

文章编号: 0451-0712(2006)12-0108-07

中图分类号: U446.2

文献标识码: B

# 杭州市桥梁在线 安全监测管理信息系统的开发

马 俊, 刘 山, 吴铁军

(浙江大学控制科学与工程学系 杭州市 310027)

**摘 要:** 杭州市桥梁在线安全监测管理信息系统可对交通干道的大型桥梁、高架道路和大型立交的结构安全进行长期远程在线监测、实时安全评估、维护管理和突发事件处理。该系统由信号采集、网络传输、安全评估与决策支持等系统组成。该系统的设计方法和关键技术可为针对监测内容多、测点分布广、传感器类型多的大型复杂在线监测系统的设计提供借鉴和参考。

**关键词:** 桥梁结构安全; 远程在线监测; 管理信息系统

桥梁结构的安全状况一直是政府和公众特别关心的问题。目前国内许多桥梁由于长期处于超负荷运行状态,致使许多构件的疲劳损伤加剧,往往存在不同程度的安全隐患。

传统的结构健康检测一般都是由专业技术人员定期到现场对桥梁进行检查,获得数据进行分析,再给出结论。这种方法的缺点是不能及时掌握桥梁的运行状况,且需要具有很高专业知识的技术人员,浪费人力、物力。

桥梁结构安全的在线监控系统主要利用现场的无损传感技术,长期、实时、连续地获得结构内部信息,分析包括结构反应在内的各种特征,以便了解结构因损伤或者退化而造成的改变,并利用诊断方法判断损伤的发生、位置、程度,对结构健康状况做出评估。在危及桥梁隧道结构安全性能的临界点到来之前提早发现异常,为桥梁隧道在特殊气候、交通条件下或桥梁隧道运行状况严重异常时触发预警信号,为桥梁隧道的维修、养护与管理决策提供依据和指导。

杭州市是一个水网稠密、市内高架路桥密集的省会城市,仅中心城区约 670 km<sup>2</sup> 的范围内就有大跨度跨江桥梁 2 座、大型桥梁 20 座、高架道路 4 条、大型立交桥 17 座。由于机动车发展速度极快,这些桥梁的交通负荷极大,对基础结构的安全性带来严重影响。因此,利用现代信息技术建成一个覆盖以上

重要桥梁的结构安全远程在线监测网络,对保障杭州市大动脉的安全畅通具有极其重要的意义和价值。

杭州市区交通干道桥梁隧道在线安全监控管理信息系统项目的目标是:采用由信号采集、数据通信、网络传输、安全评估与决策支持等系统组成的管理信息系统,对中心城区交通干道沿线承载高密度交通流量的大型桥梁、高架道路、大型立交、城市隧道的结构安全进行长期自动监测、实时预报分析、维护管理和突发事件处理。

## 1 系统体系结构

### 1.1 系统总体功能架构

桥梁结构健康监测系统是由信息采集系统、通讯网络和信息处理平台三部分组成。

从业务上看,杭州市桥梁结构安全在线监测系统的工作需求包括 4 个方面,即桥梁的信息管理、安全监测、日常养护和事故的应急处理。因此,整个信息处理平台系统由城市基础设施远程监管网络信息处理平台和交通干道桥梁信息管理、桥梁结构安全监测预报、桥梁突发事件监测处置、桥梁维护管理等 4 个子系统组成,它们之间的关系见图 1 所示。

