

文章编号: 0451-0712(2005)12-0105-05

中图分类号: U446

文献标识码: A

大佛寺长江大桥远程状态监测系统开发及实现

符欲梅, 朱 永, 陈伟民, 黄尚廉

(重庆大学光电技术及系统教育部重点实验室 重庆市 400044)

摘 要: 针对大佛寺长江大桥的实际情况和具体要求进行了远程状态监测系统的开发, 该系统包括现场监测子系统和远程监测子系统。现场监测子系统可以通过安装在桥梁关键部位的光纤应变传感器、光电连通管式挠度传感器、温度传感器等获得桥梁的状态信息并存储, 还可以通过光缆将信息传输到远程监测子系统以供分析桥梁的安全状态。整个系统已于 2002 年底安装在大佛寺长江大桥上。

关键词: 桥梁; 状态监测; 远程; 大佛寺长江大桥

大佛寺长江大桥位于重庆市郊外, 是长江上一座重要的斜拉索大桥。桥成南北走向, 全长 1 176 m, 主桥为双塔双索面全漂浮预应力混凝土斜拉桥, 主跨为 450 m, 边跨为 198 m, 主塔结构形式为花瓶型, 北塔高 206.68 m, 南塔高 200.38 m, 两塔均高于桥面 164.68 m, 桥宽 30.6 m, 双向六车道。桥梁的结构示意图如图 1 和图 2 所示。

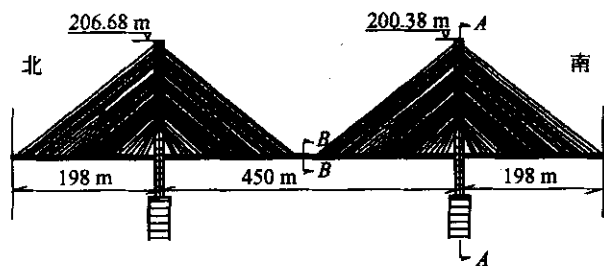


图 1 大佛寺长江大桥结构示意图

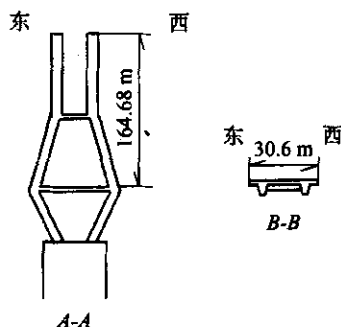


图 2 塔和路面剖面示意

大佛寺长江大桥于 1997 年 11 月 18 日开工, 2001 年 4 月中旬完成主桥边跨合拢, 2001 年 8 月 29 日完成中跨合拢, 2001 年底建成通车。大佛寺长江大桥是渝黔(重庆至贵州)高速公路的关键和特大工程, 被列为国家“十五”期间的重点工程。桥梁建成后又是重庆市环城高速公路的东大门。

基金项目: 国家自然科学基金项目(50135030)、重庆大学骨干教师资助计划项目

收稿日期: 2005-06-13

(1) 3 处避险车道的长度不足, 建议将 2 处的避险车道的坡床材料更换为豆砾石, 第三处避险车道建议调整坡度或坡长;

(2) 避险车道配套的紧急电话的位置不够合理, 建议设置在避险车道的起点, 增加避险车道内的照明设施;

(3) 避险车道入口附近设置变焦距摄像机对避险车道进行监视, 以便监控中心及时发现失控车辆

进入避险车道, 迅速展开救援。

参考文献:

- [1] 北京交科公路勘察设计院(交通部公路科学研究所). 阿深公路(粤境段)上陵至埔前高速公路施工图安全性评价报告[R]. 2005.
- [2] 陈胜营, 汪亚平, 张剑飞, 等编. 公路设计指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.

