短切碳纤维混凝土增强结构承载能力试验

梁洁，何晓鸣

（武汉工业学院交通研究所，湖北 武汉 430023）

摘要：通过对短切碳纤维混凝土短柱的电阻值、电热功率和电热时间的实验测试，了解短切碳纤维混凝土短柱的电力、电热的特性，智能控制所需梁内温度变化幅度，使实现结构智能化控制，增强结构承载力。

关键词：短切碳纤维；智能化；提高；承载力

0 引言

在混凝土中引入不同的新组分，将赋予新型混凝土的特殊功能。其理论基础来源于“纤维阻裂机理”（或称纤维间距理论）和“复合材料机理”[1]。这两种理论的提出极大地促进了纤维混凝土的发展。

1970年初，钢纤维增强复合材料作为最早的纤维增强水泥和混凝土实用化产品应用于土木工程中，而后相继出现了玻璃纤维混凝土、Aramid纤维混凝土、Kelver纤维混凝土、碳纤维增强混凝土；其中以碳纤维增强混凝土性能最优，具有普通增强型混凝土所不具备的优良机械性能、防水渗透性能、耐自然温差性能，在强碱环境下具有稳定的化学性能、持久的机械强度和尺寸稳定性。

在混凝土中掺入短切碳纤维，可以在不同程度上改善混凝土的力学性能，提高它们的使用价值和耐久性，同时还可以改善混凝土的导电性和导热性能，使新的复合混凝土具有压敏和温敏(包括塞贝克效应和阻温特性)效应等机敏性。碳纤维能实现应力、应变和疲劳损伤以及温度的自诊断检测，因而具有多功能特性，从而可以配制出具有导电、屏蔽磁场、屏蔽电磁辐射和应力、应变自检测以及温度自测等多功能的水泥基复合材料。由于它是高弹模、高强度纤维增强的水泥基，因而具有高抗拉、高抗弯、高断裂能、低干缩率、低热膨胀系数、耐高温与高阻燃能力、高耐久、耐老化、抗腐蚀、高抗渗等并与老混凝土、金属的接触电阻低和由良好的电磁屏蔽效应而且能减轻结构自重，故碳纤维增强水泥基复合材料将能够实现智能材料向智能土木结构的转变。

1 国内外应用情况

1.1 国内外概况

纤维增强塑料(Fibre Reinforced Plastics,简称FRP)是一种在合成有机高强纤维注入树脂材料经挤压、拉拔而成型的复合材料。八十年代以来，FRP开始在土木工程领域得到应用，并因其耐腐蚀、强度高、重量轻、抗疲劳等性能特点，成为九十年代世界各国用于开发预应力钢筋替代产品研究的首选材料[2]。目前，在棒状材料方面，美、加、德、日等国相继开发出了碳纤维增强塑料（CFRP）、玻璃纤维增强塑料（GFRP）和阿拉米德纤维增强塑料（AFRP），并开展了FRP的材料特性和FRP预应力筋混凝土结构性能的研究工作，生产了适用于FRP预应力筋张拉锚固的锚、夹具和张拉设备，同时编写了相关的设计手册。迄今为止，世界上已经拥有50多座FRP预应力筋混凝土结构（以桥梁为主），尤以日本为最多[3]。而我国在这方面的研究仅刚刚起步，而应用尚属空白。

目前国内外建筑业对FRP产品的需求日益增长，在日本、美国和西欧等一些发达国家FRP产品(如棒状材料)在预应力混凝土结构中替代钢筋和预应力筋的研究和应用发展非常迅速。二十世纪末期，德国首次将玻璃纤维增强塑料(GFRP)棒状材料作为钢筋应用于预应力混凝土桥梁中。之后，日本将GFRP产品作为钢筋材料大量应用于隧道喷射混凝土结构中，并在1989年，首次将碳纤维增强塑料束（CFRP）作为预应力钢筋应用到一座双跨预应力混凝土桥梁中[4]。与传统的钢筋和预应力钢筋相比，FRP力筋通常在一个方向上有较小的弹性模量和线膨胀系数。这些材料质量轻，具有非磁性和非常高的强度以及良好的抗腐蚀能力。这种合成材料的主要特性是钢材所无法比拟，是取代或部分取代

基金项目：湖北省交通厅科研项目“多功能长效路面结构设计研究”（省交通厅鄂交科教【2007】582号）
作者简介：梁洁（1988-），女，武汉工业学院交通研究所，E-mail：helloliangjie@163.com
通信联系人：何晓鸣（1957-），男，教授级高工，主要从事道路与桥梁方面研究，E-mail：Xiaoming.He@tom.com

钢材的最佳新颖材料，它有望替代预应力高强钢筋（丝），使混凝土结构使用寿命大为延长，解决耐久性混凝土的研究应用这一当今国内外建筑业的重大命题。因此FRP力筋是一种有待研究开发和大力推广的、理想的和极具前途的新型建筑材料[5]。

