

塔机安全施工可视化监控系统

张延年¹, 张学峰², 张明展², 朱鑫泉¹, 高 维²

(1. 沈阳建筑大学土木工程学院, 辽宁 沈阳 110168; 2. 中建七局第一建筑有限公司, 辽宁 沈阳 113001)

摘 要 目的 研究塔机安全施工可视化监控技术, 提高塔机施工安全与运作效率。
方法 建立塔机安全施工可视化监控系统及使用平台, 建立驾驶行为分析与疲劳警报系统, 并实现塔机基础监测与吊钩可视化。
结果 塔机安全监控报警系统能够准确获取有效数据来判断驾驶员的行为及疲劳状态; 驾驶员识别系统能够实现对驾驶员的面部识别; 驾驶行为分析系统通过监管吊钩高度、小车位置和塔臂转角等参数, 建立了行为规范评分机制, 能够改善驾驶员驾驶行为; 建立了疲劳警报系统连续驾驶计算规则, 确定疲劳驾驶临界时间, 并设置终端强行停止塔机运转功能。塔机基础监测系统采用公用无线数据网, 实现了实时数据无线上传及记录。
结论 塔机安全施工可视化监控系统能够有效提高塔机施工效率, 并保证塔机运转安全。

关键词 塔机; 安全监控系统; 物联网技术; 识别系统; 驾驶行为分析; 疲劳警报

中图分类号 TH213.4 文献标志码 A

Visual Monitoring System for Construction Safety of Tower Crane

ZHANG Yannian¹, ZHANG Xuefeng², ZHANG Mingzhan², ZHU Xinquan¹, GAO Wei²

(1. School of Civil Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168; 2. First Construction Co. Ltd., China Construction Seventh Bureau Group, Shenyang, China, 113001)

Abstract: In order to improve the safety and operational efficiency of tower crane construction, a tower crane safety construction monitoring system and platform was developed. The results of the study show that the tower crane safety monitoring and alarm system is capable of obtaining accurate and valid data to determine the driver's behavior and fatigue status. The driver identification system can realize facial recognition of the driver. By monitoring parameters such as hook height, trolley position and jib angle, the driving behavior analysis system establishes a scoring mechanism for behavioral norms to improve driving behaviors of drivers. The fatigue alarm system establishes continuous driving calculation rules, determines the critical time for fatigue

收稿日期: 2021-03-03

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFC1907200)

作者简介: 张延年(1976—), 男, 教授, 博士, 主要从事绿色建筑与施工安全等方面研究。

driving, and sets up the terminal to forcibly stop the tower crane's operation. The tower crane foundation monitoring system adopts public wireless data network, realizing real-time data wireless upload and record. The hook visualization system realizes automatic tracking to complete the guidance work. Engineering practice shows that visual monitoring system for tower crane safety construction can effectively improve the construction efficiency of the tower crane and ensure the operation of the tower crane safety.

Key words: towers; security monitoring systems; internet of things technology; identification system; driving behavior analysis; fatigue alert

在一些发达国家,尤其在德国、美国、意大利、日本以及俄罗斯等国家塔机技术的发展相对较早^[1]。这些国家所生产的塔机性能相对安全可靠,市场份额占比较大,均配置了先进的安全监控产品^[2]。其中,法国的波坦公司的塔机技术不断创新,始终处于世界领先地位。比如,所采用辅助的驾驶系统可以提供实时监测的记录数据,能够有效监测电源供电、塔机运行与制动的相关状况,并根据所设定的阈值,及时提醒操作人员,必要时发出预警信息,明确超标项目^[3],另外,美国克瑞集团有限公司所生产的塔机提供全套的无线安全监测系统(Wireless Monitoring Solution, WMS)能够实现短距离无线传输^[4-6]。法国SMIE公司的AC30塔机防碰撞系统以及德国的采用激光测距和超声波定位技术塔机监控系统^[7]。但是从目前来看,国外所研究的塔机监控系统主要提供用于安装在塔机上的监控系统,不是真正意义上的远程监测。

近些年来,随着国内智能化技术的发展,我国塔机保有量不断提升,截至2020年,已经超过50万余台,且增长的速度较快,每年约增加3万台^[8]。国内一些企业,包括西安丰树电子科技有限公司,杭州品茗安控信息技术股份有限公司以及黑龙江天物科技发展有限公司等先后开发了塔机安全监测系统^[9]。这些塔机安全监测系统能够对塔机吊重、位移、转角与风速进行实时监测,并设置了可以实时保存数据的黑匣子。另外,无线监测技术也越来越多地被应用于塔机监