由于大佛寺长江大桥的重要性,因而对该桥梁在其运营过程中进行状态监测,从而进行桥梁安全的评价,对确保桥梁本身和使用者的安全将会起着举足轻重的作用^[1~4]。

1 状态监测需求

1.1 监测对象及参数

大佛寺长江大桥是预应力混凝土斜拉桥,桥梁的自重和车载是桥梁的主要负荷,因而梁体的挠度和应变是状态监测的重要参数。

作为斜拉桥的重要构件之一,主塔承担着桥梁的绝大部分或全部负荷^[5]。因而对桥梁主塔的状态进行监测是桥梁状态监测的重要组成部分。主塔的状态可通过其位移的变化得到反映,因而,需要监测主塔沿桥长方向的位移变化。斜拉桥的另一重要部件——拉索的监测由另一系统完成。

斜拉桥空间跨度大,由于大气湍流、风等因素使得桥梁处于非均匀的温度场中。温度的差异往往会对桥梁的挠度和应变等结构参数产生不同程度的影响。如果不考虑非均匀温度场中结构参数变化的差异,就会对桥梁的安全评判带来严重的影响。因而需要对桥梁所处的温度场进行监测,从而对监测结果

中的挠度、应变等参数进行修正,得到反映桥梁结构自身变化的真实信息。

1.2 监测部位

斜拉桥空间尺寸大,约束点多,结构变形复杂,且属于超静定结构,因此其状态应该是由分布在桥梁各个关键部位的各种不同的参数综合反映。要对桥梁进行监测,获得反映整个桥梁健康状况的参数,就应该在这些部位安装不同类型的多个传感器,获得桥梁多点、多参数的信息,从而从不同的侧面综合反映桥梁的状态^[2]。

当然,传感器的数量并不是越多越好。随着传感器数量的增多,监测成本增高,信息量变大,无用的信息量也随之变大,相应地从大量信息中获取有用信息的难度也随之增加。因而只在关键部位安装合适数量的传感器是监测的重要工作之一。

通过设计者的大量计算,需要监测的部位如图3、图4所示。应变的监测集中在桥梁的5个断面上,每个断面需要监测8个测点;而梁体的挠度则由均匀布置在桥梁21个断面上的挠度测点测定;主塔的位移监测主要是监测塔顶沿桥长方向的位移变化;温度测点除了布置在桥梁应变监测的断面上,还需要监测跨中桥面板下的温度和0号索上的温度。

