

小卫星地面供电电缆温度监测系统设计

杨志¹, 王建军², 张桂英¹, 阎梅芝¹, 戴润峰¹

(1. 航天东方红卫星有限公司, 北京 100094; 2. 北京空间飞行器总体设计部, 北京 100094)

摘要:随着小卫星研制数量的增多, 地面电缆的敷设数量越来越多, 一旦绝缘老化而发生热击穿将造成很大的损失; 卫星地面供电电缆的运行温度是一个重要参数, 必须对其进行监视; 为此, 研制了小卫星地面供电电缆温度监测系统, 该系统采用 T 型热电偶对电缆重点监测部位进行测温, 并将测温数据通过温度数采盒转换为 RS-485 信号进行远程传输, 利用工业串口服务器和以太网交换机接入测试网络, 实现测温数据的便捷访问, 通过基于 LabVIEW 开发的温度监视软件实现温度数据实时监视以及其他综合应用; 最后, 为了获取小卫星地面供电电缆载流数据, 进行了该类型电缆载流试验, 试验数据表明了电缆温度的重要性。

关键词:小卫星; 电缆; 温度; 监测

Design of Temperature Monitoring System for Small Satellite Ground Power Supply Cable

Yang Zhi¹, Wang Jianjun², Zhang Guiying¹, Yan Meizhi¹, Dai Jianfeng¹

(1. DFH Satellite Co., Ltd., Beijing 100094, China;

2. Beijing Institute of Spacecraft System Engineering, Beijing 100094, China)

Abstract: Ground cable has become more and more with increasing number of developing small satellite. It will cause a great loss once hot breakdown happens as insulation aging. As one of the important parameters, the temperature of ground power supply cable is necessary to be monitored. Therefore the paper developed a ground cable temperature monitoring system, it adopted T-type thermocouple to monitor the important positions of the power supply cable, transfers data to RS-485 signal through DAQ box, connects to test network using serial server and Ethernet switch, realizes convenient access, developed monitoring software based on LabVIEW to real time monitoring and other comprehensive application. Finally, a current carrying test of this type cable has to be done in order to obtain current carrying data, and the test data further indicates the important of cable temperature.

Keywords: small satellite; overall checkout; temperature; cable

0 引言

运行温度是电缆的一个重要参数。通常将大量的电缆集中敷设在电缆沟内, 以方便布线、维护, 视觉上也比较美观^[1]。当电缆长期满负荷运行, 会出现绝缘老化等现象; 一旦过负荷运行, 导体温度急剧上升; 如果电缆运行环境不好, 就会加快绝缘老化进程, 电缆局部温度上升很快直至发生热击穿, 甚至引起火灾, 将造成大面积电缆烧损, 短时间内无法恢复生产^[2-3]。

随着研制卫星数量的增多, 总装大厅、电缆沟中地面电缆的敷设数量越来越多, 电缆敷设集中, 存在卷绕、堆置现象, 电缆散热不良, 一旦绝缘老化而发生热击穿将造成很大的损失, 因此需要加强电缆运行管理和维护工作。

为避免电缆绝缘老化, 在设计阶段就需要进行电缆的降额设计, 考虑选用电缆的截面积、绝缘层的额定温度、线缆捆扎导线数、大气压力、环境温度等。

除对电缆进行降额设计外, 由于地面供配电电缆使用环境的特殊性, 还需要对其运行状况进行监测, 及时发现隐患并排除, 防患于未然, 形成地面供配电电缆“设计—使用—监测—

处置”闭环管理。

1 监测方法与系统结构

温度升高是引起电缆事故的一个主要因素, 因此可将其作为反应电缆运行情况的参量^[4]。鉴于电缆温度的重要性, 必须对电缆的运行温度进行监视和控制。温度监测是目前国内外在电缆监测中最被认可的一项重要技术^[5]。选择电缆排列密集、散热条件差及有外界热源影响的线段重点监测, 及时发现和排除隐患, 防止电缆由于发热导致绝缘老化而击穿甚至起火。

电缆温度监视方法很多。使用温度检测仪器人工定期巡检, 费时费力, 巡视时间间隔、巡视的准确性等都有问题, 不具备实时检测功能。采用感温电缆, 将感温电缆与被测电缆平行放置, 当电缆温度超过固定温度值时, 感温电缆被短路, 系统仅能监测出一个故障点, 不能测出电缆的实际温度值, 系统安装及维护工作不够方便, 不能进行早期故障预测, 不能实时显示测量值, 无温度趋势分析^[6]。近年国内应用最为广泛的是将温度传感器至于线路中易发生故障的地方, 来监测这些部位的温度。采用热敏电阻方式, 一般传输距离不宜太长, 抗干扰能力较差^[7]。

本系统采用热电偶对电缆重点监测部位进行测温, 并将测温数据转换为 RS-485 信号进行远程传输, 利用工业串口服务器和以太网交换机接入测试网络, 实现测温数据的便捷访问, 通过基于 LabVIEW 开发的温度监视软件实现温度数据实

