

Design and Application of Remote Monitoring System for Fastener Axial Force Based on Electric Internet of Things

Lingzhi Zhuang¹, Puzhi Zhao², Cheng He¹

¹Institute of Electric Power Research, State Grid Xinjiang Electric Power Co. Ltd., Urumqi Xinjiang

²State Grid Xinjiang Electric Power Co. Ltd., Urumqi Xinjiang

Email: Zhuanglz5016@163.com, Zhaopz@163.com, HeCheng@163.com

Received: Nov. 14th, 2019; accepted: Nov. 29th, 2019; published: Dec. 6th, 2019

Abstract

In the strong winds and large temperature difference areas of Xinjiang, the axial force of fastener is easy to drop due to the environmental impact, resulting in power transmission safety accidents and other issues. Based on the electric internet of things (EIoT) and embedded technology, this paper designs a remote temperature, wind speed and axial force monitoring system. The whole system consists of three parts: field data collection, network sensor module and cloud server. The high-precision sensor collects the field data, and the MCU processes and stores the data. The network sensor module composed of GSM chip and an Ethernet gateway transmits data to a cloud server in real time. Based on MySQL database, Apache and Java technology, the cloud server realizes data storage, analysis and real-time graphical display. The field test shows that the system can effectively monitor the tower with high failure rate area, improve the stability of the line, and ensure the safety of the line. In addition, it can provide first-hand data for improving the fastening construction technology and studying the relationship between the axial force drop and environmental factors.

Keywords

Axial Force Monitoring System, Electric Internet of Things, Embedded Technology, GSM Communication

基于E-IoT的紧固件轴力监测系统设计与应用

庄凌志¹, 赵普志², 何成¹

¹国网新疆电力有限公司电力科学研究院, 新疆 乌鲁木齐

²国网新疆电力有限公司, 新疆 乌鲁木齐

Email: Zhuanglz5016@163.com, Zhaopz@163.com, HeCheng@163.com

收稿日期: 2019年11月14日; 录用日期: 2019年11月29日; 发布日期: 2019年12月6日

摘要

针对新疆大风、大温差地区, 紧固件轴力受环境影响容易下降造成电力传输安全事故等问题, 本文基于电力物联网(EIoT)和嵌入式技术设计了一套远程温度风速轴力监测系统。整个系统由现场数据采集、网络传感模块、云服务器三部分构成。高精度传感器采集现场数据, 主控芯片对数据分析处理存储; GSM芯片和以太网组成的网络传感模块将数据实时传输云服务器; 云服务器基于MySQL数据库、Apache、Java技术实现数据的存储、分析、实时图形化展示。通过在吐鲁番750 kV达吐I线铁塔上现场试验, 验证了此监测系统能够实现环境参数和轴力参数采集, 并对采集到的数据进行有效处理。此系统能够对高故障率地区铁塔实现有效监测, 提高线路稳定性, 保障线路安全, 此外还为提高紧固施工技术, 研究轴力下降与环境因素关系提供一手数据。

关键词

轴力监测系统, 电力物联网, 嵌入式技术, GSM通信

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

新疆电力资源丰富, 国家电网“十二五”计划建设了多条“疆电外送”特高压输电线路, 支持东部国民经济持续发展。建设完成的特高压输电线路使用了大量的输电铁塔, 而螺栓紧固件是输电铁塔应力传递重要部件, 使用量巨大。在大风、大温差的新疆地区, 容易产生大风震动冲击和温差膨胀冷缩, 造成紧固件自锁平衡被打破, 发生松动和疲劳失效[1]。新疆纬度高, 昼夜温差很大, 夏日高温高达 40℃, 冬日低温直到-40℃, 巨大温差造成金属螺栓热胀冷缩, 产生轻微形变, 影响自锁稳定性[2]。此外, 新疆的九大风区年大风日数(8级及以上大风)大多在 100 天以上, 特别是秋冬、冬春交际时期, 自然风速较大, 甚至灾害性大风天气[3]。根据实地考察, 我国西北部地区高压输电线路铁塔紧固件松脱现象严重, 关键部位的螺栓失效, 对电网传输造成了严重毁坏[4]。因此, 基于电力泛在物联网技术, 完善输电线路风温环境参数和紧固件轴力变化监测, 加强特高压输电线路运行稳定性有重大意义。

