

基于变电站汽吊作业安全距离告警系统研发

赵文君 施 逸 梁植淇 王宇翔
(国网宜宾供电公司 四川 宜宾 644000)

摘 要: 针对变电站检修过程中吊车斗臂距离带电设备安全距离难以实时监测、阻挡物多等问题,通过设置边界点构建虚拟“口”型三维空间,吊车斗臂在“口”型空间内作业;采用 UWB 定位模块实时采集斗臂距离所设置边界点的距离,传送到装置后台,利用空间三角锥模型测算斗臂与带电设备安全距离,通过测试距离与安全距离比较,当小于安全距离时,实现告警功能。

关键词: 虚拟“口”型三维空间; UWB 定位模块; 吊车斗臂

中图分类号: TM63 文献标志码: A 文章编号: 1003 - 6954(2019)02 - 0052 - 04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.02.011

Research and Development of Safety Distance Warning System Based on Substation Steam Crane Operation

Zhao Wenjun, Shi Yi, Liang Zhiqi, Wang Yuxiang
(State Grid Yibin Electric Power Supply Company, Yibin 644000, Sichuan, China)

Abstract: Aiming at the problems of difficult real-time monitoring of the safe distance between crane bucket arm and live equipment, and many obstructions in the process of substation maintenance, the virtual "mouth" three-dimensional space is constructed by setting boundary points. The crane bucket arm works in the "mouth" space. UWB positioning module is used to collect the distance of the bucket arm from the set boundary points in real time and transmit it to the device backstage. The space triangular cone model is used to calculate the safe distance between bucket arm and live equipment. Comparing the testing distance with safe distance, the alarm function is realized when the testing distance is less than the safe distance.

Key words: virtual "mouth" three-dimensional space; UWB positioning module; bucket arm of crane

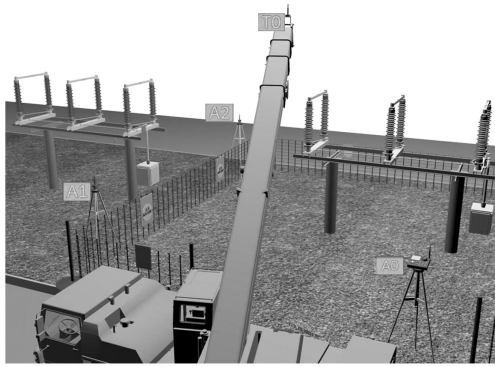
0 引 言

在变电站进行基础设施建设或部分间隔停电检修时,需要用到吊车等设备进行辅助工作。在吊车工作时,会有旁边间隔带电的情况发生。而吊车斗臂在旋转移动的过程中,按照《国家电网公司电力安全工作规程》^[1]的相关规定,应保持一定的安全距离。在实际操作过程中,没有相应的测量措施,只能依靠现场指挥人员目测安全距离来提醒吊车司机,这样会造成与带电设备及母线的距离小于安全距离的情况,最后导致安全生产事故的发生。

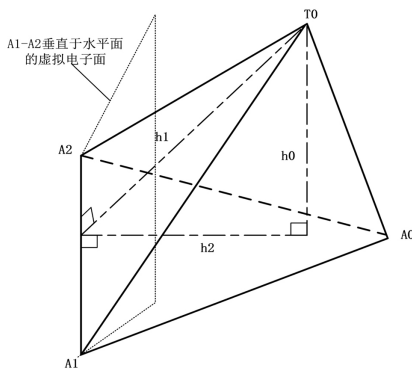
为了避免吊车斗臂转动过程中误碰带电设备,减少安全事故发生,所以决定研制吊车作业距离带电设备自动检测报警系统。

1 模型及原理

吊车作业安全告警系统检测 3D 模型如图 1 所示。假定图 1 中围栏内为待检修设备,围栏以外为带电设备,吊车斗臂作业范围必须在围栏以内。作业过程中,吊车斗臂距离地面高度远远大于围栏 0.8 m 高度,那么吊车斗臂距离旁边带电设备距离唯有依靠人眼经验判断,存在极大误差,难以准确把握。结合传感器检测技术,在作业范围内构件虚拟“口”型三维空间,即将围栏高度向上无限延伸。利用 UWB 定位模块实时采集斗臂与所设置边界点的距离并传送到仪器后台,利用海伦模型算出斗臂与虚拟墙壁的垂直距离。当检测距离小于《国家电网公司安全工作规程》规定的安全距离时,进行告警提示。



(a) 3D 示意



注: $T0 - A0$ 、 $T0 - A1$ 、 $T0 - A2$ 、 $A0 - A1$ 、 $A0 - A2$ 、 $A1 - A2$ 的距离通过测距模块测量 h_2 为最终需要计算出的吊车斗臂到带电区域 ($A1 - A2$ 构成的垂直于水平面的面) 的空间垂直距离。

