



滑坡灾害预警与健康监测解决方案

[摘要]

[本文提出了一种基于光纤光栅传感系统的智能化滑坡灾害预警与健康监测解决方案，利用光纤光栅传感器监测边坡各监测点的变化情况，实时掌握边坡的安全状态，对山体可能发生滑坡给出预警，为政府日常监管提供决策依据。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：0755-29235600

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

目 录

引 言	1
1 方案目标	2
2 监测内容	3
2.1 应力应变监测	3
2.2 监测点位置及数量	
2.3 应力应变监测传感器	
3 监测系统施工工艺	9
3.1 传感器安装	10
3.2 综合布线	13
3.3 质量控制	14
3.3.1 易出现的质量问题	14
3.3.2 保证措施	14
3.4 安全控制	14
3.4.1 主要安全风险分析	14
3.4.2 保证措施	15
3.5 环保控制	15
4 光纤光栅解调仪	16
4.1 光纤光栅解调仪简介	16
4.2 光纤光栅解调仪特性	17
4.3 产品系列	18
4.4 指标参数	18
5 监测系统软件	19
5.1 系统开发环境	19
5.2 监测系统功能	20
5.2.1 信号实时同步显示	20
5.2.2 数据自动存储功能	21
5.2.3 自动报警功能	22

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；公司产品可用于安防、土木工程、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、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。

山体滑坡不仅造成一定范围内的人员伤亡、财产损失，还会对附近道路交通造成严重威胁。滑坡常常给工农业生产以及人民生命财产造成巨大损失、有的甚至是毁灭性的灾难。滑坡对乡村最主要的危害是摧毁农田、房舍、伤害人畜、毁坏森林、道路以及农业机械设施和水利水电设施等，有时甚至给乡村造成毁灭性灾害。位于城镇的滑坡常常砸埋房屋，伤亡人畜，毁坏田地，摧毁工厂、学校、机关单位等，并毁坏各种设施，造成停电、停水、停工，有时甚至毁灭整个城镇。发生在工矿区的滑坡，可摧毁矿山设施，伤亡职工，毁坏厂房，使矿山停工停产，常常造成重大损失。

光栅光纤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管道沉降监测中得到广泛应用。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，因此在边坡监测中应用了自主开发的光纤光栅应变传感器、光纤光栅温度传感器，以及各类辅助性电类传感器。

本文提出了一种基于光纤光栅传感系统的智能化滑坡灾害预警与健康监测解决方案，利用光纤光栅传感器监测边坡各监测点的变化情况，实时掌握边坡的安全状态，对山体可能发生滑坡给出预警，为政府日常监管提供决策依据。

1 方案目标

1.1 项目立项背景

2015 年 12 月 20 日中午，深圳光明新区凤凰社区恒泰裕工业园发生山体滑坡，致使附近西气东输管道发生爆炸，导致多幢民宅和厂房被埋，现场塌方面积逾 10 万平方米，有多人在事故中受伤或失联。截止 2015 年 12 月 24 日，救援工作仍在紧张进行中。

该重大惨案的发生，一方面令人扼腕痛惜，并受到党中央的高度重视，以及全国人民的关注，牵动每一个人的心；另一方面，该事故也引发我们的深刻反思，即如何做到亡羊补牢，防患于未然，这样不仅能告慰事故中的亡者，而且避免类似事故再次降临到无辜百姓的头上。

深圳作为全国改革发展的最前沿，经济快速健康发展，引领工程建设领域的不断扩展，由此造成大量的建筑垃圾、工业垃圾、地铁开挖弃土等渣材，就山坳等低洼地方堆存，久而久之便堆积成山。除本次发生灾难的山体外，尚有 8 处类似山体，同样存在类似的潜在风险。

由于渣土成份复杂，尤其是地铁盾构开挖，所出渣土多为泥浆，而且因不同成份的渣土快速堆积，致使渣土中的水份不能及时排出，渣土不能固结，而且又没有适当的锚固措施，从而为后期的山体滑坡埋下了致命的隐患。