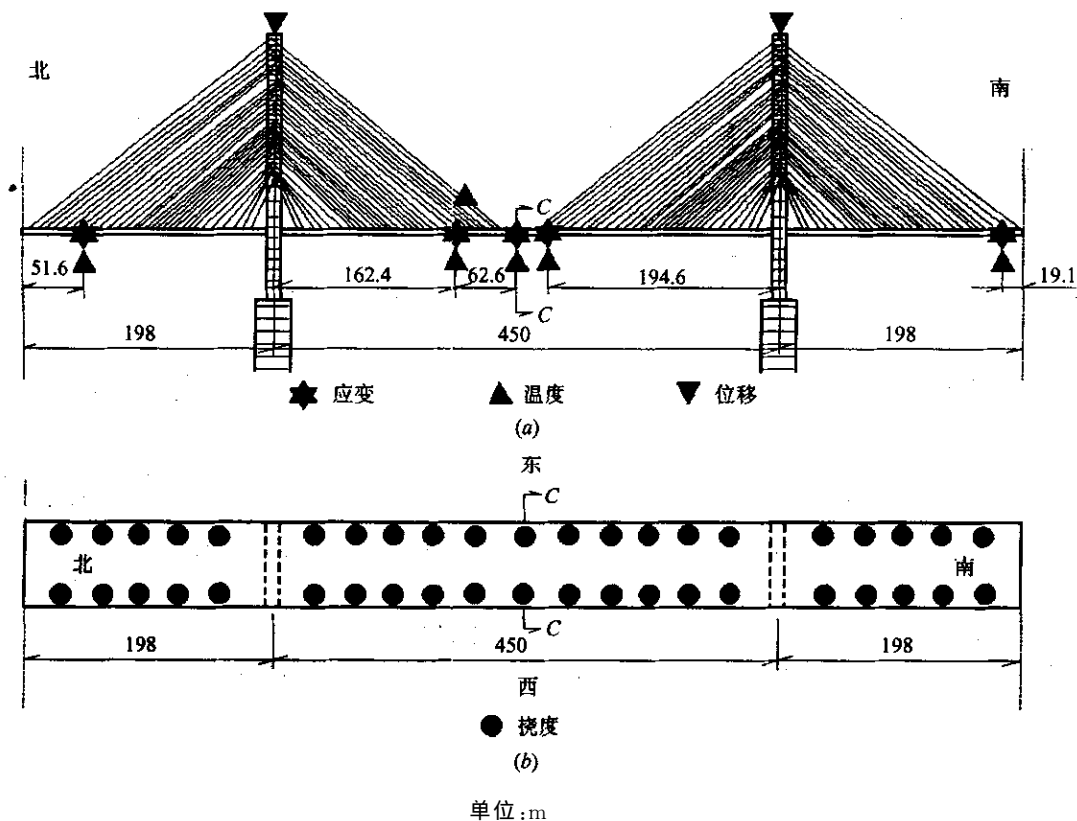


图3 桥梁上监测点布置示意

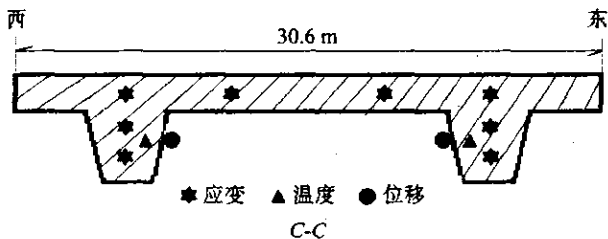


图4 跨中监测点布置示意

1.3 监测方式

在桥梁长期的服役过程中,由于外界环境、结构内部变化及人为等不利因素对桥梁的长期影响,桥梁结构会发生自然老化、损伤积累,并可能导致灾难性事故的发生^[1]。为了避免灾难的发生、减少各种损失,需要在桥梁长期的运营过程中对桥梁的状态进行监测。显然人工测量的方式是无法满足这种要求的,因而必须是自动、实时、长期、在线的监测方式才能够实现对桥梁状态的随时掌控^[2]。

另外,为便于管理人员及时获取桥梁状态参数、减少劳动强度和工作量,监测方式还应该实现远程传输的功能,使得桥梁管理人员在远离桥梁现场的地方也能够对桥梁的状态了如指掌。

2 桥梁状态监测系统

2.1 传感器方案设计

传感器方案设计的原则就是在满足测量范围、精度和响应速度等要求的情况下尽量保证接口一致、布线简单,这样既可以降低实现的难度,又便于现场施工。

2.1.1 应变传感器方案设计

光纤珐珀 $F-P$ 应变传感器具有灵敏度高、精度高、抗电磁干扰等优点,而且能够与光缆连接形成桥梁大范围的应变测量网络,因而大佛寺长江大桥应变的监测宜采用此类传感器。由于在桥梁建设过程中已经将光纤珐珀 $F-P$ 应变传感器预埋到图3、图4所示位置,因此保证了传感器与桥梁结构的良好耦合,避免了桥梁建成后再植入传感器对桥梁结构造成的损伤。

2.1.2 其他传感器方案设计

从图3、图4可知,测量点遍布整座桥梁,同类测点之间相距甚远。如果要将安装在这些测量点上的同类传感器连接起来形成测量网络,就需要通过传输介质来实现。光类传感器可通过光缆实现;电类传感器除了通过电缆作为传输介质外,还需要满足远

程传输的通讯协议。目前RS-485 是一种成熟的总线方式,传输速度快,在不使用中继器的情况下仅用一对双绞线即可达到1.2 km 的传输距离,适合于大佛寺长江大桥现场监测的实际情况。

