

岸边集装箱起重机系统监测实施方案



深圳市简测科技有限公司

二〇一五年五月

目 录

1 工程概况	1
2 编制标准及依据	1
2.1 主要标准、规程、规范.....	1
2.2 其它依据.....	2
3 监测内容	2
3.1 应力应变监测.....	2
3.1.1 监测点布置原则.....	2
3.1.2 监测点位置及数量.....	3
3.1.3 应力应变监测传感器.....	3
3.2 温度监测.....	6
3.2.1 监测点布置原则.....	6
3.2.2 监测点位置及数量.....	6
3.2.3 温度监测传感器.....	6
3.3 电机振动监测.....	7
3.3.1 监测点布置原则.....	8
3.3.2 监测点位置及数量.....	8
3.3.3 加速度传感器.....	8
4 监测系统施工工艺.....	9
4.1 传感器安装.....	11
4.1.1 光纤光栅传感器安装.....	11
4.1.2 加速度传感器安装.....	14
4.2 综合布线.....	15
4.3 质量控制.....	15
4.3.1 易出现的质量问题.....	15
4.3.2 保证措施.....	16
4.4 安全控制.....	16
4.4.1 主要安全风险分析.....	16
4.4.2 保证措施.....	17

4.5 环保控制.....	17
5 光纤光栅与电类传感器综合解调仪	18
5.1 传感信号综合同步解调仪简介.....	18
5.2 同步采集仪特性.....	19
5.3 产品系列.....	20
5.4 指标参数.....	20
6 数据通讯机制	21
7 监测系统软件	23
7.1 系统开发环境.....	23
7.2 监测系统功能.....	24
7.2.1 多信号实时同步显示.....	24
7.2.2 数据自动存储功能.....	25
7.2.3 数据自动存储功能.....	26

1 工程概况

3#岸边集装箱起重机是日照港口的的主力装卸设备之一，位于3号码头泊位，为上海港口机械制造厂九零年设计制造的产品。为便于港区今后有计划、有针对性地对该机进行维护、保养，有必要了解该机的现状，进行分析研究。并对该机主要钢结构构件进行实时应力监测，对起重机电机进行实时振动监测。



图 1-1 3#岸边集装箱起重机外形图

2 编制标准及依据

2.1 主要标准、规程、规范

- (1) 《建筑结构检测技术标准》（GB/T 50344-2004）
- (2) 《钢结构设计规范》（GB 50017-2003）
- (3) 《钢结构工程施工质量验收规范》（GB 50205-2001）
- (4) 《起重机设计规范》（GB/T 3811-2008）
- (5) 《起重机试验规范和程序》（GB/T 5905-2011）
- (6) 《港口起重机金属结构静载及动载试验方法》（JT/T 5024-1989）
- (7) 《岸边集装箱起重机》（GB/T 15361-2009）
- (8) 《工程测量规范》（GB 50026-2007）
- (9) 《起重机械安全规程》（GB/T 6067.1-2010）

国家及地方现行的建设标准、规范、规程及相关文件。

2.2 其它依据

- (1) 设计图纸及设计相关资料；
- (2) 业主方提供的其它资料。

3 监测内容

本监测工程是对岸边集装箱起重机主体结构各关键部位在使用阶段进行长期实时在线监测，对各系统监测分项进行系统集成，采用远距离无线通信技术进行系统数据收发，实现结构实时监测、预警，具体监测项目如下：

- (1) 起重机关键结构构件应力应变监测；
- (2) 起重机电气设备温度监测；
- (3) 起重机电机振动监测。

3.1 应力应变监测

起重机应力应变监测一般是指在起重机安装施工及使用过程中，如钢结构安装、提升、卸载、改造、加固，采用监测设备对受力结构的应力应变变化进行监测的技术手段，在监测值接近或超出控制值时发出报警，以保证起重机在施工和运营期间结构的安全性，也可用于检查施工过程的合理性。

应力应变监测的目的：

- (1) 静态应力应变测试目的：获得结构或构件的应力应变分布规律及应力集中状况；检验结构或构件的强度储备；验证结构或构件设计的合理性。
- (2) 动态应力应变测试目的：确定动态应变随时间变化的规律，并对其进行频谱分析，根据统计特性研究结构或构件强度、刚度；验证结构或构件设计的合理性。

3.1.1 监测点布置原则

应力应变的监测点布置原则如下：

- (1) 有限元软件模拟计算的使用过程中受力比较大的点作为应力应变监测控制点；
- (2) 结构重要构件：某些非主要受力构件，虽不一定是整体结构受力最大

的杆件，但这些构件的损坏将对提升过程带来灾难性的后果，故应将其作为重点监测控制点；

(3) 监测控制点要具有代表性和规律性：监测点组合起来要能对结构的整体安全性进行评估，体现施工过程中整个结构的应力分布。

3.1.2 监测点位置及数量

(1) 起重机主体钢结构应力应变监测

起重机主体钢结构设置 28 个应力监测点，共采用 28 个光纤光栅应变传感器。

3.1.3 应力应变监测传感器

结构监测项目需要利用大量的高性价比传感器，实现对结构性能实时监测，为结构或构件的损伤识别、功能评价等提供信息。结构监测所采用的各种类型传感器的核心功能是获取各种准确、有效和可靠的结构及周边环境信息。

下表为主要应变传感器特性对比：

表 A.1 各种传感器特性

类型 特性	钢弦式应变计	电阻应变计	光纤光栅应变计
传感器体积	大	小	小
蠕变	较小，适宜长期测量	较大，需提高制作技术、工艺解决	较小，适宜长期测量
测量灵敏度	较高	较高	高
温度变化的影响	温度变化范围较大时需要修正	可以实现温度变化的自补偿	温度变化范围较大时需要修正
长导线影响	不影响测量结果	需进行长导线电阻影响的修正	不影响测量结果
信号传输距离	较长	短，小于 100 米	长，可达 10 公里
抗电磁干扰能力	差	差	好
对绝缘的要求	要求不高	要求高	无需绝缘
动态响应	差	好	好

充分考虑本项目监测结构在服役阶段的环境条件,对于长期监测优先采用光纤光栅传感器;该产品基于一种光纤光栅应变增/减灵敏度的封装机制,采用独特封装工艺有效的消除了胶粘剂对传感器应变传递的影响;通过调节封装工艺中的参数,可以改变传感器的应变灵敏度系数;同时兼有细径管保护式和夹持式的优点,既可以直接埋入结构中也可以通过辅助构件构成夹持式传感器,如图3-1所示:



图3-1 低温敏型光纤光栅应变传感器

低温敏型光纤光栅传感器具有其独特的优点:

- (1) 传感器体积小、重量轻、外形可变,适合埋入大型结构中,可测量结构内部的应力、应变及结构损伤等,稳定性好,可重复使用;
- (2) 与光纤之间存在天然的兼容性,易与光纤连接,光谱特性好,低损耗、可靠性高;
- (3) 具有绝缘性,不影响待测结构,同时具有抗腐蚀、抗电磁干扰的特点,适合在恶劣环境中工作;
- (4) 一根光纤可以串联多个光纤光栅传感器,由其构成传感阵列,与波分复用和时分复用系统相结合,实现分布式测量;
- (5) 传感器灵敏度高、分辨率大。
- (6) 低温敏型传感器几乎不受温度影响。

其主要参数指标如表A.2所示

表A.2 低温敏型光纤光栅应变传感器主要技术指标

光纤光栅应变传感器	
量程	$\pm 2000\mu\epsilon$
分辨率	$1\mu\epsilon$ (可定制)
波长范围	1510~1590nm
工作温度范围	-50~120
重量	4.1 克
规格尺寸	外径 4mm, 测量标距 30mm (可定制)
尾纤规格	聚合物软管或铠装管 ($\Phi 3\text{mm}$)
连接方式	熔接或 FC/APC 连接头
安装方式	焊接、胶粘接、直接埋入

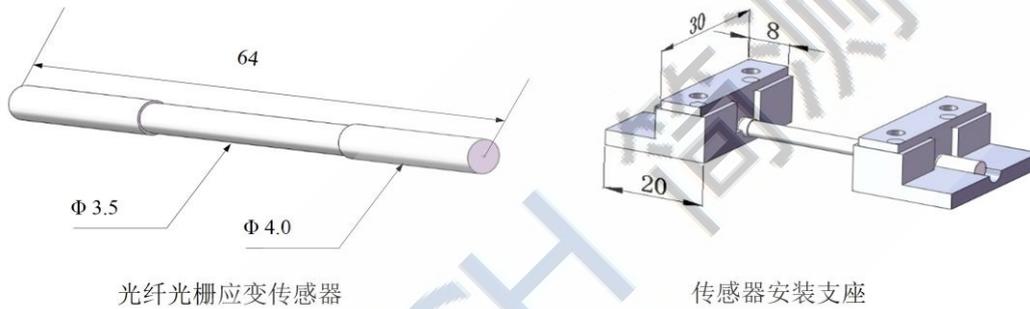
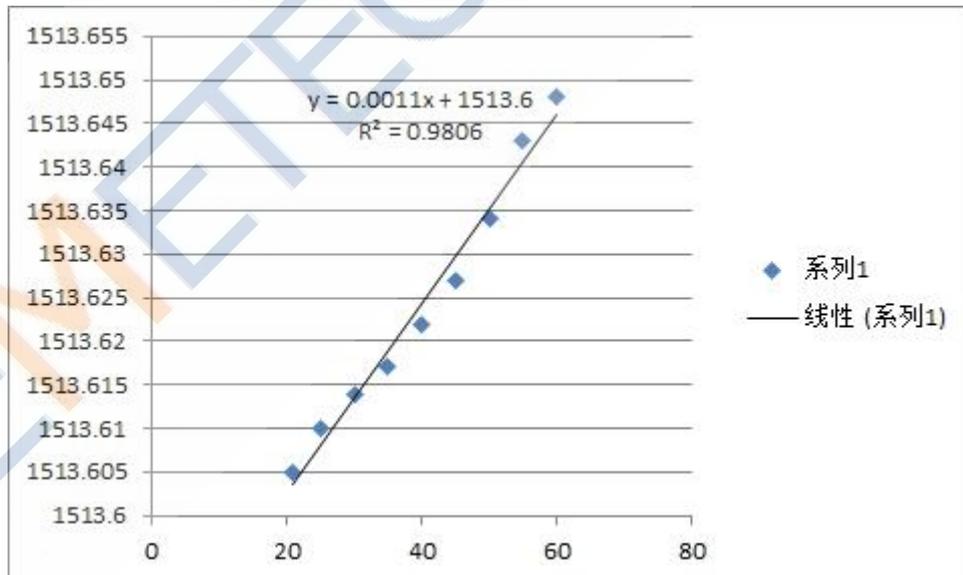


图3-2 光纤光栅传感器封装形式及传感器安装支座



从数据可以看出温度每变化 1°C ，传感器波长变化大概在 1pm 左右，按照我国室外温度环境范围 $-50\sim 70^{\circ}\text{C}$ 来计算， 120 的范围波长变化仅为 0.12nm ，完全满足实际应用需求

3.2 温度监测

在电气系统中，所发生的火灾，大部分都是由于温度过高或过热引起的，如不及及时发现处理，往往会导致事故或火灾的发生。但是现有的火灾探测器仅能对已发生的火灾进行探测（烟或者明火），而在火灾发生之前，温度是逐渐积累上升的，这个积累过程时间比较长。对电气系统中易发生热故障的电气设备的温度变化进行跟踪监测并及时发出警报，无疑会给电气系统的正常运行带来极大的好处。

通过对电气设备温度的监测，将事故消灭于萌芽状态，是行之有效的预防和减少电气设施故障的方法。在最短时间内、以最快的速度监测到故障电气的温度、及时查明故障所在位置，以便及时处理。电气设备温度监测解决了当前电力安全监测的隐患或薄弱环节，提升了电力设施的数字化管理水平。

3.2.1 监测点布置原则

电力温度监测点布置原则如下：

（1）电力负荷大的关键部位：电力负荷大时，该部位温度迅速上升，如温度持续快速上升且无有效降温措施，可能引发火灾；

（2）电机部位：由于电机自身故障、电机调速电路故障、电源电压的不正常变化等都可能使电机运行出现异常。对电机来说，上述故障造成电机运行异常的大部分直观表现是电机的温度升高，加上环境温度以及电机自身由于长期运行所产生的热量，因此快速准确地测量出电机的温度并加以控制，可以在很大程度上保证系统的正常运行。

3.2.2 监测点位置及数量

（1）起重机电气设备及电机温度监测

起重机电气温度监测设置 18 个监测点，电机温度监测设置 36 个监测点，共采用 54 个光纤光栅温度传感器。

3.2.3 温度监测传感器

本光纤光栅温度传感器按封装方式分为增敏型与无增敏性封装结构，按外形

可分为管式和方形两种。传感器采用了独特的封装技术，不仅可以有效的提高了传感器的温度灵敏度，使传感器能自由的感应结构对象的温度变化，而且消除了外界应变影响，使传感器免受外界应力的冲击。

表 A.3 光纤光栅温度传感器技术指标

产品参数		
传感器	增强型光纤光栅温度传感器	无增敏型光纤光栅温度传感器
量程	-30℃~+180℃	-30℃~+180℃
分辨率	0.05℃	0.1℃
波长范围	1510nm~1590nm	1510nm~1590nm
规格尺寸	5mm 外径	3.6mm 外径
安装方式	表面粘接或埋入被测材料中	表面粘接或埋入被测材料中
应用范围	高精度温度测量	低精度温度测量及光纤光栅传感器温度补偿