1.2 荆州市观音垱桥改造成果

观音垱桥是318国道上的一座小桥，该桥为(1×6.80)m钢筋混凝土板桥，桥面总宽为14.10m，两边各有0.30m宽钢筋混凝土路缘石，净宽为13.50m。设计荷载为：公路Ⅱ级；公路等级：二级公路。由于该桥处于国道上，日交通量很大，重载车日益增多，且使用已久，出现了桥面龟裂，主板出现大量裂缝，伸缩缝坏死，支撑梁损坏等病害。故对桥作改造、加固措施。改造内容包括以下四点：1）三片钢桁架；2）三个碳纤维混凝土短柱；3）一个托梁；4）更换梁板及桥面铺装。

对该桥进行改造加固后，在碳纤维短柱升温的情况下，各测点的挠度和变形都明显降低，减小了75%—86%；跨中应力满足规范要求。主要测点挠度实测值均小于理论计算值，说明结构设计具有一定安全储备，满足设计荷载的能力。

该试验采用理论研究与实际桥梁加固研究及试验相结合的方法，迅速将理论研究成果应用于观音垱桥梁，达到了预期的效果，取得了良好的经济效益和社会效益，为新型桥梁开发和旧桥加固工程提供了借鉴。

2 短切碳纤维混凝土短柱实验报告

2.1 试验目的

本试验主要通过对短切碳纤维混凝土短柱的电阻值、电热功率和电热时间的实验测试，了解短切碳纤维混凝土短柱的电力、电热的特性，为短切碳纤维混凝土智能桥梁研究奠定试验基础。

2.2 试件及实验设备

为研究短切碳纤维混凝土短柱的电热性能和电热产生的力学性能，本试验通过对10个短切碳纤维混凝土短柱分别通电，测算电热功率、电热时间、电热温度、电热应变的关系。

2.2.1 试验试件

7个200×200×300mm和3个200×200×500mm的短切碳纤维混凝土短柱,混凝土采用C30，短切碳纤维体积含量为试件体积含量的1.5%。

2.2.2 试验仪器和设备

(1) INSTRON5882 电子万能材料实验机；

(2) KEITHLEY2700 多通道数据采集仪；

(3) TDGC2-5 接触调压器；

(4) 普通热电耦；

(5) 万用表；

(6) 计算机。

2.3 试验内容及结果

2.3.1 试验内容

短切碳纤维混凝土短柱的电热性能试验是根据电热学原理和已知碳纤维混凝土导电性能，通过通电加热产生应力、应变，由此评估提升结构承载能力的目的。根据这些原则，主要进行以下试验和测试：

(1) 万用表测出各试件短柱沿柱长边方向电阻R，为减小误差，万用表在电极正反各测一次后取两次测值的平均值；

(2) 用INSTRON5882电子万能材料实验机给试件短柱轴向恒压50N，测出短柱的变形ε_0；

(3) 热耦感应片贴在试件短柱中部表面，给试件短柱上下截面布置的电极上加110v恒定交流电压（由TDGC2-5 接触调压器在10秒内逐步升压至110V）；

(4) 以上INSTRON5882电子万能材料实验的变形数据通过模拟转换成电压信号。用KEITHLEY2700 多通道数据采集仪采集模拟电压信号、热电耦和激励电压信号，采样频率为0.5Hz.，测得短柱升温20℃过程中各时刻温度T_t和变形ε_t，显示过程曲线图并存储于计算机中。

试验前，制作短切碳纤维混凝土短柱10个，7个200×200×300mm和3个200×200×500mm，其成份配比见表1。

表1 短柱试件材料表

试件类型	水泥（kg）	石子（kg）	砂子（kg）	碳纤维（kg）	分散剂（kg）	钢丝网（个）
200×200×300（mm）	5.5	15.0	7.0	0.32	0.05	7×2
200×200×500（mm）	9.2	25	11.7	0.53	0.08	3×2
总计（10个）	66.1	180	84.1	3.83	0.59	20

注：钢丝网埋入短柱两端作电极，尺寸160×160mm，分散剂为羧甲基纤维素钠（800-1200 $mPa\cdot s$）。

试件制作步骤如下：

（1）预制一次性试件模具；

（2）取适量热水溶解分散剂（质量比约为40:1），分散剂分批放入，搅至透明，略带稠状；

（3）将碳纤维放入以上溶液中搅拌均匀分散；

（4）干拌水泥、砂石后，将其与碳纤维搅拌物一起投入搅拌机中加水搅拌；

（5）入模，布设钢丝网电极，振捣；

（6）养护。

2.3.2 实验结果

试验分别对7个200×200×300mm（1-7#）和3个200×200×500mm（8-10#）试件短柱通电测试，电压为110V，温差20℃。试验结果汇总于表2，各试件的电热及变形特性见附录。