### 1.2 系统建设原则

(1)可靠性原则:系统软件与硬件本身的长寿命与高可靠性是首要的设计指标。

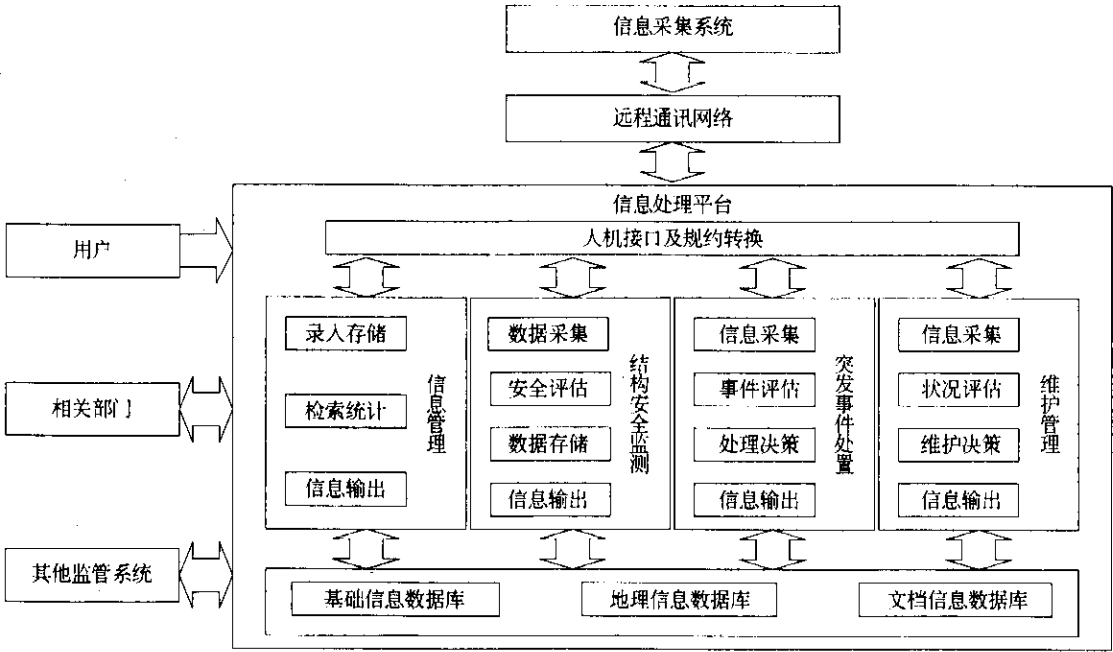


图 1 系统总体功能架构

(2)准确性原则:系统的信号检测、数据采集、评估决策等各个环节的工作必须确保准确无误。

(3)可操作性原则:系统高度专业化,但由于系统运行涉及到交通干道桥梁突发事件的应急处置,决策工作往往强调时间和效率,因此必须提高系统的可操行性和友好性,方便用户使用。

(4)可扩充性原则:系统的覆盖面积很大,通常采用逐步扩充的建设方法以获取经验、保证尽快产生效益,因此系统的结构体系、设备配置、技术手段要有足够的可扩充性和灵活性,可容纳新系统的逐步接入,使系统不断地丰富和完善。

(5)先进性原则:系统的建设要充分利用现代化信息技术的最新成果,使开发的系统具有先进性和较长的生命周期。

2 信息采集系统

2.1 现场监测内容

系统通过安装在桥梁、高架快速路和大型立交上的传感器系统,自动检测桥梁、高架快速路、大型立交和隧道的沉降、振动、挠度、应力、裂缝、渗漏等有关结构和构件的安全信息,通过信号采集、数据通讯和网络传输系统把数据传送到监管中心,再由桥梁隧道安全评估分析模块进行运营状态分析和结构安全状态评估。桥梁的监测内容通常如下。

(1)荷载。包括风、地震、温度、车荷载等。

(2)几何监测。监测桥梁控制部位的位移、沉降、线形变化等。

(3)结构的静、动力反应。监测桥梁的挠度、转角、应变、应力、索力、动力反应(频率模态)、裂缝等。

(4)非结构部件及辅助设施。护栏、伸缩缝、减震装置等。

由于本系统一期建设的经费限制,监测内容主要选取对不同监控种类中有代表性的对象进行桥梁结构关键部位和有典型性的重要状态参数进行监测。如中河高架的应力和挠度,上德立交的应力和挠度,文晖大桥的应力等。

