

基于传感器网络的桥梁健康监测系统的研究与设计

陈得民

(北京必创科技股份有限公司 北京 100085)

摘要:本文主要通过传感器网络技术,将温度传感器、应变传感器、位移传感器等与动态称重系统进行系统集成,完成了对桥梁结构的安全监测,及时发现桥梁损伤,为桥梁维护管理提供技术依据,辅助桥梁日常交通管理,确保了桥梁的安全运营。本文主要对系统的整体架构、传感器网络系统、数据采集系统及软件系统的设计进行详尽的阐述。本文的论述,给桥梁工程领域提供了很好的健康监测应用案例,对从事该领域的工程技术人员具有重要的参考意义。

关键词:健康监测 传感器网络 数据采集系统

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2016.01.002

1 桥梁健康监测系统概述

1.1 系统实施意义

对于桥梁来说,建设结构健康监测系统的主要理论和实践意义包括:

(1) 设计验证,确保桥梁安全

在悬索、斜拉等大型桥梁设计阶段,许多因素具有不确定性,荷载方面如风荷载的最大风速、功率谱主要成分、风攻角以及空间相关性等;汽车荷载的车型、轴重分布等;抗力方面如加劲梁整体刚度、截面抗风特性等。并且大型桥梁本身就具有力学和结构上的复杂性,设计阶段完全掌握和预测结构的力学特性和行为是非常困难的。因此,在设计阶段通常采用较大的安全系数(也就是较大的设计冗余度)来保证桥梁的安全,然而大型复杂桥梁极限状态往往是动力失稳而非强度破坏,高的强度安全系数未必就能够保证桥梁的安全性。在桥梁上安装监测系统不仅可以对荷载和结构响应进行监测,还能为桥梁的静力和动力性能分析提供实时数据,从而能对桥梁设计假设进行验证,判断桥梁的安全性。

(2) 及时发现桥梁损伤

国际上结构健康监测领域的研究重心在于结构损伤识别,这些理论认为结构健康监测的核心就是损伤识别,没有损伤识别能力的监测系统不是真正的监测系统。结构健康监测系统应该具有

损伤识别能力,这是无可非议的,然而,现有的理论和实践水平还不能完全实现这个要求。这就要求结构健康监测系统实行开放式设计,在系统运营中能够不断吸收国内外相关的科研成果,同时在传感器布点以及采样频率选定时要考虑损伤识别的要求。

(3) 为桥梁维护管理提供技术依据

桥梁使用过程中其结构承载能力不断退化,为了维持一定的服务水平需要定期对桥梁进行修理。什么时候维修?每次维修采取什么维修方法(直接决定成本)?这两个问题的解决需要了解结构的健康状况和荷载状况。对于一般桥梁通常采用人工检查的方式来获得这些信息,有时还通过动静载试验对桥梁进行详细的结构评估。然而对于使用中的大型桥梁而言,仅仅依据人工检查获得的信息不能对其承载能力进行较好的评估,而对其进行动静载试验由于激励源以及阻断交通的影响又往往不可行,所以安装桥梁结构健康监测系统,实时对桥梁进行“试验”便成了较好的选择。

(4) 辅助桥梁日常交通管理

交通管理包括重载车辆的管理和在大风地震情况下交通管理,可在道路上安装汽车称重系统,及时发现超载车辆并拦截,避免其对桥梁造成损伤;对不同风速下交通管理规定,可通过安

装风速仪和GPS来实现。广东虎门大桥安装的GPS系统,其初衷就是在大风天气下对交通进行管理。

1.2 系统基本框架

通常意义上,桥梁结构健康监测系统由以

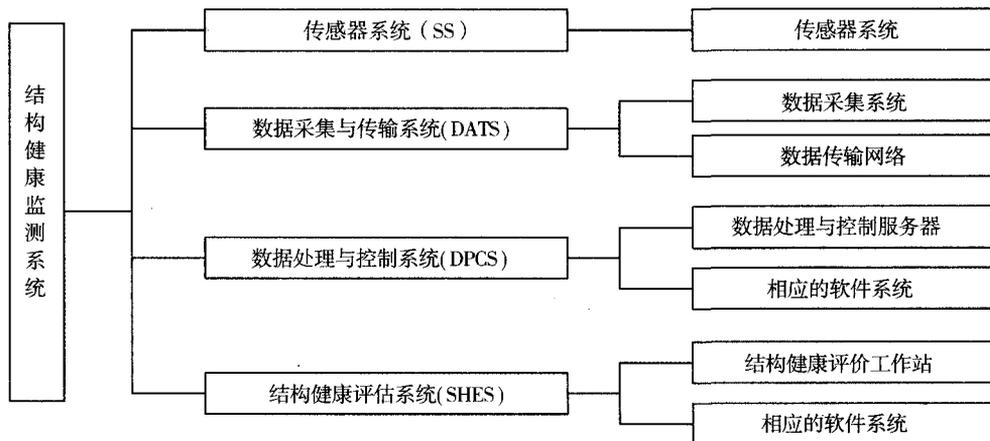


图1 桥梁结构健康监测系统框架图

根据各系统功能所处层次的不同,桥梁结构健康监测系统的功能实现可分为以下四层:

(1) 数据采集层

安装于桥梁各关键部位的传感器获取到的信号,通过电缆或光缆接入采集系统。数据采集层的主要工作是采集这些接入采集系统的数字信号或模拟信号。数字信号一般是RS485/RS422/RS232等数字信号;模拟信号一般是电压、电流以及光信号。

(2) 数据预处理及传输层

一般而言,传感器信号激励较弱,特别是毫伏级别的信号在传输过程中更容易受到干扰。同时,还需要将电压或电流信号转化成具有工程单位量纲的值,所以在数据采集层后需要进行数据预处理,预处理一般包括信号放大、信号调理、信号转换和工程单位转换等,通常这些工作都是在数据采集系统中完成的。数据采集系统将传感器系统采集的各种传感器信号通过预处理将之转换成数字信号,然后再通过数据传输网络将预处理后的数据传输至数据处理与控制系统中。

(3) 系统控制与数据处理层

系统的控制和数据处理工作由数据处理与

下四个子系统组成,系统框架如图1。

1. 传感器系统(SS);
2. 数据采集与传输系统(DATS);
3. 数据处理与控制系统(DPCS);
4. 结构健康评估系统(SHES)。

控制系统来完成,内容包括:

- 1) 对传感器系统和数据采集系统的运行进行控制、管理;
- 2) 对所有来自数据采集系统的数据进行选择、处理、分析、显示;
- 3) 数据的入库和出库操作。
- 4) 管理系统数据库。

(4) 结构健康评价层

结构健康评价工作由结构健康评价系统来完成,内容包括:

- 1) 分析、解释监测数据,并将其与定期的历史检测、监测数据和设定的标准数据进行对比;
- 2) 对监测的结构进行高级有限元分析,如结构的非线性静动力分析、抗风抗震分析、结构的稳定性分析和结构损伤分析;
- 3) 显示、存档/存储所有分析结果;
- 4) 生成结构健康监测报告和评估报告。

2 系统总体设计[1~3]

2.1 系统主要功能

(1) 桥梁线形监测

通过对关键截面位移监测点的连续采集,监测桥梁在运营荷载作用下的桥梁线形变化情况,

为桥梁整体状况评估提供数据。

(2) 桥梁动力特性监测

通过对关键断面上的振动监测点的连续采集,监测桥梁在运营荷载作用下的桥梁动力特性参数(频率、振型和阻尼)和振动水平(振动强度和幅度),从而掌握和预警桥梁结构受活载冲击情况和桥梁结构刚度变化的情况。

(3) 桥梁交通荷载监测

交通荷载监测主要是通过动态称重系统(WIM)在不中断交通的情况下记录车流量、车速、轴重、轴距等关键交通荷载信息,经分析统计其汽车荷载模型,用于桥梁承载能力评定,并辅助进行日常交通管理和桥梁结构安全管理。

(4) 关键截面应变监测

通过对关键断面上的应力(应变)监测点的连续采集,监测桥梁在运营荷载作用下的工作性能,从而掌握和预警桥梁结构受活载冲击情况和桥梁刚度变化的情况;并且通过对比在一段时期

内的桥梁主要测试断面的应力变化情况,可为识别桥梁结构是否存在病害提供分析数据。

(5) 结构温度监测

通过对关键断面上的温度监测点的连续采集,监测桥梁结构温度分布,并为所在截面应变监测提供温度补偿,为桥梁健康评估提供分析数据。

(6) 梁端位移监测

通过对梁端位移变化情况的连续采集,为桥梁健康评估提供分析数据。

2.2 系统整体结构设计

四川内江集群式桥梁(沱江大桥、西林大桥、桐梓坝大桥和新坝大桥)结构健康监测系统采样“分布式布点、集中采集、集中管理”方式,每个桥根据自身特性设置测点布设;并在各个桥梁建立采集点,进行数据采集;各个采集点采集到的数据传送到监控中心,进行集中管理。该集群式桥梁结构健康监测系统整体结构图如图2所示。