因此，为了防止类似重大事故的再次发生，拟通过日常监控措施，对渣土山体可能发生滑坡给出预警，为政府日常监管提供决策依据。

1.2 监控措施

由于人工渣土成份的复杂性，即包括广泛的建筑垃圾、生活垃圾、工业垃圾、高水泥浆等。这些垃圾在超大体积、超深度、超高度、长期堆存条件下，其中的有机质会发酵成气体，水分会积存，不同渣土的成份和粒径差异会造成固结不良等种种弊端，从而造成渣土山体存在许多薄弱面，在雨水、地震动和人工振动等条件耦合作用下，即会发生山体滑坡。

虽然山体滑坡是一种自然灾害，但通过现代测试手段和计算手段，依据相关理论滑进行滑坡分析，据此提出可靠性预警，从而制定针对性的防范措施，以杜绝山体滑坡所造成的灾难性事故。

因此，首先通过滑坡理论分析，在确定若干个滑坡薄弱面后，在可能滑坡面的不同位置分别埋置相应的传感器，如光纤光栅应变传感器、光纤光栅温度传感器、雨量计传感器、土壤含水率监测传感器，通过光纤光栅与电类同步调制解调仪和相应的数据记录

仪、计算机实时采集数据。然后再通过对所采集到的长期、海量数据进行分析，从而给出山体可能滑坡的判据，为渣土山体加固、政府决策提供理论依据。

由于渣土山体体积太大，理论滑坡面也较多，因此就需要布设众多的种种类型传感器。具体地，以理论滑坡面为基准面；在水平方向上以分别距基准面 5m 位置处(不足 5m 时，可适当缩小)的两个平面为参考面；再以理论滑坡面的坡脚为基准面，沿山体斜坡方向向上，每 5m 位置为水平布置面；以这些交叉面线为基准，通过钻孔方法分别埋设上述各种传感器。其中，光纤光栅应变传感器、光纤光栅温度传感器、只埋设在相应的理论滑坡面处，雨量计传感器、土壤含水率监测传感器安装在基准面和参考面处。上述各种传感器分别与相应的数据采集仪相连，通过无线传输方式，将这些实测数据实时地传输到控制中心，以供计算分析。

2 监测内容

滑坡监测包括滑坡体灾变的变形因素、诱发因素和相关因素的监测。

变形因素监测：目的是掌握滑坡体三维空间位置变化、判定滑坡滑动范围、滑移量和滑移方向，判定滑坡滑动面数量和深度；

诱发因素监测：目的是监测滑坡体不同位置的降雨量，可以更清楚地掌握滑坡灾害的发生机理、活动状态和发展趋势，并为滑坡灾害预警、预报服务；

相关因素监测：包括孔隙水压力监测、土壤含水率监测等，这些物理量不能直接反映变形量，但能反映变形强度，可配合其他监测，分析、掌握变形动态，进行灾害体变形破坏预报。

2.1 变形因素监测

2.1.1 监测点布置原则及安装位置

变形因素监测拟将钢筋植入潜在滑坡点，钢筋植入深度须确保钢筋穿过潜在滑坡临界面；如果发生山体滑坡，植入钢筋会产生较大变形，采用光纤光栅应变传感器实时监测钢筋变形，能够真实反馈土体的稳定性。光纤光栅应变传感器安装于钢筋表面，随钢筋一同植入土体内，如图 2.1 所示。

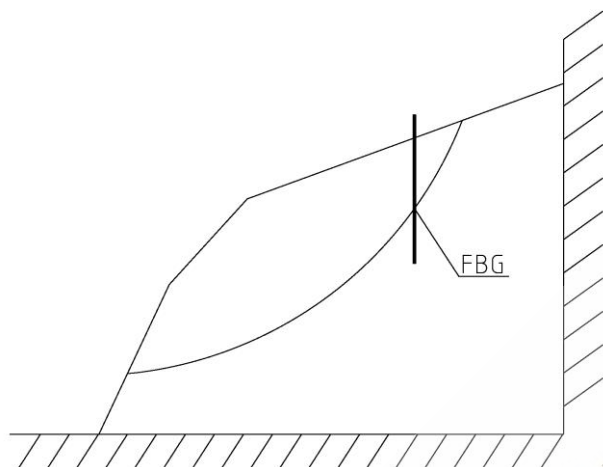


图 2.1 光纤光栅应变传感器安装示意图

2.1.2 变形因素监测传感器

边坡监测项目需要利用大量的高性价比传感器，实现对边坡破裂面实时监测。边坡监测所采用的各种类型的应变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 2.2 所示：