测^[10-12]。然而,我国塔机驾驶员普遍操作不规范,缺乏有效的安全保护设施,往往通过视觉观测周围状况,对塔机的各项参数存在较大偏差,使塔机事故频频发生,造成了巨大的经济损失与人员伤亡^[13]。

基于上述分析,笔者为实现塔机全过程监控,通过驾驶员识别系统、驾驶行为分析系统和疲劳报警系统,建立塔机驾驶分析系统,对驾驶员的行为规范进行严格评分,并根据驾驶员的不同得分情况提出相应的警示,确保塔机安全施工。研究表明:塔机安全施工可视化监控系统能够有效提高塔机施工效率,并保证塔机运转安全。

1 塔机安全施工监控系统

1.1 系统维护模块

系统维护模块主要包括操作员权限与定义、参数设置、数据备份、恢复备份、修改密码、更换操作员、退出系统,通过修改系统下方显示的信息可以进行模块维护。

1.2 设置模块

基础资料设置模块主要包括单位信息、部门与人员、区域信息、塔基信息等。系统功能设置模块主要包括操作人员上机记录、错误人员登记记录、塔机基础监测记录、塔基故障申报、塔基维修登记、塔基维保登记、驾驶行为登记、疲劳状态登记、设备仪器检查等。

1.3 数据分析模块

数据分析模块主要包括驾驶员疲劳分析、驾驶员行为分析、塔基设备故障率分析。数据分析模块主要功能对驾驶员工作情况分

析,准确记录操作人员的工作状况。

2 驾驶行为分析与疲劳警报系统的建立

2.1 塔机安全监控报警机理

塔机系统主要由塔机 IC 卡 (Integrated

Circuit Card,集成电路卡,简称 IC 卡)管理系统、驾驶员识别系统、驾驶行为分析系统、疲劳报警系统、塔机基础监测系统、吊钩可视化系统组成(见图 1)。

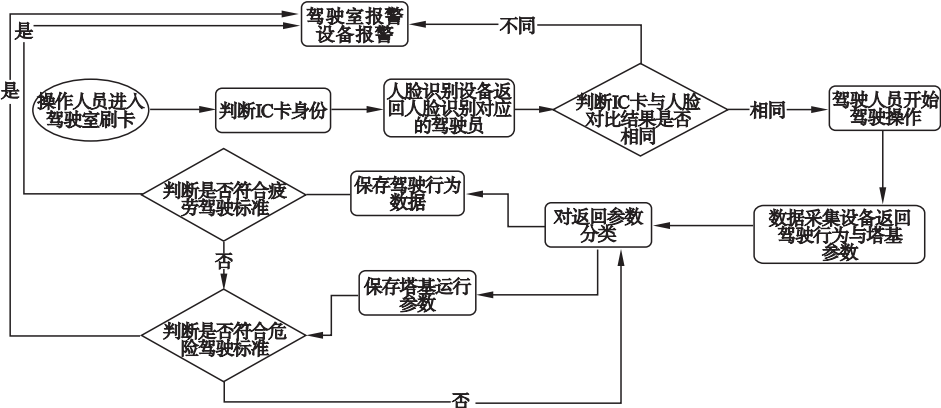


图 1 塔机监控系统流程图

Fig. 1 The flow chart of tower crane monitoring system

塔机安全监控报警系统由塔机安全监控管理系统主机和远程监测管理平台组成。主机安装在工地现场塔机上,并连接幅度、高度、回转、重量、倾角、风速、防碰撞模块等传感器。采用无线网络把主机采集的各种健康参数实时上传到远程监测管理平台。

塔机监控系统通过对黑匣子的工作状态进行分析,进而判断驾驶员的行为是否合理合规。系统时刻监控黑匣子相关参数变化,通

过软件呈现当时运行状态黑匣子传递参数(见表 1)。通过调取黑匣子转角传感器、幅度传感器、高度传感器、重量传感器、风速传感器、倾角传感器、防碰撞传感器等信息对驾驶员的行为及疲劳状态进行判断。通过塔机安全监控系统,掌握吊钩高度的变化、小车位置变化和塔臂转角变化。建立驾驶员规范评分系统,驾驶员可根据评分系统不断完善驾驶习惯,从而减少事故的发生^[7]。

