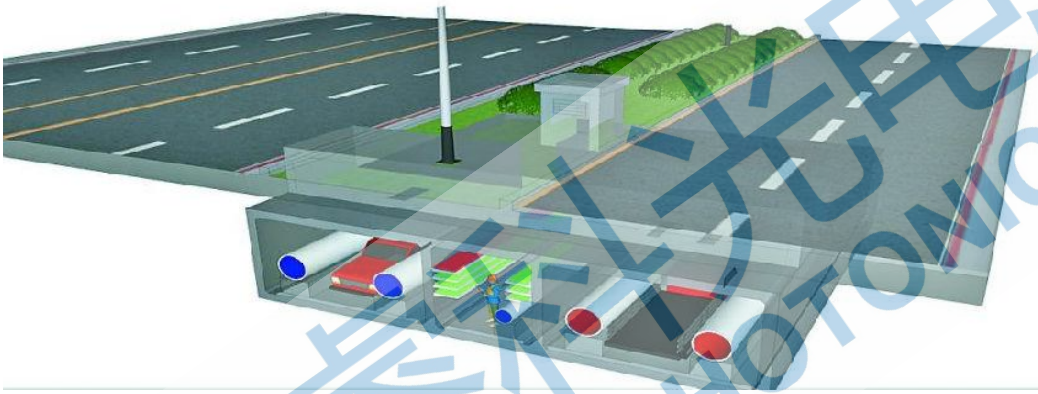
哈尔滨市装配式全预制管廊性能试验

足尺节段加载试验

城市综合管廊也被称为综合管沟或地下共同沟，是通过将电力、通讯、给水、热水、制冷、中水、燃气等两种以上的管线集中设置到道路以下同一地下空间而成的一种现代化、科学化、集约化的城市基础设施。综合管廊解决了城市发展过程中各类管线的监测、维修、扩容等难题，已成为 21 世纪城市现代化建设的热点和衡量城市建设现代化水平标志之一。



而在实际使用过程中，综合管廊由于埋在地下，会受到四周土体的挤压而产生变形、裂缝乃至崩裂的风险，因此需要对综合管廊的耐压性做出标定。本项目通过对管廊的足节尺段施加应力荷载，使用应变片及分布式光纤分别监测不同荷载下的内部钢筋和混凝土表面的应变情况。

1.监测方案

1.1 整体监测方案

管廊的足节尺段采用横向日字型结构，其内部为双层钢筋结构，外部灌浆混凝土，根据项目合作方要求监测内部双层钢筋在施加不同荷载条件下的应变情况。布设方案采用双层布设，使用一根光缆监测内外两层钢筋（由于布设区域后期浇筑混凝土且区域体积较小，故可认为其内部的温度场均匀分布，无需加温度补偿光缆）。同时为保证光缆存活率，按照同样的要点布设一条备用光缆。具体布设方案如图 1 所示。