2.2 监测点的布置

目前,得到一致认同的有效的传感器优化布设方法不多。这个问题在桥梁模态试验中备受关注。人们希望在充分考虑各种自然环境下桥梁的结构特点以及测量条件的基础上,寻求这样一套布点方案,即在含噪音的环境中,能够利用尽可能少的传感器获取全面、精确的结构参数信息;测得的时程记录将对模态参数的变化最为敏感;能够通过合理添加传感器对感兴趣的部分模态进行数据点采集;测得的模态应能够与模型分析的结果建立起对应关系,此外通过传感器的优化布设可改善对模态试验结果的可视性(visualization)和鲁棒性(robustness)。希望由此实现对结构状态改变信息的最优采集,改善早期对桥梁结构的整体探伤能力。

以中河高架为例,中河高架上部结构多为连续箱梁结构形式,按三跨一联、四跨一联和五跨一联配置,所以对其监测按 3 种连续梁的结构形式确定测试截面。根据硬件投入的数量,每个连续梁设置 3 个应变测试截面和 1 个挠度测试截面,并在多个相同的连续梁中按比例选定测试联。

应变测试截面根据各连续梁中发生最大正负弯矩的截面来确定,一般为跨中截面和支座截面。

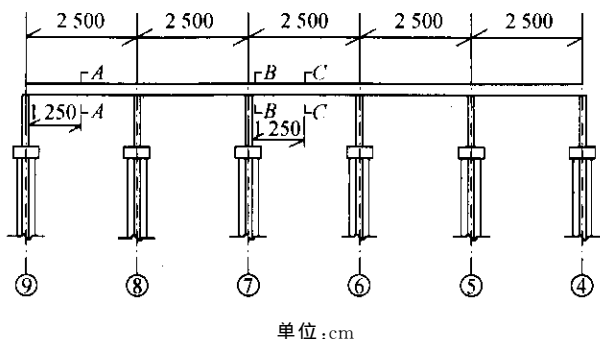


图 2 五跨一联应变传感器布置截面示意

## 2.3 监测传感器选型

现场分析仪收集来自传感器的应变、位移、频率、温度等数据通过滤波数据整理后,通过 VPN 网络把数据传送到监控中心。监控中心通过分析仪的 SDK 中间件取得现场的监测数据,再通过协议转换软件把数据通过制定的标准协议把数据传送到采集软件,保存到数据库。

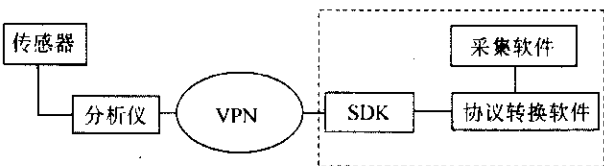


图 3 结构参数监测原理

### 2.3.1 应变光纤光栅型传感器原理

光纤布拉格光栅(FBG)是国际上新兴的一种在光纤通讯、光纤传感等光电子处理领域有着广泛应用前景的基础性光纤器件。当前 FBG 的制作与应用研究成为世界各国光纤技术研究的热点和重点。作为传感元件,光纤光栅将被感测信息转化为其反射波长的移动,即波长编码,因而不受光源功率波动和系统损耗的影响。另外,光纤光栅具有可靠性好、抗电磁干扰、抗腐蚀等特点,易于将多个光纤光栅串联在一根光纤上构成光纤光栅阵列,实现分布式传感,这是其他传感元件所不及的。FBG 传感器的关键就在于精确地检测 Bragg 反射波长的微小移动,即对

波长编码信号进行解调。利用高精度的光谱分析仪可以达到这一目的。

### 2.3.2 挠度传感器测量原理

电容感应式静力水准仪是与连通管配合用于测量各测点的垂直位移的仪器。当仪器位置发生垂直位移时,通过采用屏蔽管接地改变电容的感应长度,以达到测量的目的。

电容感应式静力水准仪根据液体连通器的原理,如图 4 所示。利用软管将 2 个或多个水准仪连接起来,根据液体静力平衡方程可以推知两水准仪内液面距连通管最低点的高程相等。根据此原理由 2 个位移传感器测量到的位移差就是两水准仪 A、B 两固定点的相对位移。