该桥是全漂浮桥体的斜拉桥,因而整座桥梁的挠度变化范围很大。由于光电连通管式挠度传感器具有量程大、精度高、可以通过RS-485 总线实现远距离的数据传输、连线简单等特点,能够满足大跨度桥梁的挠度测量要求。

主塔位移的测量选择RS-485 接口的高精度激光位移传感器,温度的测量亦选择 RS-485 接口的一体化温度传感器。

2.2 远程监测系统总体设计

2.2.1 远程方案设计

由于距离大佛寺长江大桥北桥头约2 km 处有一高速公路管理处,因而应该在该处设置管理终端以供管理人员实时掌控桥梁的状态。如果直接将传感器的信号传输到此处,除了需要敷设光缆和电缆外还需要使用2~3 个中继器才能将电类传感器的信号再传输2 km 的距离。因而在北桥头设置一个现场监测站,现场监测站与管理终端之间利用约2 km 的光缆进行通讯,这样系统的可靠性得到提高,施工也简便可行。另外,在管理终端再利用 PSTN 或 INTERNET 就可以在更远的地方对桥梁的状态进行监控。

2.2.2 现场方案设计

为了达到自动、实时、长期在线监测的目的,监测系统应该能够按照预定的程序进行桥梁状态参量的收集,进行一定的预处理、存储与初步判断,对异常数据进行预警,并实时调整采集频率。系统还应具有无人职守功能和很强的环境适应能力,能够在不需要人工干预的情况下进行异常情况的处理。

考虑到野外的恶劣环境,为了保证系统的长期可靠性,还应该安装防雷器并保证良好地接地;另外,在不进行数据采集的时候,传感器和系统保持休眠状态从而达到延长系统使用寿命的目的。

2.2.3 系统总体方案设计及实现

综上所述,监测系统的总体方案如图5所示。其中,现场监测子系统通过数字量输出控制开关电路,在系统需要进行数据采集时才打开电源使得传感器及读数仪开始工作;在不采集结构信息的时候传感器处于断电状态,从而延长传感器的使用寿命。另外,现场子系统与远程子系统之间通过连接光缆的

光纤收发器进行数据与命令的双向传输,保证了管理人员能够在远端实时掌控桥梁的状态。

要使得图 5 所示的远程监测系统实现上述的功能,还应该有相应的软件系统得以保证。为此,笔者开发了一套远程状态监测软件系统,该软件系统主要由现场监测子系统、数据传输系统和远端监测子系统三部分组成(由于传输系统要同时分别安装于现场监测子系统和远端监测子系统中,因此也可将

其大致分为现场自动测量应用软件系统和远端自动监控应用软件系统)。该系统采用前、后台形式开发,数据的存储采用数据库形式存放,便于数据的维护和存贮,也有利于数据的再利用,便于与其他软件接口。系统采用的数据库管理系统为 MS SQL SERVER 2000,应用软件开发工具为 Borland Delphi 6.0,运行环境为 Windows 2000 SERVER。