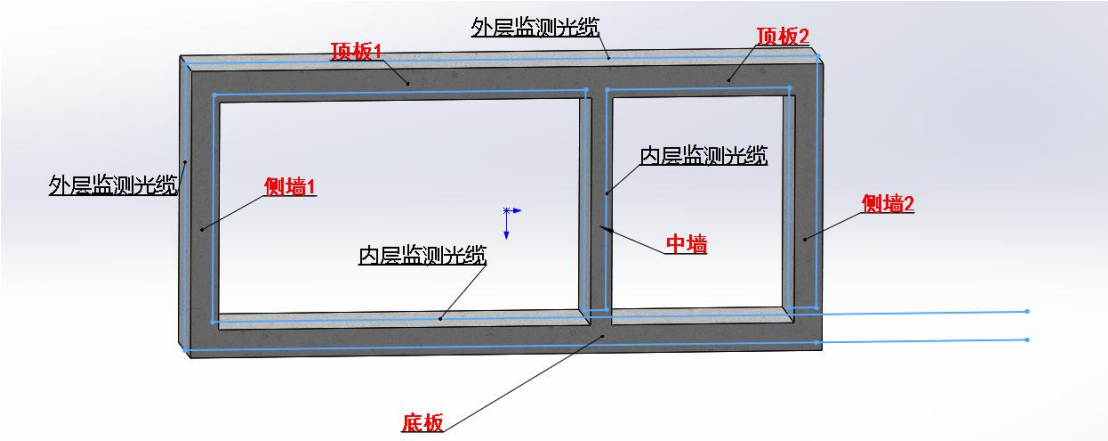


图 1 综合管廊足节尺段分布式光纤监测系统布设方案

1.2 布设工艺

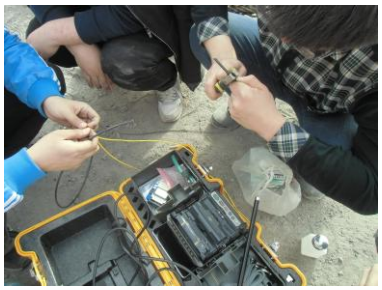
综合管廊足节尺段分布式光纤监测系统施工流程主要分为设计，布设传感光缆，熔接跳线接头及接头保护，关键点标定。施工过程如图 2 所示：1.根据合作方提供的监测需求及现场考察，设计监测方案确定传感光缆布设的具体方位；2.现场按照布设方案，对光纤进行放线，将光缆同钢筋每隔 20cm 使用不锈钢扎带绑扎在一起；3.将光纤的两端熔接两段光纤跳线，注意对熔接处及接头处的保护；4.使用热水袋对光缆关键节点段进行加热，标定关键节点在监测曲线上的一一对应关系。

（a）现场考察

（b）光缆放线

（c）光缆绑扎

（d）绑扎效果图



（e）跳线熔接

（f）关键节点标定

图 2 分布式光纤传感系统布设工艺

睿科光电 RIFALPHOTONICS

1.3 数据采集系统

分布式光纤传感器数据采集采用鞍山睿科光电技术有限公司自主研发的 RP1020 型分布式光纤传感解调仪如图 3 所示，该系统具备空间分辨率 20cm，传感距离 20km，应变测试精度±20 微应变，温度测试精度 1℃的性能测试指标。

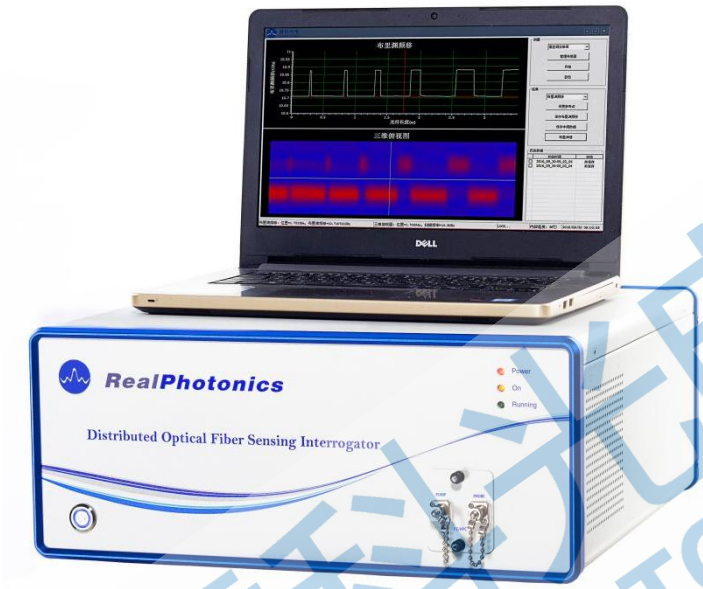
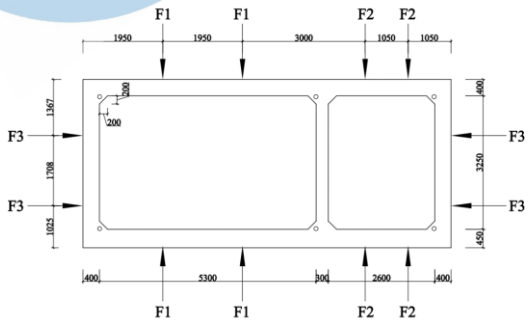
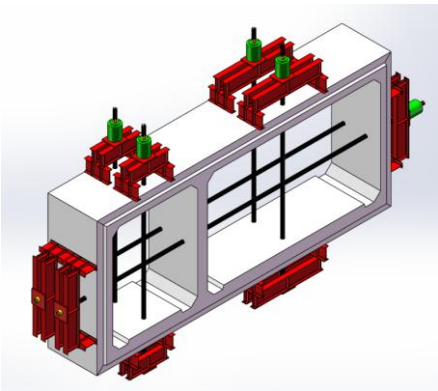