收稿日期:2017-01-06; 修回日期:2017-02-13。

作者简介:杨志(1984-),男,黑龙江牡丹江人,工程师,硕士,主要从事卫星研制和卫星综合测试方向的研究。

时监视以及其他综合应用。

系统总体结构如图 1 所示。系统主要由热电偶、温度数采盒、温采主机、监视计算机、连接电缆等部分组成。

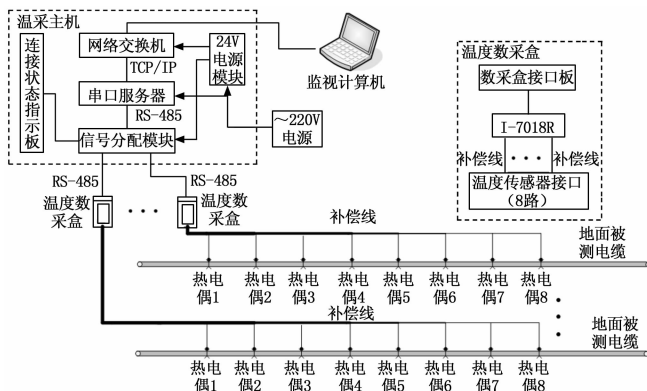


图 1 系统总体结构示意图

分布在线缆上的多个 T 型热电偶通过补偿线和温度数采盒连接；各个数采盒采集温度数据，输出接口为 RS-485，通过超五类的网线与温采主机实现测量数据的长距离传送以及电源供给；温采主机通过串口服务器、网络交换机将各个温度数采盒接入测试网络；监视计算机运行基于 LabVIEW 开发的温度监视软件，进行数据监视、存储与分析，并输出打印曲线，在设备异常情况下报警通知相应人员。

该系统易于操作，安装方便，数据自动记录，测量安全高效，为供电电缆温度提供严格监控和管理。

2 系统组成

2.1 温度传感器

针对需求，我们选用 T 型热电偶来测量卫星供电电缆温度。热电偶是温度测量中应用最广泛的温度器件，他的主要特点就是测温范围宽，性能比较稳定，同时结构简单，动态响应好，便于自动控制和集中控制。T 型热电偶，为铜—铜镍热电偶，又称铜—康铜热电偶，是一种最佳的测量低温的金属热电偶，正极是纯铜，负极是铜镍合金，测量范围为 $-200 \sim 350$ $^{\circ}\text{C}$ ，线性度好，热电动势较大，灵敏度较高，稳定性和均匀性较好，价格便宜。

热电偶焊接在金属卡扣上，通过螺丝将卡扣和线缆固定在一起，热电偶和线缆外皮接触，这种方式便于安装和维护。根据测试需求将传感器分布于卫星地面供电电缆各个部分，贴合在被测电缆表面，采集表面温度。

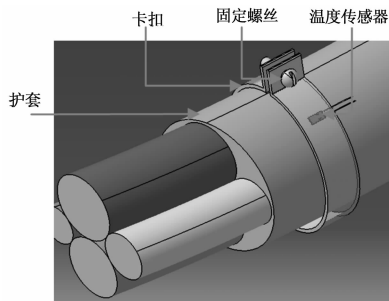


图 2 温度传感器安装示意

热电偶和数采盒之间使用补偿线连接，补偿线外表面有绝

缘胶皮包裹。

2.2 温度数采盒

温度数采盒放置在离供电电缆不远的地方，每个温度数采盒有 8 个温度传感器的接口，负责 8 个温度传感器的温度采集，每个接口均可以直接通过专用接插件连接温度传感器，也可以通过补偿线延长探测距离，使之满足实际测量的需要。

温度数采盒内部配备鸿格科技有限公司模拟量输入模块 I-7018R，通过温度补偿线连接至外部温度传感器接口，采集 8 路温度传感器的温度。I-7018R 内置微处理器，自带看门狗，可以方便快速接入 RS-485 网络；具备冷端温度检测，可以适用于多种类型热电偶；8 路差分输入或 6 路差分输入 + 2 路单端输入（跳线选择）；支持断线检测；输入电压范围 ± 15 mV、 ± 50 mV、 ± 100 mV、 ± 500 mV、 ± 1 V、 ± 2.5 V 可选；光电隔离保护 3000VDC；16 位分辨率；精度为 $\pm 0.1\%$ ；零点漂移为 ± 25 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ ；采样速率为 10 次/s；电源电压为 10~30 VDC；功耗为 1.0 W。

各个温度数采盒和温采主机之间采用的是超 5 类线连接，通过 RS-485 总线协议和温采主机通信，连接线传递的不仅有通信信号，还有数采盒的供电电源，无需现场提供额外的电源。

2.3 温采主机

温采主机采用的是 4U 高的 19 英寸上架结构，由信号分配模块，网络交换机，24 V 电源模块，串口服务器、连接状态指示板等组成，主要负责接口之间的相互转换、电源管理等。