图 3-3 光纤光栅温度传感器

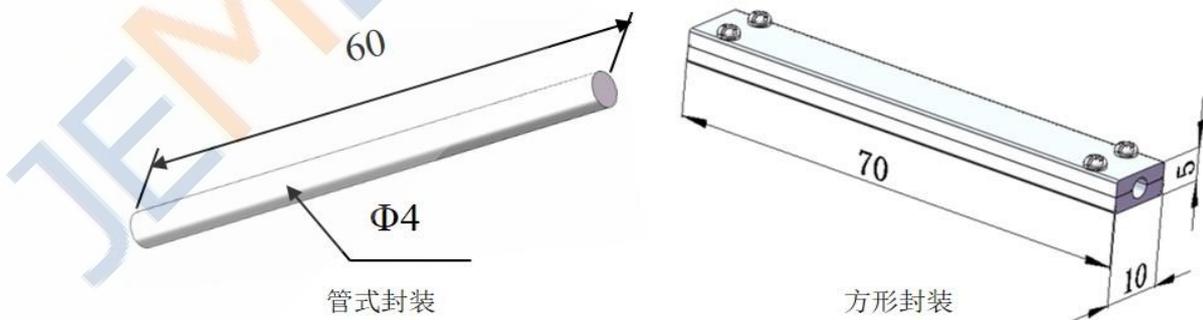


图 3-4 光纤光栅温度传感器封装形式

3.3 电机振动监测

电机监测系统是指经过合理比对判断电机运转过程中的各项参数指标，依据

对应的数据参量做出准确的分析，判定是否有故障产生，并对故障的类型做出合理的判定，以此来针对相关情况采取相应措施，以减少电机故障停机对生产等造成的不良影响。

电机在工作过程中会产生振动，从中可以计算出电机工作中极其重要的各种性能参数，当电机非正常运转时所产生的振动信号频率就会发生变化，因此检测电机的振动频率并能做出合理的分析和判断，对于及时发现电机故障和采取补救十分重要。电机的振动监测已发展为电机故障诊断的常用方法之一。

3.3.1 监测点布置原则

电机的振动监测一般是监测机壳的振动，电机附近的设备或与之耦合的设备传递过来的振动可能激励电机而产生固有频率的振动；电机内部故障所产生的力的各分量也可引起振动，但这种振动是很轻微的，因此很容易区分。对于转轴振动监测，可在轴上安装合适的振动传感器，将以旋转轴为参考轴的传感器输出量传递出来进行分析判断。对于轴承的监测，可采用冲击脉冲法监测。电机的振动监测方法有很多，如频谱监测法等，可视设备情况具体采用。

振动传递时，通过一个界面的能量损失约为 80%，所以布置测点应避免选在二次界面上，最好在电机轴承座上。由于传感器具有方向性，一个测点一般应在垂直径向、水平径向和轴向三个方向监测。

3.3.2 监测点位置及数量

(1) 起重机电机振动监测

在起重机电机轴承座上设置6个监测点，共采用6个加速度传感器。

3.3.3 加速度传感器

振动监测系统对象是电机的振动信号，采用加速度传感器进行振动信号采集。压电加速度传感器，是内装微型IC-集成电路放大器的压电加速度传感器，它将传统的压电加速度传感器与电荷放大器集于一体，能直接与记录和显示仪器连接，简化了测试系统，提高了测试精度和可靠性。其突出特点如下：

- (1) 低阻抗输出，抗干扰，噪声小；

- (2) 性能价格比高，安装方便，尤其适于多点测量；
- (3) 稳定可靠、抗潮湿、抗粉尘、抗有害气体。

其主要技术指标如下表所示：

A.4 压电式加速度传感器主要技术指标

压电式加速度传感器	
线性	$\leq 1\%$
横向灵敏度	$\leq 5\%$ (典型值 $\leq 3\%$)
输出偏压	8~12VDC
恒定电流	2~20mA (典型值 4mA)
输出阻抗:	$< 150\Omega$
激励电压	18~30VDC (典型值 24VDC)
温度范围	-40~+120℃
放电时间常数	$\geq 0.2S$
安装力矩	约 20kgf cm (M5 螺纹)



图3-5 压电式三向加速度传感器

4 监测系统施工工艺

该监测系统安装施工工艺流程图如下所示，应严格按照工艺流程进行操作，确保监测系统安装无误：

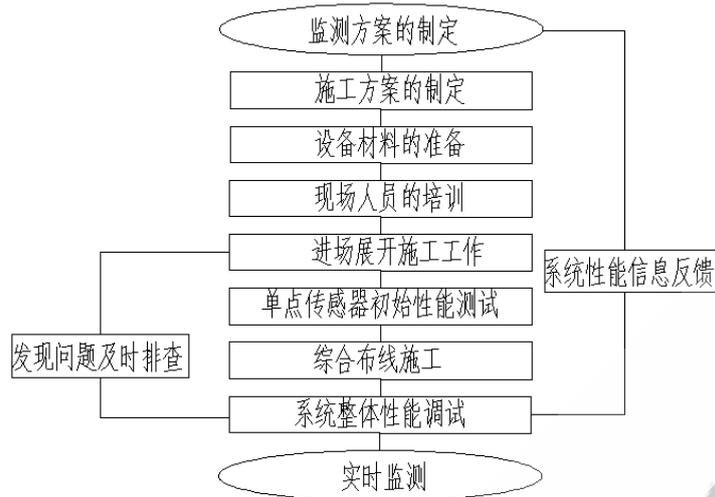


图4-1施工工艺流程图

光纤光栅传感器、加速度传感器为精密传感器，如现场环境恶劣以及安装保护措施不到位，将会严重破坏传感器及信号传输线缆，最终导致传感系统失效。光纤本身抗剪性能较差，出现较大弯折后信号衰减明显，光缆破坏后熔接操作难度大，因此要求制定适合在光纤光栅传感器的布置安装和光缆敷设方面合理有效的施工工艺来约束施工方法，保护传感系统，确保传感系统健康稳定运行。光纤光栅传感器安装施工特点如下：

(1) 光纤光栅传感系统与传统传感系统相比，工程造价更低。光纤所用材质为玻璃纤维，不含金属成分，因此光缆价格比普通电缆价格更具优势。

(2) 施工简单高效。光纤光栅传感器的固定方法灵活，可适用于多种情况的钢结构健康监测。光纤光栅传感器的固定方法有：1、粘接，直接粘结在结构表面；2、夹持粘接，通过夹持装置粘结在结构表面；3、夹持焊接，通过夹持装置焊接在结构表面。传感器夹持装置可以根据不同需求采用不同的材质和形状。光缆重量轻，传输信号损耗小，布线施工方便灵活，施工成本低。结构健康监测中的传感器安装和线路敷设与弱电施工有所不同，存在交叉施工的现象，因此需要对光纤光栅传感器和线路进行保护。施工工艺采用必要的措施对传感器和线路进行保护，有效避免了传感器和线路的意外损坏。

