

混凝土固化期收缩应变监测实验



深圳市简测科技有限公司

二〇一四年九月

概述

钢筋混凝土结构在现代土建工程中占有重要的地位。对建筑结构而言,混凝土的任何缺陷都是一个潜在的危险,并可能给整个结构带来灾难性的危害。混凝土出现裂缝十分普遍,不少钢筋混凝土结构的破坏都是从裂缝开始的。

混凝土除了荷载作用造成的裂缝外,更多的是混凝土收缩和温度变形导致开裂。混凝土固化期不均匀收缩应变是混凝土结构裂纹产生的主要原因之一,为减小混凝土固化过程中不均匀收缩应变对构件整体质量的不利影响,人们需要对收缩应变进行深入的研究。但由于混凝土的收缩应变与其配合比,浇筑的施工条件,固化养护环境,构件大小等都密切相关,因此仅进行精确的理论计算是不切实际的,还需要直接了解混凝土结构固化过程中的实际收缩应变。

混凝土固化养护期的收缩应变监测对改善养护过程，控制混凝土结构内部应变分布，保证整个建筑物的质量及安全都是非常有益的。但新浇筑的混凝土具有高温、强碱性、大水化热、强腐蚀性和收缩量大等特点，使得绝大多数传感器难以胜任混凝土的收缩应变监测，与其他传感器相比，光纤传感器具有灵敏度高、抗电磁干扰、耐腐蚀、长期稳定性好、结构简单、体积小、重量轻，以及在一根光纤上可以实现分布式测量等优点，因此是混凝土结构固化期收缩应变监测的理想传感器。

我们利用光纤光栅传感器监测了钢筋混凝土梁固化过程中内部和钢筋表面的收缩应变，并利用独立的光纤光栅温度传感器对温度进行了实时监测，有效的消除了温度变化对光纤光栅应变传感器的影响，实现了对温度和应变的同时测量。

传感器布设

钢筋混凝土梁各部分参数为: 试件尺寸 1200mm×150mm×80mm, 混凝土强度等级为 C20, 底部纵向钢筋采用 2 根 HRB235, $\phi 10$ 钢筋, 上部采用钢筋 2 根 HRB235, $\phi 6.5$ 。

传感器的具体布设如图 7.1 和图 7.2 所示, 图中各传感器的编号见表 7.1。

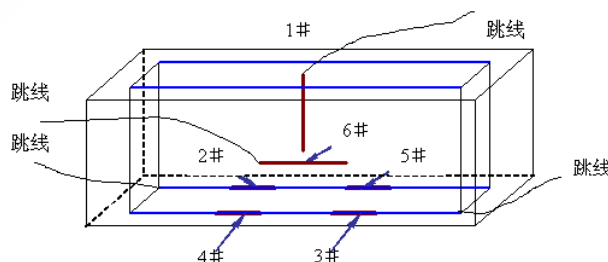


图 7.1 梁中各传感器布设示意

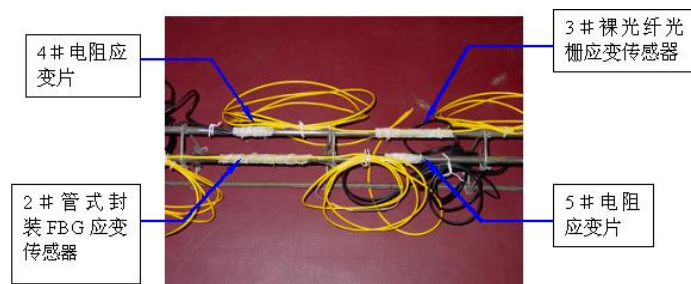


图 7.2 钢筋上的传感器布设图

表 7.1 梁中埋入的传感器编号

编号	传感器类型	中心波长 (nm)	梁上位置
1#	光纤光栅温度传感器	1525	混凝土内部
2#	管式封装光纤光栅应变传感器	1540	纵向钢筋
3#	裸光纤光栅传感器	1540	纵向钢筋
4#	电阻应变片		纵向钢筋
5#	电阻应变片		纵向钢筋
6#	管式封装光纤光栅应变传感器	1531	混凝土内部