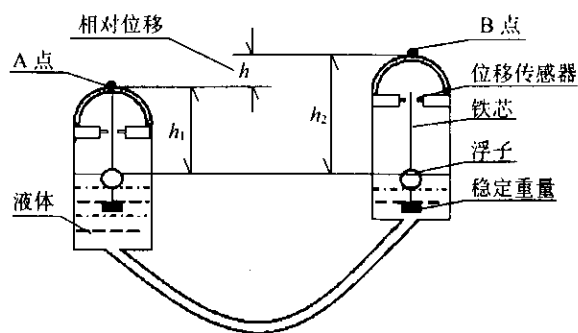


图 4 电容感应式静力水准原理

测量时当桥面空载时测量 3 个传感器的读数记为  $N_{10}, N_{40}, N_{50}$ 。当工况布置完毕后分别测量 3 个传感器的读数,记为  $N_{1t}, N_{4t}, N_{5t}$ 。计算挠度值公式为:

$$\text{挠度}_1 = (N_{2t} - N_{1t}) - (N_{20} - N_{10})$$

$$\text{挠度}_2 = (N_{3t} - N_{1t}) - (N_{30} - N_{10})$$

## 2.4 静载荷试验

为验证数据采集系统的可靠性和所选传感器的正确度及精度,采用静载荷试验法进行验证对比,以长期监测系统和临时验证系统在同一时间、同一位置、同一工况下进行桥梁的挠度和应变的测试,对比挠度及应变测试的正确度及精度等。

### 2.4.1 试验工况

荷载工况用汽车加载在不同的位置来实现,每辆汽车载重后总重量 300 kN,共使用 4 辆。根据计算,采用 4 辆 300 kN 载重车加载,此荷载可达到足够大的应变和挠度,试验共 8 个工况,列于表 1。

### 2.4.2 测试仪器

验证系统采用的传感器的精度不低于监控系统所采用传感器的精度,量程均大于实际监控的测值。监控与验证传感器及试验仪器数据见表 2。

表 1 试验荷载工况

工况	箱梁构造	横向布载位置	测试项目	
			应变	挠度
1	钢箱梁	首跨偏载(2 列车)	/	✓
2	钢箱梁	首跨中载(4 列车)	/	✓
3	钢箱梁	中跨中载 $L/4$ (4 列车)	/	✓
4	钢箱梁	中跨中载 $L/2$ (4 列车)	/	✓
5	钢箱梁	中跨中载 $3L/4$ (4 列车)	/	✓
6	钢箱梁	中跨偏载(2 列车)	/	✓
7	混凝土箱梁	首跨偏载(2 列车)	✓	/
8	混凝土箱梁	首跨中载(4 列车)	✓	/

表 2 传感器对比分析

	测量参数	型号	产地	标准量程	测量精度	分辨率
监测  验证	应变	FBGS—423R20	中国	$\pm 1\,000\,\mu\text{E}$	$\pm 3\,\mu\text{E}$	$1\,\mu\text{E}$
		VSM—4000	美国	$\pm 3\,000\,\mu\text{E}$	$\pm 3\,\mu\text{E}$	$1\,\mu\text{E}$
		电阻应变片	中国	$\pm 5\,000\,\mu\text{E}$	$0.1\%\text{FS}$	$1\,\mu\text{E}$
监测 验证	挠度	YG400	中国	$0\sim 400\,\text{mm}$	$<0.4\,\text{mm}$	
		RMJ—150	中国	$0\sim 150\,\text{mm}$	$\pm 0.2\,\text{mm}$	$0.01\,\text{mm}$

2.4.3 测试方法

试验荷载维持时间,每级加载均在结构变位到达相对稳定后,进入下一工况。

监控系统为连续采集的测量方式,即在高架桥交通全封闭后开始采集数据,直到所有的工况试验完毕,连续不断地采集数据,每秒钟采集一次。

验证系统各测点在正式加载试验前均进行零级荷载读数(初读数),挠度和应变测试每次加载后即读数 1 次,随后每隔 2 min 测读 1 次,直到结构变位达到相对稳定后,再连续测读 6~10 次,然后加载结束进行卸载试验,至此完成一个工况的试验。