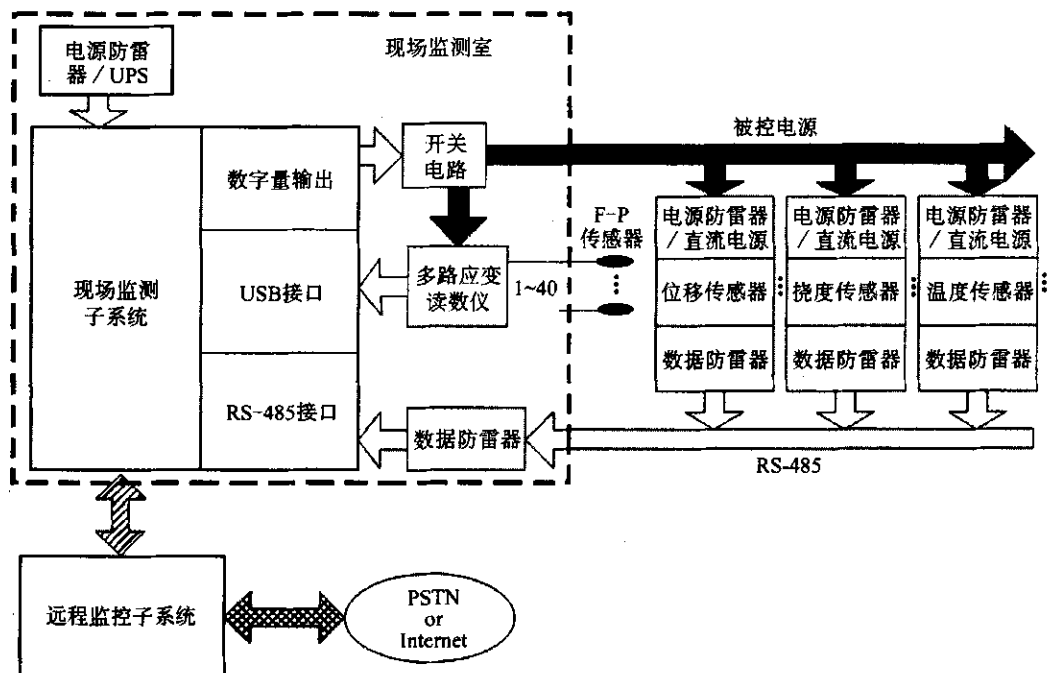


图 5 系统总体方案示意

3 监测结果讨论

整个系统开发完成后已于 2002 年底安装到大佛寺长江大桥上,经过调试及试运行后于 2003 年初正式运行。到目前为止,系统已经正常运行了一年多的时间,获得了桥梁结构的大量信息。

图 6、图 7、图 9、图 10 为 2003 年 3 月 24 日至 2003 年 4 月 1 日期间系统监测到的桥梁温度、挠度、应变及主塔位移的变化结果,数据采集间隔为 1 h。这些参数与温度都呈现出相似的变化趋势,即在 24 h 周期内成有规律的变化,说明了温度的变化对桥梁结构的影响是非常大的。

图 6 是安装在不同位置的传感器的监测结果。其中安装在拉索上的温度传感器变化范围最大,上游拉索处的温度从 11.2°C ~ 47.7°C ,变化范围为 36.5°C ;安装在混凝土梁里的温度传感器变化幅度最小,从 13.6°C ~ 25.1°C ,变化范围为 11.5°C ,

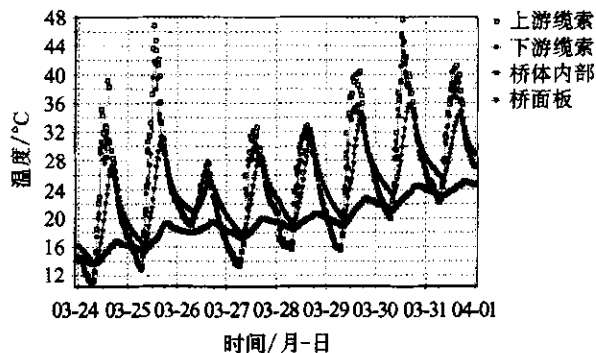


图 6 安装在不同位置的传感器实测值(采样间隔:1 h)

桥面板下的温度居中 10.7°C ~ 35.9°C ,变化范围为 25.2°C 。可认为拉索上测得的温度是外界环境温度,而桥面板下的温度为桥梁表面的温度。外界环境的温度、桥梁表面及混凝土内部的温度依次达到极值,表明了热在桥梁中的传导过程。另外,上下拉

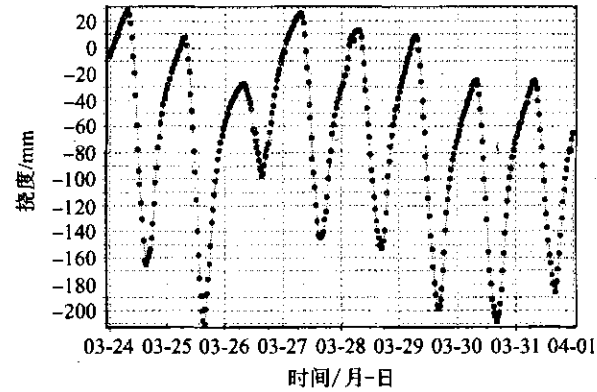


图 7 下游跨中处挠度传感器监测结果(采样间隔:1 h)