表 2.2 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	-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（ $\Phi 3\text{mm}$ ）
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

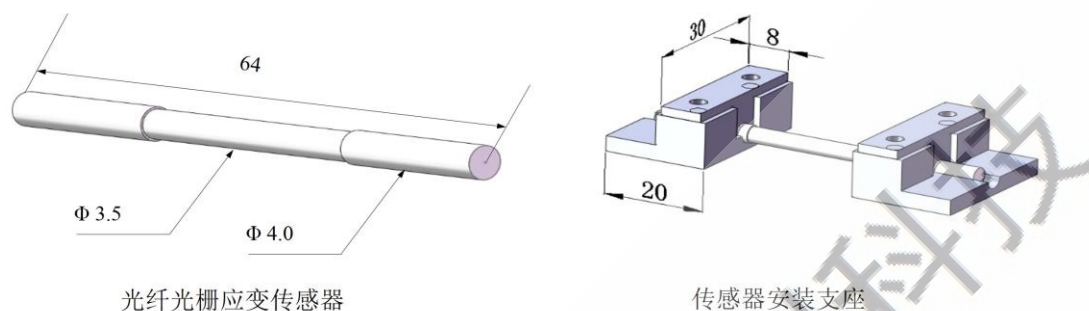


图 2.3 光纤光栅传感器封装形式及传感器安装支座

2.2 诱发因素监测

计划采用雨量监测作为边坡诱发因素监测的实际内容。雨量自动监测利用翻斗称重原理对液态降水量进行连续测量。通过翻斗翻转，输出接点通断信号，翻斗的大小决定其分辨力，一般分为 0.1mm、0.2mm、0.5mm、1.0mm。结构上一般由承雨器、翻斗、发讯部件、底座、外壳等组成。

2.2.1 雨量监测传感系统

本项目中应用一体化雨量自动监测站由雨量计传感器、设备箱组件及结构件组成。其中设备箱组件包括充电控制器、电源管理模块和数据采集通信模块等，具体如图 2.4 所示：

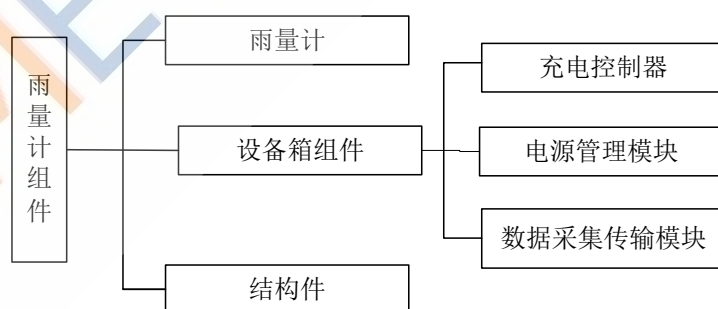


图 2.4 雨量监测传感系统

2.2.2 雨量监测传感器

雨量监测传感器具有以下功能和特点。

- (1) 可设置联动阈值，达到联动阈值时可联动同一监测对象的其他监测站；

- (2) 降雨自动触发工作，可根据设定阈值实现报警；
- (3) 具有现场和远程设置、读取设置本站站号、传感器类别、采样间隔时间、雨量报警阈值、通信信道等参数的功能；
- (4) 具有实时、定时自动采集、存储所有遥测数据功能；
- (5) 数据存贮：具有历史数据的存贮能力，能响应监控中心指令，将现场存储的数据批量报送至监控中心；
- (6) 太阳能供电系统具有充放电管理功能，有效保护电池，避免过冲过放；
- (7) 具备一站多发的功能，即支持一个测站的遥测终端同时向 4 个目的地址发送数据。