2.4.4 测试分析

(1)挠度成果分析。

通过对钢箱梁在各工况下的挠度测试,监测系统的监测点 WJ-C1、WJ-C2 在各工况稳定后的每次挠度测值较平稳,变化漂移不大,标准差在 0.04~0.4 之间,离散小。验证系统的验证点 WY-C1、WY-C2 情况相类似,标准差在 0.05~0.23 之间。表明两套测试系统均处于良好工作状态。

监测点和验证点在各工况下的实测平均挠度值汇总见表 3。在各工况作用下监测点与验证点的每次测值与平均值的差值均小 0.2 mm,在测试精度范围 0.2 mm 之内,监测值与验证值在同一工况下相同位置的挠度平均值差值在 0.1~0.8 mm 之间,比值在 0.84~1.35 之间,除出工况 1、2 挠度值较小难以

比较外,大部分数值基本接近。

表 3 监测点和验证点钢箱梁在各工况下的实测平均挠度值汇总

工况	平均值(东)/mm			平均值(西)/mm		
	监测值 WJ-C1	验证值 WY-C1	监测值/ 验证值	监测值 WJ-C2	验证值 WY-C2	监测值/ 验证值
工况 1	0.36	-0.58	/	-1.42	-1.56	0.91
工况 2	-0.07	-1.73	/	-3.02	-3.65	0.83
工况 3	3.22	3.85	0.84	2.48	2.80	0.89
工况 4	4.66	5.52	0.84	4.35	4.62	0.94
工况 5	4.75	4.00	1.19	2.81	3.03	0.93
工况 6	1.44	1.43	1.01	2.23	1.65	1.35

说明:挠度向下为(+),向上为(-)。

通过表 3 得出在试验过程中钢箱梁所测断面竖向变形情况,各工况在试验过程中桥面挠度符合钢箱梁结构在竖向荷载作用下的线形变形规律,在荷载试验过程中,桥跨结构始终处于良好的弹性工作状态。

(2)应变成果分析。

监测点和验证点混凝土梁在各工况下的实测平均应变值汇总见表 4。通过对混凝土梁在各工况下的应变测试,监测系统监测点 WJ-A1~WJ-A3 和验证系统的验证点 WY-A1~WY-A3 情况相类似,在工况 7、8 稳定后的每次应变测值较平稳,变化漂移不大,标准差小于 1,离散不大,特别是工况 8 的前后 2 次测试监测系统和验证系统的各测点的测值前后都相差不大。表明两套测试系统均处于良好工作状态。

表 4 监测点和验证点混凝土梁在各工况下的实测平均应变值汇总  $\mu\text{E}$

	测点	工况 7	工况 8 第一次	工况 8 第二次
平均值 (东)	YJ-A1	12.95	7.52	6.54
	YY-A1	10.77	17.19	17.25
	监测值/ 验证值	1.20	0.44	0.38
平均值 (中)	YJ-A2	9.24	20.08	19.84
	YY-A2	8.09	19.78	18.69
	监测值/ 验证值	1.14	1.02	1.06
平均值 (东)	YJ-A3	2.02	9.89	6.90
	YY-A3	4.04	14.33	14.56
	监测值/ 验证值	0.50	0.69	0.47

在工况 7、8 作用下监测点与验证点的每次测值与平均值的差值均小  $\pm 3\,\mu\text{E}$ ,在测试精度范围之内,监测值与验证值在工况 8 前后 2 次平均应变值相差

不大都小于于  $1\ \mu\epsilon$ , 混凝土箱梁桥面东、西两测点监测值与验证值由于本身应变值较小, 对比误差较大, 但仍在正常范围内。中间测点监测值与验证值在工况 7、8 作用下的对比值为  $1.02\sim 1.14$ , 测试值基本接近, 表明两套测试系统在截面应变值稍大时, 漂移在允许范围的情况下, 测试值偏差不大。