图 3 分布式光纤传感解调仪 RP1020

2.综合管廊足节尺段应力加载试验

待结构件浇筑完成后，对地下结构件做加载试验模拟结构件在丰水期及枯水期时受到的荷载情况。结合构件的尺寸以及加载设备的实际情况，试验时采用穿心千斤顶张拉钢绞线施加预应力及二级分配梁的方式进行加载，根据等效荷载的形式将管廊所受均布力等效成图 4 所示二级分配梁加载形式。





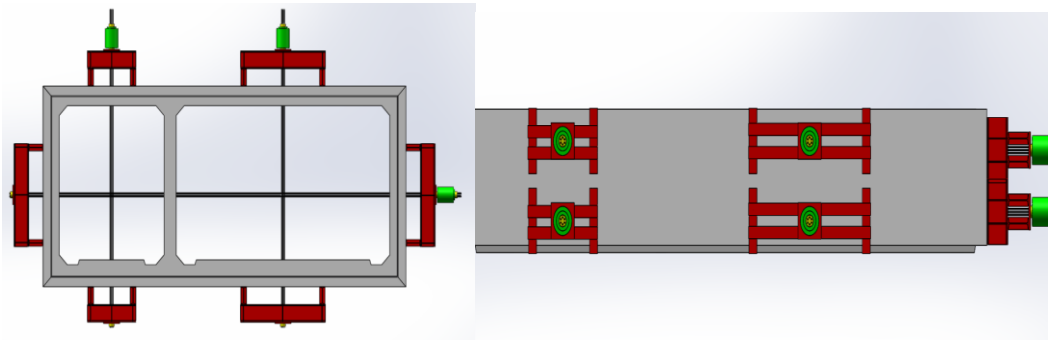


图 4 二级分配梁加载示意图

根据《混凝土质量工程结构施工验收规范》GB50204-2015 中的有关规定，管廊闭合框架结构的加载采用分级加载的形式，用穿心千斤顶施加预应力的方式对结构施加荷载，从初始状态分 4 级逐渐加载到荷载标准值组合，然后继续分 2 级加载到设计值组合，其后继续分级加载到构件质量检验所需的荷载值。标准值和设计值组合以及相应的需要进行构件质量检测的加载级下持荷 30 分钟，其余每级荷载持续 10 分钟。具体试验过程的如图 5 所示：