技术指标

- (1) 工作电压：12V DC；
- (2) 供电方式：太阳能板浮充蓄电池供电；
- (3) 工作电流：10 mA（12V）（正常工作），400 μ A（12V）（休息状态），200mA（发送数据）；
- (4) 精度：0.2mm；
- (5) 工作温度：-20° C~+70° C；

2.3 相关因素监测

计划采用土壤含水率监测作为边坡相关因素监测的实际内容。土壤含水率传感器快速实时的监测土壤含水率状况，土壤含水率传感器在测量的实时性与精度上都更具优势，使用操作更加灵活方便，还可适用于各种不同类型的土壤环境。基于 FDR 测量原理的土壤含水率传感器：被测介质的介电常数（ ϵ ）和介质中水分含量存在确定的函数关系，经传感器内部特殊设计电路处理，介电常数（ ϵ ）的变化以直流电压的变化输出。

2.3.1 土壤含水率监测传感系统

一体化土壤含水率监测站由土壤含水率传感器、设备箱组件及结构件组成。其中设备箱组件包括充电控制器、电源管理模块和数据采集通信模块等，如图 2.5 所示：

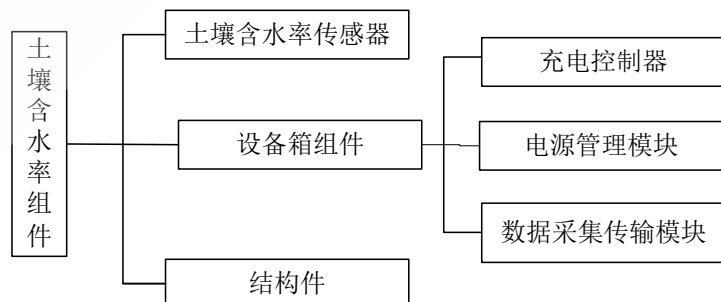


图 2.5 土壤含水率监测传感系统

2.3.2 土壤含水率监测传感器

土壤含水率监测传感器具有以下功能和特点。

- (1) 具有自检功能，自动采集蓄电池实时电压值、环境温度值，并发送到中心；
- (2) 数据存贮：具有历史数据的存贮能力，能响应监控中心指令，将现场存储的数据批量报送至监控中心；
- (3) 具有现场和远程设置、读取设置本站站号、传感器类别、采样间隔时间、通信信道等参数的功能；
- (5) 具有实时、定时自动采集、存储所有遥测数据功能；
- (6) 数据存贮：具有历史数据的存贮能力，能响应监控中心指令，将现场存储的数据批量报送至监控中心；
- (10) 每测站标配 3 只传感器，能够同时测量 2m 范围内不同深度的土壤含水率；

技术指标

表 2.3 土壤含水率技术指标

项目	指标	适用范围和注释
测量参量	被测介质的体积水分百分含量	
应用对象	土壤、其他固体或粉状介质	
量程	水分精确测量量程 $0.05 \sim 0.50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 水分全量程 $0 \sim 1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$	0~饱和水分范围内
测量准确度	$\pm 0.5\% \text{ vol}$ （以被测土壤进行校正） $\pm 2.0\% \text{ vol}$ （直接测量）	全量程范围
盐碱度导致的水分测量误差	不大于 $\pm 3.5\% \text{ vol}$ （在 0~饱和水分范围内）	在校正后可以应用于电导不大于 2000 mS m^{-1} 的盐碱土壤
电耗	22mA（特征值）	建议读数前 10 秒预加电
供电电压	9~12 V DC	
输出信号	0~1200 mV DC	
水分测量感应体积	60mm（长）×30mm（直径）	
环境绝缘	符合 IP68 标准	
工作环境	0~+50℃	水分测量不适用水冰点（0℃）以下