(b) 理论计算模型

图1 吊车作业安全告警系统检测理论计算模型中相关计算公式如下:

三棱锥 $T0 - A0 - A1 - A2$ 体积 V 为

$$V = \sqrt{\frac{1}{12} [4a^2b^2c^2 - a^2(b^2 + c^2 - m^2)^2 - b^2(c^2 + a^2 - n^2)^2 - c^2(a^2 + b^2 - l^2)^2 - (a^2 + b^2 - l^2)(c^2 + a^2 - n^2)(b^2 + c^2 - m^2)]}$$

式中: a 为 $T0 - A0$ 距离; b 为 $T0 - A1$ 距离; c 为 $T0 - A2$ 距离; l 为 $A0 - A1$ 距离; m 为 $A1 - A2$ 距离; n 为 $A0 - A2$ 距离。

三角形 $A0 - A1 - A2$ 面积 S_1 为

$$S_1 = \frac{\sqrt{(l+m+n)(l+m-n)(l+n-m)(m+n-l)}}{4}$$

三棱锥 $T0 - A0 - A1 - A2$ 以 $A0 - A1 - A2$ 为底面的高 h_0 为

$$h_0 = \frac{3V}{S_1}$$

三角形 $T0 - A1 - A2$ 面积 S_2 为

$$S_2 = \frac{\sqrt{(m+b+c)(m+b-c)(m+c-b)(b+c-m)}}{4}$$

三角形 $T0 - A1 - A2$ 高 h_1 为

$$h_1 = \frac{2S_2}{m}$$

$T0$ 到 $A1 - A2$ 形成的垂直面的空间距离(最终吊车到带电区域的空间垂直距离) h_2 为

$$h_2 = \sqrt{h_1^2 - h_0^2}$$

根据现场检测数值 h_2 与《国家电网公司电力安全工作规程》吊车作业安全距离 D 进行判断, D 值如表1所示: 当 h_2 大于 D 时, 装置正常运行, 告警装置不动作; 当 h_2 小于 D 时, 告警装置动作, 发出告警信号。

表1 吊车斗臂与带电体最小安全距离 D

| 电压 /kV | <1 | 1~10 | 35~66 | 110 | 220 | 330 | 500 |
|-----------|-----|------|-------|-----|-----|-----|-----|
| 最小安全距离 /m | 1.5 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.5 |

2 方案优选及装置研制

2.1 方案优选

根据现场实际需求, 该装置的总体设计方案分为3部分, 即距离测试(步骤1)、数据分析(步骤2)和距离判断及告警(步骤3), 如图2所示。其中距离测试基本原理如图1所示, 但图中吊车斗臂定点 t_0 空间位置随机运动, 因此, 该装置研发的重点难度为(步骤1)。根据传感器技术应用情况, 提出了两套不同的解决方案: 方案1是采用超声波^[2]进行距离的测量; 方案2是采用UWB^[3]方案进行距离测量。两种方案对比如表2所示。

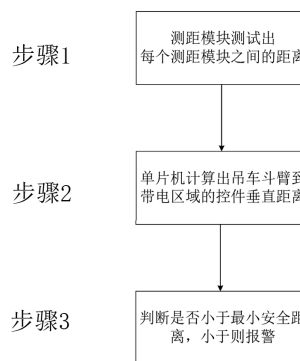


图2 总体方案流程

综合测量角度和最大测量距离分析, 最终采用UWB方案进行距离测量。

2.2 装置研制

根据系统的要求以及需要实现的功能, 将装置分为三大板块: 传感器板块、单片机板块以及报警器板块, 如图3所示, 硬件结构如图4所示。

表 2 方案对比分析

| 主要需求 | 方 案 | 方案分析 | | 结论 |
|---------------------------|-----------|------------------------|--------------------------|-----|
| | | 测量角度 | 最大测量距离 | |
| 360°无死角测量， 测量距离大于 50 m | 超声波测距 | 接收端接收超声波信号的接收角度不大于 90° | 发送端和接收端超声波测量的最大距离为 7 m | 采用 |
| | UWB 电磁波测距 | 360° | 发送端和接收端超声波测量的最大距离为 500 m | 不采用 |