(3) 低能耗、无污染。光纤光栅传感器无须电力驱动，信号由采集设备发出，并由采集设备进行解调，设备运行功率低至20W。安装传感器夹持底座时，如需焊接，则可以采用普通焊接设备，焊接工艺操作简单易行，功耗低。传感系统施工过程噪音低，不会产生粉尘或有害气体，不会对环境造成污染。光纤光栅

传感信号采集系统体积小，布置灵活，节约空间。

4.1 传感器安装

4.1.1 光纤光栅传感器安装

根据光纤光栅传感器的特点、监测周期和待测结构的表面特性选择合适的安装方式。光纤光栅传感器的安装方式分为粘接和焊接，两种方法都是借助于传感器夹持底座来固定传感器。在短期监测和结构表面不允许焊接的情况下选择粘接，在钢结构表面允许焊接的情况下优先选择焊接，以保证焊接的夹持底座更耐久，所测的数据更精确。钢结构的组成构件可以分为梁、板、柱以及杆件。结构表面的几何形状分为弧面和平面两种。若将传感器固定在不统一的钢结构表面上需要借助不同的传感器夹持底座。如图4.2~5所示：



图4-2平面固定方式（粘接）

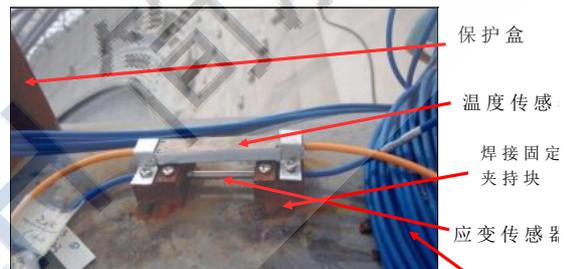


图4-3圆弧表面固定方式（焊接）

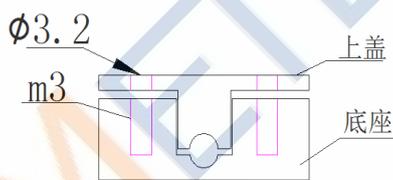


图4-4平面用加持底座示意图

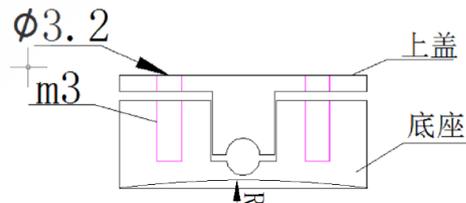


图4-5圆弧表面加持底座示意图

由图4-4、5所示，圆弧表面弧度并不一致，通过改变半径（R）来适应不同圆弧表面的要求。

光纤光栅传感器安装操作要点如下：

(1) 传感器安装夹持装置底座和盖板的制作需要选择精度高的线切割加工，保证加工精度。传感器夹持块的制作需要预留装配间隙，将传感器夹紧。设计传感器夹持装置时，应充分考虑装配公差。夹持块通常采用45#钢，其强度、硬度

和可加工性非常适合夹持块的制作。装配图如下：

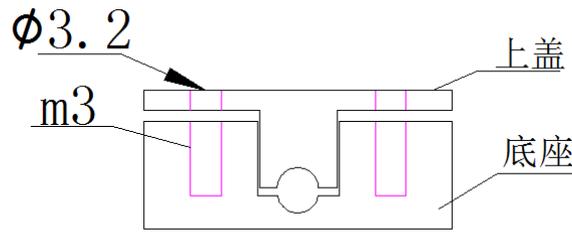


图4-6夹持块装配示意图

焊接夹持块时，需要控制焊接变形，保证同轴度公差小于0.02。依据 JGJ81-2002《建筑钢结构焊接技术规程》的规范要求对传感器底座进行焊接，传感器底座现场焊接采用手工电弧焊，采用三角焊缝焊接，焊缝为三级（外观等级为二级）。

(2) 定制光缆通常选用成品光纤线缆。根据现场实际情况和监测方案制定光缆长度和规格，由工厂进行加工和光纤接头制作。由于现场施工环境和条件有限，为确保光缆质量，尽量避免现场临时焊接光纤接头。

(3) 结构健康监测所选用的工程材料应符合国家标准，应对每一批次材料进行质量抽查，严把质量关，确保材料质量合格。

(4) 专业施工人员培训：施工人员在现场条件成熟后培训进场，开始具体环节的施工作业。施工人员选用固定的施工队伍，熟悉结构健康监测各个关节。施工进场前，针对具体工程的实际特点，须重新对施工人员培训方可进入施工作业，同时强调施工重点和注意事项，做到交底清楚。为保证施工质量，采用工程追责制度，明确工程责任。对于专业性强的施工环节，施工人员须持证上岗。

(5) 结构健康监测施工的进场需要和相关的甲方负责人、监理负责人以及存在交叉作业的各专业施工队相关人员建立沟通机制。各单位相互配合、及时沟通才能保证各项施工程序顺利进行。

(6) 光纤光栅传感器安装：将应变传感器预拉伸到统一数值后夹紧，拉紧力度通过传感器应变值和砝码双重验证和控制。将传感器接入采集设备，对其施加统一的预拉紧力，预拉紧力由砝码控制，监测传感器应变，精确控制预拉紧力和传感器应变变化。预拉紧力达到设计要求时，采用夹紧装置将传感器夹紧，撤去外力(砝码)观察应变值是否不变，否则认为夹紧失效，应重复预拉伸操作。无条件精确控制情况下，同样可以采用手动预拉伸后夹紧的简单操作，可按一个鸡

蛋的重量（0.5牛）的力度控制即可。将预拉伸后并夹紧的传感器安装在夹持底座上，夹持底座的焊接距离以及弧面的同轴度要求精确控制，保证传感器顺利的安装。如图所示：



图4-7 拉伸完成的传感器



图4-8 预拉伸夹持装置

传感器为精密仪器，撤去夹持装置时，避免对传感器和夹持装置施加太大的外力，安装过程注意对传感器进行保护。传感器安装完成完毕。如图4-9所示：



图4-9 撤去夹持装置

（7）焊接传感器夹持装置的关键点是需要保证两个夹持块中心线的同轴度和间距。为保证连接夹持块中心线的同轴度和间距，设计了高强度的夹持底座定位装置。将该装置与夹持块装配完成后，焊接或者粘接在结构表面。

