



大型塔吊起重设备 长期监测解决方案

[摘要]

[本文提出了一种基于光纤光栅传感器以及静力水准系统的智能化大型塔吊起重设备综合监测解决方案，利用光纤光栅传感器及静力水准系统监测塔吊重要构件内力及整体和局部沉降量，便于实时掌握塔吊的性能指标，评估塔吊起重设备运行的安全状态。详细内容见正文。]

让测量更简单

MAKE
MEASUREMENT
SIMPLE

深圳市简测科技有限公司

地址：深圳市南山区学府路1号

电话：0755-36632001

<http://www.jemetech.com/>

目 录

引 言	1
1 方案目标	4
1.1 设计原则	4
1.1.1 主要传感器类型	4
1.1.2 设计原则	4
1.1.3 设计标准	5
1.2 系统体系结构	5
1.2.1 数据采集模块	6
1.2.2 数据传输模块	7
1.2.3 数据存储模块	8
1.2.4 数据分析、显示、预警信息发布模块	9
2 大型塔吊起重设备长期监测方案	10
2.1 监测内容	10
2.2 应力应变监测	11
2.3 温度监测	16
2.4 静力水准仪沉降监测	17
2.4.1 系统的结构	17
2.4.2 系统的工作原理	18
2.4.3 液压式静力水准仪的特点	20
2.5 风速风向监测	20
3 监测系统施工工艺	21
3.1 传感器安装	22
3.2 综合布线	25
3.3 质量控制	26
3.3.1 易出现的质量问题	26
3.3.2 保证措施	26
3.4 安全控制	27
3.4.1 主要安全风险分析	27
3.4.2 保证措施	27
3.5 环保控制	27

4	传感信号综合同步解调仪.....	28
4.1	传感信号综合同步解调仪.....	28
4.2	传感信号综合同步解调仪特性.....	29
4.3	产品系列.....	30
4.4	指标参数.....	30
5	监测系统软件.....	31
5.1	系统开发环境.....	31
5.2	监测系统功能.....	32
5.2.1	信号实时同步显示.....	32
5.2.2	数据自动存储功能.....	33
5.2.3	自动报警功能.....	34

引 言

深圳市简测科技有限公司是一家开发基于光纤光栅技术在监测领域应用的科技型企业。公司可提供包括传感器子系统、数据采集与处理子系统、损伤识别、安全评定及预警子系统，以及结构健康监测数据采集分析软件系统等全方位端到端解决方案；公司产品可用于建筑结构、桥梁、交通、能源、航空、水利等工程领域；公司产品已在大型建筑、桥梁、隧道、大坝、水利、电力、安防、能源运输、石油平台等领域内具有成功的应用方案，公司的光纤光栅技术被国内高校广泛采用，公司完全具备可为高校实验室和大型企业提供基于光纤光栅技术的定制化应用方案的能力。

公司使命：**Make measurement simple** 使监测工作精确化、简单化、工程化。不断满足各领域客户的需求并提供监测方案。

随着经济的快速发展，人们的生活水平日益改善，人口的不断增长和城市化的不断推进，使得人们对空间的开发不得不从横向往纵向发展，处处高楼林立，塔式起重机（简称塔吊）的应用也是越来越多。如何能安全的使用塔吊进行作业，也越来越引起人们的重视。

塔式起重机，简称塔机或是塔吊，其操作灵活、运行速度快、工作效率高，它对减轻建筑行业的人力资源及人工劳动强度、节省建设成本、提高施工效率和质量等方面都起着重要作用。早期塔吊应用的安全都是依靠机械设计来进行限制，起到安全提醒作用。随着科技的不断发展，越来越多的技术被应用于各大领域，塔吊的安全监测当然也不例外。而传感器作为获取信息的最为关键和重要的技术的快速发展，更是为塔吊安全监测的工作打好了坚实的基础。加之通信网络的发展，塔机现场通信和中心管理技术日趋成熟。

塔吊的使用越来越普遍，塔吊事故也越来越多。近年来我国建筑起重机械相关法规和标准已经形成比较完整的体系，主要由国家法律法规、部委规章、行业标准组成。体系以《中华人民共和国安全生产法》为龙头，国务院新版《特种设备安全监察条例》（国务院 549 号令）及建设部《建筑起重机械安全监督管理规定》（建设部 166 号令）为主干，涉及制造、使用、租赁、安装、检测、施工总承包、监理、建设、安监等各单位及政府行政部门。由于塔机的重心比较高，工作时载荷非常大，回转的速度也比较快，并且在工作过程中可能会频繁启动与制动，所以动载荷很大，安全隐患非常突出，再者塔机的设计与制造可能存在缺陷，加上人工操作不当等因素，塔机事故频频发生，造成非常严重的后果。

国外的塔吊监控系统研制起步较早，开发的安全监控系统技术比较成熟。其生产的安全保护装置智能化程度高，抗干扰的能力强，性能稳定可靠，对于防止塔吊运行的重大事故起到很重要的作用，提高了塔机运行的安全系数，对切实保障施工现场工作人员的生命安全提供有力保证，有效保障国家、企业及个人的经济利益。

国内的塔吊安全技术开发研究起步晚，技术还不是很成熟。虽然国内经济发展飞速，城市高楼林立，塔吊在建筑行业的应用也是越来越多，但是国内对建筑安全研究的经济投入非常有限，资金严重缺乏，这也是导致国内施工安全防护技术较低的重要因素。其次，国内建筑安全监管部门管理技术也远远落后，管理不规范、不全面，也是制约国内建筑业安全防范工作的重要原因。改革开放以来，国内一些塔吊生产商和科研研究单位投入到建筑安全防护产品的开发研制工作中，主要是对塔吊起重机的吊重、高度、水平位置及回转进行限位操作，结合各种报警装置及风速的测量等。这些装置都只能在塔吊“超载”和“过限”时使用，通过切断电机电源来控制，这种强制性频繁开关电机对塔机的使用寿命产生影响，并且这样的安全装置防护等级低，功能单一，不能对塔吊运行的实时状态数据进行监控和数据的存储记录，不能及时提醒塔吊的操作人员对即将出现的危险操作进行改进。加之操作人员长期工作后很容易在极限状态发生安全事故。

近些年来，国内智能化技术的发展，使得塔吊的安全监控系统能朝着智能化人机交互的方式发展，并建立了安全监测系统。这些监测系统，能实时对塔吊系统的运行状态进行监测，并结合声光报警电路进行预警报警，让操作人员能实时掌握塔机的运行状态，及时纠正违规操作。

光纤光栅传感器凭借自身抗电磁干扰、电绝缘性能好、耐腐蚀、体积小、传输损耗小、传输容量大、测量范围广等优点在工程监测领域中得到广泛应用。当前，光纤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器。在光纤传感方面，光纤光栅技术又为光纤传感技术的发展开拓了新的领域，光纤光栅传感器质量轻、体积小、灵敏度高、耐腐蚀、抗电磁干扰，具有良好的长期稳定性和耐久性。正是由于光纤光栅传感器具有上述优点，因此在大型塔吊起重设备综合监测项目中应用自主开发的光纤光栅传感器。

静力水准仪是测量两点间或多点间相对高程变化的精密仪器。主要用于大型储罐、大坝、核电站、高层建筑、基坑、隧道、桥梁、地铁等垂直位移和倾斜的监测。静力水准系统一般安装在被测物体等高的测墩上或被测物体墙壁等高线上，通常采用一体化模块化自动测量单元采集数据，通过有线或无线通讯与计算机连接，从而实现自动化观测。属于高精度在线变形监测系统，系统支持自动化组网传输。

本文提出了一种基于光纤光栅传感器以及静力水准系统的智能化大型塔吊起重设备综合监测解决方案，利用光纤光栅传感器及静力水准系统监测塔吊重要构件内力及整体和局部沉降量，便于实时掌握塔吊的性能指标，评估塔吊起重设备运行的安全状态。详细内容见正文。