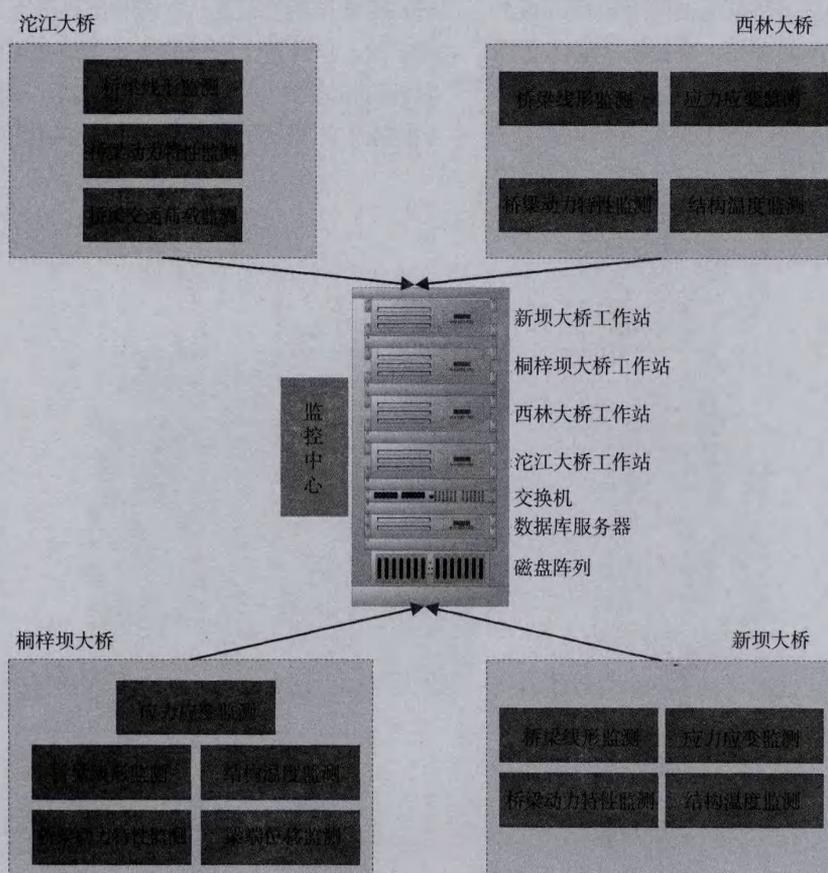


图2 系统整体结构

该监测系统由传感器子系统、数据采集与传输子系统、数据处理与控制子系统和结构安全评估子系统组成。

(1) 传感器子系统

该集群桥梁监测系统共安装以下6种传感器：加速度传感器、位移传感器、光纤温度计、光纤应变传感器、动态称重系统(WIM)和静力水准仪。

(2) 数据采集与传输子系统

数据采集与传输子系统由数据采集子系统和数据传输子系统组成。

数据采集子系统包括以下几种采集仪：光纤光栅解调仪、WIM主机、通用采集仪和数字信号解调仪。光纤光栅解调仪用于采集光纤应变传感器和光纤温度计输出数据；WIM主机用于采集地感线圈和称重传感器输出数据；通用采集仪用于采集加速度传感器输出数据；数字信号解调仪用于采集静力水准仪和位移传感器输出数据。

数据传输系统由桥址通信网络、骨干光缆和监控中心局域网构成。桥址通信网络包括局部通信网络、子网通信网络和桥址交换机。局部通信网络用于连接传感器系统与相应的数据采集设备；子网通信网络用于将通用数据采集仪、光纤

光栅解调仪、WIM称重主机等接入桥址交换机；骨干光缆用于连接桥址交换机与监控中心交换机；监控中心局域网则用于监控中心设备间的数据通讯。

(3) 数据处理与控制子系统

数据处理与控制子系统由沱江大桥工作站、西林大桥工作站、桐梓坝大桥工作站、新坝大桥工作站和数据库服务器组成，用于对现场采集设备和传感器进行控制，并对采集回来的数据进行处理。

(4) 结构安全评估子系统

结构安全评估子系统由服务器及相应的评估软件组成，用于对桥梁的结构健康情况进行评估。

2.3 系统软件架构设计

(1) 软件系统整体架构

该集群式桥梁结构健康监测系统为分布式监控系统，所有系统功能的实现与系统的软件结构密切相关。监控系统中各种传感器的采集数据都将作为后续结构健康评价的基础数据进行综合分析，因此虽然各系统从功能和结构上而言是分布建立的，但其整个系统的所有软件必须作为一个有机的整体进行设计、匹配和调试。本设计中，该健康监测系统的整体软件架构如图3所示：

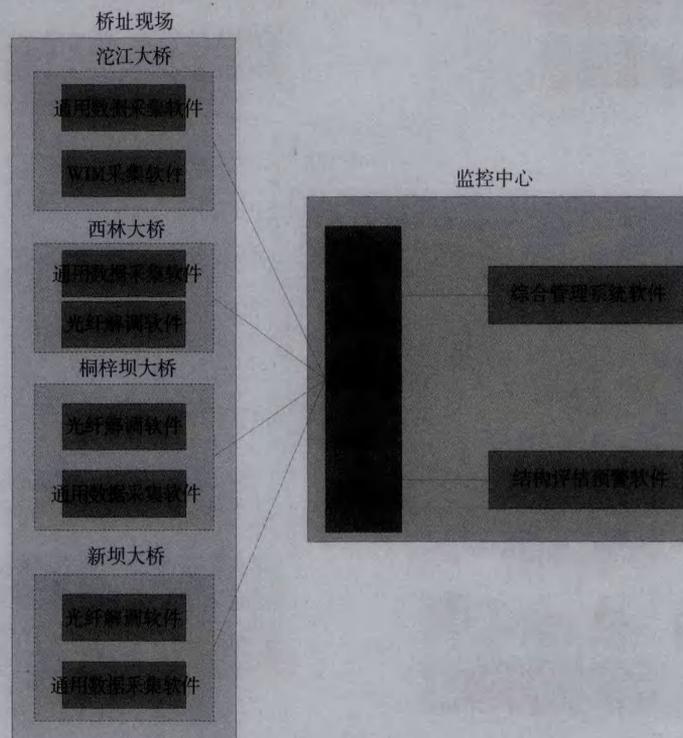


图3 系统软件架构

桥址现场通用采集软件和光纤解调软件运行在桥址现场工控机中, WIM采集软件运行在WIM主机中; 数据库管理系统软件运行在监控中心数据库服务器中; 综合管理软件和结构评估预警软件运行在客户端机器中。