（8）传感器保护：针对现场复杂的施工条件，设计了传感器保护盒，将其安装在传感器上方，保护传感器免受外界伤害同时也可以把留余的光纤安置在内。如图所示：

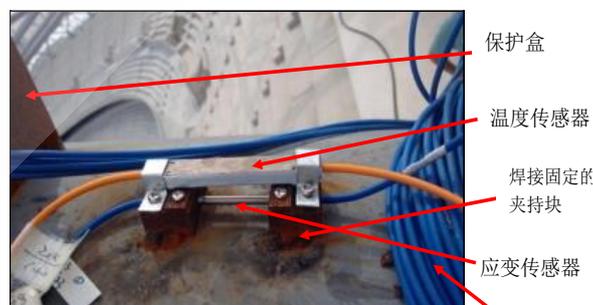


图4-10 传感器保护盒内部

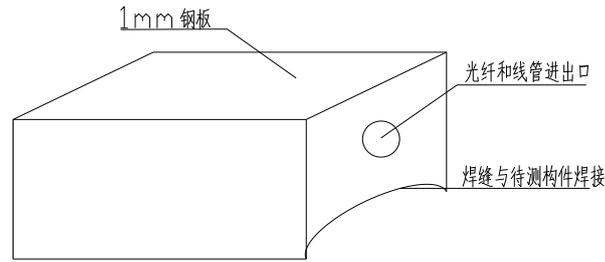


图4-11 光纤光栅传感器保护盒示意图

(9) 分支光纤敷设采用穿线管对线缆进行保护。穿线管采用铝塑PPR管，其强度和韧性能够满足穿线需求，能够抵抗施工过程中的碰撞、拉伸和弯折，同时可以随意弯曲便于敷设光纤时绕过障碍物，其造价合理，成本控制压力相对合理。铝塑PPR管与传统的穿线铁管和波纹管相比，铁管虽然强度高，可抵挡交叉施工过程的破坏，但弯曲困难，遇到障碍物时绕行方案复杂，接头部位容易使光纤弯折过大，价格也相对较高。波纹管虽然可弯曲且价格低廉，但其强度低，容易损坏。总光缆通常采用两端封装的多芯光缆，总光缆敷设时，不应在线槽内拖行，要将光缆按顺序放入线缆桥架中，拖行会使端头受力过大从而损坏光纤和端头的封装。

4.1.2 加速度传感器安装

加速度传感器安装方法与光纤光栅应变传感器安装方法类似，同样需要安装固定底座，可以选择焊接或粘接的方式，加速度传感安装不需要预夹紧，直接固定在安装底座上即可完成安装。加速度传感器不可采用串联方式，因此线缆总数相对较多，同样可以采用光纤光栅传感器线缆的保护措施，具体措施参见光纤光栅传感器安装操作要点。



图4-12 三维加速度传感器安装

4.2 综合布线

在工程中应用的线缆最好先测量精准的使用长度然后让生产厂家定做加工，减轻现场焊接和制作接头的难度，确保线缆的质量。线缆长度要精确测量，并留有一定的余量，防止突发情况导致线缆长度不够。通讯线缆的敷设分为分支光纤敷设、加速度信号线缆敷设以及汇总的线缆敷设。系统布线示意图如下所示：

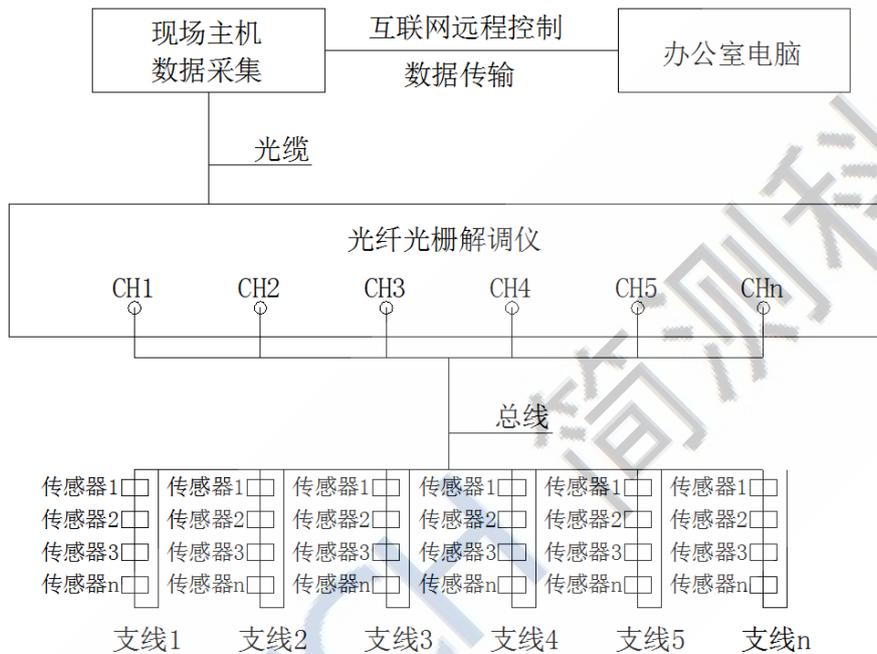


图4-13系统布线示意图

4.3 质量控制

4.3.1 易出现的质量问题

- (1) 传感器安装定位偏差，数据不能正确反映结构变化情况。
- (2) 传感器和线缆受到施工破坏。
- (3) 焊接传感器夹持块底座引起位置偏移。
- (4) 焊接部位对钢结构防腐漆膜造成破坏。
- (5) 光纤端头和耦合器受到污染。
- (6) 线缆敷设过程中出现弯曲半径过小。
- (7) 性能调试过程传感器信号异常。

4.3.2 保证措施

(1) 钢结构待测杆件传感器夹持块底座安装定位存在偏差，主要取决于POM模具的精度和钢材表面质量。在定位时要对POM模具进行校核修正，对钢材表面进行处理，保证夹持块底座安装精度。

(2) 交叉作业施工时，为避免其他施工对传感器和线缆的破坏，需要与其他单位保持沟通渠道畅通，实时了解进度状态和现场情况，合理安排结构健康监测施工内容。

(3) 焊接过程中，温度变化剧烈，容易引起传感器夹持底座位置偏移，误差增大。应采用合理的焊接工艺，保证传感器夹持底座的安装精度。

(4) 传感器夹持底座安装焊接部位对钢结构防腐漆膜存在一定破坏，钢结构漆膜破坏容易造成钢材腐蚀，对结构安全造成隐患，对漆膜的损坏部分应做好防腐补漆工作。

(5) 施工现场粉尘油污等容易对光纤端头和耦合器造成污染，因此应对光纤端头和耦合器进行有效保护；对受污染的接头应及时清洗。

(6) 光纤光栅传感器有两个端头，每一个端头都能正常的工作。敷设光纤时，增加一根光纤（或者多增加一芯光纤）与另一个端头相连，作为传感器备用通信线路，降低通信线路破坏风险。光纤弯曲半径不得小于20倍直径，敷设过程要求线缆弧度平缓，不得出现硬折和V型弯折。