JEMETECH 简测科技

1 方案目标

1.1 设计原则

大型塔吊起重设备综合监测系统集传感器技术、结构分析计算、计算机技术、通信技术、网络技术等高新技术于一体，为使其成为一个功能强大的系统，能真正长期用于结构损伤和状态评估，满足隧道养护管理和运营的需要，同时兼顾经济和社会效益，现遵循如下设计原则：

- 1) 遵循简洁、实用、性能可靠、经济合理的原则；
- 2) 系统设置首先需满足塔吊养护管理和运营的需要，立足实用性原则第一，兼顾考虑科学试验和设计验证等方面因素。
- 3) 根据结构易损性分析的结果及养护管理的需求进行监测点的布设。
- 4) 监测与结构安全性密切相关内容，主要监测一些有代表性的结构、必须进行监测的重要结构以及日常养护无法检查或检查非常困难的结构响应。
- 5) 从动力、静力、耐久性对结构进行监测，力求用最少的传感器和最少的数据量完成工作。

大型塔吊起重设备综合监测内容包括重要结构构件的结构应力、温度、整体沉降、局部沉降、环境因素等监测系统的设计。

1.1.1 主要传感器类型

- (1) 应力应变监测传感器
 - a) 低温敏型光纤光栅应变传感器
- (2) 温度传感器
 - a) 光纤光栅温度传感器
- (3) 静力水准仪
 - a) 液压式静力水准仪
- (4) 风速风向传感器
 - a) 风速风向仪

1.1.2 设计原则

- (1) 实用性
- (2) 可靠性
- (3) 国际先进性

- (4) 可操作性和易维护性
- (5) 完整性和可扩容性

1.1.3 设计标准

- (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）
- (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。

1.2 系统体系结构

根据现场采集的情况，大致分为四个模块：数据采集模块、数据传输模块、数据存储模块、数据分析、显示、预警信息发布模块。首先是数据采集模块在工程现场采集到传感器波长信息，然后把波长等数据通过数据传输模块传送到服务器，送入数据库由数据存储模块进行分析和分类存储，最后在数据分析模块和显示模块对传感器信息进行显示和分析，满足用户的需求。如图 1.1 所示。

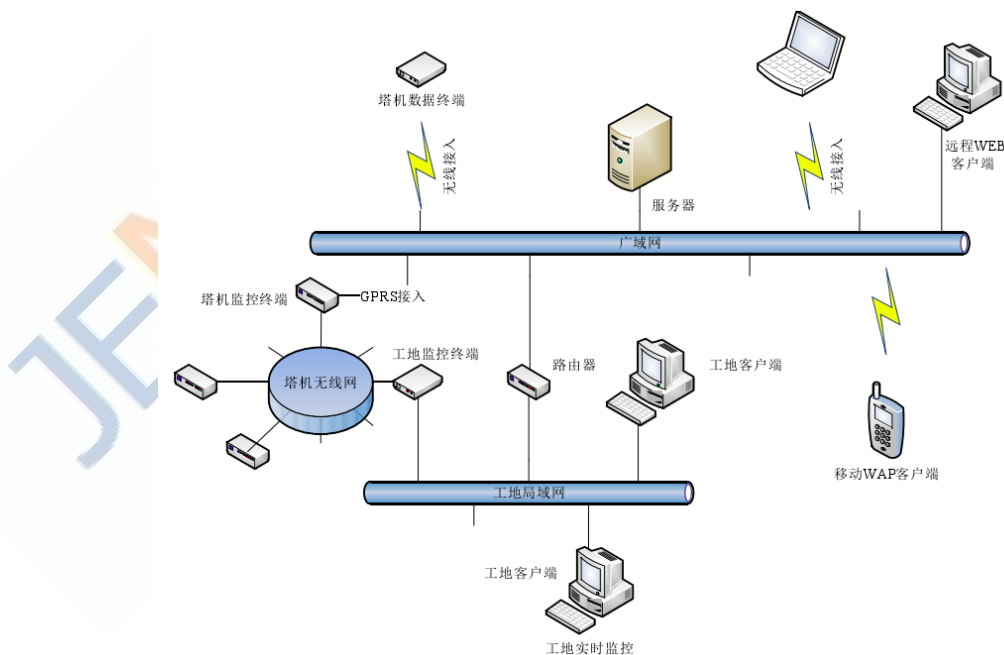


图 1.1 整体部署方案

1.2.1 数据采集模块

数据采集系统设计和实现还必须实现以下功能要点：传感器系统的数据采集方式必须统一规划，易于扩展。数据采集系统应能在无人值守条件下连续运行，采集得到的数据可供远程传输和共享，采样参数可远程在线设置。对于各类数据采集方式都设计成24*7小时的工作方式，并保证系统运行负载在合理范围内。

采用基于实时操作系统平台的数据采集与传输系统保证高采样频率的数据采集的稳定可靠性。采集系统具有实时自诊断功能，能够识别传感器失效、信号异常、子系统功能失效或系统异常等。出现故障时，系统应能立即自动地将故障信息保存至本地并等候上传至数据服务器。采集系统具备工程容灾备份功能，串联传感器发生断路可切换到备用通道并继续使用。采集系统具备很强的弱信号解调功能，在传感器发生损伤导致信号变弱时能够采用增大光强的方式依然能够采集数据。

采集系统架构如图 1.2 所示：

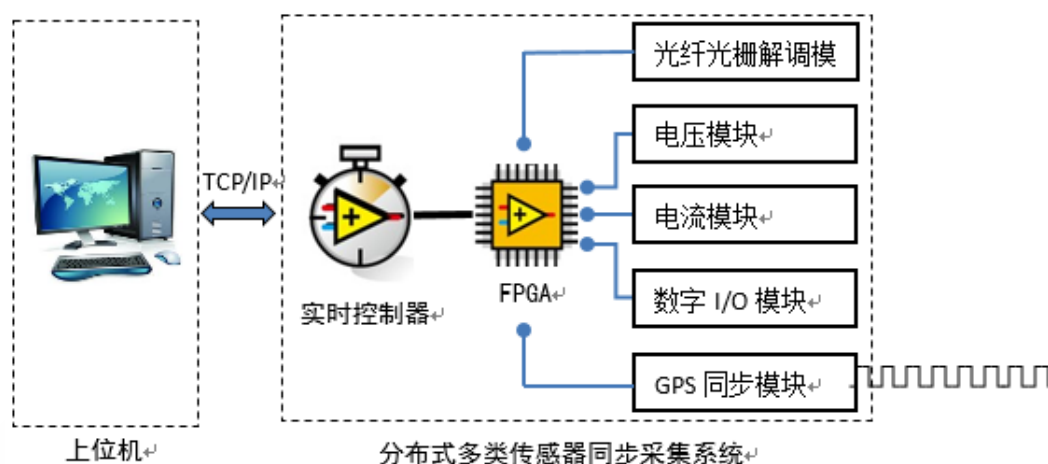


图 1.2 采集系统架构

光纤光栅解调模块：将光纤光栅波长信号转换为电压信号，实现数据采集功能；
电桥、电压、电流、IEPE、数字 I/O 模块：分别采集传感器输出的电桥、电压、电流和 IEPE、数字 I/O 信号。采用工业数据采集 I/O 模块实现高稳定性高精度的数据采集功能；

GPS 同步模块：通过 GPS 接收器接收 GPS 同步信号，做相应的处理得到时钟同步信号和绝对时间戳并通过 FPGA 发送给实时控制器；

可编程逻辑门阵列(FPGA)：配置以及使用定时同步 while 循环读取数据采集模块，从而实现通道间同步采集功能，通过开发基于 FPGA 的实时信号滤波、频域计算和传感