电力物联网对提升电网建设有明显的积极意义, 显著提高电力系统的稳定性和安全性[5][6]。基于物联网的监测平台已经多有研究, 但都没有专用于输电铁塔轴力监测。周建英[7]设计了一种对充电桩数据采集的监控平台, 实现充电桩运行信息数据的实时采集展示, 并通过平台人工交互, 为大规模电动汽车有序充电提供了支持。周慧彬[8]提出一种基于视频技术的配电网图像监测系统, 因为视频数据庞大, 因此通过 4G 通信方式, 实现数据传输。刘冰[9]基于 GPRS 技术设计了一套热力站热网远程监测系统, 通过检测终端、传感器终端、监测中心数据服务器实现监测系统正常运行。

以电力物联网保障“坚强智能电网”, 实现两网联合。本文以智能传感器、智能嵌入式芯片实现现场采集, 以 GSM 通信技术实现网络传输, 基于云平台服务器实现远程应用监测, 研发了基于电力物联网的广泛电力铁塔群螺栓紧固件轴力的监测系统。监测系统实现区域风速、温度等现场环境记录, 完善铁塔紧固件轴力数据记录, 实现远程监测、故障报警。此外, 大量监测数据还可用于获得紧固件扭矩系数分布规律, 为研究紧固件松动机理提供切实的数据基础, 继而为下一步提出切实可行的防松措施做好技术支撑, 对保障电网“疆电外送”的实施、国家“一带一路”战略规划都具有重要的意义。

2. 系统架构设计

2.1. 总架构设计

紧固件轴力监测系统, 可为螺栓紧固件提供一种基于物联网的状态信息采集方式, 实现对服役环境的风速、温度和轴力监测。监测系统主要由远程 MCU 采集系统和云服务器构成, 两者之间通过 GSM 技术和 TCP 网络实现数据传输。系统的总体架构如图 1 所示。MCU 采集系统通过状态感知采集模块(风速传感器、温度传感器、穿轴式称重传感器), 实现风速、温度和轴力主要数据采集; 存储模块将采集数据现场保存, 并通过 GSM 通信模块和 TCP 网关实现以太网连接, 以此实现和云服务器数据共享。云服务器主要包含 Java 接收程序、数据库、网站服务器, Java 程序监听特定端口, 接收 MCU 采集节点发送的数据帧并将其存储入数据库中, 网站服务器提供数据访问功能, 网页设计通过 PHP 脚本语言访问数据库, 数据访问者可使用移动终端或工作站查询数据。