(2) 软件系统设计原则

1) 整体规划、统一管理: 为了保证各种应用系统能够无缝连接, 必须要从整体上进行规划, 建成统一管理、资源共享、安全可靠的一个“完整系统”, 不仅要便于数据信息的管理, 而且保障系统内部具有公共基础的信息资源充分共享。

2) 系统性能优良: 充分考虑选择相对成熟、代表业界领先标准、引导发展趋势的软件开发平台, 保证软件系统整体性能高、速度快、功能全、稳定性好。

3) 稳定可靠、安全保障: 从系统稳定、信息安全的角度, 应整体考虑设计, 使各软件系统具有较高的安全系数和备份系统。为防止系统被攻击, 应从内部访问控制和外部防火墙两方面保证信息系统的安全。

4) 应用协同: 各软件系统必须满足业务应用之间应用协作和信息交换的要求, 与当前的各应用系统全面兼容。

5) 技术先进、规范标准: 各软件系统必须具备“标准”和“先进”的特点。在软件系统构架、信息交流、安全控制等各个方面充分体现软件系统的先进性, 同时也要注意技术的成熟性。标准化的开发设计工程能保证软件系统的共享性、互操作性、可扩充性、可管理性, 使之成为一个开放式、遵循国际标准的软件系统。

6) 便于扩充、维护简便: 为了适应计算机技术及网络技术的发展, 并满足监控中心自身升级的需要, 软件系统设计必须具备易扩充性与易维护性。要求软件系统在无需长时间中断系统运行的情况下实现系统的扩充和升级, 以满足不断增长的应用需求。同时, 应考虑到软件系统完成后, 后期的网络日常维护和操作的直观、简便和高效率能得到充分的保障。

3 传感器网络系统设计[4, 5]

3.1 布点原则

大桥结构健康监测的基本监测功能将通过传感器系统来实施, 传感器的测点布置决定了系统的功能和效率, 从这两个角度出发, 本系统的测点布置应遵循以下两个前提原则:

(1) 应从大桥结构特点和实现系统功能的角度出发进行传感器的测点布置, 同时考虑系统的经济性和可靠性;

(2) 传感器测点的布置以把握结构宏观量为目标, 因此在建立大桥结构健康监测系统的同时, 必需考虑建立与之相应的人工检查制度以完善数据的收集, 从而有利于更为准确的对桥梁结构的健康状况进行评估。

3.2 监测内容

基于上述布点原则, 本系统设计的监测项目包括: (1) 荷载源监测(输入参数), 主要是交通荷载监测; (2) 桥梁响应监测(输出参数), 包括线形监测、位移监测、应力/应变和振动监测; (3) 传感器系统包括6类传感器: 加速度传感器、位移传感器、光纤温度计、光纤应变传感器、静力水准仪和动态称重系统(WIM)。

3.3 温度传感器

3.3.1 监测内容

温度测量包括结构温度、有效温度和有效温度梯度等几项。根据测量的用途划分, 该系统中温度传感器有以下几类:

混凝土结构温度传感器(CT): 该类温度计用于测量混凝土桥塔的温度场。

用于温度补偿温度传感器: 用于温度补偿温度计用于修正温度对应变传感器的影响。

3.3.2 监测方法

混凝土主梁或桥塔内部温度采用表面式光纤温度传感器。

光纤温度传感器采用动态连续测量方法, 采样率为50Hz。光纤温度传感器输出的光信号传输至相应数据采集单元(DAU)。

3.4 WIM

3.4.1 监测内容

汽车荷载是运营中桥梁最主要的活载,也是桥梁评估最重要的活载。工程实践中,国内对桥梁进行评估时都采用设计规范的汽车荷载,这将会两种可能:如果规范的汽车荷载比桥梁上实际的荷载大,那么按规范评估的桥梁将会加固过头,从工程经济角度分析来看,将运营中桥梁承载能力提高一个量级的成本,比新建桥梁提高相同的量级的成本高几倍,这样会带来加固维修费用的浪费。如果规范的汽车荷载比实际荷载小,按照规范评估后的桥梁往往维修不足,那么存在桥梁安全隐患,一旦出现桥梁安全事故损失巨大。

因此,在沱江大桥上采用的动态称重(WIM)系统应具备但不限于以下功能:

- (1) 收集交通量、车重和车速等统计数据;
- (2) 统计超载超速;
- (3) 荷载流分析;
- (4) 统计单轴轴重和轴间距;
- (5) 分析等效标准轴重;
- (6) 进行车辆分类。

3.4.2 监测方法

动态称重系统设计为独立系统,由高速称重主机、压电传感器、地感线圈等三部分组成。监测数据经高速称重主机采集后通过桥址交换机直接传输至监控中心。

动态称重系统是在不中断交通的情况下通过压电传感器测试交通荷载信息。此系统每车道安装2条压电传感器及感应线圈的传感器。系统控制器设备安装在路边机箱内并与道路上的传感器连接。可监测到车辆通过压电传感器时产生的信号,此信号可以用来计算轴负荷、车速和车辆轴距。路面内部的温度传感器所测试的温度用于车辆轴荷载数据记录器的温度校正,利用网络系统温度补偿算法连续不断精确调整进行温度补偿直至最佳的系统性能。