器信号阈值触发算法实现对传感器信号的实时分析，将采集到的数据和分析后的信号写入 FIFO 数据缓冲器中；

实时控制器：通过 FIFO 读取 FPGA 传输来的数据，读取并实时处理时钟同步信号和绝对时间戳以实现设备间同步采集，通过“波长显微镜”算法实时计算出光纤光栅的波长值，按照数据类型在内存中建立缓存池，实时的以“先入先出”机制将采集或分析处理后的数据通过 TCP/IP 协议发送至 PC 上位机，接收上位机命令并通过 FPGA 控制模块的数据采集参数；

上位机：实现人机界面的交互，显示并存储实时采样数据，通过逻辑命令控制仪器的数据采集参数。

该系统创新之处主要有：

- (1) 基于波长扫描型光纤激光器的光纤光栅解调模块；
- (2) 多类传感器硬件级别的数据同步采集能力；
- (3) 基于 GPS 同步触发信号的设备间同步采集；
- (4) 基于 FPGA 的传感器信号实时“硬”分析处理算法。

1.2.2 数据传输模块

数据传输系统必须提供合理的暂存和发送机制以保证在恶劣的网络环境下原始数据及时传输，并且保证数据的完整性。原始数据可以在数据采集工作站上以滚动覆盖的方式保存 30 天。各数据采集工作站开辟独立的空间滚动存放历史数据。所有数据采集工作站采集的数据必须以统一的格式存储和实时传输到服务器。

系统实际实施中，采用两种传输方式：

一种方式是利用缓存机制，将采集到的数据保存到本地，根据服务器端的请求，将数据传输到指定服务器。数据传输采用断点续传技术。

另一种方式是，根据客户端请求，实时将工程现场采集到的传感器数据传输到客户端电脑上。该方式对网络环境要求比较高，根据网络环境的不同，做到局域网内查看工程现场采集数据延迟在 20 秒左右。

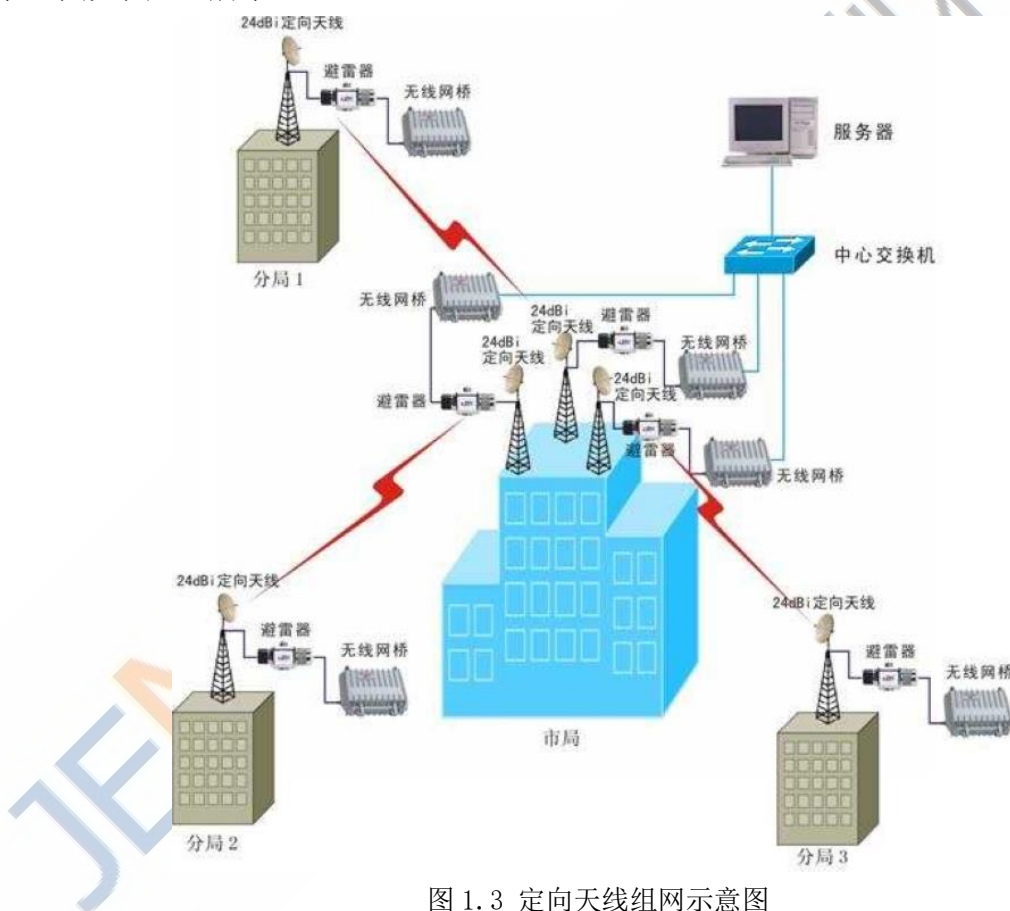
数据统一采用 TCP/IP 协议进行通讯，同时兼容 RS485 协议标准。

塔吊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，即一种高容量，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图 1.3 所示：



1.2.3 数据存储模块

为了最大限度地提高设备利用率、减小数据损失的风险，本系统数据存储采用分布/集中式存储结构。

分布式存储方式是指在数据采集系统中每个采集工作站的本地硬盘均作为数据存储介质，用于存储本工作站采集的数据。由于本地硬盘的大小限制，数据按时间滚动存储。

集中式存储方式是指每个所有的监测数据，包括自动监测数据和传感参数器配置文件都按约定标准集中存放。为了保证后续数据二次处理、数据融合的性能要求，监测数据优先存储在一级存储设备即磁盘阵列上，根据服务器端请求或定时将历史监测数据转存到服务器的存储设备上。整个服务器存储设备上按就近时间至少保存一年的原始数据。

数据存储的基本原则：

(1) 考虑到系统的扩展性，并规范数据通道和存储格式，为不同类型传感器数据通道设计统一规范的通道编码和存储格式有利于各种数据的融合处理和系统维护及扩展；

(2) 最大限度的压缩数据量，原始采样数据采用特定的二进制数据压缩存储。使用指定的软件或二次开发包对存储的文件进行分析、报表、转换等操作；

(3) 用户可以通过应用服务器观察原始数据，并选择参数进行各种二次处理，并保存感兴趣的处理结果。

(4) 基于原始数据的二次处理、数据融合数据保存在关系数据库中，方便日后的检索和评估分析。

1.2.4 数据分析、显示、预警信息发布模块

通过本系统可以对工程现场的传感器数据进行在线实时显示，在专门设计的用户界面上，可以看到所有传感器的工作情况，按照所见即所得的原则，直接点击某个传感器的图标，就可以进入该传感器信号的显示界面，对其响应曲线进行观察，而且能够方便地得到该传感器数据每天、每周、每月或每年的统计资料。

基于互联网终端，用户可查询相关工程现场的各种配置信息、报警信息等。进而对工程管理的决策提供建议与帮助。并且提供多线索查询手段，比如时段、分区、传感器类别等。

根据事先设定的预警值进行报警，报警信息的发布可按照紧急情况区分级别，自动将报警信息通过手机短信、E-mail 电子邮件、声光电等方式分级发送给管理者，保证了重要报警信息的及时性。

2 大型塔吊起重设备长期监测方案

2.1 监测内容

根据塔吊的特点，在综合监测方案中对塔吊以下方面进行监测：

- (1) 对塔吊各节重点断面的关键杆件进行应力应变监测；
- (2) 对塔吊各节重点断面的关键杆件进行温度监测；
- (3) 对塔吊整体沉降、局部沉降进行监测；
- (4) 对塔吊所处环境进行风速风向监测；

塔吊结构部分应力应变监测采用光纤光栅应变传感器进行监测，温度采用光纤光栅温度传感器进行监测，塔吊整体和局部沉降监测采用静力水准仪进行监测，环境风速风向采用风速风向仪进行监测。各类型传感器统一接入到塔吊控制台的传感信号综合同步解调仪中，解调仪可对采集到的数据进行分析、存储，监测人员可对获取可靠信息，采取相应措施。获得的数据和分析结果可通过无线局域网发送，达到远程监控的目的。