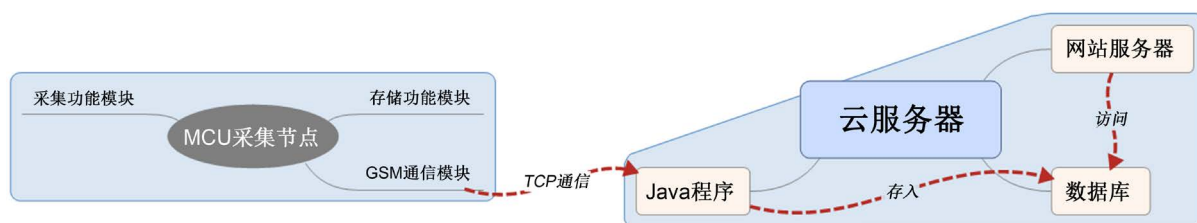


Figure 1. Overall structure of fastener axial force monitoring system

图 1. 紧固件轴力监测系统总体架构图

2.2. 数据采集模块架构设计

分析系统功能需求, 数据采集架构设计如图 2 所示。采集系统 MCU 控制整个节点运行, 实现整体功能完成。供电部分需要提供节点所有模块完成所需功能能源。因为铁塔地处偏远, 取电不易, 因此需要太阳能组件和蓄电池组成简单光储系统模块作为电源, 并由供电电压采集模块监测当前供电状态。通过相应数字传感器采集现场温度、风速数据, 通过穿轴式称重传感器采集轴力变化数据, 并存储于现场数据存储模块, 供现场数据分析和通信传输。现场存储的采集数据和系统重要事件(上电启动、系统调试等)都将通过 GSM 通信技术将数据传输到 TCP 网关, 网关实现网络中继功能, 将数据传送云端服务器; 同时通信接口也接受客户端人工设置(通信时间、设定采样周期)。系统可以使用人机交互模块设定设备特征码与服务器 IP 地址、端口, 同时也能使用触摸屏模块进行参数调试, 测试采集节点各功能模块的工作情况。

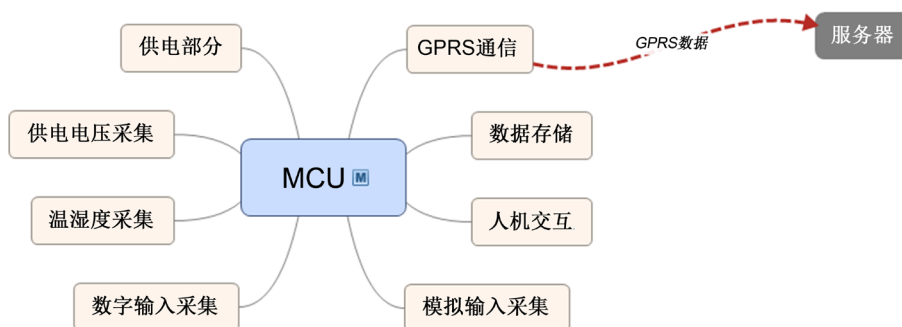


Figure 2. Function block diagram of acquisition node

图 2. 采集节点功能框图

2.3. 服务器架构设计

服务器架构框图如图 3 所示。在阿里云平台上搭建专用服务器，操作系统选用 windows server 2008。Java 程序执行在 JRE 环境下，主要负责采集节点与服务器网络通信并将数据存储入数据库中。MySQL 数据库保存用户信息、各节点数据和节点设置数据。云平台服务器、数据库、PHP 运行环境和功能网页共同实现数据实时图形化显示、全数据存储分析、预警、采集节点相关远程设定等功能[10]。

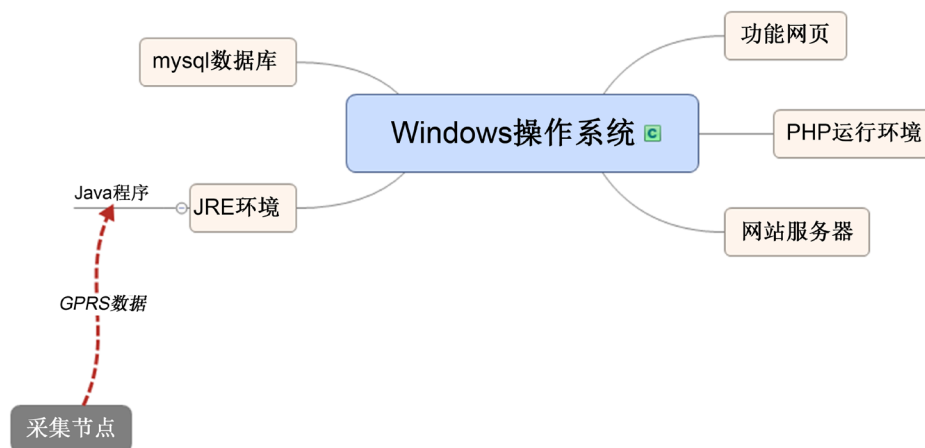


Figure 3. Server architecture block diagram
图 3. 服务器架构框图

3. 物联网三层体系实现

3.1. 现场感知层

现场感知层主要为区域输电铁塔上紧固件轴力和风速、温度的实时采集模块，即高精度传感器和无线采集卡模块。对采集节点的主控模块进行需求分析，MCU 选定为 STM32VBT6。供电采用光伏组件和蓄电池组成电源模块，使用 K7805 开关电源模块和 AMS1117-3.3 分别满足 5 V 和 3.3 V 的数字供电需求，使用 MC78M05 完成 5 V 模拟供电需求；供电电压采集由 MCU 的片上 12 位 ADC 完成，外部设计 LM258 电压跟随器电路。

