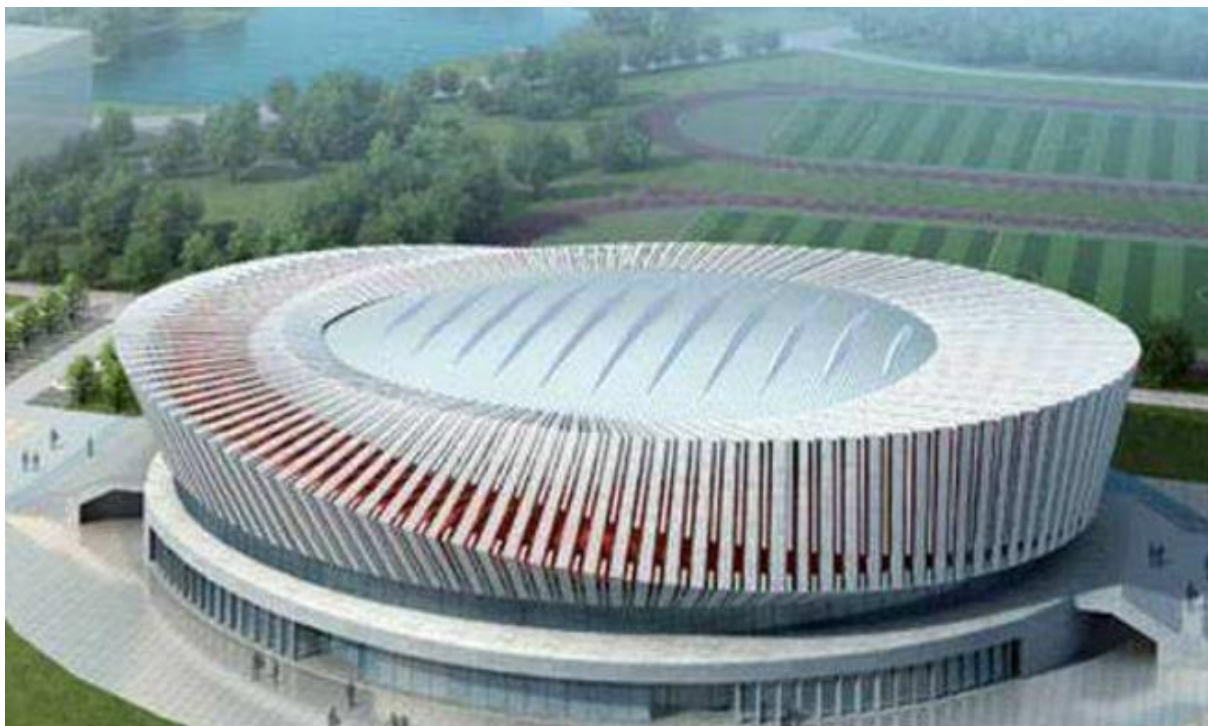

体育馆健康监测系统设计



工讯科技（深圳）有限公司

2018 年 8 月

目 录

1 监测系统的总体设计.....	1
1.1 系统的设计原则.....	1
1.2 系统的功能和目标.....	2
1.3 系统总体框图.....	3
2 运营健康监测方案设计.....	4
2.1 传感器子系统.....	4
2.2 数据采集子系统及传输子系统.....	9
2.3 数据管理子系统.....	13
2.4 结构安全预警子系统.....	14
2.5 结构监测数据分析和安全评定子系统.....	16
3 健康监测系统运营管理、系统维护和验收标准.....	18
3.1 健康监测系统运营管理.....	18
3.2 健康监测系统的系统维护.....	19
3.3 健康监测系统的质量验收标准.....	22

1 监测系统的总体设计

1.1 系统的设计原则

根据体育馆钢网壳结构的特点，确定其健康监测的设计原则如下：

（1）系统的统一性：即本子系统的监控设备和软件采用统一规划、统一设计的监测方案，并进行统一安装、集成与调试，系统构建完成后进行统一维护和管理；

（2）系统的针对性：根据体育馆结构的受力特点以及杆件危险性分析结果，确定结构杆件的代表性部位、结构控制部位和损伤敏感部位（如变形控制点、应力集中的位置、动力响应敏感点等）进行重点监测，为网壳结构在运营阶段的安全使用提供保障；

（3）系统的适用性：结合对网壳关键部位的应力/应变监测，以及基于模型修正技术的结构整体安全评估，系统能够真正用于钢网壳结构的安全监测，及早发现结构的损伤并给出预警，能够真正用于指导结构运营维护，并进行部分设计验证；

（4）系统的经济性：基于体育馆结构沿南北中轴线对称的特点，通过优化传感器布置位置，力求采用具有代表性、少而精的监测信息包含尽可能多的网壳及构件状态信息；

（5）系统的可靠性：监测设备及其附属设施安装要保证稳固可靠，监测设备及其附属设备安装简单、不易损坏，易于缆线布置，系统可以真实可靠地反映网壳结构所处自然环境、运营环境以及结构响应的各项参数信息；

（6）系统的可维护和扩展性：在体育馆的运营期内，监测系统的架构和使用可随时便捷地根据管理部门的需要以及科技水平的发展，可不断地扩充监测内容；

（7）系统的广泛性：系统搭建完成后，不仅可以用于监测项目施工期的在线监测还可以用于运营期的监测。

1.2 系统的功能和目标

体育馆结构形体复杂，相应受力较为复杂。为能高效、实用、科学、系统地为车建成后的运营养护维修决策提供技术支持，要求系统实时采集数据，并能及时进行预警，定期分析采集的结构数据，分析结构运行随时间增加而产生的累积效应以及遇到突发事件时结构状态，可以协助车管理人员掌控及其支座处监测构件的力学指标及其变化情况，系统针对车运营环境和结构特点编制管理软件，以方便车的管理运营单位按照系统既定的监测内容掌握结构的整体健康状况。定期分析整体内力状态变化趋势，建立钢网壳结构全寿命期的数字化和信息化档案，科学、合理地协助车的管理和养护。