各种传感器测点布置位置如图 2.1 所示。

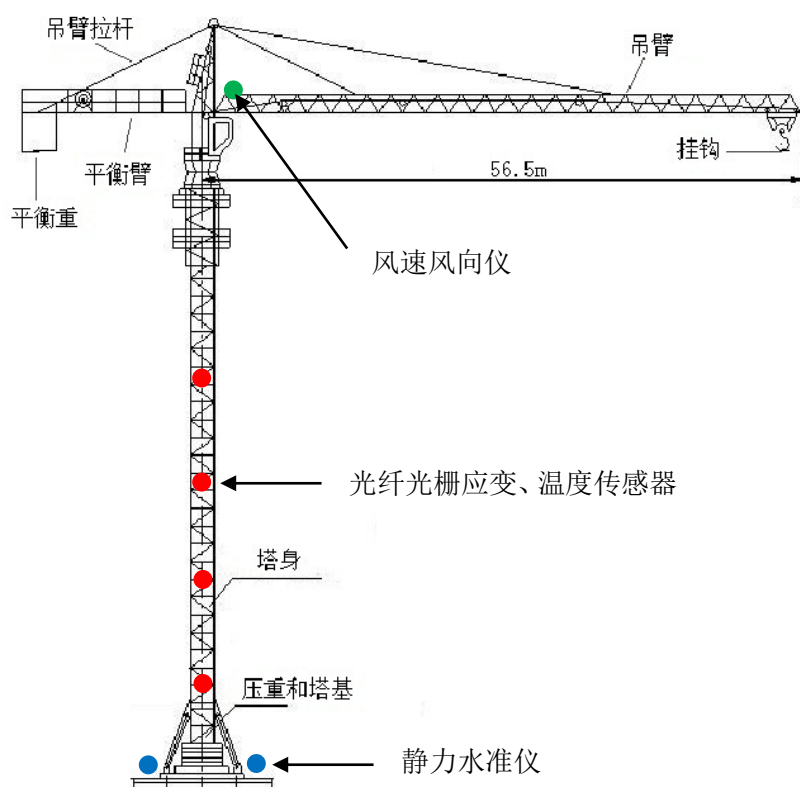


图 2.1 传感器布置示意图

(1) 塔吊各节重点断面的关键杆件进行应力应变监测：塔吊立柱的根部理论上为受力最大部位，从塔吊根部起算，每上升一节布置一组光纤光栅应变传感器，传感器的测点应布置在受力较大的杆件上。

(2) 塔吊各节重点断面的关键杆件进行温度监测：在布置应变传感器的部位，安装光纤光栅温度传感器，以监测杆件温度变化；监测杆件温度变化的作用是对应变传感器及杆件变形进行温度补偿，同时可以监测环境的温度变化。

(3) 塔吊整体沉降、局部沉降进行监测：在塔吊塔基部位安装静力水准仪，以监测塔吊的整体和局部沉降。

(4) 塔吊所处环境风速风向监测：在塔吊的顶部安装风速风向传感器，以监测塔吊周围环境的风速风向。

该塔吊监测项目中需要使用到的光纤光栅传感器为低温敏型光纤光栅应变传感器和光纤光栅温度传感器，电类传感器为静力水准仪和风速风向传感器。

配置基本原则：

(1) 光纤光栅传感器可根据独立断面选配独立通道，每个通道允许数量 8-10 个中心波长值，每个通道波长区间不重叠，选取波长值符合通道波长区间的对应传感器作为一个通道。

(2) 每个应变传感器均对应 1 个中心波长值。

(3) 如超出 1 个通道的容量，则相应增加通道数量。

(4) 每个电类传感器单独占用一个采集通道。

2.2 应力应变监测

结构杆件的应力应变监测是指在组件外部荷载作用过程以及发生不均匀沉降时，构件发生内力变化，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，以保证结构在运行期间的安全性。

应力应变监测的目的：

(1) 实时监测塔吊各测点的应力变化，掌握塔吊结构构件的健康状态。

(2) 实时监测塔吊整体分布监测点的应力变化，掌握塔吊整体运行的安全状态。

塔吊构件应力监测需要利用大量的高性价比传感器，实现对主要构件应变实时监测。塔吊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、有效和可靠的结构信息。

表 2.1 为主要应变传感器特性对比：

表 2.1 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 2.2 所示:



图 2.2 光纤光栅应变传感器

光纤光栅就是一段光纤，其纤芯中具有折射率周期性变化的结构。根据模耦合理论，如式（2.1）所示，

$$\lambda_B = 2n\Lambda \quad (2.1)$$

波长为 λ_B 的波长就被光纤光栅所反射回去（其中 λ_B 为光纤光栅的中心波长， Λ 为光栅周期， n 为纤芯的有效折射率），其结构如图 2.3 所示。

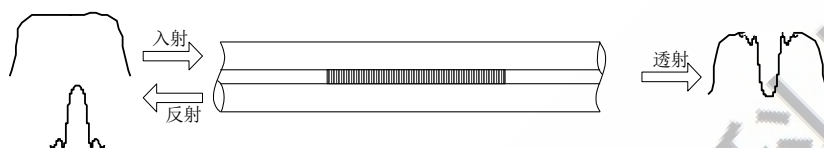


图 2.3 光纤光栅的结构

反射的中心波长信号 λ_B ，跟光栅周期 Λ ，纤芯的有效折射率 n 有关，所以当外界的被测量引起光纤光栅温度、应力以及磁场改变都会导致反射的中心波长变化。也就是说，光纤光栅反射光中心波长的变化反映了外界被测信号的变化情况。

光纤光栅传感器的原理结构如图 2.4 所示，包括：宽谱光源（如 SLED 或 ASE）将有一定带宽的光通过环行器入射到光纤光栅中，由于光纤光栅的波长选择性作用，符合条件的光被反射回来，再通过环行器送入解调装置测出光纤光栅的反射波长变化。当光纤光栅做探头测量外界的温度、压力或应力时，光栅自身的栅距发生变化，从而引起反射波长的变化，解调装置即通过检测波长的变化推导出外界温度、压力或应力。

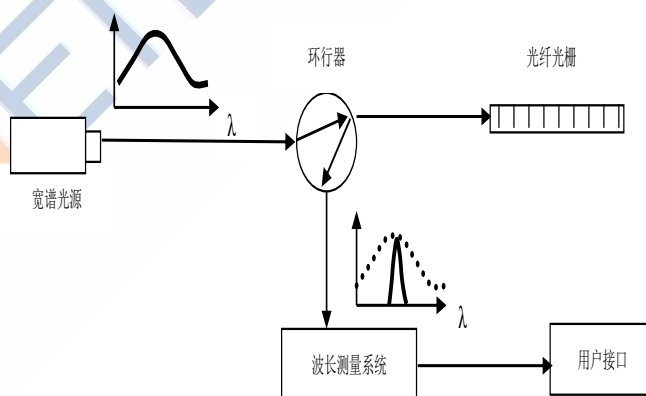


图 2.4 光纤光栅传感器原理

两端夹持式光纤光栅应变传感器的原理如图 2.5 所示。

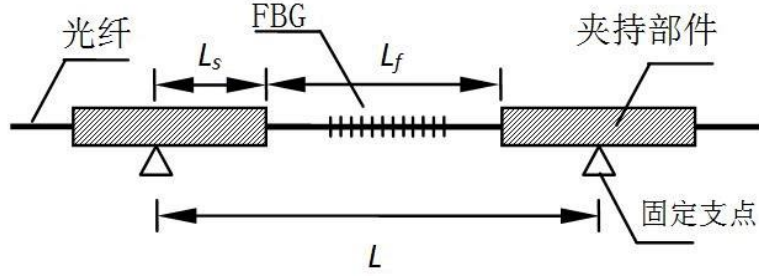


图 2.5 光纤光栅应变传感器原理图

从图中可以看出，夹持部件将光纤光栅固定在支点之间。夹持部件与光纤光栅之间用粘接剂固定（忽略粘接剂与光纤光栅之间的作用）；夹持部件所选用的材料为空心钢管，直径为 d ；设两端夹持部件的支点之间的距离为 L ，夹持部件内侧之间的距离为 L_s ；当整个机构受到外力作用时，机构整体会发生变形，设两端夹持部件支点之间的轴向变形为 ΔL ，根据材料力学基本原理和假设， ΔL 由两部分组成，分别为夹持部件的轴向变形 ΔL_s 和 ΔL_f ，如公式（2.2）、（2.3）所示：