输电铁塔往往建在野外区域，采用太阳能发电解决野外监测设备供电问题是最快、最有效的办法。太阳能发电系统由太阳能板、太阳能智能控制器、蓄电池组成。根据系统供电需求，网关最大功率在 15W，单个无线测量模块最大功率在 2 W。无线测量模块可支持 4 节 1.5VAA 碱性备用电池供电，如果外部电源断开，则自动切换至备用电池供电，而不会丢失数据或断网。选取 18 V 50 W 单晶太阳能板为系统供电，太阳能板采用 A 级电池片，表面光滑平整，采用钢化玻璃层压，能有效抗击冰雹，并具有良好的弱光效应。电池选用 12 V 38 AH 硅能蓄电池，在获得持久电能的同时，无环境污染，大电流放电、快速充电、耐低温-40℃~70℃。整套系统可保证在最大一周时间无日照情况下在线监测系统正常工作，保证了监测系统的电力供应，体现无人值守、高效稳定运行的优点[11]。

如图 4 所示，使用 JHBH 型穿轴式称重传感器检测紧固件轴力变化，传感器弹性元件在外力作用下产生弹性变形，使粘贴在弹性元件表面的电阻转换元件也同时变形，改变电阻阻值，测量电路把电阻变化转换为电压信号，至此外部受力变化转化成电信号变化。

本文基于 WSN-3214 无线测量模块对传感器输出的电压信号进行采集并发送，采用全桥方式连接电路，如图 5 所示。借助其灵活的模拟前段，可定义采样率、波形大小、波形间隔时间，并根据自身独特

网关内生成应用程序、部署、设置开机后自动运行,网关可以从各节点的无线数据采集模块收集测量数据。同时,网关具有 1000 Mbits/s 的串行端口和串行协议,通过 GSM 模块可将数据通过短信的方式发送到远程监测客户端上。

WSN-9792 网关代替电脑在野外复杂环境中实现数据互联,并将实时采集数据存储在内部存储器中。整套系统从测量模块到网关,从网关到异地客户端,采用了无线模式,节省了高昂的布线成本,是目前全球领先的无线监控解决方案。

GSM 模块选用基于 SIM900A 的模块,接口为 USART,使用 AT 指令操作模块。SIM900A 是 SIMCOM 公司推出的一款高性能工业级 GSM/GPRS 模块,频段为 900/1800 MHz,能够低功耗实现语音、DTMS、SMS、GPRS 数据的传输。

SIM900A 使用 AT 指令集控制 SIM900A 进行获取参数、数据通信的过程。指令收发控制过程使用状态机(State Machine)原理实现,使用 AT 指令完成 SIM900A 通信收发的流程通过状态间的状态变化控制。闲时 SIM900A 控制状态为 0,此时控制程序不进行发送或接收任何指令;当需要开始通信时,通过程序将对应的控制状态设为 1, SIM900A_TXWorks()函数控制整个发送流程的进行,当整个流程结束时,状态机回复为 0 进入空闲状态。状态 1、3、6、9、11、14 模块程序向模块发送需要执行的命令,状态 2、5、7、8、10、12 程序查询模块的回复数据,确认指令的回复情况,状态 4、13 程序从模块的回复中提取出需要的数据。若中途识别到模块回复 ERROR,说明模块出错,状态设为 0 并置起通信错误标志位,待错误处理程序对该错误进行处理。