表2 短切碳纤维混凝土短柱变形

试件(#)	升温值(℃)	电阻值（Ω）	时间（S）	变形(mm)	功率（W）	电耗（kw.h）
1	20	120	1902	0.061	100.8	0.053
2	20	15.5	620	0.042	780.6	0.135
3	20	17	612	0.063	711.8	0.121
4	20	13.5	544	0.083	896.3	0.135
5	20	63	1236	0.052	192.1	0.066
6	20	68	1040	0.052	177.9	0.052
7	20	70	1776	0.105	172.9	0.085
8	15	15	490	0.081	806.7	0.110
9	15	35	934	0.102	345.7	0.090
10	15	45	834	0.114	268.9	0.062

注：表中1-7#试件为养护15天后在110V电压下加热升温20℃的终态数据；8-10#试件为养护28天后在110V电压下加热升温15℃的终态数据；1-10#试件的功率及电耗为计算理论值。为比较短切碳纤维混凝土短柱和普通混凝土短柱的差异，实验还实测了一个150×150×200mm的砂浆短柱的电阻值，为3.5×106Ω。

2.3.3 试验结论

短切碳纤维混凝土短柱的电阻值较小，能很大程度地降低结构的电阻值以满足通电发热要求。试验中的3个长试件和7个短试件均能在110V电压下较快升温15℃和20℃，一般环境下10-20分钟即能到达理论所需的最大增幅。

试验中的3个长试件和7个短试件的分别升温15℃和20℃时产生的温度变形值分别与其理论计算值0.075mm和0.06mm较接近，基本达到预期变形值。

由应变—应力关系：

$$\sigma = E\varepsilon \tag{1}$$

可知短柱电热膨胀时产生的轴力为：

$$F = EA\varepsilon \tag{2}$$

由表1可以知道：3个长试件与7个短试件在电热升温15℃和20℃时产生的轴力，见表3。

表3 电热升温各试件产生轴力值

试件	1	2	3	4	5	6	7	1-7均值	8	9	10	8-10均值
轴力（kN）	73.2	50.4	75.6	99.6	62.4	62.4	116.8	77.2	97.2	122.4	136.8	118.8