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：

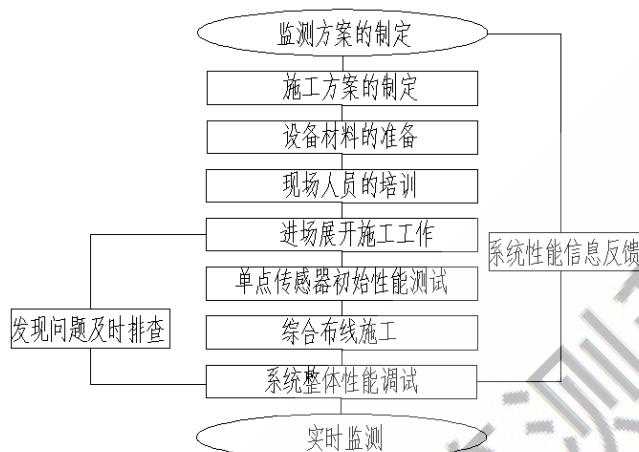


图 3.1 施工工艺流程图

光纤光栅传感器以及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）

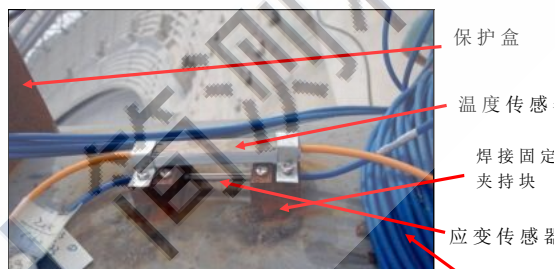


图 3.3 圆弧表面固定方式（焊接）

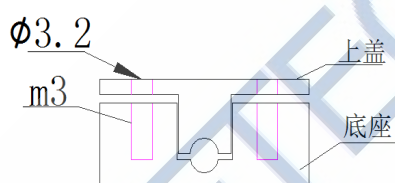


图 3.4 平面用加持底座示意图

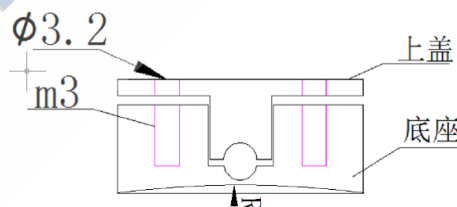


图 3.5 圆弧表面加持底座示意图

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：

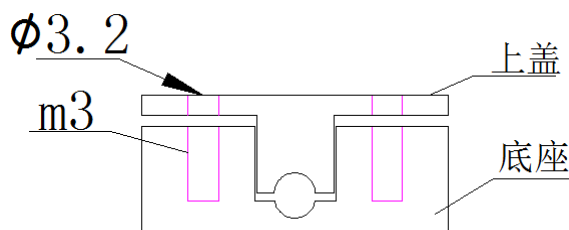


图 3.6 夹持块装配示意图

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：

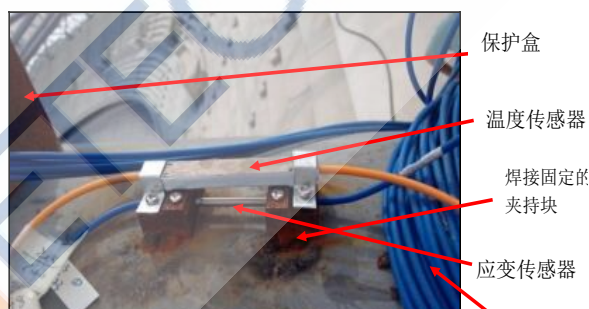


图 3.10 传感器保护盒内部

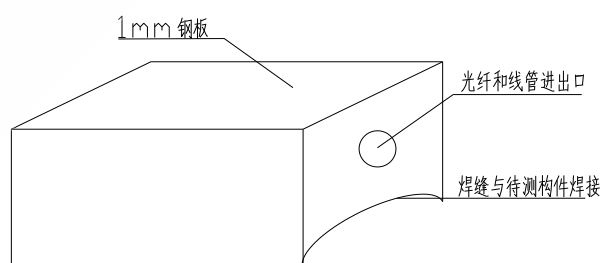


图 3.11 光纤光栅传感器保护盒示意图

(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：

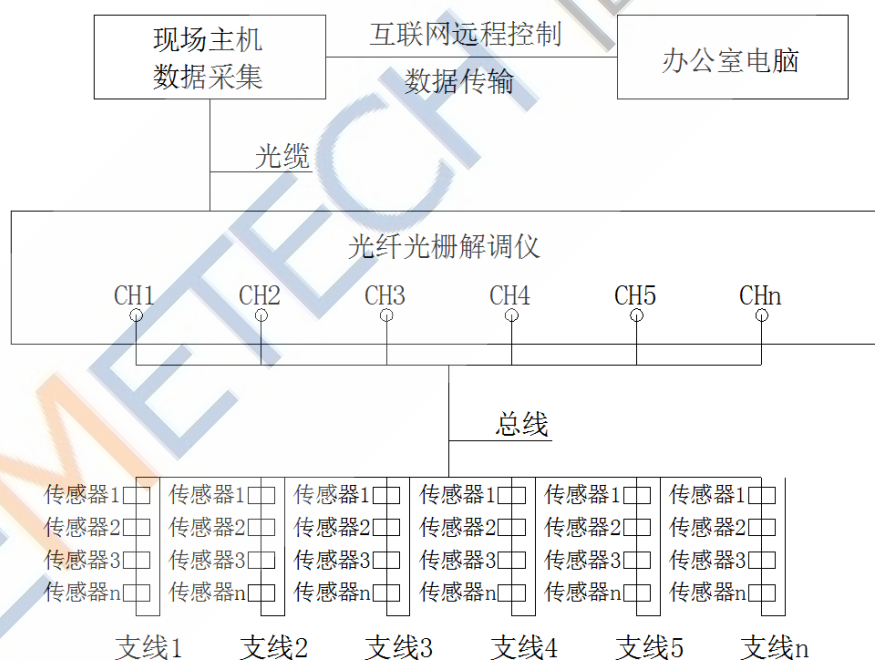


图 3.12 系统布线示意图

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。

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 光纤光栅解调仪

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。

4.1 光纤光栅解调仪简介

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，支持多通道通道的同步采集。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 光纤光栅解调仪特性

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 μ 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 μ 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 1510-1590nm
2	传感信号综合同步解调仪	JEME-i15-e48	15 路光、48 路电 1510-1590nm
3	传感信号综合同步解调仪	JEME-i15-e64	15 路光、64 路电 1510-1590nm
4	传感信号综合同步解调仪	JEME-i15-e16	15 路光、16 路电 1510-1590nm
5	传感信号综合同步解调仪	JEME-i08-e32	8 路光、32 路电 1510-1590nm
6	传感信号综合同步解调仪	JEME-i08-e16	8 路光、16 路电 1510-1590nm

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	±2pm
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°C
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序开发时间，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。