#### 2.4.5 测试结论

(1) 通过对钢箱梁和混凝土箱梁在各工况下的挠度和应变的测试, 表明两套测试系统均处于良好工作状态。

(2) 监测点和验证点在各工况下的实测平均挠度值大部分数值基本接近。符合钢箱梁结构在竖向荷载作用下的变形规律。从钢箱梁的理论计算成果与验证成果的对比可知, 验证测量数据可靠, 同时也验证了监测数据的可靠性。

(3) 两套测试系统在截面应变值稍大时, 漂移在允许范围的情况下, 测试值偏差不大。从混凝土箱梁的理论计算成果与验证成果的对比可知, 表明验证测量数据可靠, 同时也验证了监测数据的可靠性。

由以上可以得出, 数据采集系统的挠度及应变监测精度、信号传输性能等主要技术指标基本满足桥梁实际性能测试要求。

### 3 通讯网络

已有的一些远程监测系统的运作经验表明, 监控系统成功与否的关键在于通讯系统是否可靠, 而可靠准确的通讯信道是系统遥信、遥测、遥调数据顺利汇总的关键所在, 没有准确的数据传输, 再好的监控设备与软件都只能成为一件摆设。另一方面, 通信技术一直在更新发展, 相当多更加可靠的新技术在不断成熟, 目前较为先进的有宽带技术、数据分组技术、GPRS 技术等等, 因此研制开发的监控管理信息系统在通讯方案方面要考虑与今后新技术的兼容性。鉴于上述两方面的考虑, 有以下两种形式的通讯方式可供选择。

#### 3.1 采用宽带方式实施数据传输和图像接入

对于桥梁的远程监控, 分为结构、环境状态等数据监测以及已有监测图像的接入。由于图像的实时传输数据量巨大, 所以采用宽带接入的方式进行远程监控。

采用有线宽带传输方式是利用不断发展的城市宽带网络进行通讯传输工作, 这种方式的优点在于在使用范围内, 可以获取较高的传输速率和质量。另

一方面, 这种传输方式的产品种类多, 可选择范围广泛, 技术比较成熟。该种方式的缺点是宽带网点的选择和城市布局密切相关, 部分测试工作面上可能不具备宽带接入条件。

宽带接入数据采用专用的 VPN 方式, 构成专用的独立的网络系统, 这对于数据的安全性和传输效率都有很大的好处, 同时也有利于系统扩展。这也是本系统主要采用的通讯方式。

#### 3.2 采用无线方式对分布式数据实行远程监控

采用数字分组的无线通信技术, 在无线通信方式下, 整个系统的通信结构上可以采用一个中心, 下挂若干个监控站的通信结构。通信网络采用星型拓扑结构, 进行数据采集和控制。

采用该方式的优点有:

(1) 取点容易, 可以在任意位置设置通讯点;

(2) 通讯方式简单明晰, 通讯速率适中, 通讯质量稳定有保障;

(3) 通讯模块小, 天线系统简单, 易安装;

(4) 通讯维护工作量小;

(5) 设备价格适中;

(6) 传输可以认为是透明的;

(7) 覆盖面适合杭州整个城区;

(8) 建立分控中心方便。

采用该方式存在的问题有:

(1) 需收取年费;

(2) 速度不高, 适合于设备轮询, 不便于大流量持续双向数据方式。

根据实际情况, 系统在考虑对今后的扩展的基础上将以上两种形式的通讯方式进行混合使用, 通过在监控中心对通讯处理机制的特殊处理实现这种混用模式。

### 4 信息处理平台

信息处理平台总体功能架构具有以下特点。

(1) 集成化的监控与管理信息处理。

交通干道桥梁信息管理、桥梁结构安全监测预报、桥梁突发事件监测处置、桥梁维护管理等 4 个子系统与监管人员之间的人机交互在同一个远程监管网络信息处理平台上进行。这使得监管人员可以灵活地在统一平台上查询各子系统的工作状况和有关监管对象的各方面信息, 从而做出综合决策。

(2) 相对独立的功能子系统。

交通干道桥梁信息管理、桥梁结构安全监测预

报、桥梁突发事件监测处置、桥梁维护管理等4个子系统在设计中赋予了相对的独立性,各自有其完整的功能,可以脱离其他子系统单独运行。这一设计加强了系统的可靠性,使整个系统易于维护和易于操作。