3.5 应变传感器[4]

3.5.1 监测内容

应变传感器主要用来监测桐梓坝大桥和新坝大桥关键截面的应力/应变。

3.5.2 监测方法

关键截面的应变监测采用光纤光栅应变传感器。光纤光栅应变传感器采用动态连续监测的方式,采样频率为50Hz,采样时间与间隔根据实际情况和具体要求来进行设置。光纤光栅应变传感器通过专用的光纤调制解调仪来进行数据采集。

3.6 位移传感器

3.6.1 监测内容

位移传感器用来监测大桥运营过程中主梁的梁端位移,主要监测梁端顺桥向位移的变化。

3.6.2 监测方法

位移传感器采用连续监测,监测信号通过局部通讯网络传输至数据采集单元(DAU)。

3.7 加速度传感器

3.7.1 监测内容

加速度传感器主要用来进行大桥的结构振动监测,其监测的主要内容包括:

主梁振动监测:监测主梁关键截面位置处的竖向振动、横摆以及截面自身的扭转。

3.7.2 监测方法

本系统中的用于振动监测的加速度传感器采用单向加速度传感器和双向加速度传感器。加速度传感器采用动态连续监测的方式,采样频率为50Hz,采样时间与间隔根据实际情况和具体要求来进行设置。加速度传感器的输出信号为模拟或者数字信号,采用电缆线连接到通用数据采集仪中,在采集仪中实现同步采集,数据采集与控制软件自行开发。

3.8 静力水准仪

3.8.1 监测内容

静力水准仪主要用来监测桥梁线形变化。

3.8.2 监测方法

静力水准仪采用静态连续监测的方式,采样频率为30分钟/次。静力水准仪输出数字信号,通过RS485总线传送到采集站进行数据采集。

4 数据采集与传输子系统设计

数据采集系统由各种数据采集设备构成,用于WIM、加速度传感器、位移传感器、应变传感器、温度计和静力水准仪并进行预处理。根据传感器信号种类、工作原理及其采集方式的不同,该集群式桥梁结构健康监测系统包括以下3种采

集设备:

(1) 通用数据采集仪: 用于实时采集加速度传感器、位移传感器和静力水准仪输出数据;

(2) 光纤光栅解调仪: 用于实时采集光纤光栅传感器的数据;

(3) 高速称重主机: 用于实时采集桥上交通荷载的车速和车载情况。

5 系统软件

5.1 数据采集控制软件

系统对采集站及采集软件的要求如下:

(1) 能够自动运行

采集站开机后能自动运行采集程序;

(2) 持续工作能力强

要保证这点除了选择高性能的工业控制计算机外, 还和操作系统等诸多软件因素存在着关系, 但是系统运行的应用程序对其性能有着很大的影响, 所以在软件设计时, 应该尽量让软件结构简单;

(3) 智能化

工业控制计算机能在恶劣的工作环境下持续工作, 但是, 系统的稳定是相对的, 当它发生错误时, 就需要对其进行解决。让人频繁地到现场

解决和处理错误会带来不必要的经济损失, 更关键的是, 等人赶到现场并进行错误处理的这段时间, 采集站处于无工作状态, 势必会造成数据的中断, 对桥梁健康分析造成影响。因此, 工控机应该具备自己处理部分故障的能力, 可在系统中设定一些错误捕捉和自动处理机制, 从而提高系统的稳定性和可靠性;

4) 软件应具有高可靠性、高可移植性和可维护性

高可靠性要求程序结构简单, 并经过严格测试; 可移植性要求使用通用编程方法; 可维护性要求具有详细的软件设计文档、使用手册、软件说明书等, 并要求程序具有高可读性。

数据采集控制软件主要完成的功能如下:

1) 参数配置: 对传感器、采集设备、数据库、网络参数等进行参数配置;

2) 数据采集: 按照设定好的采样率进行数据采集;

3) 数据展示: 将采集到的时程曲线实时展示给用户;

4) 数据存储: 将采集到的数据存储到数据库中(如图4所示)。



图4 现场采集及传输

5.2 数据库管理系统软件

(1) 第一步: 数据需求分析

桥梁结构健康监测系统中的实体主要由两大部分构成。

1) 动态部分: 各种传感器实时采集到的原始数据。

2) 静态部分: 包括传感器系统的位置、状态、采样参数、生产厂商、维修记录等信息; 桥梁的初始指纹测试数据; 桥梁设计资料; 采集系

统和数据处理系统的硬件资料、运行状态、系统参数设置等信息; 经过处理的原始数据以及系统评估报告。

(2) 第二步: 数据库逻辑结构设计

这一阶段主要依据系统的需求, 进行数据内部以及外部关系的分析。该结构至少满足第三范式。如图5所示。在此基础上对数据库的数据量、数据流量、响应速度进行估算分析, 这样数据模型就产生了。