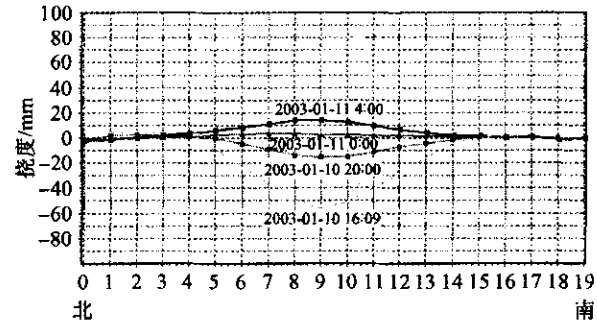


图 8 上游桥梁线形变化(横坐标为安装在桥体上的挠度监测点)

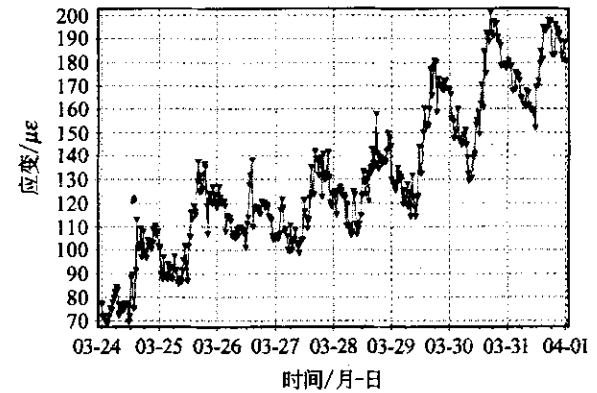
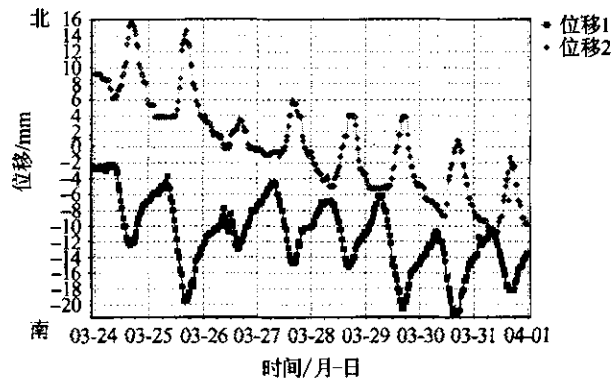


图 9 下游跨中路面处应变监测结果(采样间隔:1 h)

索处的温度也存在差异,这种现象是由风和大气湍流等外界因素造成的。各处温度实测值之间的差异与文献[5]中所述一致。

图 7 为下游跨中处的挠度测量值。从图中可知,随着温度的升高,桥梁挠度变小,桥梁下沉;温度下降后,挠度变大,桥梁上拱。为了更好地说明这个现象,图 8 为 12 h 内桥梁在不同时刻的线形变化情况,随着温度的降低桥梁上拱。桥梁各处的挠度变化范围不同,边跨范围比主跨小,而主跨跨中的挠度变化范围是最大的,与材料力学的有关理论相符。整座桥



注:采集间隔 1 h,位移 1 为北塔位移,位移 2 为南塔位移。

图 10 主塔位移监测结果

梁的线形相对于跨中并不完全对称,这与桥梁所处的地理位置及温度场等外界环境因素密切相关,两座主塔的高度不一致也是造成这种不对称的原因之一。

图 9 为下游跨中路面下的应变监测值,对照温度监测值,应变的变化与温度的变化趋势完全一致,温度升高应变增加,温度降低应变减小。

图 10 为主塔上游侧南、北两个塔顶顺桥向的位移监测值。温度升高时,南北塔向跨中发生位移,温度降低时则向远离跨中的方向运动。这与温度升高桥梁下沉、温度降低桥梁上拱的结论一致。