1# 传感器用于测量混凝土固化过程中温度变化，对光纤光栅应变传感器进行温度补偿；2# 和 3# 分别为管式封装的光纤光栅应变传感器和裸光纤应变传感器，用于测定钢筋的应变；3# 和 4# 为电阻应变片；6# 为管式封装光纤光栅应变传感器，用于监测混凝土内部的应变。

为了抵抗混凝土的强碱性，以及浇筑、振捣过程中的冲击对光纤光栅造成的损坏，提高其存活率，必须对埋入的传感器采取有效的保护措施。对于粘贴在钢筋表面的应变传感器，首先在纵向钢筋上打磨出一个面积适中的平面，用酒精清洗后，均匀的涂上一层环氧树脂，将传感器粘贴于经过打磨处理的纵向钢筋上，确保传感器与钢筋轴向一致。待达到一定的粘贴强度后，在其表面涂覆环氧树脂进行保护，然后在外部缠几层纱布。对于埋置在混凝土中的光纤光栅，在制作试件时，先浇一半混凝土，将光纤光栅传感器水平置于混凝土中，然后浇筑另一半混凝土，放在振动台上振动使其密实，因水灰比较小，在振动过程中，能保证传感器处于水平位置

大致不变。光纤光栅温度传感器待混凝土振动密实后垂直插入混凝土内部，以避免受到纵向拉应力。

混凝土养护期收缩应变监测实验数据分析

混凝土浇筑后 4~15 小时左右，水泥水化反应激烈，分子链逐渐形成，出现泌水和水分急剧蒸发现象，引起收缩，此收缩的量级很大，可达 1% 左右。

1. 温度变化

因混凝土浇筑后 4~15 小时左右水泥水化反应激烈，故本试验监测时间为混凝土浇筑后 2~16 小时，为了避免环境温度对监测结果的影响，混凝土梁放置于恒温恒湿的室内。

在 14 个小时的测量时间内，每分钟采集并存储一次数据。由 6# 温度传感器测到的温度变化如图 7.3 所示。

从图中可以看出，由于水泥水化热的影响，混凝土内部的温度是逐渐上升的，到浇筑后 10 个小时，温度达到最高，这表明此段时间是水泥水化的一个高峰期，然后试件内部的温度开始缓慢下降，表明水泥的水化速度开始下降，温度变化接近 2°C 。

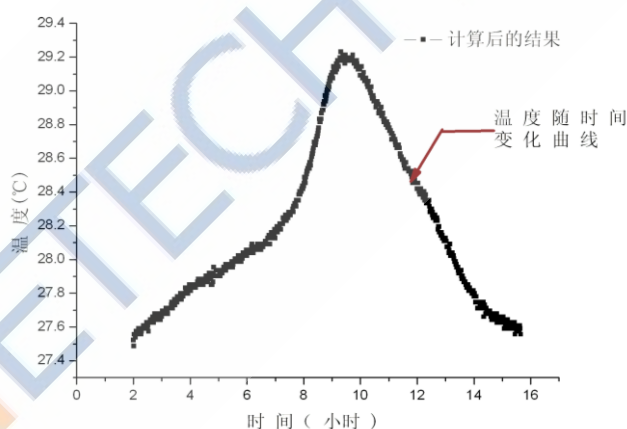


图 7.3 混凝土固化过程中温度变化曲线

2. 应变变化

梁钢筋上的 2# 和 3# 应变传感器，以及在混凝土内部 6# 的光纤光栅应变传感器，监测到的波长随时间变化的曲线如图 7.4、图 7.5 和图 7.6 所示。混凝土在固化的过程中将产生水化热，引起混凝土温度升高，这个试件在 2~16 小时内温度变化大约为 2°C ，在监测混凝土内部和钢筋表面的收缩应变必须考虑周围环境温度变化对光纤光栅应变监测的影响。

图 7.4、图 7.5 和图 7.6 中上部曲线为传感器受温度与应变共同影响下的波长变化曲线；下

部曲线为消除温度影响后传感器受外部应变作用产生的波长变化曲线。如图 7.6 所示，对于裸光纤光栅传感器，温度变化造成最大 20pm 的波长变化系统误差；而对于图 7.4 和图 7.6 所示的管式封装应变传感器，温度变化造成的系统误差更大，约 55pm。可以看出，传感器周围环境温度变化对应变监测的影响非常大，在应用光纤光栅传感器的时候，必须对应变传感器进行温度补偿。

