论上, 对其进行理论分析, 验证了以硅藻土作为基体吸附材料吸附相变材料拌和物为相变骨料制备成的相变储能混凝土应用于工程实际的可行性。

在既有理论研究上, 提出了以硅藻土作为吸附相变材料的基体材料的工艺, 并完成了相变储能混凝土的制备。

设计完成了月桂酸与硅藻土的配比实验, 提出了筛选原则, 并找出了拌和相变骨料作为砂砾代替物的最佳配比。

设计完成了相变储能混凝土的力学性能试验, 从常温和加热两个状态分别讨论了相变储能材料的抗压强度, 找到了强度变化不大的最佳相变骨料含量值。

设计完成了相变储能混凝土的热学性能试验, 从

热传递性和比热容两个方面讨论了相变储能混凝土的热物性, 变相的回答了相变材料发生相变和不发生相变时对于混凝土热物性的影响, 验证了相变储能混凝土应用于工程实际的可行性。

4.2 展望

虽然本论文成功得制备了相变储能混凝土, 并验证了它的工程实际可行性, 但由于时间和试验条件的限制, 本论文的研究还不全面, 需要今后更加是深入地研究, 其主要包括:

(1) 对于硅藻土吸附月桂酸的工艺, 还应加一步研究和设计, 提高相变材料的吸附效果和减少相变材料的泄露。

(2) 关于相变材料对于混凝土的力学性能的影响, 需做进一步研究, 建立完善的数学模型进行归纳, 实现对相变材料力学性能的最优化

(3) 关于相变储能混凝土的热学性能检测, 应作出更为定量的研究, 更为精确而有效地探讨研究相变材料所发挥的效用。

致谢

我历时将近两个月时间终于把这篇论文写完了, 在这段充满奋斗的历程中, 带给我的学生生涯无限的激情和收获。在论文的写作过程中遇到了无数的困难和障碍, 都在同学和老师的帮助下度过了。在校图书馆查找资料的时候, 图书馆的老师给我提供了很多方面的支持与帮助, 尤其要强烈感谢我的论文指导老师—郑丹老师, 没有他对我进行了不厌其烦的指导和帮助, 无私的为我进行论文的修改和改进, 就没有我这篇论文的最终完成。在此, 我向指导和帮助过我的老师们表示衷心的感谢!

References (参考文献)

- [1] Tang Jie. Concrete box structure temperature field and temperature effect analysis. Chongqing Jiaotong University. 2014. 唐杰. 混凝土箱体结构温度场及温度效应分析. 重庆交通大学. 2014.
- [2] Kong Xiangfei. Study on the Performance of Envelope for Phase Change Storage Building. Tianjin University. 2013. 孔祥飞. 相变蓄冷建筑围护结构性能研究. 天津大学. 2013.
- [3] Gao Yuelin. Large-volume concrete stiffness changes in temperature stress and reinforcement analysis. Chang'an University, 2012. 逯跃林. 大体积混凝土刚度变化时温度应力及配筋分析. 长安大学. 2012.
- [4] W Hawes D, D Feldman. Absorption of phase change materials in concrete. Solar Energy Materials & Solar Cells. 1992, 27(2), 91-101.

- [5] Ma biao, Wang Xiaoman, Li Chao, et al. Application prospect of phase change material in asphalt concrete pavement. Highway. 2009, (12), 115-118.
马磊, 王晓曼, 李超, 等. 相变材料在沥青混凝土路面中的应用前景分析. 公路. 2009, (12), 115-118.
- [6] T Lee. Control Aspects of Latent Heat Storage and Recovery in Concrete. Solar Energy Mater cells. 2000, (62), 217-224.
- [7] Chen Meizhu, He Zhen, Chen Shenghong. Research on phase change temperature-sensitive concrete. New Building Materials, 2003, (12), 1-4.
陈美祝, 何真, 陈胜宏. 相变温敏混凝土的研究. 新型建筑材料. 2003, (12), 1-4.
- [8] Xu Yafei. Research on Reasonable Reinforcing Technology of Box Composite Structure Based on Improved Temperature Field. Chongqing Jiaotong University. 2014.
徐亚飞. 基于温度场改良条件下箱体复合结构合理配筋技术研究. 重庆交通大学. 2014.
- [9] Picandet V, Khelidj A, Bellegou H. Crack effects on gas and water permeability of concretes. Cement and Concrete Research. 2009, 39(6), 537-547.
- [10] Wang Xingang, Ma Baoguo, Wang Kai, et al. Research progress on phase change energy storage building materials. Energy conservation. 2005, (12), 10-14.
王信刚, 马保国, 王凯, 等. 相变储能建筑材料的研究进展. 节能. 2005, (12), 10-14.
- [11] Ye Hong, Cheng Danpeng, Ge Xingshi, et al. Experimental verification and parameter analysis of a numerical model of a fixed phase change energy storage floor radiant heating system. Journal of Solar Energy. 2004, (02), 189-194.
叶宏, 程丹鹏, 葛新石, 等. 定形相变贮能式地板辐射采暖系统数值模型的实验验证及参数分析. 太阳能学报. 2004, (02), 189-194.
- [12] Zhang Dong, Zhou Jianmin, Wu Keru, et al. Preparation and energy storage behavior of phase change energy storage concrete [J]. Chinese Journal of Building Materials. 2003, (04), 374-380.
张东, 周剑敏, 吴科如, 等. 相变储能混凝土制备方法及其储能行为研究. 建筑材料学报. 2003, (04), 374-380.
- [13] Sun Xinquan, Gong Yuqiu, Xu Baoqing. Studies on latent heat storage material of sodium sulfate decahydrate system. Journal of Hangzhou University (Natural Science). 2012, (02), 195-200.
孙鑫泉, 龚钰秋, 徐宝庆. 十水硫酸钠体系潜热蓄热材料的研究. 杭州大学学报(自然科学版). 2012, (02), 195-200.
- [14] Zhang Liming. Study on the preparation and heat storage mechanism of greenhouse compound phase change material. Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry. 2013.
张立明. 温室墙体复合相变材料的制备与蓄热机理研究. 西北农林科技大学. 2013.
- [15] Zhang Jing, Ding Yimin, Chen Niangyi. Research and Application of Phase Change Energy Storage Materials. Salt Lake Research. 2005, (03), 52-57.
张静, 丁益民, 陈念贻. 相变储能材料的研究及应用. 盐湖研究. 2005, (03), 52-57.