3.3. 应用监测层

远程监测层是轴力监测系统的最高层,它集中监测本项目的所有紧固件轴力实时变化情况。监测端电脑联网接受数据后,通过 Java 解析函数获得实时数据,并显示历史曲线,同时存储数据,后续可利用相应分析软件对数据进行研究和分析[13]。

使用 Java 编写转存数据的程序,用于监听服务器特定端口,在采集节点连接时接收并解析数据帧,将解析得到的数据换算处理后存入数据库中。编写的 Java 程序由用户界面与后台处理程序两部分组成,用户界面用于提示一些基本的运行状态信息,后台处理程序用于完成程序主体功能。Java 程序总体架构如图 6 所示。用户界面以简洁高效为主旨,界面包含标题栏与文本框。

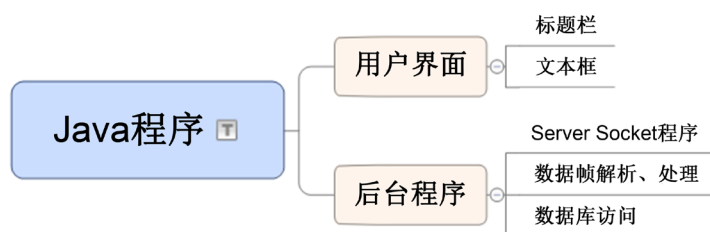


Figure 6. Java program architecture

图 6. Java 程序架构

后台处理程序包括 3 部分: TCP 数据接收、数据帧处理、数据库访问。TCP 数据接收程序打开服务器的指定 TCP 端口并监听,当有节点发送连接请求时与其连接并接收数据帧,将数据帧在用户界面的文本框中显示;数据帧由采集节点编码为 JSON Array,Java 程序调用标准库中的函数将其解析成完整的结构型数据。数据库访问依据 JSON Array 解析出来的结构信息对数据库进行访问存储,包括:设备特征码的验证、采样周期获取、传感器校准信息获取、换算数据并将数据存储入数据库中。

服务器的软件设计采用 MySQL 数据库,数据库的结构如图 7 所示。其中 user_info 用于存储用户信

息，web 登陆时用来验证用户身份；station_info 表用于存储节点信息，其中主要存储可选模拟通道对应的传感器编号，以保证最终计算出正确有效的力值数据；data 表存储采集得到的数据。

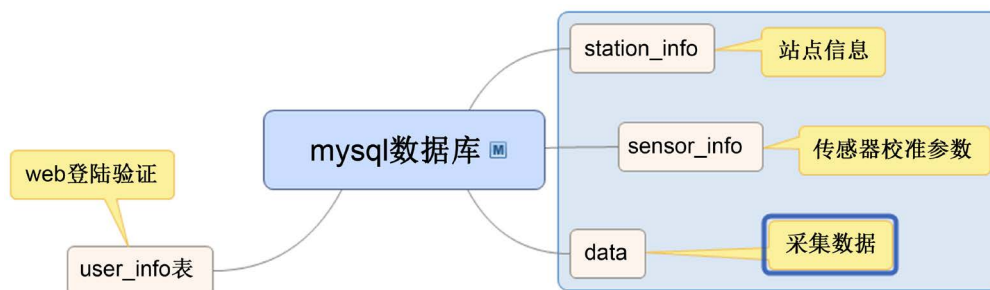


Figure 7. Database architecture
图 7. 数据库架构

编写数据查询网页基于 PHP 运行环境使用 Apache 网页服务器。Apache 网页服务器，当有浏览器对网页进行远程访问时，Apache 向浏览器返回提前编辑完成的 HTTP 格式页面的网页。PHP 为动态页面语言，在访问网页过程中根据内嵌的程序向浏览器返回动态的结果，在服务器端执行 PHP 语言需要在服务器安装 PHP 运行环境。