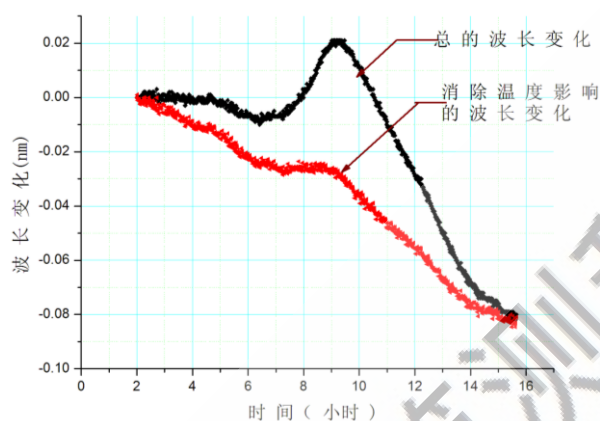


图 7.4 钢筋上 2# 管式封装光纤光栅应变传感器波长变化

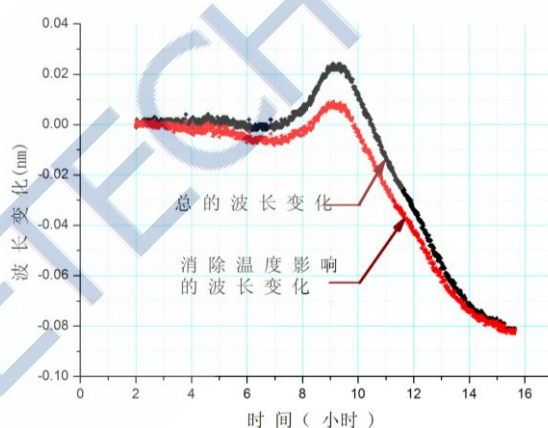


图 7.5 钢筋上 3# 裸光纤光栅波长变化

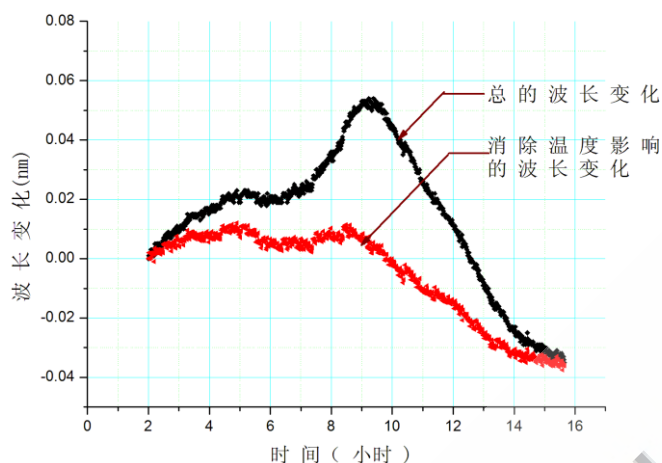


图 7.6 混凝土内部 6# 管式封装光纤光栅应变传感器波长变化

经过处理后得到钢筋和混凝土内部的应变变化如图 7.7、图 7.8 和图 7.9 所示。

试验监测了混凝土梁在浇筑 2~16 小时内的固化过程。从图 7.7 可以看出，梁内部的一侧纵向钢筋上所受的应力始终是收缩应力，最大收缩应变达 $83\mu\epsilon$ ；而在另一侧，如图 7.8 所示，纵向钢筋先受到了一定的收缩应变，然后又发生了一个受拉过程，大约 9 小时后达最大拉应变，大约 $8\mu\epsilon$ ，这个拉应变是由于温度的升高，混凝土出现一定的热膨胀引起的，随后钢筋上拉应变向收缩应变变化，在浇筑 16 小时后，收缩应变达 $69\mu\epsilon$ 。图 7.9 是混凝土内部的应变曲线，可以看出，混凝土浇筑后的 9 小时内，由于混凝土水化热的影响，混凝土的温度升高，混凝土内部出现一定的热膨胀，产生拉应变，最大达 $10\mu\epsilon$ 。随后，拉应变向收缩应变变化，到浇筑 16 小时后，在混凝土内部产生大约 $35\mu\epsilon$ 的收缩应变。