表 1 黑匣子传递参数表

Table 1 The transfer parameters of black box

参数名称	必选	类型	说明
起始时间	否	—	起始时间
结束时间	否	—	结束时间
历史记录	否	—	查询一段时间内的数据
页数	否	整数	页数
条数	否	整数	条数
筛查	否	组	筛选数据:1. 正常;2. 预警;3. 报警;4. 正常 + 预警;5. 正常 + 报警;6. 预警 + 报警;0. 查询所有
检索类型	否	整数	模糊搜索的类型:1. 项目名称;2. 出厂编号;3. 出厂名称;4. 备案编号
用户名	是	整数	用户名
密码	是	整数	密码

2.2 驾驶员识别系统

为杜绝非专职驾驶员操作塔机,塔机驾驶室内摄像头能有效进行面部识别,一旦出现专职驾驶员与 IC 卡不符,立即发出警报,禁止任何操作。驾驶员识别系统实现了人脸识别,根据人脸明暗程度自动调整曝光的补偿量,并实现自动调整人脸影像收放。

在进行驾驶员人脸识别时,进行人像建模,再将驾驶员人像模型与数据库中的各个模板进行对比分析,最终通过对比的相似值给出人员清单,保证驾驶的合法与安全性。

2.3 驾驶行为分析系统

在塔机运行期间,相应管理人员可对驾驶员进行附加监管,确定是否存在违规操作行为,进而降低塔机事故风险,并降低塔机维护成本。为预防事故发生,对操作规则进行系统规范,建立塔机安全监控系统,能同时检测吊钩高度、塔臂转角以及小车的位置变化情况,根据检测参数建立驾驶规范评分机制。塔机安全监控系统根据评分的严重程度,发出不同警示,有助于改善驾驶员的驾驶行为,有效减少事故发生。

2.4 疲劳警报系统建立

为避免疲劳驾驶行为出现,建立驾驶员上下机打卡验证系统,当驾驶员连续工作超过某一时长,疲劳警报系统对当班驾驶员及负责人进行相应预警提醒。疲劳警报系统中增设疲劳报警调整模块,以 30 min 为标准,驾驶员连续 30 min 不起吊重物时,认为驾驶员得到有效休息,否则确认为连续驾驶;疲劳警报系统设定驾驶员连续驾驶 2 h,终端强行停止塔机工作 10 min,上述时长均由目前的最优设置时长,但可根据实际情况进行不同验证,调整连续驾驶时间和强制停机时间,这样能有效保护驾驶员并保证塔机功效与安全。

3 塔机基础监测

3.1 塔机基础监测系统

塔机基础监测系统,即黑匣子,是塔机安全监测系统的核心组成部分,塔机安全的基础参数都通过黑匣子进行监测。黑匣子包括高度接口、幅度接口、回转接口、重量接口、风速接口倾角接口、倾角接口、制动传输接口、VGA 接口等。

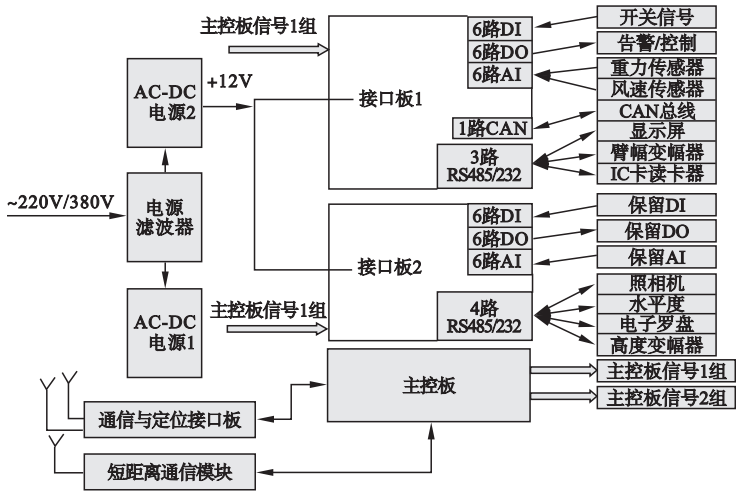


图 2 塔机安全监控电路控制图

Fig. 2 The safety monitoring circuit control diagram of tower crane

塔机安全监控电路控制采用公用无线网络,考虑使用的成本和塔机数据大小,选用通用无线分组业务 (General Packet Radio

Service, GPRS) 实现数据传输功能。塔机监控系统随时对黑匣子数据进行整合分析,并将数据传递给相应负责人。黑匣子能实现多

方实时监管、区域防碰撞、塔群防碰撞、防倾翻、防超载、实时报警、实时数据无线上传及记录,实现精准吊装、塔机远程网上备案登记等功能(见图2)。

3.2 远程监测管理平台

为实现塔机基础监测系统的可视化管
理,建立远程监测管理平台。可实现塔机网
上申报、建机科经办审核、建管处审批、监控
登记、实时监控、统计分析等各项功能(见图
3);可实现工地现场管理部门及安监机构对
塔机的实时在线监管、安全状况分析、塔机网
上备案、登记情况、塔机开工统计、塔机位置
显示和历史数据分析等,且管理人员可以通过
网络实时查询历史数据。