体育馆结构在运营阶段健康监测系统主要功能和目标包括：

（1）网壳结构温度场监测

由于体育馆结构属于高次超静定结构，结构温度的变化会对网壳结构杆件内力、应力和应变的分布产生重大影响。通过在网壳结构上安装温度传感器，监测结构温度场，有效提高结构健康监测系统的准确性。网壳结构温度场监测的主要功能和目标：（a）通过测量结构不同部位的温度，利用插值算法等方法，计算得出作用在结构每根杆件上的温度；（b）利用得到的结构温度场，对结构杆件应变测量数据进行温度补偿和修正；（c）利用结构温度场数据，并结合结构杆件应变和支座位移等测量数据，对结构设计模型进行修正。

（2）关键结构杆件应力/应变监测

结构应力是判断结构安全最直接的指标，结构亚健康状态往往将导致应力超限或应力异常重分布，所以对于应力的异常变化应给予足够的重视，结合环境、振动、变形等其它监测结果来综合判定结构状态是否处在安全及可控的范围。此外，由于体育馆结构的特殊性，许多杆件同时承受很大的轴力，弯矩和扭矩的共同作用，造成杆件应力分布情况极为复杂。通过对关键杆件的局部应变的测量，推算这些杆件内的应力实际分布状态，评价其安全状态。

结构应力/应变监测主要目的和作用是：(a) 通过监测杆件最危险处的应变，判定杆件的安全状态，并在发生破坏时进行安全预警；(b) 利用实测结构应力/应变数据，并结合结构温度场和支座位移数据，对结构设计模型修正；通过修正的模型确定屋盖结构的损伤程度和健康状态，进一步结合车管理系统确定屋盖的维修计划；(c) 在风荷载、雪荷载和温度荷载作用下，分析应变的变化规律，确定该结构的控制荷载，必要时进行预警；(d) 根据监测数据，分析钢构件刚度变化情况，确定屋盖的健康状态。

1.3 系统总体框图

针对系统所需要满足的功能和目标，确定体育馆结构监测系统的子系统和功能模块包括：1) 传感器子系统；2) 数据采集、传输、存储子系统；3) 数据管理中心子系统；4) 运营健康安全评定和预警子系统。

体育馆结构健康监测系统流程图以及总体方案如图 1.1 及图 1.2 所示。整个监测系统的流程为：

(1) 数据采集系统采集传感器子系统拾取的数据，通过数据传输系统将数据传输现场采集，采集接收数据后，首先对数据进行判断和预处理，并存入数据管理中心；

(2) 数据管理中心的安全评定系统调用数据管理中心的数据，进行结构安全性与舒适性评定；

(3) 安全评定的结果通过可视化技术在监控中心的监视器上实时显示，在特殊状态下进行预警，并把安全评定的结果存入中心服务器的数据库中；此外，中心服务器内数据库的数据可以通过局域网将有关的结果传输到业主。

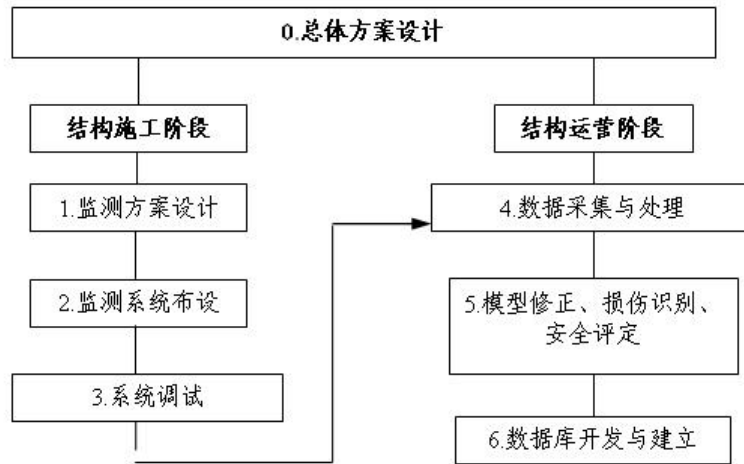


图 1.2 总体方案示意图

2 运营健康监测方案设计

2.1 传感器子系统

体育馆结构体系设计新颖，为空间单层网壳结构，属于大跨度空间结构，结构自身动力特性、结构在风荷载和其他外部环境荷载作用下的结构动力响应不仅是结构安全和结构舒适度的重要评价指标，也是设计者所关心的重要结构参数。因此，根据上述特点，体育馆车屋盖网壳结构工程的监测变量主要为：

- 结构温度场监测；
- 结构关键杆件和节点局部应力/应变监测；

为达到以上监测内容的目的，传感器子系统包括应变和温度等结构响应监测传感器子模块组成。各类传感器完成监测信号的拾取，并通过数据采集和数据传输系统进行数据的采集、传输和调理。传感器子系统按照监测对象不同，（表 2.1）。

表 2.1 传感器子系统划分

子模块		监测对象
1	结构温度场监测子模块	温度
2	网壳杆件应变（应力）监测、网壳节点焊缝工作状态监测及网壳温度子模块统	关键截面应变（力）及其变化、节点焊缝附近应变、网壳结构温度的变化

2.1.1 结构温度场监测

（1）监测内容及监测部位的选择及测点数量

力学分析表明，外界温度的变化将对体育馆结构内力的分布产生重大的影响。在网壳部分杆件上安装温度传感器，利用测量温度数据，并结合插值算法，计算出作用在整个网壳结构上的完整温度场。利用温度场数据对结构杆件应变测量结果进行修正；同时，结构温度场也是结构模型修正和安全评定的重要内容。

（2）传感器的选择及性能指标

为配合光纤应变传感器，考虑健康监测系统的组成与节约信号采集硬件（采用与光纤光栅应变传感器一致的信号解调仪），本工程拟使用光纤光栅温度传感器对作用在网壳结构上的温度场进行测量。表 2.3 给出了光纤光栅温度传感器需达到的性能指标。

表 2.3 光纤光栅封装温度传感器的主要性能指标

性 能	指 标
量 程	- 40℃ ~ 120℃
精 度	≤0.4℃
跳线头	FC/APC FC/PC
耐久性	大于 20 年
采样频率	1Hz



图 2.2 温度传感器的安装及传感器保护罩的焊接

2.1.2 网壳杆件应变（应力）

体育馆结构有各种复杂结构相互编织构成的网壳组成。由于独特的结构形式，各部分构件受力状态差异很大且十分复杂。因此，监测网壳结构关键杆件以及内力和应力水平较高的易损杆件是本监测系统最为重要的组成部分。