4. 轴力远程监测系统应用

吐鲁番小草湖地区，位于“百里风区”，风力强劲，定时最大风速 30~37 米/秒，瞬间最大风速 40 米/秒。地属温带大陆性气候，夏季炎热，冬季寒冷，昼夜温差大。作为新疆骨干网架的必经之地，在分析地理位置、气候环境，兼顾施工、运维便利的同时，选取了吐鲁番小草湖 750kV 达吐 I 线的 107 号铁塔两个点进行了紧固件轴力监测系统现场试验。

107 号铁塔是杆塔型号为 ZB131P-52 的直线塔，塔高 59.6 米，地处海拔 821.8 米，档距 510 米。于 2017 年 6 月在塔高 21 米处平台安装紧固件轴力监测系统，实现实时温度、风速和轴力采集传输，并在网页实现自动绘制数据曲线和分析实时运行状态，如图 8 所示。试验紧固件轴力在线监测系统共设置采样点 8 处，其中 2 号和 7 号由于安装问题出现故障，其余正常稳定工作，采样频率为 30 分钟。

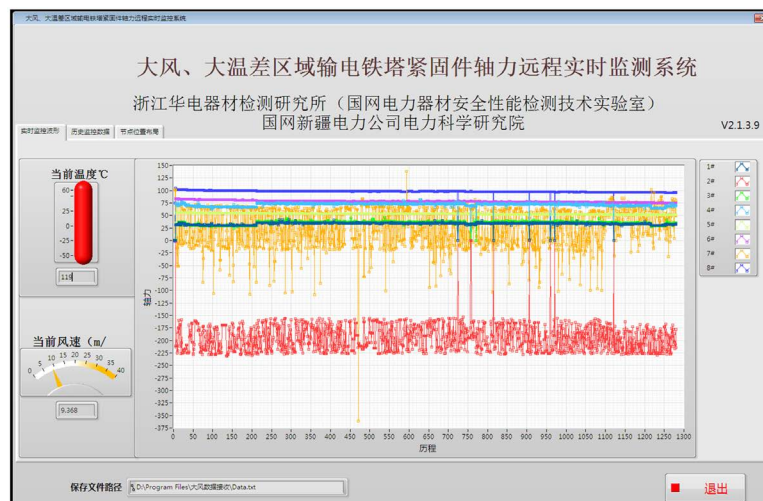


Figure 8. Monitoring screen
图 8. 系统监测界面

图9为系统风速和温度采集数据图形化显示图,各采集数据1270条,图中数据序列按时间分布。其中最大瞬时风速出现在17年2月,达36.87 m/s。最低温度出现在16年12月,为 -11.56°C ,最高温度出现在17年5月,达 22.49°C ,16年11月出现最大昼夜温差高达 30°C 。