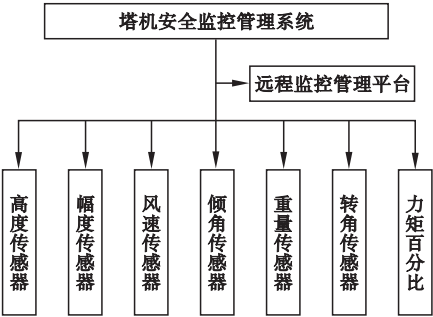


图3 塔机安全监控系统控制图

Fig.3 The control diagram of tower safety monitoring system

4 吊钩可视化

随着建筑物的密度越来越高,建筑物往
往遮挡驾驶员视线;如依靠引导员指令操作,
不仅工作效率低,还会经常出现失误或通信
障碍造成安全事故。因此建立吊钩可视化系
统,采用监控技术、图像显示技术实现塔机吊
钩自动跟踪、降低盲吊风险、作业记录实时存
储、数字化工地监管等功能。

5 工程实践

在中建七局沈阳某施工现场(见图4),
安装布置 RFID 验证、人脸识别、防沉降监测
器、黑匣子、吊钩可视化等设备,塔机司机上
机实行刷卡验证制度,刷卡成功后刷脸人验
证是否为本人。另外,通过地面监控平台,实
时监控塔机司机的工作状态,判断其是否疲
劳驾驶,是否有违规操作。通过吊钩可视化,
塔机司机与地面监控平台均可看到吊钩所
在位置,避免“隔山吊”情况的发生,防沉降系
统实时监测塔机位置与地面基准点的距离变
化,一旦超出设定范围将发出预警。黑匣子
实时采集塔机风速、塔机高度、起重质量等
各项基础数据,且移动端也可实时查询各类
数据以及现场状况。

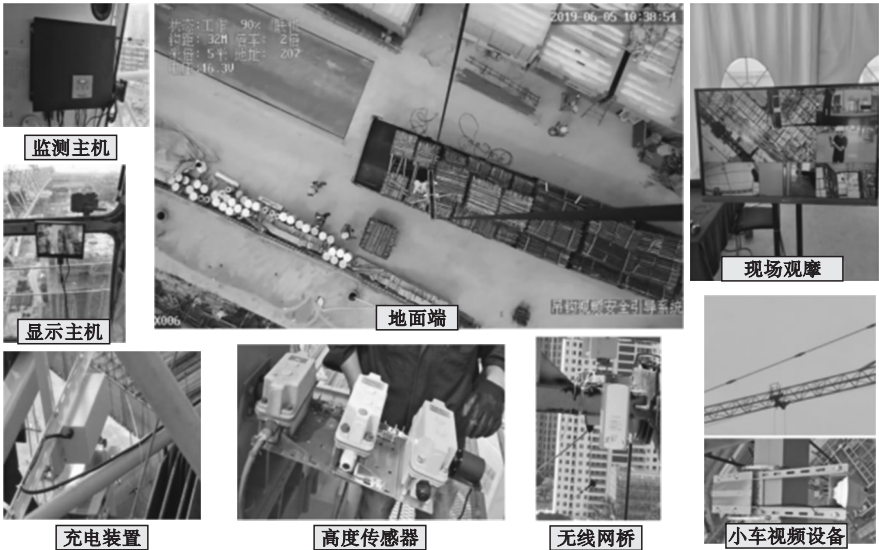


图4 吊钩可视化现场监测图

Fig.4 The on-site visual monitoring pictures of hooks

6 结 论

(1)塔机安全施工可视化监控系统能准确检测到塔机高度、重量、倾角、风速、回转以及防碰撞模块等数据,并通过获取信息有效判断驾驶员的行为及疲劳状态。

(2)驾驶员识别系统能够对驾驶员进行有效面部识别,一旦出现专职驾驶员与IC卡不符,立即发出警报,禁止任何操作,有效保证操作规范与安全。

(3)驾驶行为分析系统通过小车位置、塔臂转角、起吊重量以及吊钩高度变化等系列参数,实现驾驶规范的综合评分,有助于改善驾驶员的驾驶行为,有效减少事故发生。

(4)疲劳警报系统建立疲劳报警调整模块,设定连续驾驶计算规则,确定疲劳驾驶临界时间,并设置终端强行停止塔机运转功能,可有效地保护驾驶员并保证塔机功效与安全。

(5)塔机基础监测系统采用公用无线数据网,实现了多方实时监管、区域防碰撞、塔群防碰撞、防倾翻、防超载、实时报警、实时数据无线上传及记录,可以进行精准吊装、塔机远程网上备案登记等功能。