（1）应变传感器选择和性能指标

目前，可以用于结构表面应变测试的传感器主要有电阻应变计、振弦应变计、光纤光栅传感器、引伸计（通常在监测项目中不予考虑）等，各种不同类型应变传感器性能如表 2.6 所示。

电阻应变片体积较小，价格较低，测量灵敏度高，可以实现温度变化的自补偿，可以进行动态测试；但是电阻式应变片输出信号小，动态响应较差。此外，对粘贴技术要求很高，对绝缘度要求也很高而且需要进行长导线电阻影响的修正。

振弦式应变传感器也是一种应用较多的应变传感器，它的特点是对粘贴要求不高，对绝缘度和导线长度没有要求，并且经过长期的、大量的现场观测实践证明振弦式应变传感器是一种适应性强，且稳定可靠的应变传感器，非常适合结构的静态应变的测量，但振弦式也存在无法测量动态应变的不足。另外，其电信号的传输和采集较容易受到其他电磁源的干扰和影响，在长距离传输方面也存在较多问题。目前，通过国内外大量研究，人们越来越多地使用光纤光栅应变传感器。

光纤光栅应变传感器是近些年来出现的一种新型应变传感器，它的特点是有体积小、重量轻、柔软、灵敏度高等特点。与传统应变传感器相比，其抗电磁干扰强，除此之外它最大的优点就是耐久性极强，尤其适合结构健康监测系统的长期应变测量，这一点是其它应变传感器无法比拟的。表 2.7 给出了因此本设计方案所采用的光纤光栅应变传感器的性能参数要求。

表 2.6 应变传感器性能对比表

原理与性能比较	应变测试手段		
	电阻应变计	振弦应变计	光纤光栅应变计
原理	应变引起电阻的变化产生输出信号	振弦频率与弦拉力成正比例	应变引起波长漂移
线性	较好	好	好
耐久性	差	一般	好
灵敏度	低	较高	高
精度（ $\mu\varepsilon$ ）	3~5	2~3	1~2

绝对测量	不能	不能	能
分布式测量	不能	不能	能
布设与线路	大	大	容易
抗电磁干扰	差	差	好
传感头费用	低	高	较高
大规模传感器 信号采集设备费用	较高	高	较高
单价水平	低	低	较高

表 2.7 光纤光栅应变传感器在 20℃ 下的主要性能指标

性 能	指 标
量 程	$\pm 1500 \mu\epsilon$
精 度	$3 \mu\epsilon$
分辨率	$1 \mu\epsilon$
应变灵敏度 (α_ϵ)	$1.18 \sim 1.22 \text{ Pm}/\mu\epsilon$
耐久性	大于 25 年
采样频率	100Hz

(2) 网壳受力特点以及监测杆件布置方案

网壳结构监测杆件的选择主要遵循以下五个原则：A、选择网壳结构传力体系中的关键部位杆件进行监测。这类杆件发生损伤后会对网壳整体受力状态产生重大影响，导致网壳局部甚至整体破坏的严重后果；B、优先选择网壳结构中应力水平高的易损杆件；C、在前两个原则的基础上，监测杆件的分布应尽可能均匀，以反映整个网壳的受力状态，为结构整体模型修正提供必要的信息；D、在选择监测杆件时，利用网壳结构沿南北中线对称特性，大多数监测杆件采用非对称布置方式，利用较少的监测杆件获得尽可能多的结构受力信息，少量监测杆件采用对称布置方式，对监测数据的对称性进行检验；E、根据先期对网壳部分杆件和节点进行了实验研究，本方案优先选择实验的杆件和节点进行监测，以验证实验研究的结果。

(3) 传感器在监测杆件上的布置方式

根据网壳不同部分杆件的截面形式，以及杆件所需监测内力种类，合理选择应变传感器布置方式。

2.1.3 监测系统传感器统计

体育馆运营健康监测的传感器及设备汇总列于表 2.10 中。

表 2.10 体育馆结构健康监测传感器类型个数汇总表

监测项目	传感器选择	数量	型号
温度	光纤光栅温度计	50	MAS-GXWD
应变/应力	光纤光栅应变计	500	MAS-GXYB
光纤光栅解析	光纤光栅解调仪	5	MAS-IFBG-24