(7) 测试人员应对施工全过程进行监督、检查，对施工的各个环节进行测试，保证各系统的有效性，及时排查风险，保证系统运行稳定性。

4.4 安全控制

4.4.1 主要安全风险分析

- (1) 监测施工过程中存在的安全隐患
- (2) 交叉作业过程人员安全风险。
- (3) 交叉作业光纤光栅传感器、线路、接头和设备存在被破坏的风险。
- (4) 监测施工对其他施工单位的人员和物品影响风险。

4.4.2 保证措施

操作流程应遵循以下国家、行业有关现行标准、规范的要求：

- a) 《建筑施工安全检查标准》
- b) 《建筑机械使用安全技术规程》
- c) 《施工现场临时用电安全技术规范》
- d) 《建筑施工高处作业安全技术规范》
- e) 《职业健康安全管理体系规范》

操作人员应严格遵循下列原则进行施工。

(1) 参加施工的特工作业人员必须是经过培训，持证上岗。施工前对所有施工人员进行安全技术交底。进入施工现场的人员必须戴安全帽、穿防滑鞋，电工、电气焊工应穿绝缘鞋，高空作业必须系好安全带。

(2) 应采取安全措施，并加强现场警戒。

(3) 操作面应有可靠的架台护身，经检查无误再进行操作。构件绑扎正确，高处作业使用的工具、材料应放在安全地方，禁止随便放置。

(4) 作业区应设警戒线，做明显标志，并设专人负责。工作过程严禁非施工人员进入或其他影响威胁作业的交叉作业人员进入。

(5) 作业人员必须坚守岗位，服从命令听统一指挥，对不明确的信号应立即询问，严禁凭猜测进行操作。现场施工人员必须具备必要的安全知识，并熟悉有关规程、规范。

4.5 环保控制

施工操作流程虽然不会产生噪音、粉尘、建筑垃圾、有害气体和有害液体等污染。仍然应该遵守有关文件，严格约束施工行为。

(1) 严格按照环境管理体系标准（ISO14001）及公司的环境管理体系文件进行工程管理和施工操作，自觉遵守国家、省、市及地方有关环境保护的规定。

(2) 施工垃圾清运采用容器吊运或袋装，严禁随意凌空抛撒，地面适量洒水，减少污染。

(3) 加强对现场存放油品和化学品的管理，对存放油品和化学品的库房进行防渗漏处理，在存储和使用中，防止油料跑、冒、滴、漏污染水体。

(4) 每晚22时至次日早7时，严格控制强噪声作业。施工中支设、拆除和搬运时，必须轻拿轻放，构件安装修理晚间禁止使用大锤。

(5) 施工现场设立专门的废弃物临时贮存场地，废弃物应分类存放，对有可能造成二次污染的废弃物必须单独贮存，设置安全防范措施且有醒目标识。

5 光纤光栅与电类传感器综合解调仪

传感信号综合同步解调仪可以满足重大工程结构健康监测的传感器数量多、分布广、信号测量精度、同步性要求高以及信号分析处理实时性强的需求，为结构分析提供详实准确的数据，将会极大的提高现有结构健康监测的技术水平

凭借自身兼容多种传感器类型，分辨率高、重复性好、采集速度快、可靠性高、处理能力强、传输损耗小、传输容量大、测量范围广等优点在结构健康监测中得到广泛应用。当前，光纤光栅传感器及电类传感器技术发展日趋成熟，应用领域广泛，在各领域中的应用很多展现出蓬勃发展的态势，极有可能替代传统的传感解调手段。主要应用于机械、桥梁、大坝、高层建筑、隧道、高速公路、电力、石油化工、消防、暖通等领域的结构数据的实时监测。

5.1 传感信号综合同步解调仪简介

JEME-iX-eX系列产品是一款基于嵌入式硬件平台和实时操作系统的分布式多类传感器同步采集仪器。实现了多类传感器（光纤光栅、电压、电流、电桥和IEPE）和多终端设备的精准同步采集，具备信号实时处理分析功能以及多线程运行的模块化、规范化的软件平台，可以满足结构健康监测的传感器数量多，分布广，信号测量精度高，同步性要求高，信号分析处理实时性强的需求。

光纤光栅采集模块用于测量光纤光栅（FBG）传感器信号，采用波长扫描型光纤激光器作为光源，具有多路同步采集及单光路20dB信号增益能力。1-5Hz采样频率可以测量低速变化的温度、应变等物理参数。每个光学通道具有80nm波长范围（1510~1590nm），单通道可同时连接多个FBG传感器（取决于传感器波长范围）。

电类传感解调模块用于测量基于电压、电流、桥式电路、IEPE(压电)等类型的传感器信号，支持多通道同步采集。高精度的A/D数据采集卡为用户提供精准可靠的测量结果；可定制类型、通道数量的模拟信号调理模块和参数可

调的低通滤波器可以灵活方便的满足测试测量需求。



图5-1 传感信号综合同步解调仪

5.2 同步采集仪特性

(1) 多类型数据采集

具备光纤光栅、IEPE、电压、电流、桥路、数字 I/O 信号输出等多种类型信号的硬件级别同步采集。

(2) 高精度监测

- a) 解调精度达到1pm
- b) 大功率波长扫描光纤激光器
- c) 低噪高压驱动和光电转换电路模块
- d) 光纤光栅“波长显微镜”算法

(3) 大容量采集数据实时监测

- a) 实时控制器运算资源控制
- b) 实时信号“硬”分析算法
- c) 高效的数据拟合和压缩算法

(4) 同步监测

- a) 各通道、各设备同步采集
- b) 实现多类传感器硬件级别同步采集，
- c) 同步时间精度不低于 $0.1 \mu s$
- d) 实现与基于TCP/IP协议的第三方非
- e) 通用型数据采集仪的同时采样功能

f) 信号接收能力，时钟精度达到 $0.1 \mu s$

(5) 高效率软件架构

采用状态机和循环事件结构互耦合的软件架构，实现与嵌入式硬件平台系统无缝结合、程序功能模块化和多线程运行，使系统具备数据采集、实时信号处理、存储、网络通信、实时数据显示、历史数据查看、数据管理及任务配置的功能

5.3 产品系列

序号	产品	型号	描述
1	传感信号综合同步解调仪	JEME-i15-e32	15 路光、32 路电
2	传感信号综合同步解调仪	JEME-i15-e48	15 路光、48 路电
3	传感信号综合同步解调仪	JEME-i15-e64	15 路光、64 路电
4	传感信号综合同步解调仪	JEME-i15-e16	15 路光、16 路电
5	传感信号综合同步解调仪	JEME-i08-e32	8 路光、32 路电
6	传感信号综合同步解调仪	JEME-i08-e16	8 路光、16 路电