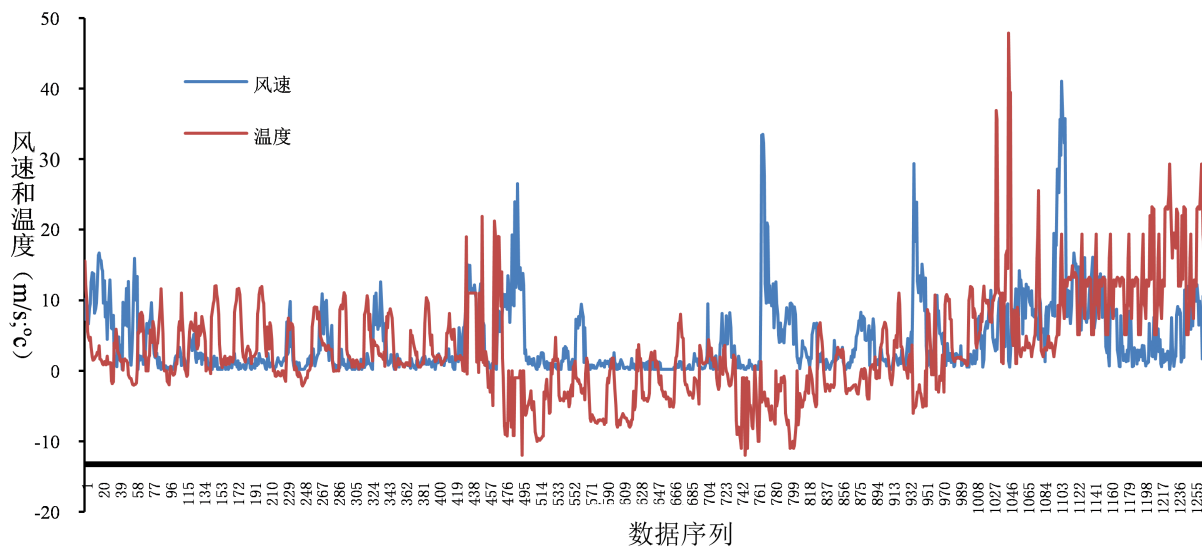


Figure 9. Data acquisition of wind speed and temperature of 107 linear tower

图9. 107号直线塔风速和温度采集数据

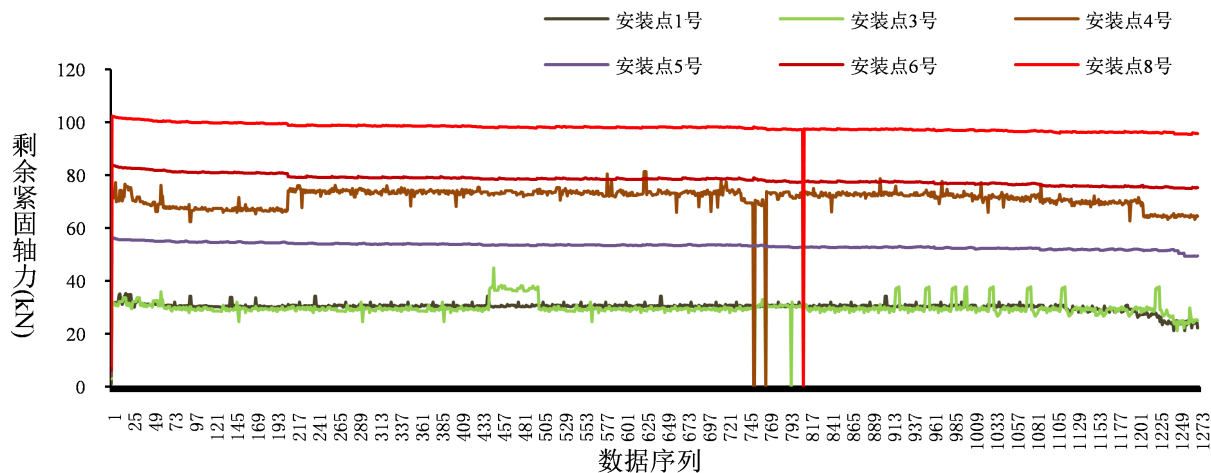


Figure 10. Change curve of fastening axial force of 107 tangent tower

图10. 107号直线塔紧固轴力变化曲线

图10为剩余6个安装点采集的有效紧固轴力数据图。6个有效紧固件在大风高温差区工作半年后,轴力均出现了不同程度的下降,其中的安装点1号、3号和4号,在整个运行过程中波动较大;安装点5号、6号和8号,数据线很平滑,可能因为采集系统与安装5、6和8号位置较接近有关。就总体趋势而言,初始预紧力越大,剩余紧固轴力也越大。各个有效安装点的剩余紧固轴力与初始预紧力比值如表1所示。安装点8号,初始预紧力最大,约为50%的最小拉力载荷($F_{m,min}$),紧固轴力最终下降6.5%,剩余/初始为93.5%。而安装点1号,初始预紧力最小,约为15% $F_{m,min}$,紧固轴力最终下降29.5%,剩余/初始为70.5%。安装点4号和5号,初始预紧力约为30% $F_{m,min}$,紧固轴力最终下降12.4%,剩余/初始为87.6%。