(6)吊钩可视化系统采用监控技术、图像显示技术实现塔机吊钩自动跟踪、降低盲吊风险、作业记录实时存储、数字化工地监管等功能,实现了自动跟踪完成引导工作。

参考文献

- [1] 杨国栋,古献义.塔机在国外的发展简介[J].建筑机械化,2007,28(10):23-24.
(YANG Guodong, GU Xianyi. Development of tower cranes abroad [J]. Construction mechanization, 2007, 28(10): 23-24.)
- [2] YU Yang, ZHAO Zhenlian, CHEN Liang. Research and design of tower crane condition monitoring and fault diagnosis system [C]//2010 international conference on artificial intelligence and computational intelligence. Sanya: [s. n.], 2010: 405-408.
- [3] 陈帅,周见行,姜伟.基于GSM的塔机安全监控系统[J].机电工程,2011,28(3):337-342.
(CHEN Shuai, ZHOU Jianxing, JIANG Wei. Safety monitoring and management system for tower crane based on GSM [J]. Mechanical and electrical engineering, 2011, 28(3): 337-342.)

- [4] LIU Xiaoyang, XIA Zhongwu, TAO Zhiyong, et al. Neural network expert system in the application of tower fault diagnosis [C]//Advanced research on electronic commerce, web application, and communication. Beijing: Springer Berlin Heidelberg, 2011: 212-217.
- [5] 付鹏.基于LBP阈值特征的驾驶员识别方法研究[D].重庆:重庆邮电大学,2013.
(FU Peng. Research on face recognition method based on LBP threshold feature [D]. Chongqing: Chongqing University of Posts and Telecommunications, 2013.)
- [6] SUN Maoheng, QIAN Yicheng. Study and application of security based on ZigBee standard [C]//2011 third international conference on multimedia information networking and security. Shanghai: IEEE, 2011: 508-511.
- [7] 李春雷.建筑塔吊监控系统远程终端的开发[D].西安:电子科技大学,2010.
(LI Chunlei. Development of remote terminal of building tower crane monitoring system [D]. Xi'an: University of Electronic Science and Technology, 2010.)
- [8] 渠克,张玲,沈晨.基于“互联网+”的全过程塔机安全监控系统研究[J].中华建设,2018,3:126-127.
(QU Ke, ZHANG Ling, SHEN Chen. Research on the whole process tower machine security monitoring system based on "Internet +" [J]. China construction, 2018, 3: 126-127.)
- [9] 周子莲.塔吊远程安全监测系统硬件设计与实现[D].西安:电子科技大学,2013.
(ZHOU Zilian. Hardware design and implementation of remote security monitoring system for tower crane [D]. Xi'an: University of Electronic Science and Technology, 2013.)
- [10] 张伟,廖阳新,蒋灵,等.基于物联网的塔式起重机安全监控系统[J].中国安全科学学报,2021,31(2):55-62.
(ZHANG Wei, LIAO Yangxin, JIANG Ling, et al. Safety monitoring system of tower crane based on internet of things [J]. China safety science journal, 2021, 31(2): 55-62.)
- [11] 何光辉,李晓伟,李鑫奎,等.基于有限元与物联网的塔式起重机安全监测系统[J].中国安全科学学报,2020,30(11):88-94.
(HE Guanghui, LI Xiaowei, LI Xinkui, et al. Research on safety monitoring system of tower crane based on FEM and IOT [J]. China safety science journal, 2020, 30(11): 88-94.)
- [12] 王井利,张宁,杨成杰,等.基于Landsat数据沈阳城市建成区动态监测研究[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2019,35(6):1083-1088.
(WANG Jingli, ZHANG Ning, YANG Chengjie, et al. Dynamic monitoring research on built-up area in Shenyang based on landsat data [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2019, 35(6): 1083-1088.)
- [13] YUAN Liyan, ZHANG Guiqing, GAO Huanbing. Implementation of a multifunction black-box for tower crane based on ARM and μ COS-II [C]//World congress on intelligent control and automation. Chongqing: [s. n.], 2008: 7681-7685.
(责任编辑:刘春光 英文审校:范丽婷)