

# 大跨悬索桥主缆架设智能监测技术

## Intelligent Monitoring Technology for Main Cable Erection of Long Span Suspension Bridge

李辉

Hui Li

中交第二航务工程局有限公司 中国·湖北 武汉 430012

CCCC Second Harbour Engineering Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430012, China

**摘要:** 伍家岗大桥主缆架设采用智能监测施工关键技术,以物联网为基础,把卷扬机、牵引系统等参数集中呈现到智能化监控平台系统内。通过对主缆架设卷扬机全域同步控制,视频监控及任务可视化控制,实现主缆智能化架设,解决了主缆架设过程中卷扬机不同步,进度不协调等问题,达到主缆架设全过程可视、可控,从而提高安全质量管理水平。

**Abstract:** The main cable erection of Wujiagang Bridge adopts the key technology of intelligent monitoring construction, and based on the Internet of Things, the parameters such as hoisting machine and traction system are collectively presented in the intelligent monitoring platform system. Through the whole domain synchronous control, video monitoring and task visual control of the main cable erection winch, the intelligent erection of the main cable is realized, and the problems such as asynchronous winch and uncoordinated progress in the process of main cable erection are solved, so that the whole process of main cable erection can be visible and controllable, so as to improve the level of safety and quality management.

**关键词:** 智能监测; 同步; 可视化; 拽拉器监测

**Keywords:** intelligent monitoring; synchronization; visualization; puller monitoring

**DOI:** 10.12346/etr.v3i11.4618

## 1 引言

悬索桥主缆具有长度大,高空作业多,施工复杂,施工机械设备多,风险大等特点,尤其是大跨悬索桥主缆,施工线较长,过程中靠人力难以实现对主缆架设的精度等质量及安全保证,出现问题不易及时处理,且施工过程中没有追溯性,因此通过主缆架设智能监测系统的应用给予主缆施工质量安全的提升尤为重要。

## 2 工程概况

伍家岗长江大桥位于宜万铁路宜昌长江大桥下游约 5.6km、宜昌长江公路大桥上游约 8km 处。大桥起于点军区江南一路,跨长江与江北片区的快速路(花溪路)对接,建设里程 2.66km,采用双向六车道。宜昌伍家岗长江大桥设计采用主跨 1160m 钢箱梁悬索桥,江北侧采用隧道锚,江

南侧采用重力锚碇,桥面总宽 31.5m。

跨江主桥采用单跨双铰钢箱梁悬索桥。主缆跨度布置为(290+1160+402)m,中跨主缆矢跨比为 1/9,矢度 128.889m。主缆采用预制平行钢丝束股法(PPWS),架设采用单线往复式牵引系统,见图 1。

## 3 智能监测系统的必要性及前景

大量悬索桥施工的经验总结普遍表明,悬索桥上部结构的施工技术及机械设备的日益更新成熟,仍不能解决施工精度存在的人为偏差以及施工机械智能化水平不高等问题。

因此,需要利用更先进的仪器与技术保证悬索桥上部结构施工的质量安全要求。且在标准化、智能化、现代化施工的趋势下,智能监测系统将成为保证大跨悬索桥上部结构施工质量安全保证的根本措施及必要途径<sup>[1-3]</sup>。

【作者简介】李辉(1984-),男,中国陕西渭南人,本科,中级工程师,从事桥梁工程研究。

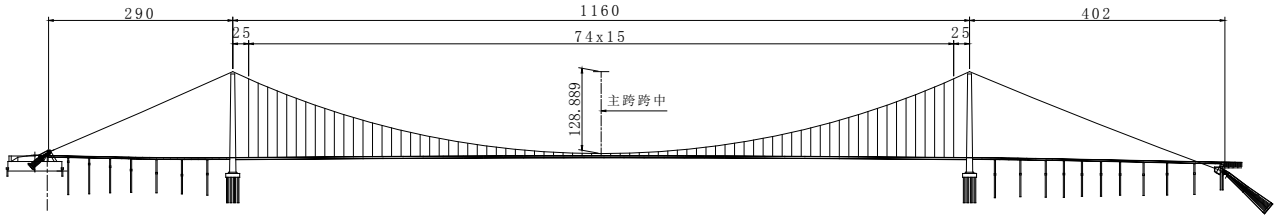


图 1 伍家岗大桥立面图

#### 4 监控系统开发原理

为实现伍家岗大桥智能监测项目，由物联网为基础，通过先进的传感技术和网络技术实时获取卷扬机、牵引系统等各项相关数据，及时将数据传递到智能化监控平台系统中，再在系统中进行数据分析和处理，实时评估各施工阶段的质量与安全状况，对桥梁的安全性和可用性进行评价，从而全面指导整个施工过程。