表 3 测量数据和实际数据对比

| 实际距离 /cm | 测量数据和实际距离(通过卷尺测量两点距离)的差值(测量数据 - 实际距离) | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|
| | /cm | | | | | | | | | | | | | | | |
| 200 | 49 | 52 | 47 | 51 | 48 | 55 | 51 | 50 | 51 | 53 | ... | 49 | 47 | 48 | 46 | 48 |
| 400 | 47 | 51 | 52 | 45 | 56 | 42 | 47 | 49 | 48 | 52 | ... | 52 | 46 | 54 | 50 | 56 |
| 600 | 46 | 51 | 51 | 48 | 51 | 45 | 46 | 51 | 49 | 52 | ... | 52 | 44 | 47 | 46 | 49 |
| 800 | 54 | 53 | 54 | 53 | 54 | 57 | 53 | 51 | 54 | 53 | ... | 54 | 51 | 48 | 53 | 54 |
| 1000 | 55 | 59 | 58 | 56 | 55 | 57 | 57 | 56 | 57 | 58 | ... | 56 | 53 | 53 | 58 | 53 |
| 1200 | 54 | 56 | 51 | 54 | 55 | 55 | 53 | 58 | 57 | 57 | ... | 51 | 52 | 55 | 56 | 54 |
| 1400 | 48 | 55 | 56 | 57 | 51 | 47 | 42 | 51 | 45 | 46 | ... | 45 | 49 | 56 | 52 | 54 |
| 1600 | 50 | 50 | 54 | 56 | 54 | 58 | 48 | 50 | 59 | 50 | ... | 56 | 57 | 56 | 45 | 54 |
| 1800 | 57 | 51 | 58 | 56 | 52 | 54 | 53 | 57 | 60 | 57 | ... | 51 | 56 | 53 | 53 | 54 |
| 2000 | 58 | 50 | 56 | 58 | 54 | 56 | 55 | 54 | 53 | 52 | ... | 52 | 53 | 57 | 53 | 53 |

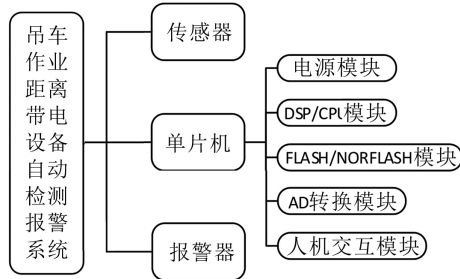


图 3 汽吊作业安全距离告警系统装置

接收端); v 为光速; t 为传输的时间,通过获取发送端和接收端的时间差即可计算出距离。由于 UWB 采用电磁波的传输模式,其理论上没有传输角度上的限制,且市面上现有的测量距离模块可高达到 500 m,能够极大满足现场应用要求。警示装置,对超过安全距离的情况进行报警。

该装置于现场进行实际应用,其效果良好。

3 测试数据分析

由图 1 可知,整个装置最原始的测量数据是 $T_0 - A_0$ 、 $T_0 - A_1$ 、 $T_0 - A_2$ 、 $A_0 - A_1$ 、 $A_0 - A_2$ 、 $A_1 - A_2$ 的距离,但实际距离和装置测量距离存在一定的误差,如表 3 所示。

从表 3 中数据可以看出,实际距离和装置测量距离似乎存在一定的线性关系,因此,通过最小二乘法^[4]拟合出一个线性关系,如图 5 所示。拟合之后实验数据如表 4 所示。

通过算法拟合后的数据和实际距离的最大误差在 ± 7 cm 内,很大程度上降低了直线距离的测量误差。

为检测装置的最终效果,进行了现场检验,如图 6 所示。

现场实验数据如表 5 所示,装置报警的时候,报

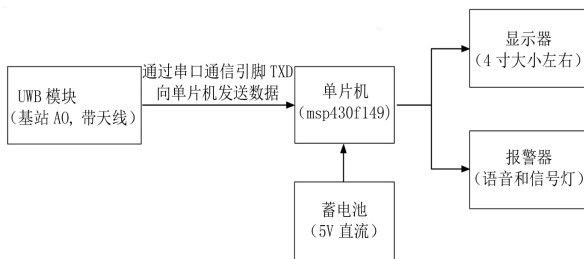


图 4 硬件结构

报警器板块由单片机模块、UWB 传感器和警示装置组成,对超过安全距离的情况进行报警。

单片机模块,是整个装置的神经中枢,用以处理数据,设计相应算法完成距离检测,并控制报警器。UWB 传感器板块主要负责距离测量的发射与接收,其测距的原理为 $s = vt$,式中: s 为发送端和接收端之间的距离(每个模块既可以做发送端也可以作为