$$\Delta L_s = \frac{P_s L_s}{E_s A_s} \quad (2.2)$$

$$\Delta L_f = \frac{P_f L_f}{E_f A_f} \quad (2.3)$$

式中， P 为传感器结构的内力； A_s 和 A_f 分别为钢管和光纤的截面积； E_s 和 E_f 分别为钢和光纤的弹性模量。根据结构内力处处相等的原则：

$$\frac{\frac{\Delta L_s}{L_s}}{\frac{\Delta L_f}{L_f}} = \frac{E_f A_f}{E_s A_s} \quad (2.4)$$

即：

$$\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_f} = \frac{E_f A_f}{E_s A_s} \quad (2.5)$$

传感器的各项参数如表 2.2 所示。将表中的参数代入式（2.5）中，可得：

$$\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_f} = 0.0084 \quad (2.6)$$

表 2.2 光纤和中间层的机械性质

材料参数	符号	数值范围	单位
光纤的弹性模量	E_f	7.2×10^{10}	Pa
夹持部件（钢管）的弹性模量	E_s	2.1×10^{11}	Pa
夹持部件（钢管）的直径	d_s	0.8	mm
光纤的直径	d_f	0.125	mm

由公式（2.6）可以看出，钢管的应变远远小于光纤光栅的应变，因此，可以认为在整个光纤光栅传感器的结构中，可以忽略夹持部件的应变。夹持部件支点之间产生的形变主要是由光纤的形变引起的。光纤光栅传感器中心波长变化与外界作用引起的应变之间的关系为：

$$\varepsilon = \frac{L_f}{L} \varepsilon_f = \frac{L_f \Delta \lambda_{FBG}}{1.2L} \quad (2.7)$$

从公式（2.7）可以看出，对于相同的应变变化， L_f 与 L 的比值决定了光纤光栅传感器中心波长变化的范围，也就是通常所说的传感器灵敏度，调整传感器灵敏度的方法可以通过改变 L_f 与 L 比值的方式实现。

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。

其主要参数指标如表 2.3 所示：

表 2.3 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	$\pm 2000 \mu\varepsilon$
分辨率	$1 \mu\varepsilon$ （可定制）
波长范围	1510~1590nm
工作温度范围	-30~120
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（Φ3mm）
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

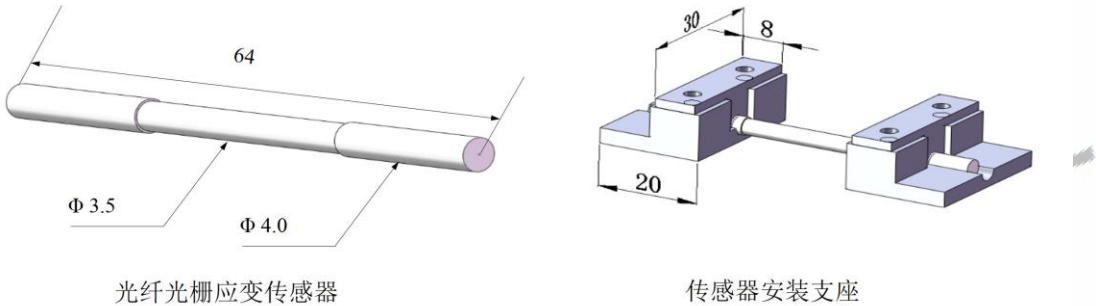


图 2.6 光纤光栅传感器封装形式及传感器安装支座

2.3 温度监测

塔吊构件温度监测是指塔吊外部温度发生变化时，引起光纤光栅应变传感器温度漂移，需要进行温度补偿，以抵消温度变化引起的误差。

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 2.3 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℃～+120℃	-30℃～+120℃
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

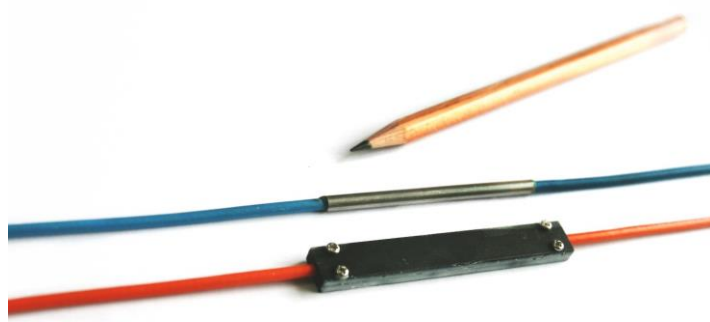


图 2.7 光纤光栅温度传感器

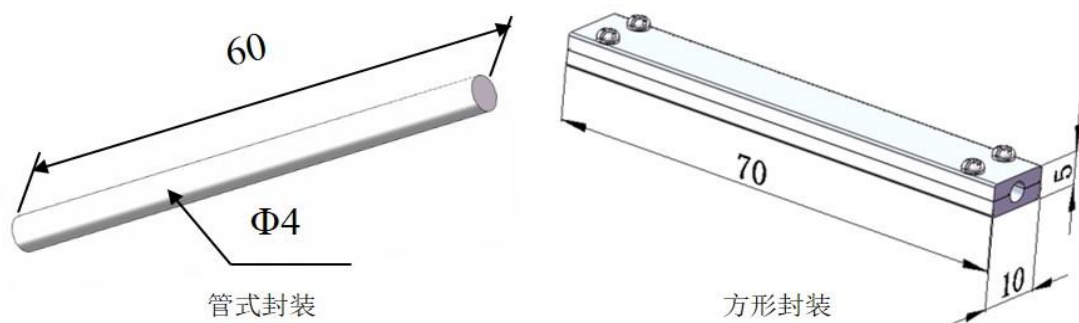


图 2.8 光纤光栅温度传感器封装形式

2.4 静力水准仪沉降监测

塔吊沉降监测是指在结构外部荷载作用过程以及发生不均匀沉降时，构件发生内力变化，采用监测设备对整体和局部沉降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，以保证结构在运行期间的安全性。

静力水准系统是测量两点间或多点间相对高程变化的精密仪器。主要用于大坝、核电站、高层建筑、矿山、滑坡、桥梁等垂直位移和倾斜的监测。静力水准系统一般安装在被测物体等高的测墩上或被测物体墙壁等高线上，通常采用分布式模块化自动测量单元采集数据，通过有线或无线通讯与计算机连接，从而实现自动化观测。

2.4.1 系统的结构

静力水准系统的结构由静力水准仪及安装架、液体连通管及固定配件、通气连通管及固定配件、干燥管、液体等组成。安装方式分为测墩式安装和墙壁式安装两种方式，视现场条件和设计要求选定，如图示 2.9 所示。