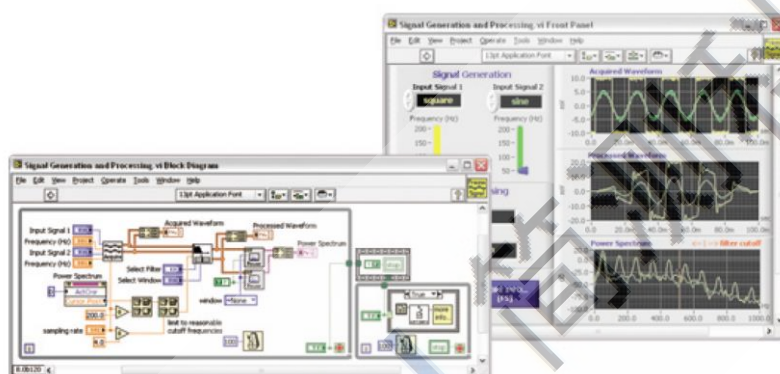


图 5.1 NI LabVIEW 图形化界面

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。

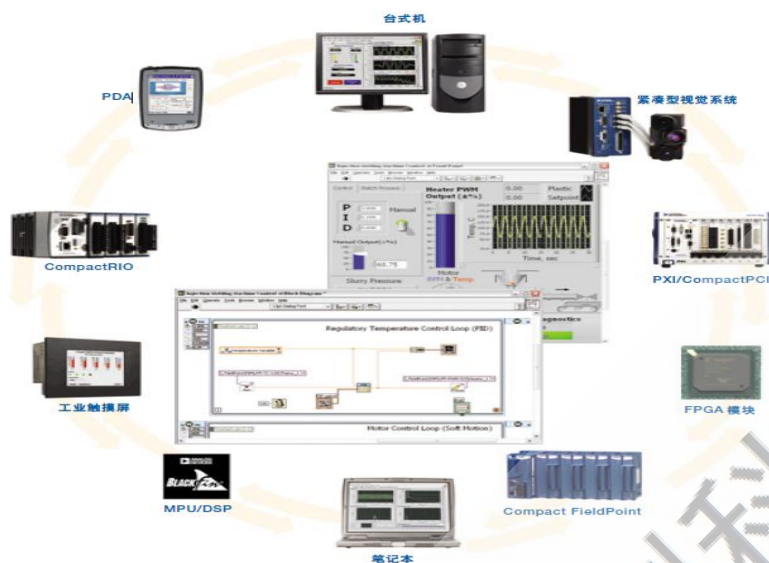


图 5.2 NI LabVIEW 硬件兼容平台

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，为实时监测管道内力变化进行参考。监测系统界面如图 5.3 所示。

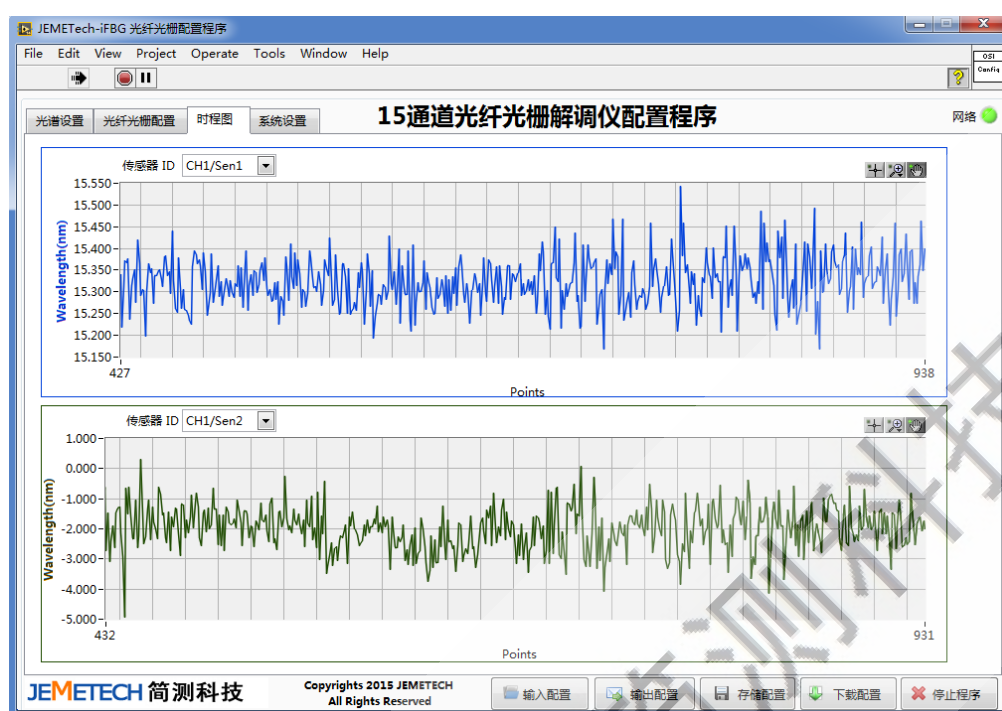


图 5.3 监测系统界面

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，当管道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。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

JEMETECH 简测科技