2.2 数据采集子系统及传输子系统

2.2.1 数据采集系统设计

数据采集系统的设计考虑数据采集系统的总体构架、数据采集系统的软件、硬件、数据采集策略等几个方面。

虽然体育馆结构跨度较大，但相对于信号传输来说距离并不是很长，信号衰减不明显，因此，采用一个数据采集进行数据的集中采集。数据采集设在地下室的备用机房内。

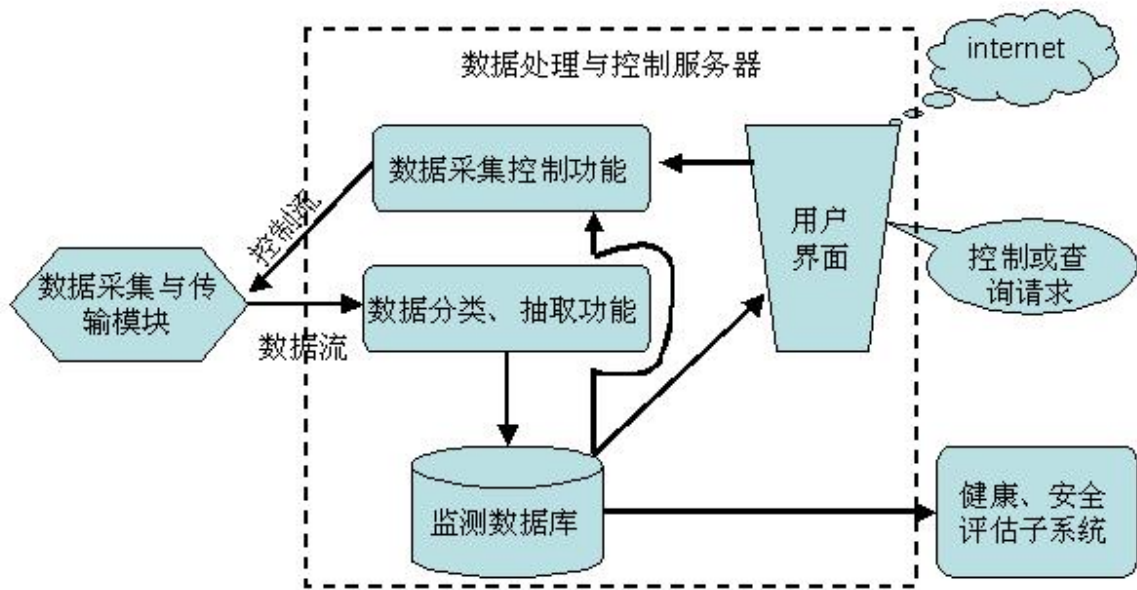


图 2.4 数据处理与控制子系统构成示意图

数据采集策略将分为动态数据采集和静态数据采集，数据采集制度需采用阈值和定时两种方式（在监测系统运行的初期，采取 24 小时连续采集的策略；运行 30 天后，对数据进行分析，确定触发采集系统的阈值和确定定时采集的具体时间段），采样频率将根据结构的计算结果确定，但需保证数据具有间隔实时对应关系。

数据处理与控制子系统完成监测数据的校验、结构化存储、管理、可视化以及对监测采样的控制等工作。数据处理与控制子系统具有监测数据的校验、数据的初步分析、数据的结构化以及存储查询和可视化、能够响应后续功能模块对数据的请求、能够控制传感器子系统的采样的功能。

数据处理与控制子系统总体构成如图 2.1 所示。

2.2.2 数据采集硬件

基于 PC-BASED 的 DA&C（数据采集和控制）系统，与基于 PLC 的顺序逻辑控制系统和基于 DCS 的大型控制系统相比，硬件价格低、易使用、开放性强、运算能力强、通讯能力强、开发成本低廉。因此，基于 PC-BASED 的 DA&C 系统在中小型的非专属测控系统中得到了广泛的应用。基于 PC-BASED 的 DA&C 系统通常有以下两种形式：

(1) 基于板卡的集中式数据采集系统

其基本方式是采用数据采集卡进行数据采集。主要做法是将一块基于 ISA 或 PCI 的板卡插入工业计算机上，将外部信号通过导线引至数据采集卡的外部端子板上，然后通过屏蔽电缆接入数据采集卡。在计算机上，通过定制的软件就可以进行信号采集。其优点是成本较低，速度快，如 1MHz 数据采集等，缺点是可靠性一般，同时布线费用较高。

(2) 基于分布式的数据采集系统

基本方式是采用基于现场总线的数据采集智能模块，流行的现场总线如 RS-485（非严格）、CAN 总线、Profibus 总线等。这种数据采集系统的基本做法是通过现场总线将智能模块引入计算机，上位机通过定制的软件和智能模块通讯。优点是易维护、布线简单、可靠性高，缺点是采样速度低、成本较高。

体育馆结构上传感器的类型主要有光纤光栅应变和温度传感器。温度传感器的采样频率要求较低，为 1Hz，属静态信号，这部分传感器对数据传输速度要求较低。而光纤光栅应变传感器的采样频率则要求较高，为 100Hz，是动态信号，这部分传感器对网络的传输速度要求较高。因此，在结构监测的数据采集和传输设计中，我们遵循的是与传感器性能以及监测信号匹配设计原则。

2.2.3 数据采集软件

根据数据采集与传输系统长时间运行、稳定性高、对数据可以实时处理的要求，系统采用比 Windows9X 更具安全性和稳定性的 Windows XP 作为系统框架。Windows XP 系统框架定义基于流行的 IBM PC 体系结构及其兼容机的系统，它规定了对系统控制器模块系统要求。在此基础上，系统软件结构如图 2.2s 所示。

系统结构自上而下分为应用程序层、仪器驱动层、和 I/O 接口层，应用程序层建立了使用仪器的可视化、交互式集成开发环境，提供了数据的显示、存储、分析以及和其他分析软件接口的功能；仪器驱动层保证了系统硬件在 Windows XP 框架下被正常驱动正常工作；PXI 是系统软件的 I/O 接

口层，PXI 用作系统中触发总线的仪器特性的软件接口，并提供了工控机至所有监测仪器的连接。

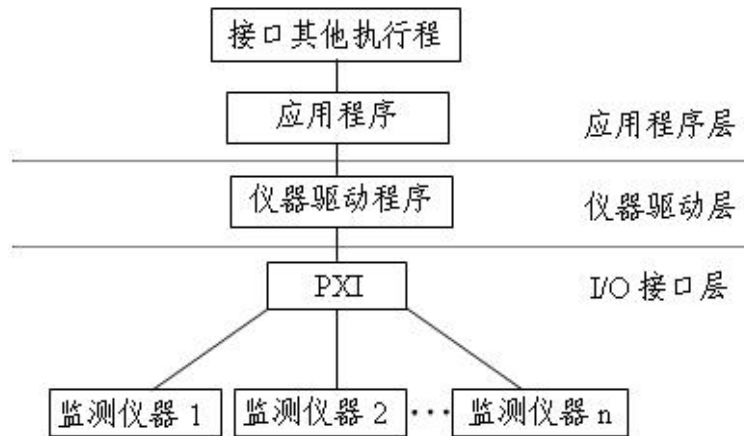


图 2.5 数据处理与控制子系统构成示意图

2.2.4 数据传输

数据传输强调了对于开放空间中广义信息的提取、管理和使用，这种结构的系统将更加有利于提高数据对象信息应用的时效性。并且科研人员和工程技术人员即使不在监测现场，也可以通过网络随时了解现场的监测系统运行情况和系统参数的实时变化，并可根据具体情况通过网络在客户计算机上对在监测现场运行于服务器计算机的控制系统发出命令，及时调整现场控制系统运行状况，从而达到远程控制的目的。在所有现场传感器中，不同信号类型的传感器，其现场数据传输方式也各有不同。