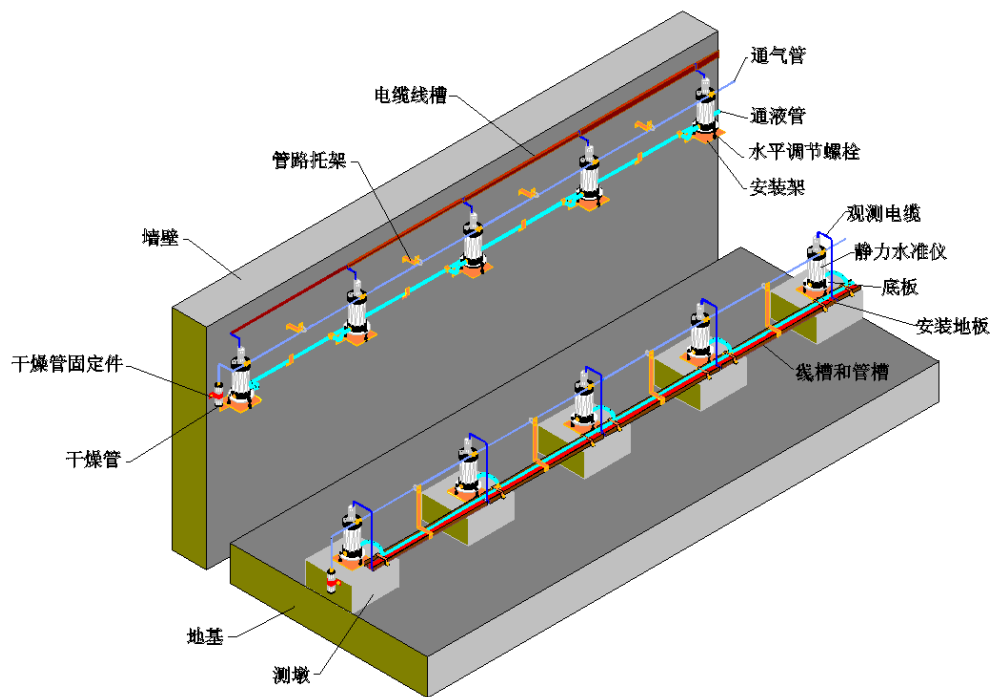


图 2.9 静力水准系统结构示意图

2.4.2 系统的工作原理

静力水准系统又称连通管水准仪，系统至少由两个观测点组成，每个观测点安装一套静力水准仪。静力水准仪的贮液容器相互用通液管完全连通，贮液容器内注入液体，当液体液面完全静止后系统中所有连通容器内的液面应同在一个大地水准面上 ∇O ，此时每一容器的液位由传感器测出，即初始液位值分别为： H_{10} 、 H_{20} 、 H_{30} 、 H_{40} 、 $\dots$ 、 H_{i0} ，如图 2.10 所示。

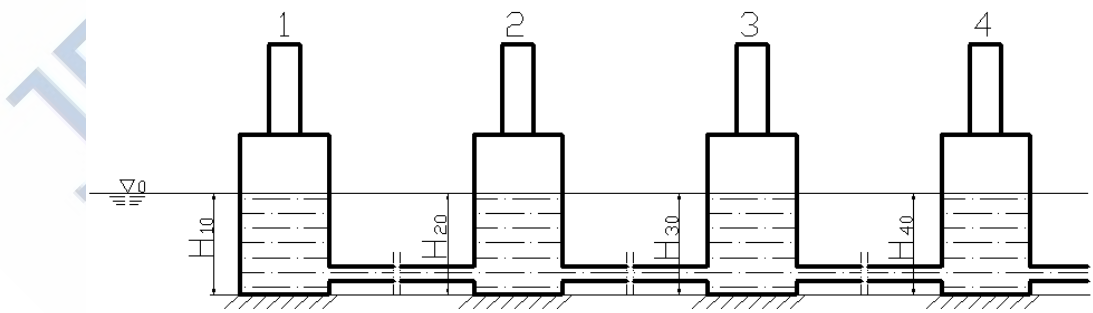


图 2.10 静力水准系统工作原理示意图

假设被测物体测点 1 作为基准点，测点 2 的地基下沉，测点 3 的地基上升，测点 4 的地基不变等等，当系统内液面达到平衡静止后形成新的水准面 ∇i_0 ，则各测点连通容器内的新液位值分别为： H_1 、 H_2 、 H_3 、 $H_4 \cdots \cdots H_i$ ，如图 2.11 所示。

系统各测点的液位由静力水准仪传感器测得，各测点液位变化量分别计算为： $\Delta h_1 = H_1 - H_{10}$ 、 $\Delta h_2 = H_2 - H_{20}$ 、 $\Delta h_3 = H_3 - H_{30}$ 、 $\Delta h_4 = H_4 - H_{40} \cdots \cdots \Delta h_i = H_i - H_{i0}$ 。其中计算结果： Δh_i 为正值表示该测点贮液容器内的液面升高， Δh_i 为负值表示该测点贮液容器内的液面降低，如图 2.11 所示。

在此，选定测点 1 为基准点，则其它各测点相对基准点的垂直位移(沉降量)为： $\Delta H_2 = \Delta h_1 - \Delta h_2$ 、 $\Delta H_3 = \Delta h_1 - \Delta h_3$ 、 $\Delta H_4 = \Delta h_1 - \Delta h_4$ 、 $\cdots \cdots \Delta H_i = \Delta h_1 - \Delta h_i$ 。其中计算结果： ΔH_i 为正值表示该测点地基抬高， ΔH_i 为负值表示该测点地基沉降，如图 2.11 所示。如果知道两测点间的水平距离 L ，则两测点间相对倾斜的变化也可算得。

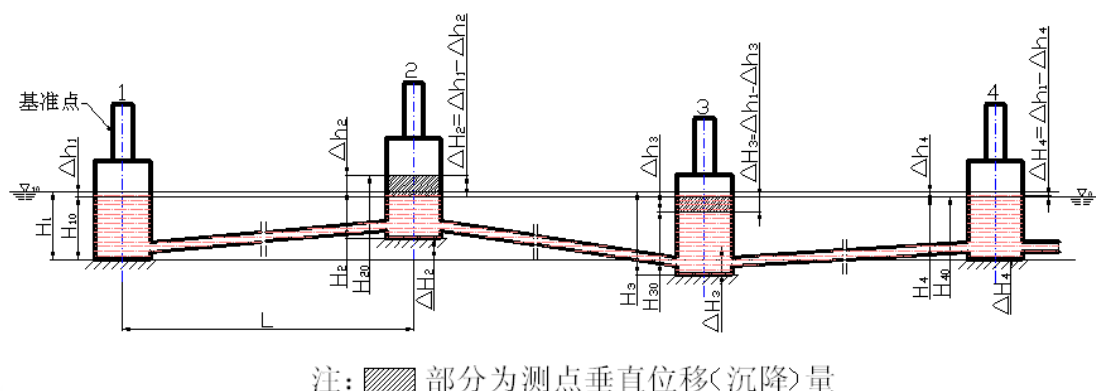


图 2.11 静力水准系统工作原理示意图

依照上述原理，在静力水准仪的系统中，不但可以观测两测点间的相对垂直位移，也可在建筑物及其它地基内布置多个测点并连成系统，并选一稳定不动的测点做为基准点，来观测各测点相对基准点的垂直位移(沉降量)。