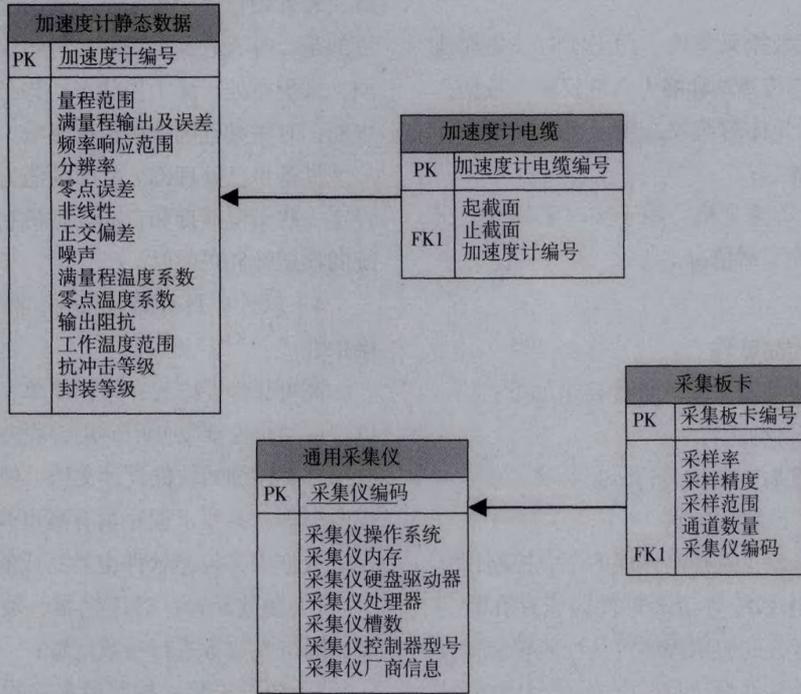


图5 数据库逻辑结构图

(3) 第三步：数据库物理结构设计

为了使数据在读写操作和查询操作中速度更快，将采用映射在不同驱动器上的Hash分区表技术来规划数据。如果表的某个分区出现故障，表在其他分区的数据依然可用。根据之前统计的数据量大小，确定出Oracle数据库中redo日志的大小，rollback段的大小等。桥梁结构健康监测数据库实时性高、数据量大，需建立在表空间上。如图6所示。

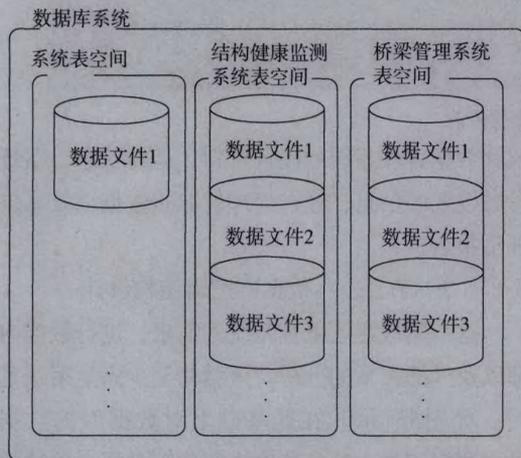


图6 数据库物理结构图

(4) 第四步：数据库性能调整

这一阶段的主要任务是对以下四项内容：本地操作系统运行参数、数据库实例数目、Oracle系统全局区 (SGA) 参数以及SQL语句的执行效率进行性能调优，以确保系统数据库的高效运行。其中，最为重要的是SGA中的共享池 (Shared Pool) 和数据库缓冲区 (Database Buffer Cache) 的大小，如图7所示。



图7 数据库系统全局区图

(5) 数据库备份策略

数据库备份策略采用完全+差异备份，备份内容为Oracle数据库中的数据文件。每周六0:00做一次全备份，其余天数做相对于周六全备份的

差异备份，如图8所示。

备份操作由第三方提供的商用备份软件完成，为保证系统不间断运行，备份方式为联机备份。

5.3 结构评估预警软件

在以往的监测系统设计中，关于桥梁监测数据的管理问题常被忽视，以致大大降低了监测系统的作用和功能。结构评估预警软件用于对桥梁进行评估、预警操作，建立一个有效的数据综合评估系统可以有效的提高监测系统的功效并预见可能的桥梁危险系数。

数据综合评估系统应根据监测数据、状态及损伤识别结果、损伤直接检测的数据进行综合的评估。评估结果应明确、直观，面向多级桥梁管

理人员，并明确给出桥梁的运营状况及维修建议。综合评估采用自动评估及专家评估相结合的方式，自动评估由计算机自动完成，专家评估根据需要按监测系统实施组→大桥设计组→专家组的递进方式定期进行。本项目运营监测综合评估子系统设计总体方案如图9所示。