按图 2 的架构设计，通过在设备及各监控部位安装传感器、监测仪器等原件，对施工进行监测，及时收集数据，（如图右上角所示）并通过传输系统将数据上传至中央处理器，通过与设计数据对比分析（如图中间位置所示），实测数据分析后由预报预警系统发出各项指令（如图下部位置所示），从而起到实时监测的目的，并能在手机 APP 上随时观测数

据（如图左上角所示），从而随时了解现场动态；平台包括数据的感知传输、处理分析和业务应用三个层面，针对一期项目建设重点实现牵引系统拽拉器运行监控、卷扬机运行监控、现场实时影像、系统网络监控以及对应的数据应用平台五大模块，见表 1。

#### 5 仪器设备位置选择原则

仪器设备的位置安装应选择无干扰，无障碍区域，能保证设备不间断地收集、传输数据，其具体安装位置选择原则如下。

##### 5.1 风速风向传感器施工

风速风向传感器用以监测风速，需安装在无阻碍位置，因此应将传感器安装在塔顶上横梁中间或塔侧平台无遮挡位置处，如图 3 所示。

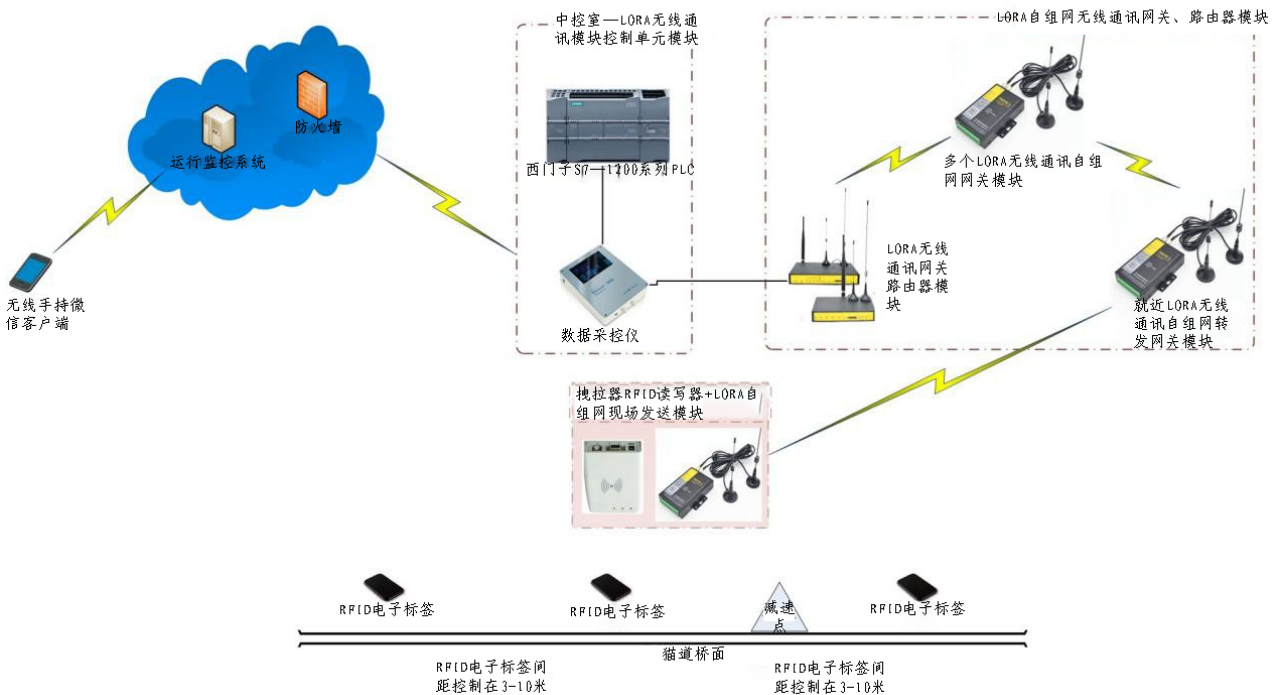


图 2 基于 RFID 与 LoRa 网络的系统拓扑

表 1 监测模块描述表

牵引系统拽拉器运行监控	监测拽拉器加减速率与轨迹定位, 对拽拉器的位置进行识别判断, 获取设施相关运行信息, 以及自动化控制指令发送
卷扬机运行监控	将监测数据通过定向网络传输至平台, 系统平台通过对各模块数据处理分析后实现对卷扬机的自动化控制
现场实时影像	呈现各点位在施工过程中的影像, 配合施工任务完成对施工面的全方位监控, 并将对应影像资料传输至平台
系统网络监控	使后台呈现项目网络各链路的健康情况, 预警提醒运维人员调整优化网络, 保证系统网络的稳定运行
数据应用系统	牵引系统拽拉器运行监控: 位移定位与通过速率分析, 加减速自动控制指令发送、可视化数据统计与对比分析; 卷扬机运行监控: 卷扬机设备状态、运行数据监测及自动化控制响应; 现场实时影像: 现场施工关注点的实时影像; 系统网络监测: 监控系统构成网络的健康状态