(1) 光纤光栅温度传感器和应变传感器以光的波长信号为信息载体，直接通过普通光纤线进行传输，由于其不受环境、温度、湿度及电磁干扰的影响，可实现长距离传输。因此，结构上所有光纤光栅传感器均通过普通光缆进入数据采集模块控制室，在控制室内利用光解调技术将信号转换为数字信号，通过多通道数字输入卡直接进入计算机。

2.2.5 系统防雷设计

由于结构设计中会设计避雷针或避雷网等来防直击雷，但结构监测系统常常无法避免遭受感应雷。针对感应雷的破坏途径，可采用分流、接闪、屏蔽、均压、隔离、接地及合理布线等现代防雷技术，重点放在电磁感应、

雷电波侵入和雷电地电位反击三个方面进行综合防护，将雷电能量抑止、转换到监测设备和网络系统所允许的安全范围内。在结合结构防雷措施的基础上，结构监测系统防雷设计主要从以下四大方面加以考虑：

（1）电源部分防护，雷电侵害主要是通过供电线路侵入。“电源防雷器”并接在电力线路上，可遏制瞬态过电压和泄放浪涌电流。从总进线到用电设备端通常配置三级防护，经过逐级限压和放电，逐步消除雷电能量，保证用电设备的安全。过电压保护按二级保护设计：建议在高压变压器后端到动力配电箱的电缆内芯线两端应对地加避雷器，作为第一级保护；在所有重要的、精密的设备以及 UPS 的前端应对地加装避雷器，作为第二级保护。

（2）信号部分保护，对于各类信号系统，应分为粗保护和精细保护。粗保护量级根据所属保护区的级别确定，精细保护要根据电子设备的敏感度来进行确定。“信号防雷器”接入信号线路后，一方面要能切断雷电进入设备的通路，同时要能迅速对地放电，另一方面要能确保在正常状态下，通过防雷器的信号不受损害，使设备能正常工作。此外计算机网络系统因主全部为光纤，交换设备在密闭的机柜内，可不考虑接入电口（RJ45）的防雷保护；

（3）光缆桥架管路系统的物理全屏蔽：所有电信号相关桥架管路均做到物理全屏蔽、形成理论上的“法拉第笼”。系统整体的等电位接地：以上三大系统均应接地良好、且采用等电位方式接地、确保无电位差，避免差模干扰的产生。

2.3 数据管理子系统

数据管理中心是健康监测系统的“心脏”，它管理和控制所有的硬件和软件以及监测和分析结果。由于结构健康监测及综合管理系统数据量庞大，数据信息的种类繁多，有多个系统共享数据信息，同时要支持分布式的处理与访问，也要支持多并发用户的操作，并且数据的安全性极为重要。通过建立系统的中心数据库子系统，统一管理组织数据信息，给系统的维护与管理提供便利，也为各应用子系统提供可靠的分布式数据交换与存储

平台，方便开发与使用。独立结构运营健康监测系统的数据库采用 SQL Server 开发。

体育馆结构健康监测系统数据管理中心，不仅包含存储了所有传感器采集的数据的中心数据库，同时也包含了所有与中心数据库发生数据交换的其他功能模块，包括数据采集模块、数据处理模块和结构分析模块、多种网络传输模块等。中心数据库和其他模块之间的交互作用构成了数据管理中心的总体框架，如图 2.3 所示。

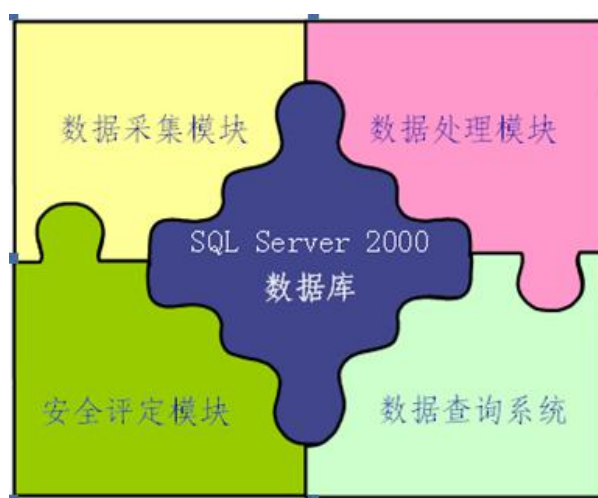


图 2.3 数据管理中心总体框架与模块

2.4 结构安全预警子系统

结构安全预警子系统是结构健康监测系统的的重要组成部分。它对数据管理系统提供的结构温度、杆件应力/应变等信息进行实时的监测和分析处理，当结构观测数据发生异常时（预示结构可能发生损伤）给出预警；综合结构温度和杆件应力/应变等信息，对结构的有限元模型进行修正，利用修正后的模型进行整体结构损伤识别、安全评估及预警。结构安全评定及预警子系统主要实现三个主要功能：1）结构健康状态实时监测与预警；2）结构监测数据深度分析；3）结构损伤识别。