（a）布置加载现场

（b）连接测试设备

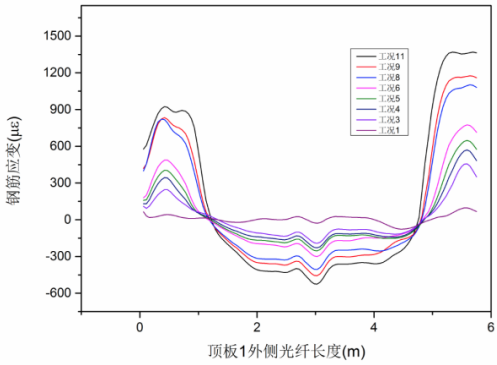
（c）应力加载

（d）读取测试数据

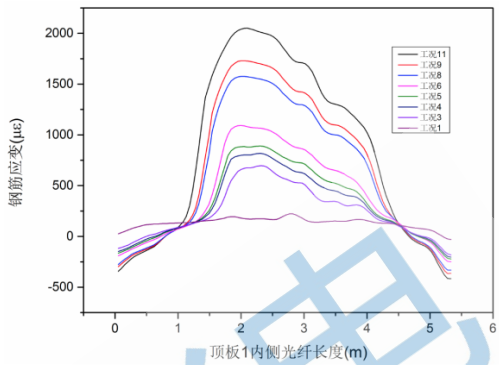
图 5 应力加载试验

3.综合管廊足节尺段分布式光纤监测结果

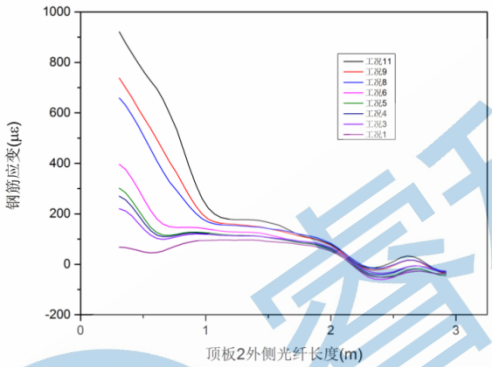
通过本公司生产的 RP1020 对应变信息采集并分析，所得的应变数据如图 6 所示。其中靠近舱室内命名为内侧，反之为外侧。