往往基准点是相对恒定的或者是可用其它方式准确测定的点，精确计算各点的绝对垂直位移，必须核定基准点地基的沉降变化量。

对于多测点的静力水准系统，每个测点的静力水准仪均需加接三通接头，使各测点贮液容器用水管连通，各点容器上部与大气连通，且各点安装高程应基本相同，基准点必须稳固。

2.4.3 液压式静力水准仪的特点

液压式静力水准仪具有如下特点：

(1) 采用有机玻璃管作为贮液容器，透明度好，可以直观的反应容器内液面的高度便于目测。

(2) 上下端盖采用铝合金材料制成，表面氧化发黑处理，及轻便又防锈。

(3) 传感器采用全不锈钢制造永不生锈，外部全封闭式结构，防水性能好。

(4) 传感器安装采用螺纹连接固定，无需其它附件，及简单又牢靠。

(5) 上端盖或底板上装有水平泡，便于仪器的安装调平。

(6) 安装架装有 3 套调节螺栓对仪器底板形成 3 点支撑，便于仪器的安装调平

(7) 安装架适用在测墩和墙壁安装，无需增加附件，固定简单方便。

液压式静力水准仪如图 2.12 所示。

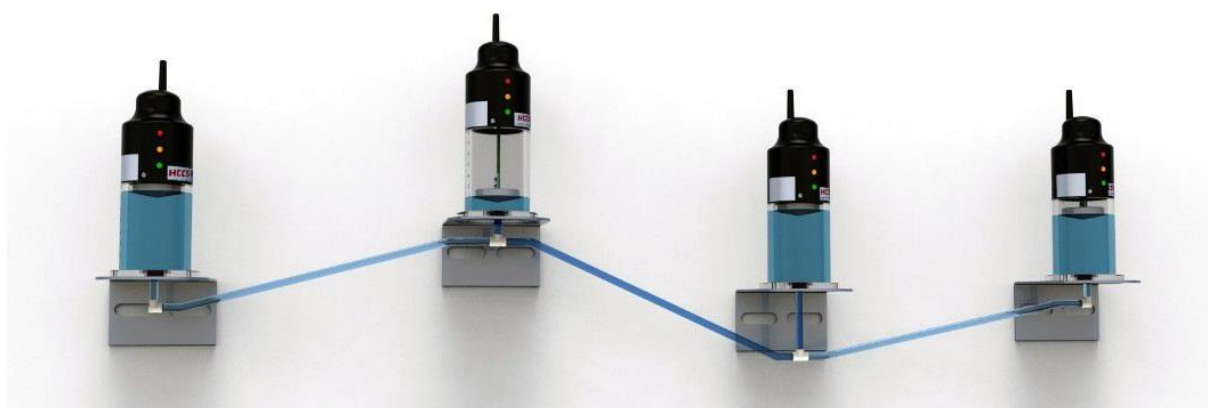


图 2.12 液压式静力水准仪

2.5 风速风向监测

为监测风荷载对塔吊运营期间受力状况的影响，对风荷载进行监测。在塔吊顶部布设一台风速风向仪。选择风速风向仪应考虑使用的环境类别、温度范围、防水等级、输出信号类型的因素，选择适合塔吊特点的风速风向仪。

3 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：

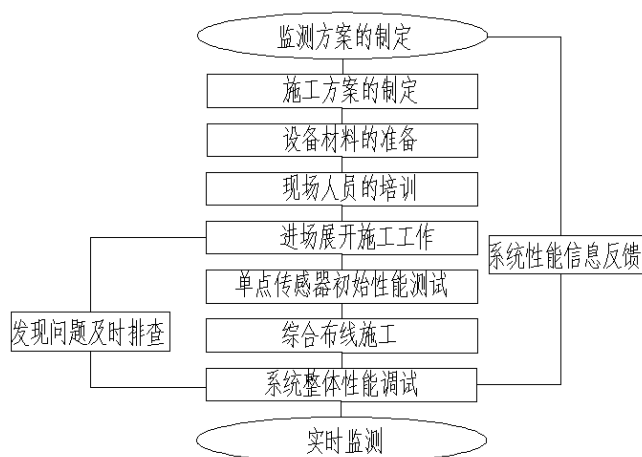


图 3.1 施工工艺流程图

光纤光栅传感器、电类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。

3.1 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 3.2~5 所示：



图 3.2 平面固定方式（粘接）

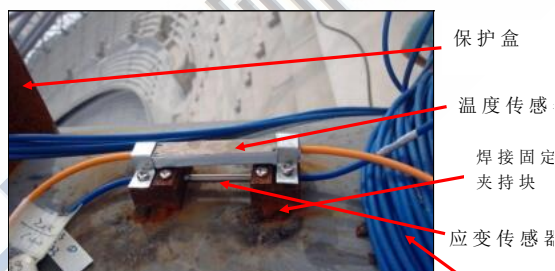


图 3.3 圆弧表面固定方式（焊接）

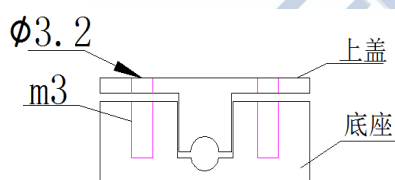


图 3.4 平面用加持底座示意图

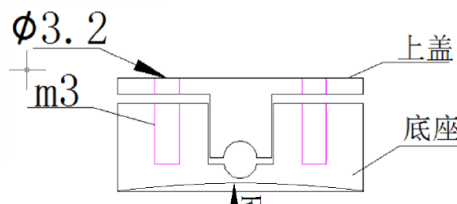


图 3.5 圆弧表面加持底座示意图

由图 3.4、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：

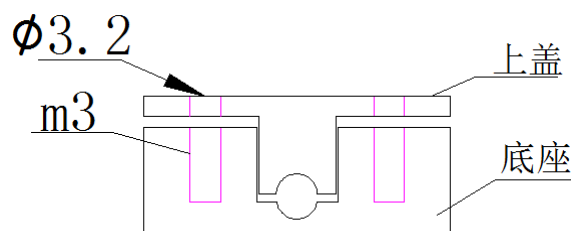


图 3.6 夹持块装配示意图

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 3.7 拉伸完成的传感器



图 3.8 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 3.9 所示：



图 3.9 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：

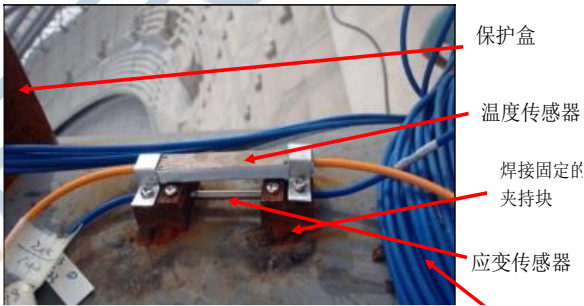


图 3.10 传感器保护盒内部

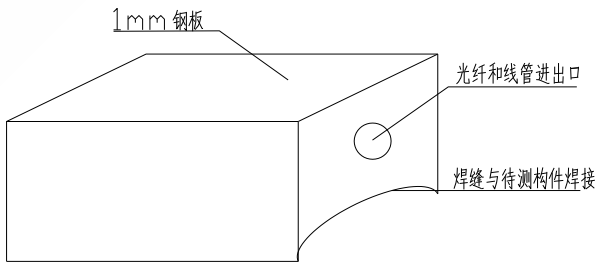


图 3.11 光纤光栅传感器保护盒示意图

(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。

3.2 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。通讯线缆的敷设为分支光纤敷设以及汇总的线缆敷设。系统布线示意图如下所示：

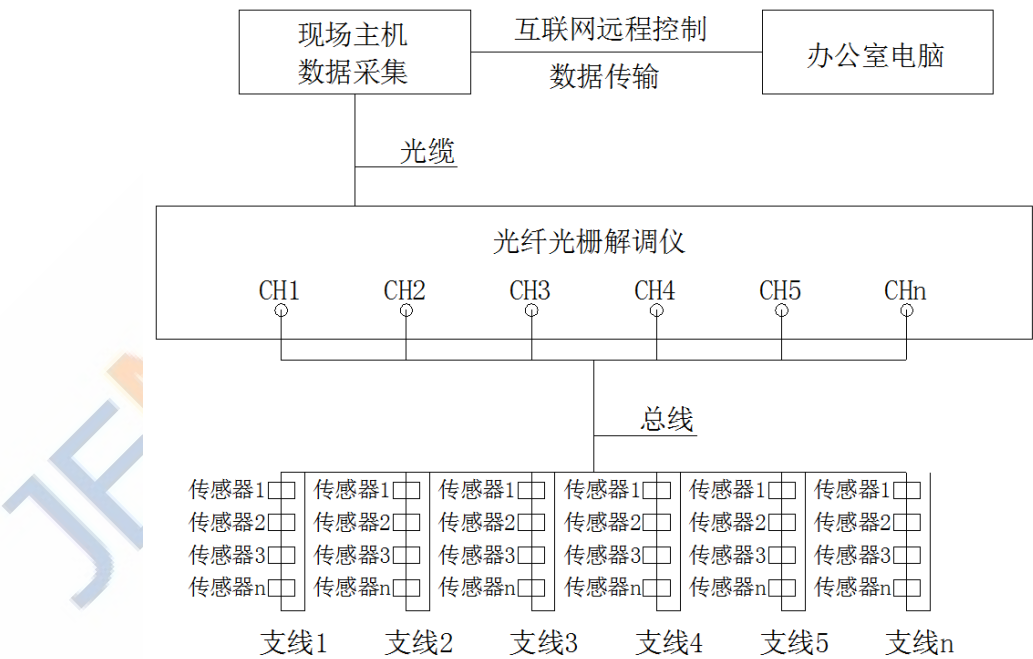


图 3.12 系统布线示意图

3.3 质量控制

3.3.1 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。

3.3.2 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。

3.4 安全控制

3.4.1 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。

3.4.2 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。

3.5 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。

4 传感信号综合同步解调仪

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。

4.1 传感信号综合同步解调仪

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了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用户的测试测量需求。