(1) 结构健康状态实时监测与预警

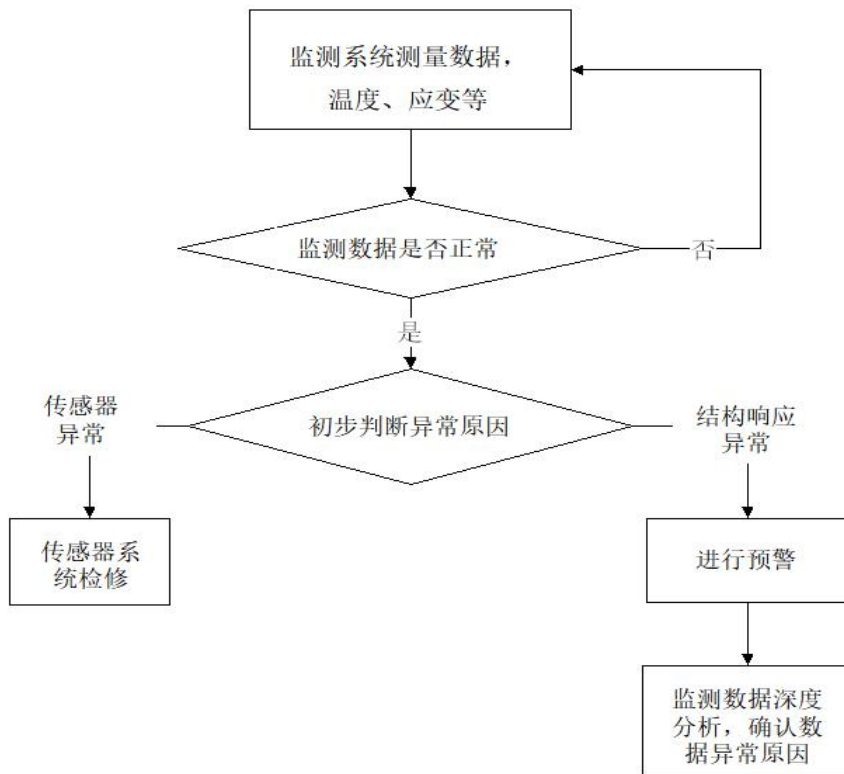


图 2.7 结构健康状态实时监测与预警流程图

实时监测并显示各项监测数据。监测系统测量的作用在结构上温度）和杆件应力/应变，当监测数据发生异常并超过预先确定的预警阈值时，并对异常数据进行初步分析，判断异常数据的原因：如果判断异常数据是由监测系统硬件故障造成的，通知相关单位对监测系统进行检修；如果判断异常数据并非是由监测系统硬件故障造成的，则进行预警，提示结构可能发生损伤，需要对于结构监测数据进行全面深入分析，确定异常数据原因。

预警体系主要作用是在结构实时监测过程中对发生的可能威胁到网壳结构运营安全的可变荷载（如风荷载、雪荷载等）以及结构对其的响应指标（应变、支座位移、振动等）进行预警，提醒网壳管理人员关注结构的运营与安全状况，并根据需要临时启动识别和评估机制以确定结构是否处于安全状态。体育馆结构健康监测系统设置为两级预警：黄色预警和红色预警。

黄色预警是指，当结构观测温度、网壳杆件内力/应力等数据发生较大的异常波动时，预示结构可能发生局部损伤，但损伤未达到致使网壳结构

产生严重破坏或倒塌的程度。系统给出黄色预警，提醒车管理者组织相关专家，对结构健康监测系统的数据进行深入分析，查找可能存在的结构安全隐患；黄色预警系统的建立主要需要确定测量数据在网壳正常工作状态下的名义值以及围绕其值变化的正常波动范围。在健康监测系统设计阶段，杆件内力/应力等传感器数据读数的名义值暂由网壳在恒载和活载标准值作用下的计算所得结构反应确定，而测量数据正常波动范围暂由结构模型计算所得的温度、风、雪等可变荷载组合作用所引起的网壳结构响应的变化范围确定。但是，由于结构计算模型与实际建成结构之间存在差异，上述黄色预警系统所确定的结构测量反应的名义值和正常波动范围，还应根据结构健康监测系统建成后初始运行阶段的实测数据统计结果进行适当调整。

红色预警是指：当结构观测温度、网壳杆件内力/应力等数据接近保障结构安全使用的极限值时（例如，网壳杆件放生屈服或者网壳变形超过规范给定的限值等），预示结构已经出现较为严重损伤，系统给出红色预警，提醒车管理者立即进行人员疏散，并及时通知相关人员进行结构安全检查。根据体育馆结构的结构特点和力学特性，确定各模块预警阈值。

2.5 结构监测数据分析和安全评定子系统

2.5.1 结构累积监测数据深度分析

实现定期对累积监测数据进行全面深度分析，为判断服役结构健康状况以及可能的结构损伤情况，提供重要的基础数据。结构监测数据深度分析主要包括以下两个模块：网壳结构温度场分析模块、关键结构杆件应力/应变；为运营中网壳结构的安全评定提供依据。