图 3 风向及风速传感器安装示意图

记录好风速风向仪安装信息, 如仪器编号、安装日期、具体位置等。此外, 可以使用风速表进行对比分析风速、风向数据, 如图 4 所示。



图 4 风速风向显示

## 5.2 卷扬机张力传感器安装

传感器导轮机构安装位置应尽量靠近卷扬机卷筒位置, 避免卷扬机运行时钢丝绳抖动损坏传感器。支架安装固定时应尽量保证钢丝绳处于水平, 从而避免三个导轮有受力不均而损坏轴承。传感器支架应安装为活动式, 四向均有活动余量<sup>[4-5]</sup>。其中, 卷扬机张力传感器安装见图 5、图 6。



图 5 传感器安装



图 6 传感器细部图

## 5.3 绳速绳长传感器安装

编码器采用导轮传动式安装, 编码器轮缘贴合卷扬机卷筒安装, 导轮与卷筒平行安装, 如果有角度误差, 会导致测量数据误差, 长时间运行会导致导轮松脱损坏编码器, 见图 7、图 8。



图 7 仪器安装



图 8 绳速绳长实时显示

## 5.4 锚索计安装

锚索计与猫道索张拉同步安装, 紧固螺丝, 线路敷设要避免踩踏以及刮擦, 全线路套金属软管保护, 见图 9、图 10。



图9 锚索计安装中



图10 锚索计数据显示

### 5.5 拽拉器监测模块安装

此拽拉器结构为活动式，过门架时，内角达到最大，读卡器的安装位置应避免三脚架挤压，见图11、图12。



图11 读卡器安装



图12 整体效果

### 5.6 数据传输模块安装

该模块指将各个终端安装在传感器旁边，用以牵引系统各类传感器监测设备与中控中心的远距离数据通信，即各项监测数据与中控中心数据采集控制设备的无线远程传输<sup>[6-8]</sup>，见图13、图14。



图13 LoRa 采集器安装



图14 LoRa4G 网关安装

### 5.7 视频监控安装

①以周围物体不遮挡视频监控视野为准。

②安装完成后，记录好球机、枪机安装信息，如IP地址、仪器编号、安装日期、具体位置等。最后可以使用平台进行查看视频画面数据，也可以通过远程进行视频查看。

具体操作见图15、图16、图17。

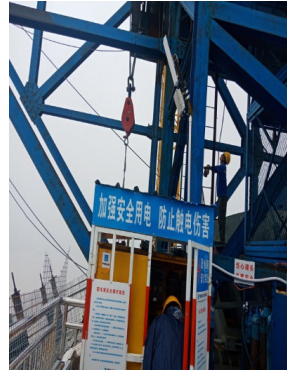


图15 无线网桥安装



图16 监控调试

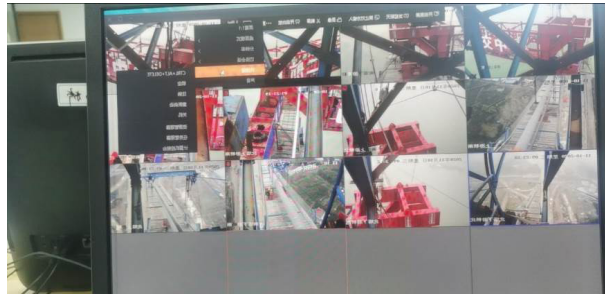


图17 视频监控画面

## 6 监测成果

通过智能监测系统的应用，能实时记录并监测施工动态，同步现场信息，达到实时监控，及时整改的目的，如索股牵引过程中，通过监测仪反应的数据能在第一时间了解卷扬机的张力及索股到达的位置及其所处形态，如不同步或出现其他偏差，通过预警预报系统能及时调整，从而提高了施工质量，避免了施工安全风险<sup>[9-10]</sup>，见图18、图19。