图 4.1 传感信号综合同步解调仪

4.2 传感信号综合同步解调仪特性

(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。

(1) 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

(2) 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

(3) 同步监测

- a) 各通道、各设备同步采集
- c) 同步时间精度不低于 $0.1 \mu s$
- d) 实现与基于 TCP/IP 协议的第三方数据通信
- 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 $0.1 \mu s$

(4) 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。

4.3 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

4.4 指标参数

光纤光栅测量指标	
光路数量	4、8、15
波长范围	1510~1590nm
精度	1pm
稳定性	$\pm 2\text{pm}$
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	2Hz
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）

5 监测系统软件

5.1 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。

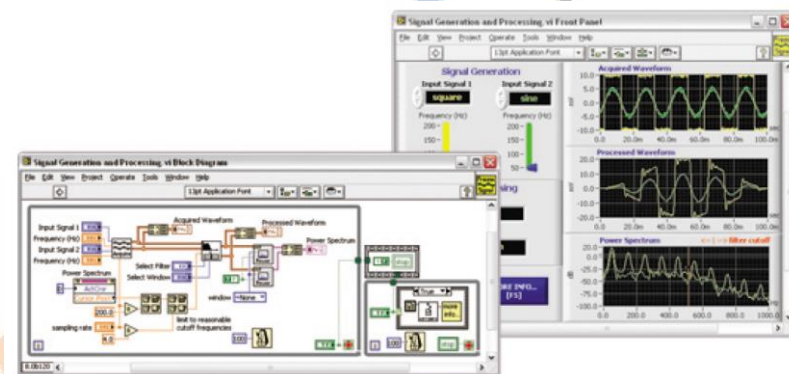


图 5.1 NI LabVIEW 图形化界面

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 5.2 所示，LabVIEW 与许多硬件平台都实现了完美的无缝对接。

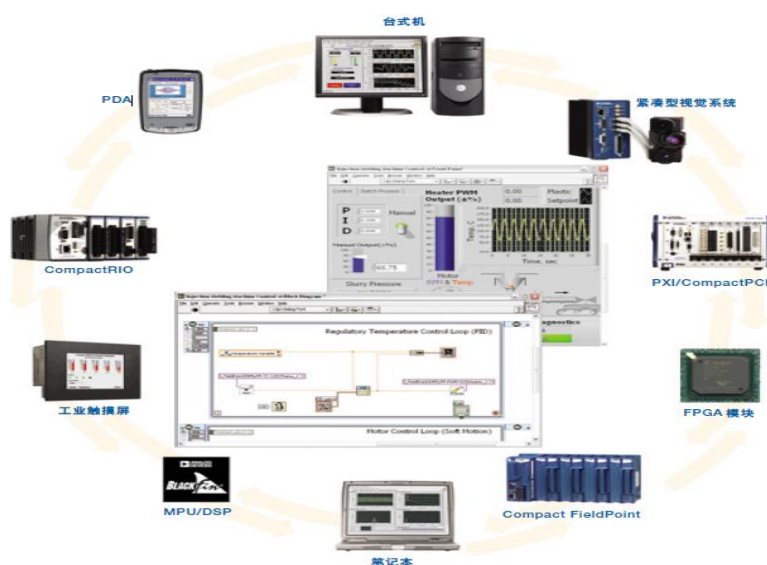


图 5.2 NI LabVIEW 硬件兼容平台

5.2 监测系统功能

5.2.1 信号实时同步显示

该系统实时同步采集各通道传感器信号，随时调用目标传感器，在上位机中同步显示各通道传感器信号。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、高阶频率等特性具有重要意义，为实时监测塔吊内力变化进行参考。监测系统界面如图 5.3 所示。

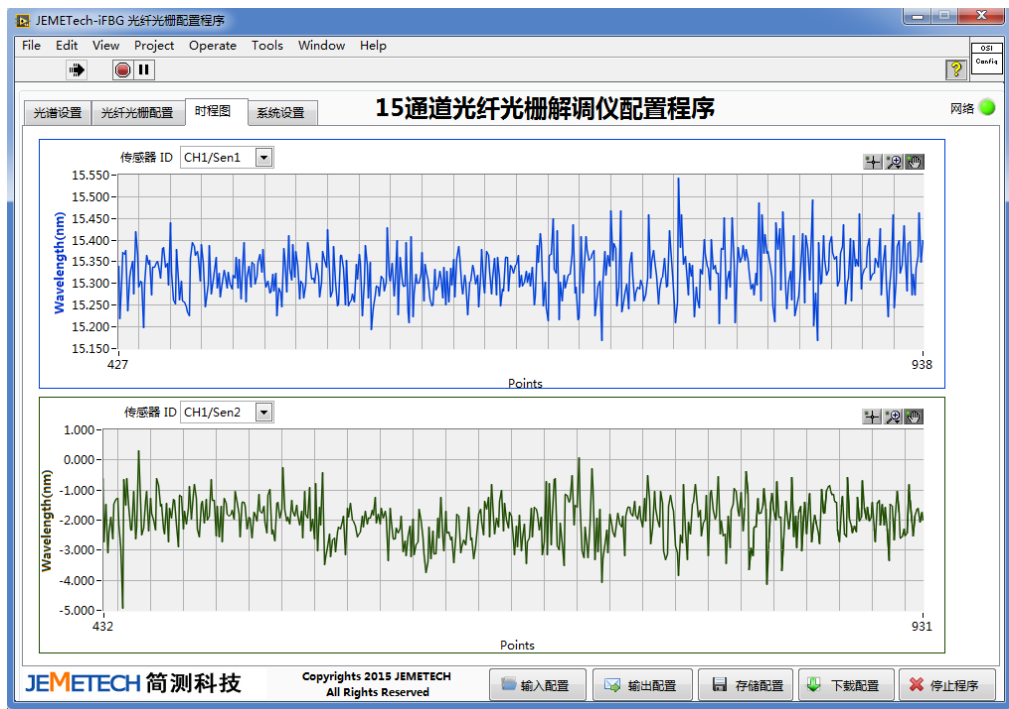


图 5.3 监测系统界面

5.2.2 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数据文件中调用需要的文件，如图 5.4 所示。

图 5.4 系统数据存储设置

5.2.3 自动报警功能

该系统设计了多个结构安全指示灯，当结构某一部位发生应力过大时，该指示灯显示为红色，表示该部位处于异常状态，需要启动相应的应急预案，同时结构异常发生的部位、时间和幅值也会立即记录在系统中。该指示灯能正确表征应力过大的部位，对采取紧急措施具有指导意义。报警信息通过手机短信和 E-mail 电子邮件以及声光电的方式发送（如图 5.5 所示），保证了重要报警信息的及时性。



图 5.5 系统报警机制

深圳市简测科技有限公司
JEMETECH CO.,LTD.

JEMETECH
简测科技