### (3) 子系统信息共享。

虽然各功能子系统具有相对的独立性,但是它们之间的数据通讯是开放的,从而通过信息共享提高了各子系统的能力,避免了资源浪费。桥梁结构安全监测预报、桥梁突发事件监测处置、桥梁维护管理这3个子系统可从交通干道桥梁信息管理子系统获得监管对象的档案数据,使结构安全监测预报更准确、突发事件监测处置响应速度更快、维护管理更方便。突发事件监测处置和维护管理这两个子系统可从结构安全监测预报子系统获得监管对象结构安全的实时检测信息,使突发事件的判断更准确,维护管理目标更明确。信息管理子系统通过记录其他三个子系统获得的信息和做出的决策,完善自身的监管对象档案数据库,为桥梁的安全监控和管理提供更全面的依据。

## 4.1 交通干道桥梁信息管理子系统

该子系统主要管理城市交通干道沿线的桥梁的地理信息和结构信息。包括对桥梁、高架快速路、大型立交的地理位置、结构形式、附属设施及其他管理信息的输入输出、电子图形显示和各种快速信息查询。主要信息包括:

(1) 地理信息资料,桥梁的名称、照片、地理位置等;

(2) 结构信息资料,桥梁基础结构图纸、附属设备清单及其分布位置图纸等;

(3) 监管信息资料,桥梁基础结构及附属设备的历次损毁及修复情况等。

## 4.2 桥梁结构安全监测预报子系统

该子系统通过安装在城市桥梁上的传感器系统,自动检测桥梁的沉降、振动、挠度、应力和裂缝等有关结构和构件的安全信息,通过信号采集、数据通讯和网络传输系统把数据传送到监管中心,再由桥梁安全评估分析模块进行运营状态分析和结构安全状态评估。

系统主要功能包括:

(1) 对桥梁结构在各种工作环境下的结构响应和力学状态进行自动检测和报警;

(2) 对桥梁各主要构件的耐久性、潜在损坏和构件疲劳状况进行自动寿命评估和报警;

(3) 对桥梁主要构件有否任何损坏或者累积性的损伤进行自动检测和报警;

(4) 对桥梁结构的整体健康状况、结构安全可靠性进行自动评估。

### 4.2.1 安全评估算法发展状况

桥梁结构安全评估是一个新的研究领域,其技术和方法处于不断进步中,并随实际的监控评估对象情况不同而不同。目前的算法以模态分析为基础,主要分为基于振型的方法和基于基频的方法(本系统所采用的方式)两大类。前者的优点是损伤定位精度高,缺点是需要安装大量传感器;后者的优点是是需要较少的传感器,但是对损伤的定位精度较差。

### 4.2.2 本项目所采用的安全评估算法

针对评估对象的范围,可将安全评估分为局部安全评估和全局安全评估两种方式。

#### (1) 局部安全评估。

根据现场传感器布设的特点,系统可较好地估计监控对象结构基频。故对局部的安全采用相对劣化度法进行评估。相对劣化度法根据结构基频与刚度的关系,通过结构基频变化的历史趋势,估计结构劣化的程度。

#### (2) 全局安全评估。

对全局安全的评估采用层次分析法,它具有系统性、简洁性、灵活性和实用性的特点。层次分析法逐步分层将监控对象各组成部分的局部安全评估结果综合起来,得到总体系统的安全评估结果。

## 4.3 桥梁突发事件监测处置子系统

该子系统通过安装在城市桥梁上的视频监视系统和其他传感器,自动检测各种影响桥梁结构安全、附属设施安全和交通安全的突发事件。如:由桥梁上车辆严重超载及交通流量过大造成的危险荷载,由交通事故引起的桥梁设施损坏等等。在对以上突发事件进行实时监测和报警的基础上,该系统通过内建的道桥交通模型进行交通疏导和交通封闭决策,并将决策信息传输到事故现场交通疏导信息显示系统和相关交通指挥部门。