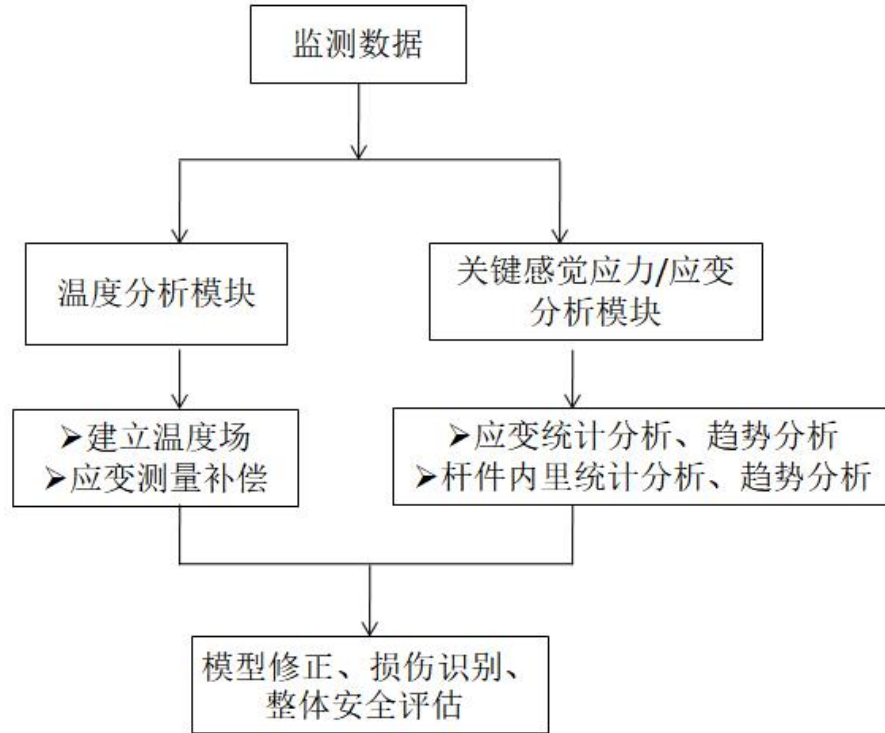


图 2.8 监测数据深度分析模块组成图

2.5.2 结构整体安全状态分析和损伤识别

体育馆结构整体安全状态分析模块是在修正模型的基础上，根据结构温度、杆件应力/应变系统所采集的监测数据，进行体育馆结构的预警与安全评估。该模块主要实现三个功能：（a）结合结构温度场、关键杆件的应变监测数据，对结构的有限元模型进行修正，使模型的整体模态特性以及监测杆件应变的数据与传感器测量的数据尽可能吻合。（b）利用修正的模型，结合结构实测的温度和杆件应变等数据，分析网壳结构整体实际受力状态（包括对未安装传感器杆件的应力状态分析），进行结构安全评估。通过准恒载状态下所采集的温度环境参数，计算求解当前状态的结构内力和变形，根据分析结果对结构的安全性、适用性给出定期的评价，生成各类评估报告（年报或临时事件评估报告等），对网壳结构运营状态进行定性或定量的评价，并明确给出网壳的运营状况或维修建议，为网壳维护、维修与管理决策提供指导和依据。（c）当结构测量数据发生改变，与模型预测值难以匹配时，预示网壳结构系统可能发生了损伤，系统提出预警，并对模型进行进一步修正，以确定结构损伤部位，以及可能的损伤程度。

3 健康监测系统运营管理、系统维护和验收标准

3.1 健康监测系统运营管理

3.1.1 运营管理的目标

钢结构健康监测系统涵盖了结构监测、系统识别和性能评估（离线）等多方面的技术及管理内容，且集软件、硬件和管理于一体，是一个相当复杂和精密的系统，为保证健康监测系统软硬件处于稳定、可靠、顺畅的工作状态，为结构的安全运营提供准确和真实的技术支持，必须制定科学、周密、可行的运营管理方案。

体育馆钢结构健康监测系统运营管理的目标是全面长期监测结构性能参数，及时发现异常事件及预警，定期评估结构安全状态，并保证系统软硬件始终处于稳定、可靠的工作状态。

3.1.2 运营管理的主要任务

钢结构健康监测系统运营管理的主要任务包括以下内容：

运营维护管理：系统运营维护工作的总体规划、日常计划、沟通协调、总结、档案管理、培训管理等管理任务。

日常监控：主要包括结构健康状态、设备工作状态、突发事件预警、结构健康指标预警等情况的日常监测，临时重大事件的跟踪监测等任务。

数据维护：主要包括结构健康监测软件的日常管理、基础数据的管理和维护、人工巡查数据的管理和维护。

数据分析与评估：包括结构健康指标预警信息的管理、预警的评估（离线）、离线评估报告的组织管理、监测数据分析管理等。

系统维护：主要包括结构健康监测系统软硬件系统的巡查、养护、故障处理及升级等工作。

3.1.3 运营管理的组织结构框架

根据结构健康监测运营的目标和任务，由铁路总公司运输局和北京局土房处共同研究制定运营管理的组织结构框架和管理细则，并建立相应的

岗位职责和任务分工。

3.1.4 系统后期预警处理

1) 结构监测系统预警的一般处理

在没有飓风、暴雪、地震等极端荷载作用下，各监测量预警系统预警时可采用以下应对措施。

b) 温度红色预警：当网壳结构温度超过允许值，对预警信息进行记录，并加强结构巡检，检查结构是否出现损伤迹象。

e) 网壳杆件应力黄色预警：当网壳杆件监测应力变化幅值超过一定限时，采用以下措施。巡查人员确认异常—通知养护单位现场检查—现场管理人员根据监测数据和现场检查情况的分析评估：检查传感器是否正常工作，检查附近杆件监测应力是否发生异常—如有必要申请深度分析（离线方式）—现场处理、24 小时值守控制中心直至预警解除。

网壳杆件应力红色预警：当网壳杆件监测应力接近其强度设计值时，采用以下措施。巡查人员确认异常—成立处理领导小组—通知养护单位现场检查—现场管理人员根据监测数据和现场检查情况的分析评估：检查传感器是否正常工作，检查附近杆件监测应力是否发生异常—申请深度分析（离线方式）—成立专家组—现场处理、24 小时值守控制中心—根据情况决定是否上报至上级机构。