图18 索股牵引过程记录



图19 预警预报汇总表及趋势变化图

## 7 结语

中国宜昌市伍家岗大桥主缆施工期间,运用主缆架设智能建造技术,通过主缆架设卷扬机同步控制,运用智能监测系统全程保障 91 根索股安全、稳定、高效地牵引,为放索提供了准确的实时数据以及有力、高效的安全和施工保障。施工过程中严格按照监控指令施工,使拽拉器受力均匀,主缆牵引同步,保障了主缆整体线型满足设计及监控要求。

### 参考文献

- [1] 中交二航局宜昌伍家岗大桥上部结构专项施工方案[Z].2019.
- [2] 周孟波.悬索桥手册[M].北京:人民交通出版社,2003:200-201.
- [3] 沈锐利.悬索桥主缆系统设计及架设计计算方法研究[J].土木工程学报,1996(3):23-24.
- [4] 谭红梅,袁帅华,肖汝诚.基于悬链线的大跨度悬索桥基准索股调

- 整[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版)论文,2009(5):13-14.
- [5] 王峻,林帆.特大跨径悬索桥主缆PPWS 施工牵引力近似计算方法[J].中国工程科学,2012(5):34-35.
- [6] 潘振胄.大跨径悬索桥主缆架设技术[J].中外公路,2001(7):56-57.
- [7] 张自荣,叶觉明.润扬大桥主缆用127丝PPWS制作工艺的质量控制[J].桥梁建设,2004(6):70-72+76.
- [8] 王红霞,朱治宝.悬索桥主缆索股架设计常见问题分析及处理措施[J].世界桥梁,2007(4):89-90.
- [9] 吴先树.江阴大桥猫道索及主缆索股设计与施工特点[J].国外桥梁,2000(8):55-56.
- [10] 廖灿,张念来,易继武.矮寨特大悬索桥主缆架设关键技术[J].施工技术,2013(5):77-78.

(上接第 44 页)

加下,导致再次垮塌。

③毛石挡土墙开裂的综合分析结果:鱼塘边土体承载能力较差,村民自建的毛石挡土墙基础可能未进行加固,在新农村建设工程施工前可能已开裂,且在重车和护栏自重作用下导致毛石挡土墙进一步开裂。

④村内主路路面脱空的综合分析结果:道路基础承载能力较差,土体厚度分布不均匀,在土体自重和重车的作用下会发生不均匀沉降,且混凝土与填土的刚度存在差异,导致两者变形不协调,使混凝土路面与毛石挡土墙之间脱开。

⑤村内主路路面线裂的综合分析结果:原混凝土路面在新农村建设工程施工已存在一条纵向混凝土新旧接缝,但在该工程施工过程中未对既有接缝进行妥善处理,且沥青面层平均厚度均与竣工图不符,可能导致原混凝土路面的接缝对沥青路面产生影响,并出现反射裂缝<sup>[5]</sup>。

## 7 结论

结合某地鱼塘边道路的现状调查、历史资料分析和天气资料调查结果,以现行国家和行业规范为依据,进行深入、细致的综合分析。主要有以下结论:

①村民自建的毛石挡土墙和村内道路施工质量较差,道路承载能力不足,新农村建设工程未进行勘察、设计,未对毛石挡土墙、道路基础进行加固和道路既有病害进行处置,

是导致鱼塘边道路受损的主要原因。

②绿道周边地面汇水面积大,但排水不畅,频繁降雨使护栏基础和毛石挡土墙承受较大的水压力,是绿道塌方和毛石挡土墙垮塌的外部原因。且绿道塌方处与毛石挡土墙垮塌处之间的路面和护栏基础已出现整体往鱼塘侧变位的趋势,也同样存在塌方隐患。

③村内主路存在重车通行、新增护栏较重,且道路下卧土体分布不均匀,是毛石挡土墙开裂和村内主路路面脱空的外部原因。

④村内主路原混凝土路面与毛石挡土墙、道路下卧土体变形不协调,是村内主路路面脱空的间接原因。

### 参考文献

- [1] 张中齐.道路工程项目风险评估系统研究[D].成都:西南交通大学,2013.
- [2] 童彤.某场区道排工程质量鉴定研究[J].安徽建筑,2021,28(7):221-222.
- [3] 张飞,张建坤,曹伍富.三维激光扫描技术在道路沉降监测中的应用探讨[J].工程勘察,2019,47(5):53-57.
- [4] 司梦元,韩达光,郭杰明,等.基于三维激光扫描点的道路路面变形分析方法[J].科学技术与工程,2019,19(24):386-391.
- [5] 邵彦宏.农村公路水泥混凝土路面病害成因及防治[J].黑龙江交通科技,2019,42(3):9-10.