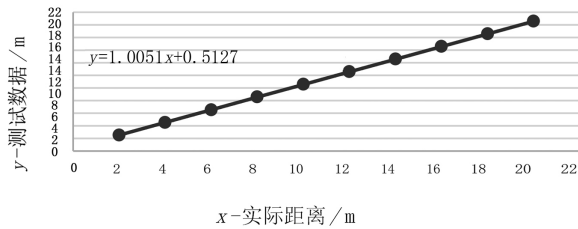


图5 数据拟合曲线及拟合公式

表4 拟合后的数据对比

| 实际距离 /cm | 拟合之后的数据和实际距离的差值 /cm | 最大误差绝对值 /cm |
|----------|---------------------|-------------|
| 200 | -3 | 3 |
| 400 | 1 | 2 |
| 600 | 2 | 4 |
| 800 | 4 | 4 |
| 1000 | 5 | 6 |
| 1200 | -3 | 4 |
| 1400 | 6 | 7 |
| 1600 | 4 | 5 |
| 1800 | -2 | 4 |
| 2000 | 2 | 3 |

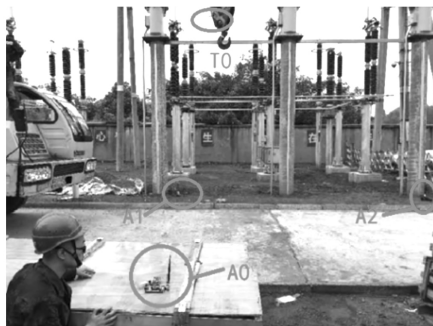


图6 某220 kV变电站现场应用

警器设定的安全距离和实际测量距离误差均小于 ±40 cm, 满足最初设计要求和现场实际需求。

表5 某220 kV变电站现场实验数据

| 编号 | 电压等级 /kV | 安规规定最小安全距离/m | 装置设定的报警距离 /m | 实际距离 /m | 误差 /m |
|-----|----------|--------------|--------------|---------|-------|
| 1 | 220 | 6.00 | 6.00 | 6.30 | 0.30 |
| 2 | 220 | 6.00 | 6.00 | 6.25 | 0.25 |
| 3 | 220 | 6.00 | 6.00 | 5.70 | -0.30 |
| 4 | 220 | 6.00 | 6.00 | 5.65 | -0.35 |
| 5 | 220 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 0.00 |
| 6 | 220 | 6.00 | 6.00 | 6.10 | 0.10 |
| 7 | 220 | 6.00 | 6.00 | 6.15 | 0.15 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 19 | 220 | 6.00 | 6.00 | 6.25 | 0.25 |
| 20 | 220 | 6.00 | 6.00 | 6.11 | 0.11 |

为进一步分析误差数据的合理性,对其误差值采用单因子二项分析^[5],分析结果如图7所示。

从图中可以看出,其样本误差值比率均在 0.133% ~ 1.767% 之间,进一步论证数据满足要求,能够在现场得以应用推广。

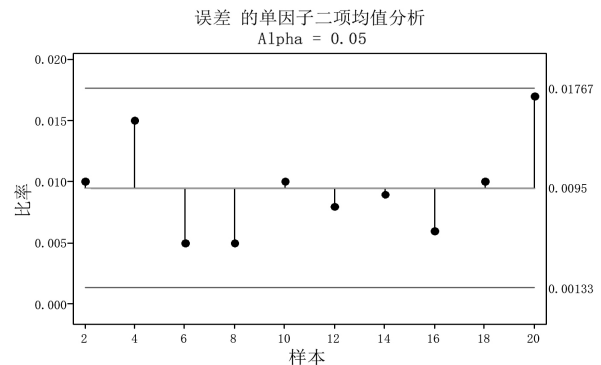


图7 误差二项均值分析

4 结 语

通过单片机技术与运动物体测距传感器技术结合构建虚拟“口”型三维空间,研发变电站汽吊作业安全距离告警系统。根据研究成果得出以下结论:

- 1) 虚拟“口”型三维空间建立消除了变电站阻挡物(杆塔等)对测试精度的影响,其虚拟空间根据实际需要进行调试设置。
- 2) 对于监测随机运动物体间距离,传统超声波传感器受测试角度、精度影响满足不了现场实际需求;采用了UWB电磁波技术进行测试,测试信号不受变电站强电磁场干扰。
- 3) 该装置在现场应用过程中,能实时采集斗臂距离虚拟空间壁面距离,并发出告警信号。

参考文献

- [1] 电力安全工作规程—发电厂和变电站电气部分: GB 26860-2011[S]. 2011.
- [2] 李颖. GIS局部放电超声波检测技术的研究及应用[D]. 大连:大连理工大学, 2014.
- [3] 朱刚. 超宽带(UWB)原理与干扰[M]. 北京:清华大学出版社, 2009.
- [4] 李庆扬, 王能超, 易大义. 数值分析[M]. 北京:清华大学出版社, 2008.
- [5] 张文彤, 董伟. SPSS统计分析高级教程[M]. 北京:高等教育出版社, 2013.

作者简介:

赵文君(1985),高级工程师,主要研究方向为高电压与绝缘技术专业。

(收稿日期:2019-12-06)