Table 1. M24-6.8 fastener construction torque value**表 1.** M24-6.8 紧固件施工扭矩值

序号	1 号	3 号	4 号	5 号	6 号	8 号
初始/公称破坏(%)	14.8%	15.2%	34.7%	26.5%	39.4%	48.3%
紧固轴力下降(%)	29.5%	22.3%	7.1%	10.8%	7.5%	6.5%
剩余/初始(%)	70.5%	77.7%	92.9%	89.2%	92.5%	93.5%

从目前紧固件在线监测情况来看,提高预紧力对提升剩余紧固轴力有明显效果。运行半年,初始预紧力为 10%~15% $F_{m,min}$, 剩余紧固轴力平均下降约 25.9%, 剩余/初始约 75%之间; 初始预紧力为 20%~25% $F_{m,min}$, 剩余紧固轴力平均下降约 15.6%, 剩余/初始约 85%; 初始预紧力为 30%~50% $F_{m,min}$, 剩余紧固轴力平均下降约 6.4%, 剩余/初始约 95%。可见, 初始预紧力提高 1~2 倍, 剩余紧固轴力下降减少约 4 倍。但过高预紧力, 不仅对紧固防松没有明显作用, 反而加大施工难度。

5. 总结

新疆大风、大温差区域输电线路铁塔紧固件脱落严重, 针对紧固件轴力监测预警需求设计研发了基于电力物联网的轴力监测系统。根据物联网三层结构, 监测系统分为现场感知层、通信管理层、应用监测层。现场感知层基于嵌入式开发技术, 集传感器数据采集、信号处理、GSM 数据传输于一体, 实现分布式全面感知。通信管理层采用以太网网关技术, 实现感知数据与云服务器联网通信。采集系统和以太网网关由光伏组件和蓄电池组成的小型光伏系统供电, 解决野外无法正常取电难题, 保障系统不间断正常运行。应用监测层基于数据库、Java、Apache 技术, 实现数据云端存储、查询、处理和可视化展示, 通过研发应用检测网页, 实现远程、集中管理。

通过现场试验表明, 本紧固件轴力监测系统, 可适应大风、大温差恶劣环境, 能够实现风速、温度和铁塔紧固件轴力变化记录。大量监测数据为研究紧固件松动机理提供切实的数据基础, 继而为下一步提出切实可行的防松措施做好技术支撑, 对保障电网“疆电外送”的实施具有重要的意义。

参考文献

- [1] 李海江, 田煜, 孟永钢, 等. 横向振动作用下螺纹联接松动过程的实验研究[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2016(2): 171-175.
- [2] 王光焰. 塔里木河干流区极端气温变化特征研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2019(3): 16-26.
- [3] 孙淑芳, 张广兴. 新疆百里风区近地层垂直风切变指数特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(3): 99-104.
- [4] 赵建平, 张姚斌, 王春耀. 输电塔架联接螺栓横向振动试验研究[J]. 新疆大学学报(自然科学版), 2018, 150(2): 121-125.
- [5] 杨挺, 翟峰, 赵英杰, 等. 泛在电力物联网释义与研究展望[J]. 电力系统自动化, 2019(13): 9-20.
- [6] 李汶航. 物联网技术在电气设备状态检修中的应用[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2014.
- [7] 周建英, 陈浩琿, 方颖颖, 张柳菁, 庄玉林. 一种电动汽车充电桩集中监控平台的设计与实现[J]. 智能电网, 2019, 9(3): 149-156.
- [8] 周慧彬. 基于灾害预防的配电网架空线图像监测系统[J]. 智能电网, 2018, 8(6): 580-585.
- [9] 刘冰, 许青松, 杜娟, 等. 基于 GPRS 技术的热网远程监测系统[J]. 制造业自动化, 2012(11): 30-33.
- [10] 尹磊, 李奕, 薛骥. 基于 MySQL 的架空输电线路数据高效处理方法[J]. 机电工程技术, 2017, 46(6): 114-116.
- [11] 周强. 小功率光伏发电系统的设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2015.
- [12] 王坤, 李嵘, 王满帅. 无线通信技术在电力通信中的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2017(6): 44.
- [13] 潘晓磊. 基于 Java 智能卡的小区物业管理系统设计[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2017.