5.4 指标参数

光纤光栅测量指标	
光路数量	4、8、12、15、24
波长范围	1510~1590nm
精度	1pm
稳定性	± 2 pm
光源	波长扫描型光纤激光器
光纤光栅反射光功率	-5dBm(Max)
动态范围	50dB
弱信号增益	20dB
扫描频率	1-5Hz
通道间同步采集	是
光学接头	FC/APC
光谱功能	全光谱
电类传感测量指标	
单机最大通道数	8、16、32、48、64
支持输入信号类型	IEPE、电压、电流、桥路、数字 I/O
低通滤波器	50Hz(可定制)
单通道最高采样率	100KS/s
同步差分采集	是
分辨率	16bits

共模抑制比	85dB @ 0dB gain, 60Hz
通道间串扰	-100dB @ 0dB gain, 1kHz
电气特性	
电源供应	+ 19~30VDC
数据传输接口	以太网
功率	20W 典型
机械特性	
工作温度	-20~55℃
外型尺寸	250×320×185mm (15、24 通道); 250×300×100mm (4、6、8 通道)

6 数据通讯机制

起重机距监控室较远，同时为保证起重机作业条件，无法采用有线方式进行数据传输。因此采用一种基于定向天线的无线网络机制，将数据传输至监控室终端。

无线网络是一种多跳、具有自组织和自愈特点的宽带无线网络结构，即一种大容量，高速率的分布式网络。无线网络中的结点分为路由器和客户端。一个无线路由器不仅具有传统路由器的网关/转发功能，还需要具备适应网络要求的路由功能，即能够为所有邻居结点转发分组的功能。通常路由器具有多个无线接口支持多个相同或不同的无线接入技术。传统 802.11 无线路由器的覆盖范围最大距离为 300 米，如果有隔离物或环境半开放，传输距离约在 35-50 米左右，定向天线路由器能够实现非视距传输，可以通过多跳的方式以更低的发送功率实现与传统无线路由器相同的覆盖。

采用定向天线可以为无线网络带来许多好处。利用定向天线可以实现信道在空间上的分离，进一步增加空间重用度，提高网络容量。由于定向天线可以在特定方向上形成波束，而不会干扰到其它方向上结点的接收，并且结点如果使用定向接收，也不会听到邻居结点的干扰（假设旁瓣的干扰很小）。使得在一个结点的全向干扰范围内，允许两对或更多的结点同时进行发送与接收，从而可以得到更大的网络吞吐量。定向天线组网示意图如下所示：

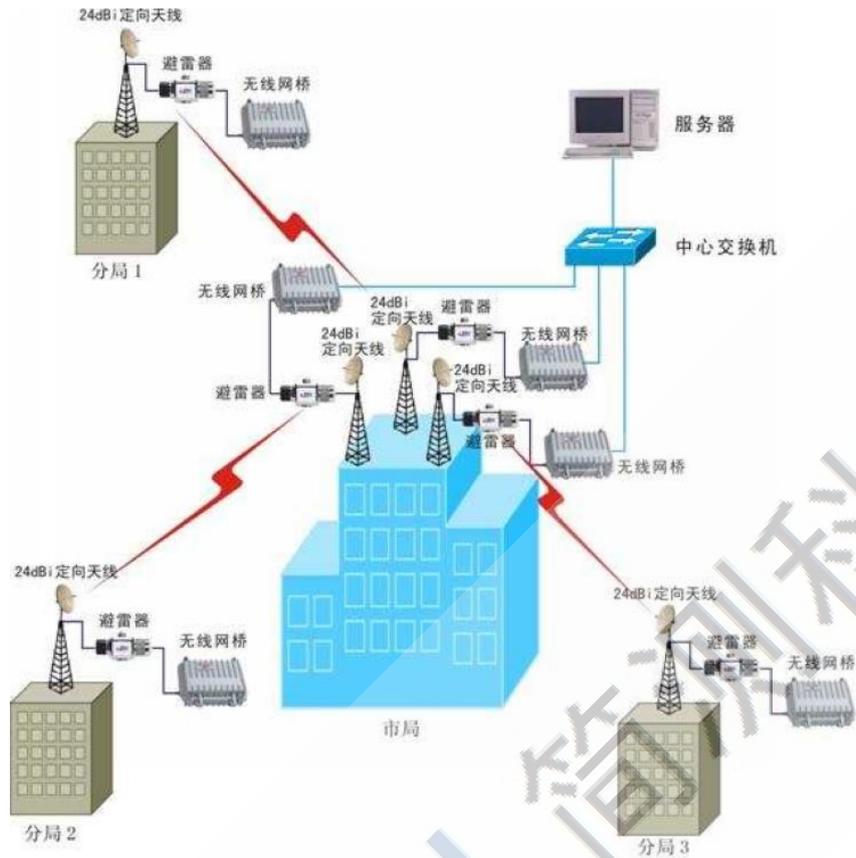


图6-1 定向天线组网示意图

定向天线基本参数如下所示：

电性能参数		机械性能参数	
频段范围	2400-2500MHz	天线规格	0.9×0.6 m
增益	24dBi	天线净重	2.5 kg
带宽	100MHz	栅网材料	铝合金（压铸成型）
驻波比	≤1.5	适应温度	-40~+70℃
功率角度	水平：10°；垂直：14°	抗风能力	60m/s
极化方式	垂直或水平	振子材料	铜
最大功率	100 W	引出线缆长度	0.3 m
输入阻抗	50 Ω	雷电保护	直流接地
接头形式	N母头	安装类型	抱杆安装（杆Φ30-70）



图6-1 定向天线

7 监测系统软件

7.1 系统开发环境

NI LabVIEW是目前测试测量领域内领先的软件开发工具，广泛应用于系统测试和控制等行业。自软件问世以来，依靠其强大的图形化开发环境，引起了世界各地科研人员和工程人员的极大关注，成为其开发项目的重要开发工具，LabVIEW可以帮助用户缩短程度开发时间，保证软件质量，提高工程和生产效率，被认为是下一代高级计算机程序开发语言。

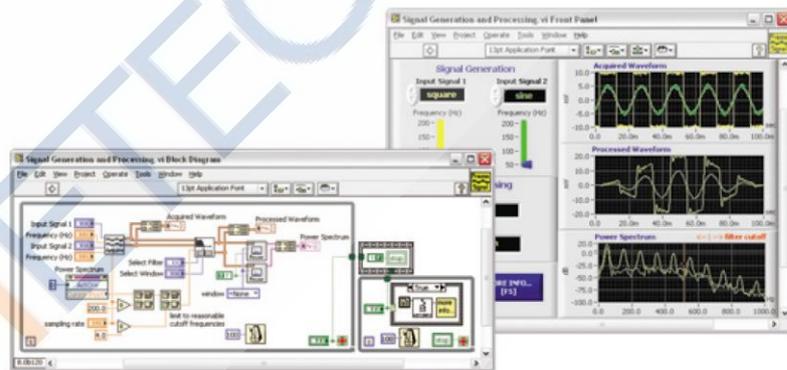


图7-1 NI LabVIEW图形化界面

LabVIEW开发环境友好，具有拖放式的用户界面，内置内容丰富的函数库，函数代码高度封装，使编程过程变得简单、易行，于此同时，LabVIEW同样具备界面设计功能，变量与控件直接相互关联，用户在编写代码的过程中，可以及时调整软件界面，缩短了程序的开发时间。LabVIEW同样是一种高度开放的程