该子系统除了涉及对结构进行安全性、适用性以及耐久性三个方面的评估和利用外，增加了对人工巡检结果的评估过程，以实现自动监测信息和人工巡检信息的综合利用。

5.4 综合管理系统软件

综合管理系统软件采用C/S与B/S相结合的模式，经由VPN专线，将各级传感监测的基本参数

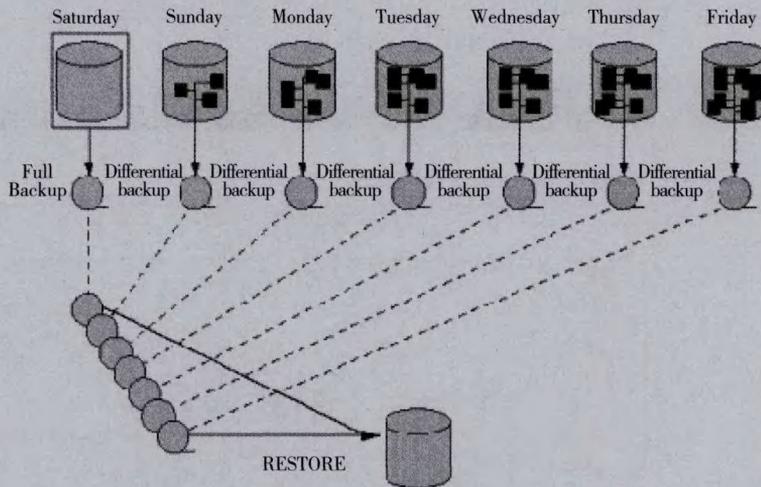


图8 数据库备份结构图

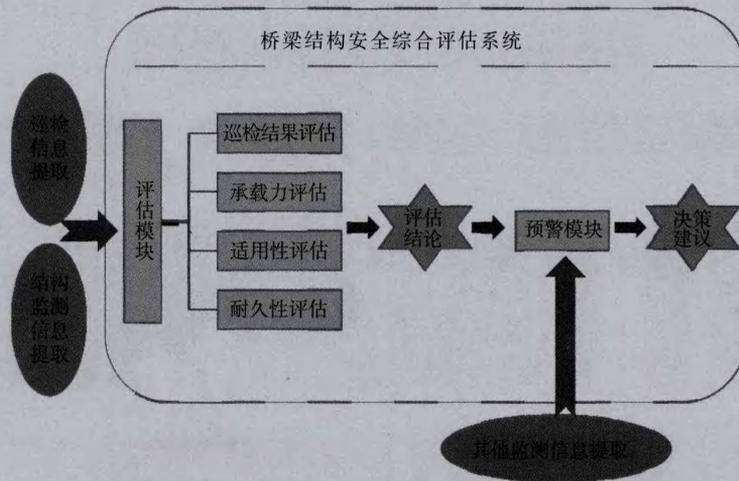


图9 桥梁结构安全综合评估

经由区域监测中心上传至各级管理单位。依据专业的评估技术和产品关键指标及科学计算对监测结果进行数据管理、数据预处理、数据分析以及

模型化展示，依据预防保护准则对异常的传感终端监测数据预警并做出决策性的分析。如图10~图12所示。



图10 桥梁BCI评估



图11 横向安全评估

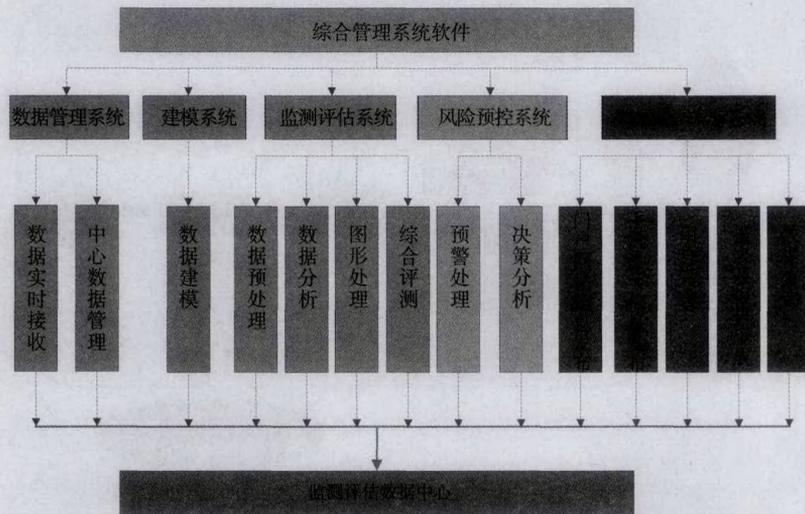


图12 软件功能模块

软件功能模块说明如下:

(1) 数据管理系统

1) 数据实时接收: 通过无线数传模块, 实时接收监测现场的数据信息, 存储于捷测科技云计算中心。

2) 中心数据管理: 对数据中心所存储的数据进行安全备份、数据访问监控、数据库监控与优化等。

(2) 建模系统

数据建模: 对被监测桥梁进行3D模拟建模。

(3) 监测评估系统

1) 数据预处理: 对监测数据中的非正常监测数据、异常数据或者错误数据进行预处理, 使监测数据符合专业评估所需的数据模式或数据结构。

2) 数据分析: 根据行业技术及标准, 对各类监测数据进行相应的科学计算及数据分析。

3) 图形处理: 结合3D模拟建模技术, 对监测及评估的数据结果进行2D、3D图形化处理, 为用户提供直观的判断依据。

4) 综合评测: 通过科学计算及3D模拟建模技术, 根据行业技术及标准, 对被监测对象件进行综合评测。

(4) 风险预控系统

1) 预警处理: 通过对终端数据的实时监

测, 根据监测行业技术及标准及预防保护准则, 对异常数据进行实时的、分级预警处理。预警方式采用声音及动画相结合的方式。

2) 决策分析: 通过对终端数据的实时监测, 根据监测行业技术及标准及预防保护准则, 针对预警信息制定专家级应急预案与决策。

(5) 数据共享发布系统

1) 手机发布: 为该系统定制一套手机APP软件, 专门用于发布实时监测数据和处理数据, 管理人员通过该APP就能实时了解钢构件的监测数据情况。

2) 门户网站信息发布: 如果需要, 可以通过门户网站将监测数据发布出去。

3) 用户管理: 为专业管理人员、专业技术人员、维护人员等用户、其他授权等用户设立访问账户, 并对这些账户对数据中心以及门户网站的共享数据资源的上传、下载、审批、发布、访问等权限进行分级管理。