4 结语

大佛寺长江大桥远程状态监测系统的开发使得桥梁的设计、施工及管理人员在远离桥梁现场的地方了解桥梁的实际状态成为可能。该系统对桥梁实现了远程、实时、在线、自动地监测,提高了结构的使用安全性,大大提高了管理效率,降低了管理成本。然而由于桥梁的生命周期漫长,在其运营过程中该监测系统是否能够长时间可靠地对桥梁的状态进行监测还必须在今后的工作中进行长期考验并进一步完善。

参考文献:

[1] 欧进萍. 重大工程结构的累积损伤与安全度评定[A]. 走向 21 世纪的中国力学——中国科协第 9 次“青年科学家论坛”报告文集[C]. 北京:清华大学出版社, 1996.

[2] 符欲梅,等. 桥梁远程状态自动监测系统的研究、开发及实际应用[J]. 土木工程学报, 2003, (2).

[3] Y M Fu, et al. Remote Health Monitoring System for Bridges. IS³M Hong Kong, October, 2000.

文章编号: 0451-0712(2005)12-0110-06

中图分类号: U491.4

文献标识码: A

高速公路施工区交通特性分析

何小洲¹, 过秀成¹, 吴平², 杨卫东²

(1. 东南大学交通学院 南京市 210096; 2. 江苏省交通厅公路局 南京市 210004)

摘要: 对高速公路施工区的控制区进行了划分,明确了施工区各控制区的主要功能及特征。施工区车辆运行特性表现为合流车辆会造成施工区交通流重分布、超车道车辆优先通行以及合流的强制性等。在大量交通调查的基础上,对施工区行车道、超车道、合流车道的车头时距分布,各控制区的地点车速的频率分布、空间分布,车道占有率以及车辆汇入特征进行了深入分析。

关键词: 高速公路; 施工区; 交通特性; 控制区

伴随着我国高速公路里程的快速增长,高速公路的交通量也呈不断增长的趋势,再加上高速公路上货车超载现象比较严重,许多高速公路的路面条件以及交通设施都不同程度地遭到了破坏,高速公路的施工养护作业变的越来越频繁,并成为高速公路发生经常性拥挤以及造成各类交通事故的重要原因。因此,开展对高速公路施工区的交通特性、通行能力、交通

安全、交通组织的研究具有重要的理论和实际应用价值。然而,由于种种原因,高速公路施工区研究在我国并没有得到应有重视,致使频繁养护施工极大地限制了高速公路经济效益和社会效益的正常发挥。本文拟对高速公路施工区的车辆运行特性、交通流特性进行分析,以期为今后开展高速公路施工区通行能力、交通安全以及交通组织等研究奠定基础。

收稿日期: 2005-06-13

[4] W M Chen, et al. Inline Sensing System for Multi-parameter Remote Measurement Bridge. International Symposium on Long Span Bridges research and Monitoring. Hong Kong, April, 2000.

[5] 刘士林,等. 斜拉桥[M]. 北京:人民交通出版社,2002.

Development and Realization of State Remote Monitoring System for Dafosi Bridge over Yangtze River

FU Yu-mei, ZHU Yong, CHEN Wei-min, HUANG Shang-lian

(Key Laboratory of Optoelectronic Technology and Systems of Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: A state remote monitoring system is designed for Dafosi Bridge over Yangtze River. This system includes two subsystems, namely, local computer subsystem and remote monitoring computer subsystem. The local computer subsystem can gain the state informations of the bridge via sensors, which installed in the key parts of the bridge, such as the fiber-optic strain sensors, the photocell type deflection sensors and the temperature sensors. It also can store and transmit the state information via fiber optic cable to the remote monitoring computer to analyze and evaluate the health state of this bridge. This system was installed in the bridge in the end of 2002.

Key words: bridge; state monitoring; remote; Dafosi Bridge overYangtze River