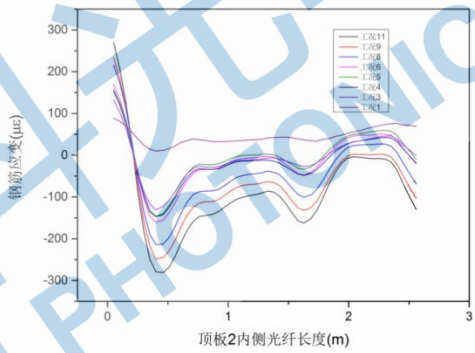
(a) 顶板 1 外侧钢筋应变



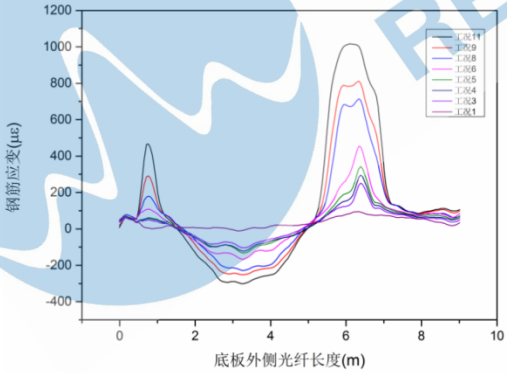
(b) 顶板 1 内侧钢筋应变



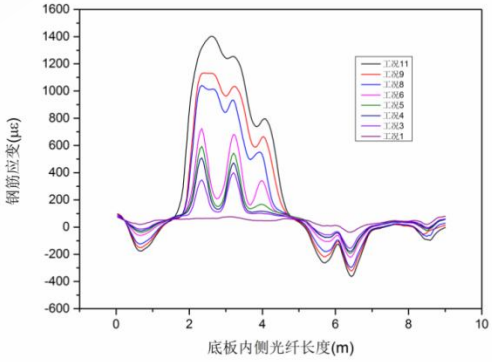
(c) 顶板 2 外侧钢筋应变



(d) 顶板 2 内侧钢筋应变

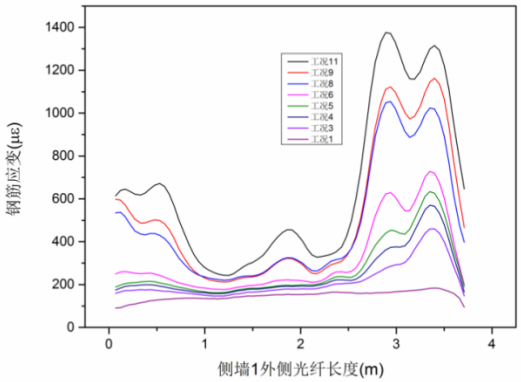


(e) 底板外侧钢筋应变

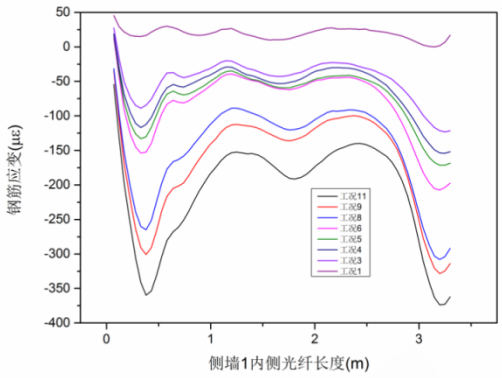


(f) 底板内侧钢筋应变

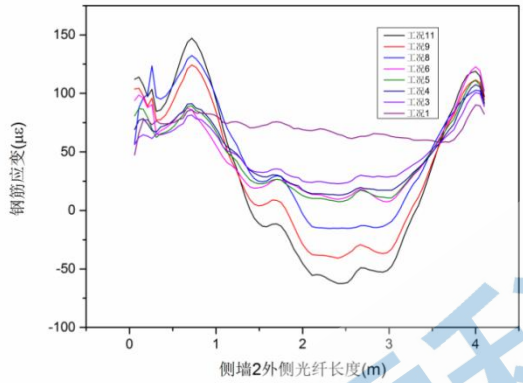
睿科光电 REALPHOTONICS



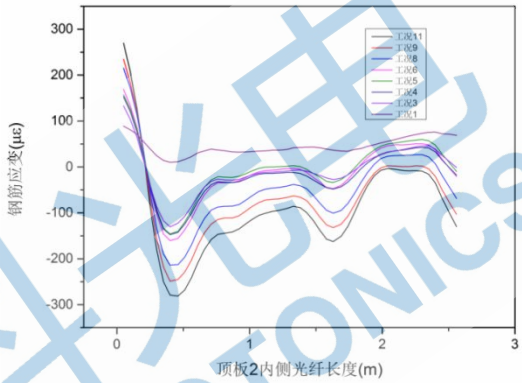
(g) 侧墙 1 外侧钢筋应变



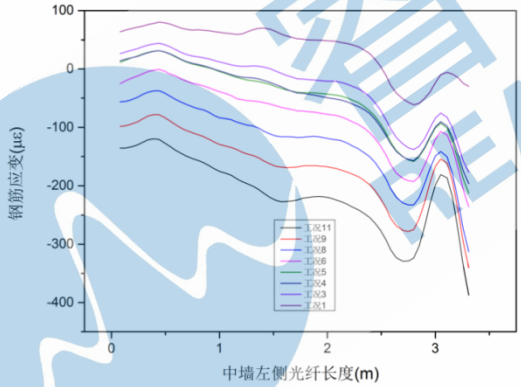
(h) 侧墙 1 内侧钢筋应变



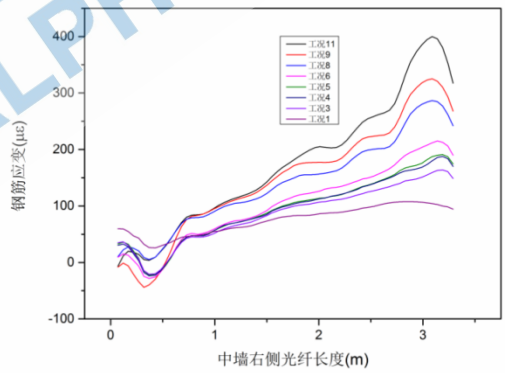
(i) 侧墙 2 外侧钢筋应变



(j) 顶板 2 内侧钢筋应变



(k) 中墙左侧钢筋应变



(l) 中墙右侧钢筋应变

图 6 不同荷载条件下的钢筋应变分布图

从钢筋的应变曲线中可以很明显的看出闭合框架受到周向荷载的作用产生的反拱现象：顶板 2，侧墙 1 以及底板 2 的钢筋均出现内侧受压，外侧受拉。其产生的主要原因是顶板 1 和底板 1 的弯矩通过节点传递到相邻的板和墙上；顶板 2 和底板 2 对侧墙 2 的反拱作用抵消了一部分由外荷载产生的弯矩，但并没有改变截面的受拉和受压位置。可以看出，对于地下闭合框架结构中，在荷载条件一定的情况下，如果合理的调整各舱室的跨度和结构的高度，可以利用反拱作用来达到减小控制截面弯矩的效果，这样可以充分发挥混凝土的受压特性，降低配筋

率并减少裂缝的产生。从中墙的钢筋应变曲线中可以看到，虽然左右两个舱室跨度差别很大，但顶板的刚度远大于中墙的刚度，从弯矩分配的角度来看也是顶板分配的弯矩更多。减少中墙的厚度，可以使左右顶板的弯矩基本一致，充分发挥节点加强筋的作用，同时顶板受力的连续性也更好，没有太大的应力突变，达到了强节点，弱构件的设计目的。

睿科光电
REALPHOTONICS