## 4.4 桥梁维护管理子系统

该子系统对上述桥梁结构安全监测预报子系统和突发事件监测处置子系统提供的实施监测数据进行抽取、整理和转换,以建立桥梁的历史档案。在此基础上,根据桥梁信息管理子系统提供的结构信息和技术标准,参照给定的桥梁运行维护规程,做出桥梁、高架快速路、大型立交的维护管理决策和应急维

修决策,使管理部门能全面掌握和了解桥梁交通、环境和设备运行状态,提高桥梁营运的科学管理水平。该子系统的功能包括:(1)对在常规监视时所设立的桥梁病害观测点进行定期观测内容登记,并评定维护需求等级;(2)对桥梁因受交通事故等的影响而对结构设施的损害情况进行登记,并评定修复需求等级;(3)对桥梁病害种类及其处治与修理方法进行设定,以供维修决策时参考;(4)根据日常的桥梁常规检查、定期检查及特殊检查的记录与桥梁养护标准对比,给出维修方案,供决策者们参考决策,决定后的维修方案经执行后,把有关维修信息登录在桥梁基础资料数据库中;(5)对每次桥梁维修的各项目的费用进行成本核算,以控制维修费用。

## 5 结语

杭州市桥梁结构安全在线监测系统所包含的监测内容多、测点分布范围广,监测对象已包括杭州市城区交通干道上的跨运河大桥、高架快速路、大型立交桥,整个系统结构复杂,技术难度高。通过对桥梁进行长期在线连续监测,分析处理监测信息,对桥梁结构的健康状况和行车安全性能进行科学评估,并对运营中出现的故障及时进行预警。它的成功实施,向管理者提供了一套对桥梁结构的长期的实时使用状态进行综合监控的系统,以期提高桥梁设施的整体管理技术水平,确保桥梁安全运营,预诊断桥梁病害,延长桥梁使用寿命。

桥梁结构安全在线监测,对桥梁运营阶段的维

护保养有着非常重要的指导意义,可为摸索各种类型的桥梁在运营阶段实际受力状况积累宝贵的数据。杭州市桥梁结构安全在线监测系统已正常运转将近半年,各项测试数据表明系统处于良好的工作状态。同时,由于本监测方案中采用了国际先进的在线监测技术,监测工作实施时方便快捷、数据准确,对桥梁交通的影响降到了最低限度,可为桥梁检测节省大量的人力、物力。

## 参考文献:

- [1] 袁万城,崔飞,张启伟. 桥梁健康监测与状态评估的研究现状与发展[J]. 同济大学学报,1999,27(2).
- [2] 连启滨. 现有桥梁结构的安全监测与评估技术[J]. 公路,2002,(9).
- [3] 曾储惠. 南京长江大桥健康监测和状态评估的研究[D]. 长沙:中南大学土木建筑学院,2004.
- [4] 刘西拉,杨国兴. 桥梁健康监测系统的发展与趋势[J]. 工程力学(增刊),1996.
- [5] 胡广书. 数字信号处理:理论、算法与实现[M]. 北京:清华大学出版社,1997.
- [6] 黄尚廉. 智能结构系统——减灾防灾的研究前沿[J]. 土木工程学报,2000,33(4).
- [7] DOEBL ING S W, FARRAR C R, PRIME M B, et al. Damage identification and health monitoring of structural and mechanical systems from changes in their vibration characteristics: A literature review [R]. Los Alamos: Los Alamos National Laboratory, 1996.

# Development of Online Safety Monitoring Information Management System for Bridges in Hangzhou City

MA Jun, LIU Shan, WU Tie-Jun

(Department of Control Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** The online safety monitoring information management system for bridges in Hangzhou City supports functions such as long-term and long-range online monitoring, realtime safety evaluation, maintenance management and incidents handling. This system consists of signal collection section, transmission network section, safety evaluation section and management support section. The design method and key technology provide reference for designing large online safety monitoring network for urban bridges, which are rich in monitoring contents, wide in monitoring sites and various in types of sensors.

**Key words:** safety of bridge structure; long-range online monitoring; management information system