在出现大风、高温、暴雪等极端天气状况情况下可采用下列的安全预案。

大风及高温的报警安全预案：如温度传感器系统发生黄色或红色预警，而其他模块未发生预警的，提示管理者加强巡查，做好防范。

大雪的预案：发生大雪，应及时进行清雪，并随时查看各监测项目的数据变化和预警情况。在下雪期间发生黄色报警的，应组织人员采取必要的清雪措施，避免雪载再次积累。

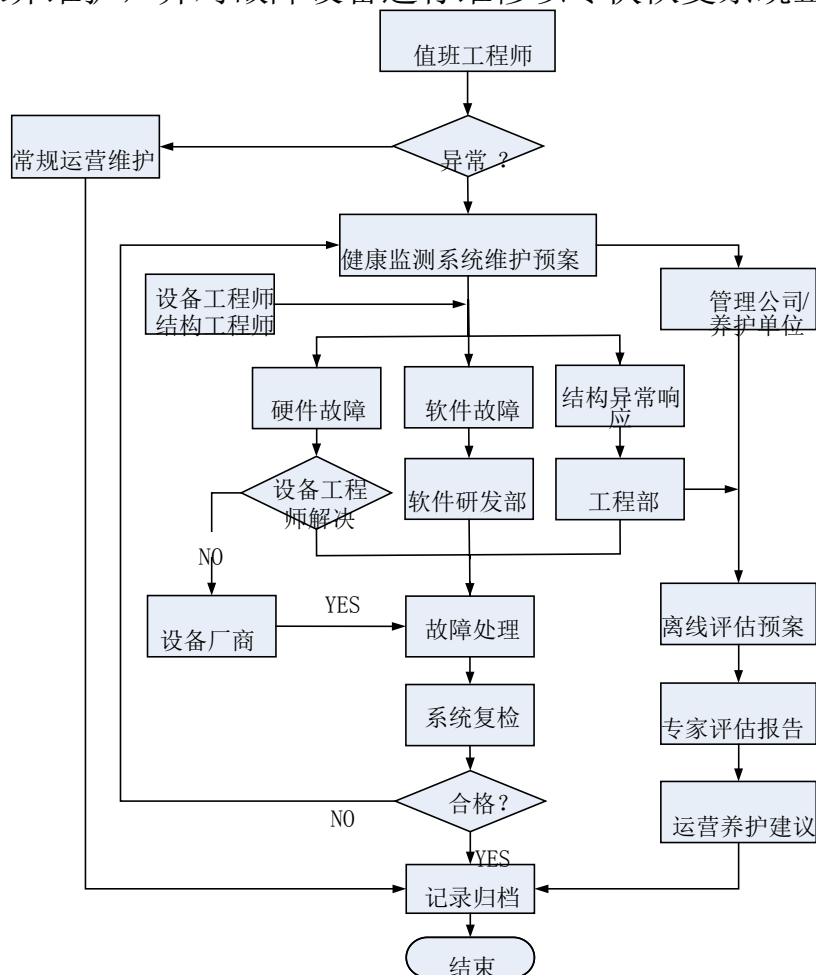
3.2 健康监测系统的系统维护

监测系统建成并完成零状态初检后，正式进入结构健康监测期。由于

传感器的安装和监测设备的安装是在结构施工期进行的，因此，应根据传感器和设备的保修应根据购买合同规定的保修期执行。保修期结束后，对于传感器和设备的维修，所需的材料费由业主承担，系统实施者只提供三年的免费人力服务。结构正式投入使用后，系统实施者免费提供三年（每年一次）的监测数据深度分析。

在监测系统运行过程中，如传感器发生损坏不能正常工作，在条件允许的情况下，应对损坏的传感器进行及时更换，以保证结构全寿命期档案的信息完整性。

为保证体育馆钢结构健康监测系统所有软硬件的稳定运行，由运营公司和维护单位组织维护维修人员编制相关维护手册，对系统组织定期巡检和保养维护，并对故障设备进行维修以尽快恢复系统正常使用。



注：在合同期内，设备硬件维修或更换由系统实施者负责。

图 3.1 健康监测系统运营维护基本流程

(c) 设备维护

健康监测系统的设备维护包括现场设备和监控中心设备的维护，为了规范日常维护工作，将日常维护内容划分为日、周、月、半年和年等 5 个作业等级。

日维护作业内容：对监控中心的主要机电设备的外表面进行清洁，检查显示终端反馈的系统运行是否正常；

周维护作业内容：对监控中心的主要机电设备进行现场巡检、保洁；

月维护作业内容：对监控中心及外场主要的机电设备和设施进行巡检；有针对性地检查设备机柜的内部状况，并做好清洁工作；整理系统数据库文件，并备份相关的数据；

半年维护作业内容：对主要设备的技术性能进行检测、校正；

年维护作业内容：对主要设备和设施的技术性能进行恢复性的维护、调试、校正。

故障处理

主要包括为健康监测控制中心机房设备故障、传感器处理，故障处理流程如下图所示。

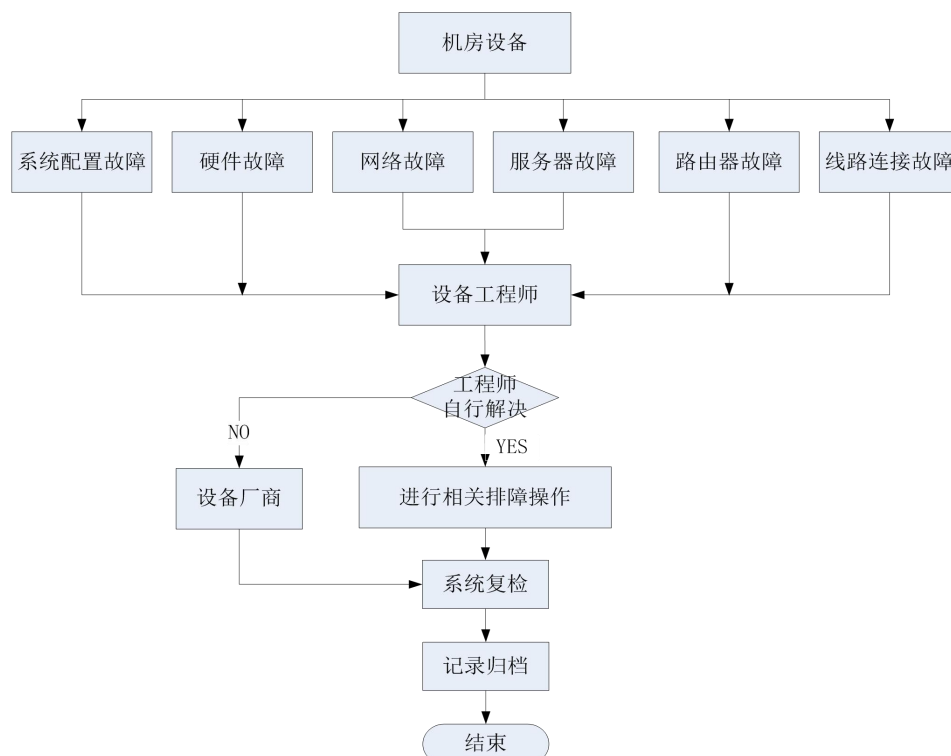


图 3.2 机房设备故障处理流程

(d) 软件子系统维护

软件子系统的日常维护工作主要有：

每月对所有软件模块进行功能性维护，确保软件功能正常工作；

每月对系统程序和数据库、数据文件进行增量备份；

健康监测系统使用月报维护，涵盖健康监测系统硬件和软件的月度使用情况；

健康监测系统使用年报维护，涵盖健康监测系统硬件和软件的年度使用情况；

健康监测系统维护的文档管理，建立一套电子文档系统，全面管理健康监测系统使用阶段的各类工作文档，以便更好地服务于系统的维护，方便相关信息的追溯和相关性查询。

(e) 系统管理人员及培训

监测系统的实施者免费为业主培训监测系统的管理和使用。监测系统的运行管理应充分利用珠海口岸工程检测人员，做到人员不重复设置，能兼顾健康监测系统就尽量兼顾。

3.3 健康监测系统的质量验收标准

体育馆钢结构健康监测系统建成正常运行一个月后，由相关部门组织系统验收。验收的主要内容包括：传感器子系统和整体性能指标验收，具体的验收标准还需甲方提出需求。