各试件的变形、温度随时间的关系（$t-T_i-\varepsilon_i$）如下图1—10。

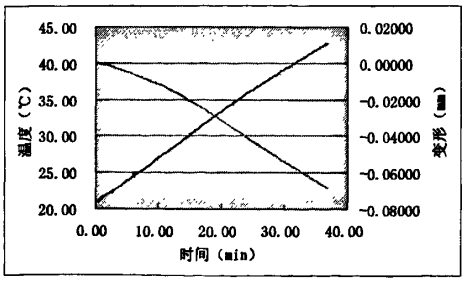


图1 1#试件变形、温度与时间曲线

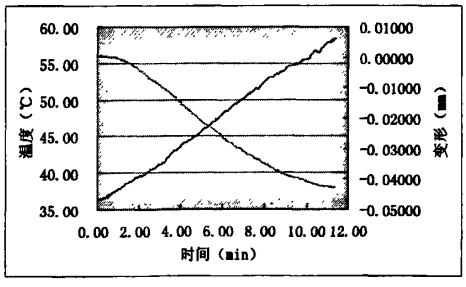


图2 2#试件变形、温度与时间曲线

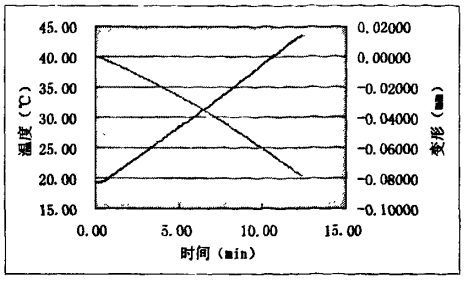


图3 3#试件变形、温度与时间曲线

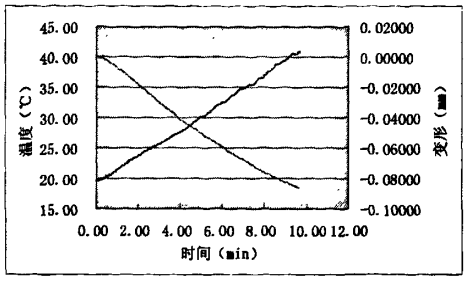


图4 4#试件变形、温度与时间曲线

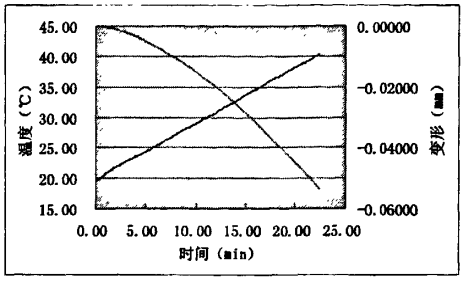


图5 5#试件变形、温度与时间曲线

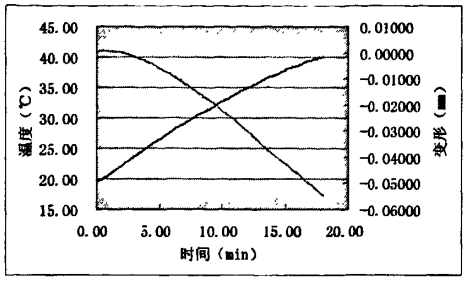


图6 6#试件变形、温度与时间曲线

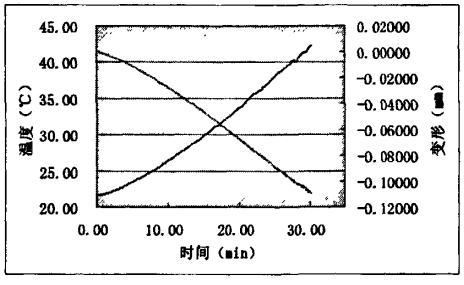


图7 7#试件变形、温度与时间曲线

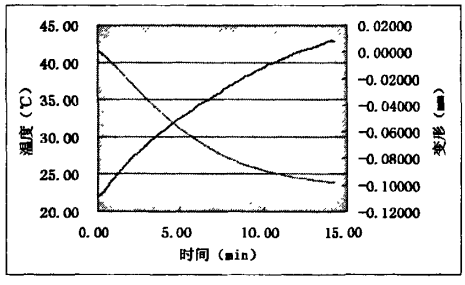


图8 8#试件变形、温度与时间曲线

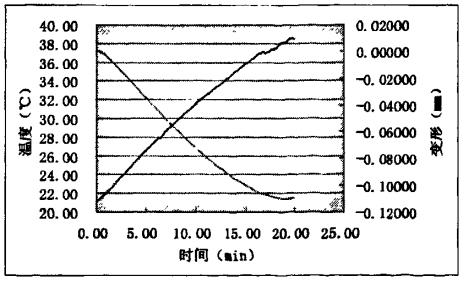


图9 9#试件变形、温度与时间曲线

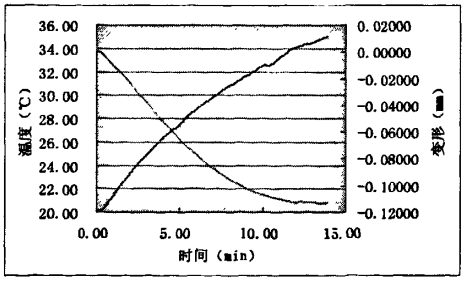


图10　10#试件变形、温度与时间曲线

3　结语

碳纤维混凝土智能桥梁控制方法中通电时间可人工智能化，从而智能控制所需梁内温度变化幅度，使实现结构智能化控制。该智能控制方法的探索研究将为连续梁桥等超静定结构承载能力的智能控制开辟新的思路。而且该方法可用于现有桥梁改造，对于提高桥梁承载力，节约桥梁维修资金，具有现实意义。

参考文献：

[1] 马俊．纤维增强水泥基复合材料的新发展[J]．高科技纤维与应用，2002-6

[2] D.D.L.Chung．Strain Sensors Based on the Electrical Resistance Change Accompanying the Reversible Pull-Out of Conducting Short Fibers in a Less Conducting Matrix[J]．Smart Material Structure，1995，4:59~61

[3] D.D.L.Chung　Self-monitoring　structural

materials[J]. Materials Science and Engineering, 1998, 22:57~78
[4] 毛起炤，赵斌元，李卓球等. 水泥基碳纤维复合材料压敏性的研究[J]. 复合材料学报，1996，13(4)：8~11
[5] 孙明清，李卓球，沈大荣. 碳纤维水泥基复合材料的Seebeck效应[J]. 材料研究学报，1998，12(1)：111~112.

Test of short-cut carbon fiber enhancing the structural bearing capacity

LIANG Jie, HE Xiao-ming

(Institute of Traffic, Wuhan Polytechnic University, Wuhan Hubei 430023, China)

Abstract: By testing the electric resistance value, electric thermal power and electric heating time of the short short-cut carbon fiber reinforced concrete column , to understand it's electric power and electric heating characteristics and intelligently control the required temperature change range of beam, so that realize the structure intelligent control and enhance the structural bearing capacity。

Keywords: short-cut carbon fiber; intelligently control; enhance; structural; bearing capacity

短切碳纤维混凝土增强结构承载能力试验

作者：梁洁， 何晓鸣
作者单位：武汉工业学院交通研究所,湖北 武汉 430023

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference_7195880.aspx