序语言，与其他编程环境具有很好的兼容性和交互性，可以方便快捷的调用其他开发软件的运行结果，软件的通用性较高。LabVIEW软件开发平台与以往的程序语言相比，最大的不同之处在于其内置了数据采集、分析和显示功能，具有高度开放的I/O接口，硬件部署对象广泛，节约了硬件投资成本。如图7-2所示，LabVIEW与许多硬件平台都实现了完美的无缝对接。

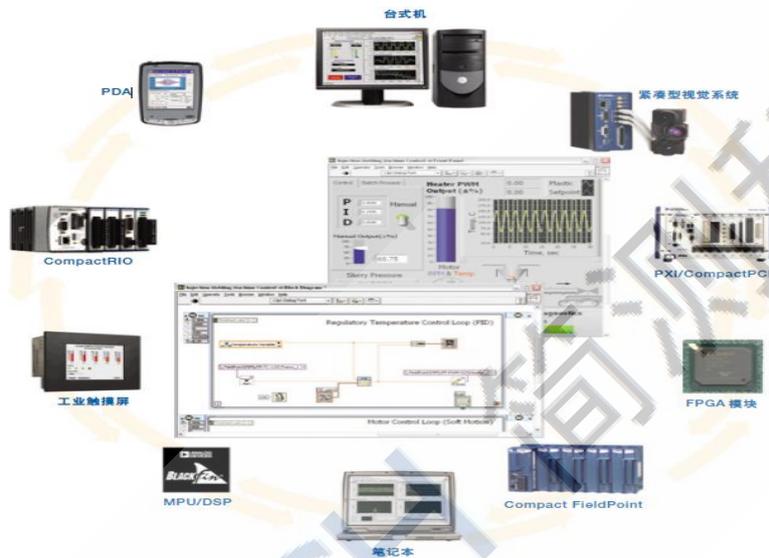


图7-2 NI LabVIEW硬件兼容平台

7.2 监测系统功能

7.2.1 多信号实时同步显示

该系统实时同步采集并显示多种类型传感器信号，包括光纤光栅应变传感器信号、光纤光栅温度传感器信号以及加速度传感器信号，随时调用目标传感器，在上位机中同时同步显示三种信号。实时同步采集技术，对分析结构阵型、阻尼比、地震动响应、基准频率、高阶频率、荷载-位移等特性具有重要意义，为结构损伤识别和安全性评估提供宝贵的数据参考。监测系统界面如图7-3所示。

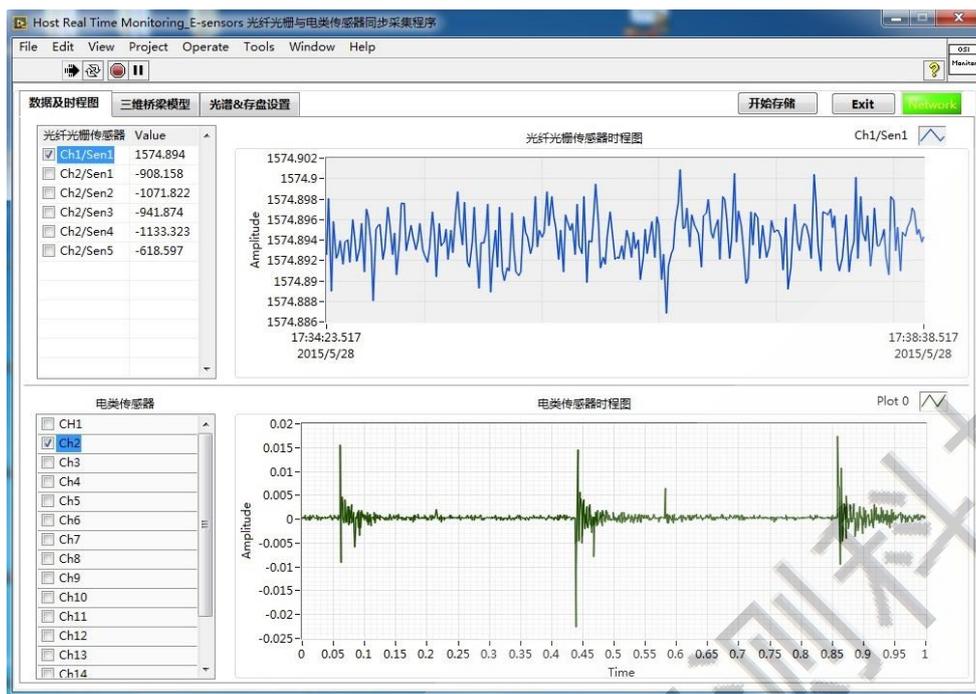


图7-3 监测系统界面

7.2.2 数据自动存储功能

该系统的数据存储方式与以往相比具有较大不同，改变了以往人为操作触发存储的方式，存盘开始时间、结束时间、文件保存方式均作了存盘触发判断，均由系统自动识别完成。

该系统为数据存储路径做了特别设计，除用户指定的基本存储路径外，系统将按年-月-日-系统时间的顺序逐级建立子目录，保证文件不会被覆盖和重名，同时也方便用户在海量的数据文件中调用需要的文件，如图7-4所示。



图7-4 系统数据存储设置

7.2.3 数据自动存储功能

该系统设计了多个结构安全指示灯，当结构某一部位发生危险时，该指示灯显示为红色，表示结构处于危险状态，需要启动相应的应急预案。该指示灯能正确表征结构发生危险的部位，对结构的维护、加固、抢修具有指导意义。报警信息通过手机短信和E-mail电子邮件的方式发送（如图7-5所示），保证了重要报警信息的及时性。



图7-5 系统报警机制

8 监测成果

在结构施工阶段的相关时期，提交结构监测的分析结果报告，验证结构在施工阶段的安全性。监测报告分别为：整个监测完成后，监测单位向业主提交一份完整的监测报告。

监测报告主要包括：

- (1) 关键构件的应力、应变等的监测成果：比较关键构件的应力应变与计算分析的一致性程度，是否满足设计要求；给出关键构件的预警信息；科学地指导使用和维护，实施有效的保养、维修工作；
- (2) 电机振动监测成果：验证其是否满足设计、使用要求，并得出结论；
- (3) 电气设备温度监测成果，验证其是否满足设计、使用要求，并给出预警信息。