4) 报表及报告生成: 根据不用级别用户需求, 将钢结构监测、评估、预警、决策等数据或图形在线或离线生成相应的报表或报告。

5) 数据查询: 对钢结构监测、评估、预警、决策等数据、报表或报告等共享数据资源进行查询。数据查询的对象范围依据访问用户的权限级别设定。

5.5 部分案例监测界面(如图13~图16所示)



图13 监测主界面

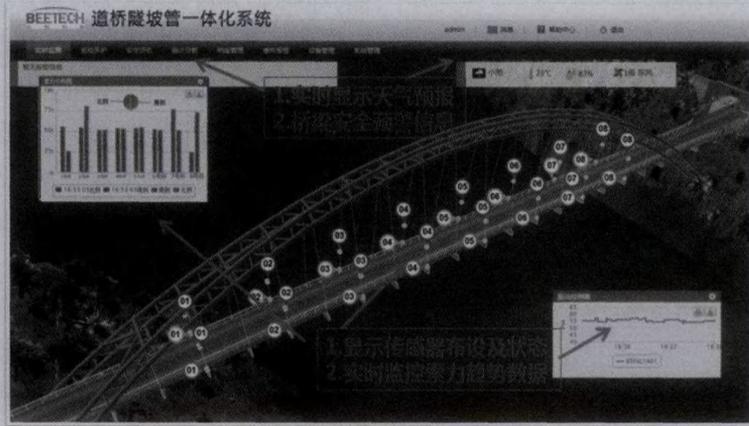


图14 某拉索桥监测案例

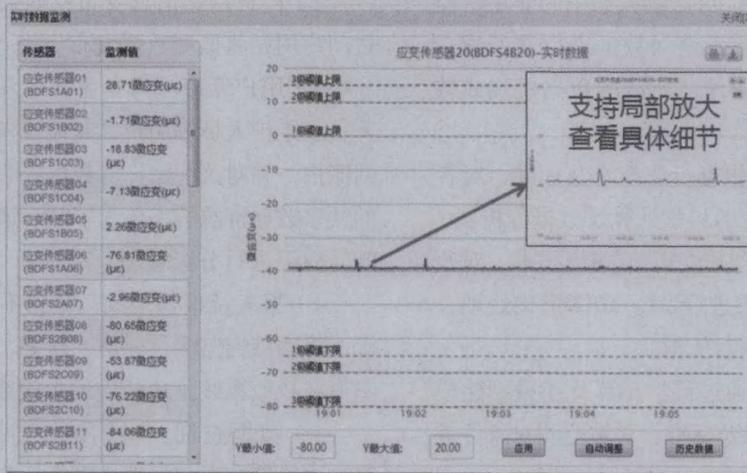


图15 实施趋势画面

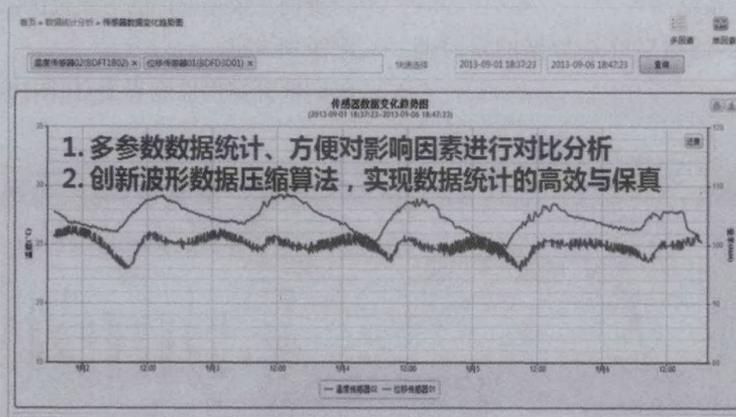


图16 数据统计分析

参考文献

- [1] 苏成, 廖威. 桥梁健康监测在线预警指标研究[J]. 桥梁建设, 2015,4 5(3):44-49.
- [2] 项贻强, 李毅, 周畅 等. 桥梁结构在线健康监测预警系统监测评估预警体系和模块设计[J]. 通科学与工程, 2009,25(1): 26-31.
- [3] 岳青, 朱利明. 基于健康监测系统的东海大桥桥梁结构养护管理体系的构建[J]. 桥梁建设, 2006, (s2):171-179.
- [4] 苏成, 谭林, 徐郁峰 等. 拨号连接无线传输技术在新光大桥拱肋提升应力监测中的应用[J]. 中外公路, 2007, 27(6): 77-80.
- [5] 俞姝颖, 吴小兵. 无线传感器网络在桥梁健康监测中的应用[J]. 软件学报, 2015,26(6): 1486-149.