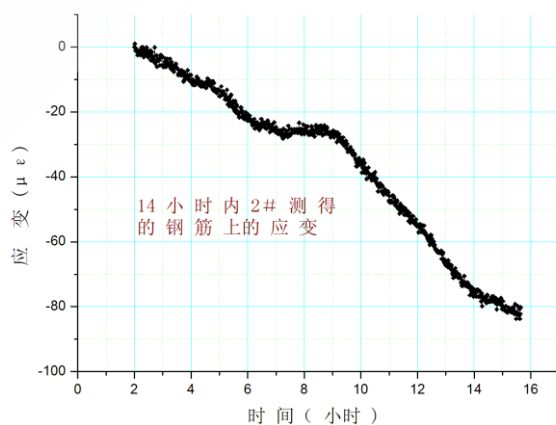


图 7.7 2# 光纤光栅应变传感器测到的钢筋上的应变

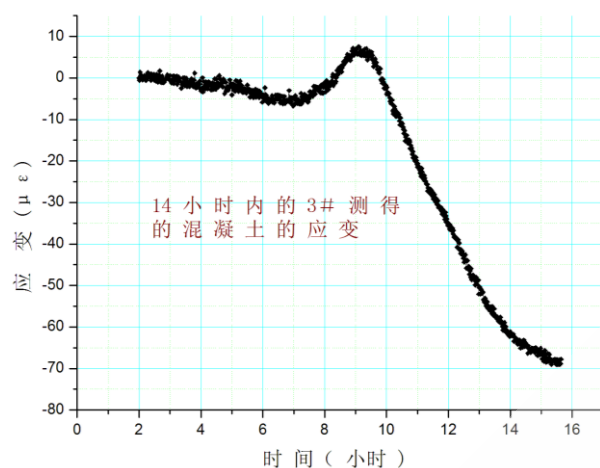


图 7.8 3# 裸光纤光栅测到的钢筋上的应变

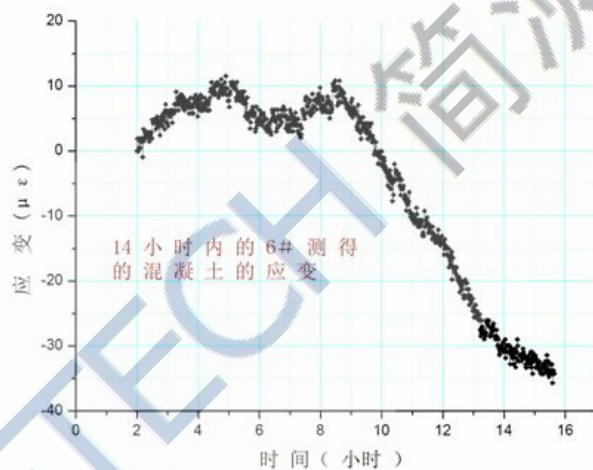


图 7.9 6# 光纤光栅应变传感器测到混凝土内部的应变

小结

光纤光栅传感器是近年来出现的一种新型光学传感器件,具有结构简单、灵敏度高、防水、耐腐蚀等优点。本次实验监测到混凝土在 2~16 小时的固化过程中,温度升高达 2°C 左右,混凝土中最大的收缩应变为 $35\mu\epsilon$, 钢筋上的最大收缩应变分别为 $83\mu\epsilon$ 和 $69\mu\epsilon$ 。对混凝土梁的固化过程中的温度和应变的监测试验表明,光纤光栅传感器能够实时监测混凝土固化过程中的收缩应变和温度变化。在实际应用中,需要对光纤光栅应变传感器进行温度补偿。对于一个比较稳定的温度场,可以只用一个光纤光栅温度传感器就可以实现对多个光纤光栅应变传感器

的温度补偿。此种监测手段是在混凝土养护期恶劣环境条件下收缩应变监测的理想手段。如果进一步将多个光纤光栅传感器埋入混凝土结构内的关键部位组成多个光纤测量网络，即可以在大型混凝土结构施工中，实现结构内部收缩应变的分布状况实时监测，为改善施工工艺和固化养护方法、提高施工质量提供准确的参考数据。在混凝土结构完全固化后的长期使用过程中，光纤光栅可以用于后续的结构长期实时在线健康监测。

虽然本实验方法是针对混凝土梁而进行的，但这种方法可推广到任意尺寸的大体积混凝土固化期的温度应变监测中。