信号分配模块负责为温度数采盒供电，并提供温度数采盒和串口服务器的接口。

串口服务器选用 MOXA 公司成熟的工控产品 8 串口 RS-422/485 设备联网服务器 Nport 5630-8，通过简单设置就可以将现有串口设备立即联网，将串口数据映射到 TCP/IP 网络中的 IP 地址和端口号，在串口和以太网界面之间轻松执行双向数据传输，同时集中管理串口设备；采用专业外壳设计，前面板具有所有串口的 TX/RX 状态指示，后面板具有 8 个 RJ45 形式的 RS-422/485 接线口；在安装了驱动程序的 Windows 系统中被视为 Real Com 端口；简单易用的 LCM 操作界面，可以用于设置 IP 地址；所有 RS-422/485 端口皆有突波保护功能（15KV ESD），通信速率为 50~921.6 kbps；支持 TCP Server、TCP Client、UDP 和 Real Com 模式；LAN 口自适应 10/100 Mbps 传输速率，内嵌 1.5 KV 电磁隔离保护；电源电压 100~240 VAC。

网络交换机将串口服务器接入综合测试网络，选用 TP-Link 公司 8 口全千兆以太网交换机 TL-SG1008，提供 8 个 10/100/1000 Mbps 自适应 RJ45 端口，背板带宽 16 Gbps。

连接状态指示板用于指示各路温度数采盒连接是否正确，方便用户辨识。

电源模块提供上述各种设备工作的 24 V 直流电源，选用了明伟 SP-350-24 电源模块，输入电压 220 V，输出电压 24 V，输出功率 350 W。

温采主机和外部是通过以太网连接，用户可以通过计算机直接访问各个传感器的温度，也可以接入其他网络，网络上其他的端点都可以访问到各个传感器的温度值。

数采盒采用的 RS-485 协议通信，主机将串行通信协议

转换成 TCP/IP 协议, 便于把数据放在网络上, 和其他计算机互联互通。主机中串口服务器和网络交换机配合使用, 实现这个功能。

由于测试现场的环境影响, 不可能在被测现场提供电源, 所以, 电源必须由主机提供, 主机内部通过信号分配模块和电源模块配合使用, 来实现远程供电的功能。

2.4 监视计算机

监视计算机通过网口与温采主机连接, 与串口服务器同处于交换机所设置的局域网路上。监视计算机通过交换机访问串口服务器上的 8 个串口, 8 个串口通过 RS-485 协议与温度数采盒相连接, 然后温度数采盒通过 T 型传感器连接到被测电缆上读取温度值并通过串口服务器经由交换机送回监视计算机。

3 系统应用软件

监视计算机上运行系统监视软件。软件上使用基于 Lab-View 图形的编译器编写的专用程序, 通过以太网存储各个温度采集盒采集到的温度信息。

通过 Nport Administrator 配置串口服务器, 通过 DCON _ Utility 应用程序尝试连接温度数采盒以确定串口服务器等设备是否配置正确。

温度监视软件基于 LabView 图形的编译器编写, 具有如下功能特点:

提供人性化的操作, 设置各种输入判断, 滤除因人为输入影响的系统工作的稳定性和健壮性;

提供用户自定义设置功能, 各温度传感器注释命名、采样时间间隔、存储路径、报警温度等参数均可以设置, 并可以生成配置文件;

数值显示与图形显示相结合, 曲线图形可用各种缩放拖拽工具查看;

具备数据存储和数据回放功能, 存储信息包含采集时间、各温度传感器名称和温度数值, 可以存储为标准文本文件;

具备各温度数采盒状态检测功能。

软件实现流程图如图 3 所示。

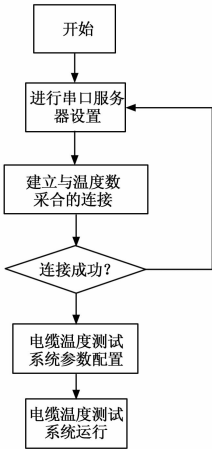


图 3 软件实现流程图

4 电缆载流试验

小卫星地面供电电缆采用的是聚乙烯绝缘、聚氯乙烯护套的成缆电缆。为了获取该电缆载流数据, 进行了电缆载流试验。

4.1 试验电缆

试验的电缆采用聚乙烯绝缘、聚氯乙烯护套的成缆电缆, 该电缆的导线芯数为 52, 导线由多股软铜线绞合而成, 单根导线截面积为 0.35 mm², 绝缘标称厚度为 0.2 mm, 护套厚度为 1.5 mm, 电缆外径为 14.6 mm, 电缆横截面示意图如图 4 所示。

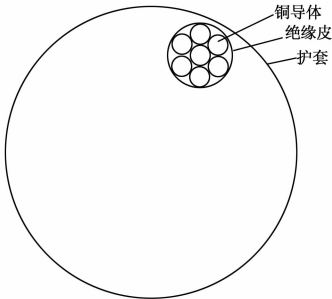


图 4 电缆横截面示意图

4.2 试验状态

取 20 m 该电缆, 电缆自然堆盘于地面, 两端拨线各 0.3 m, 取其中 16 根为正导线, 16 根为负导线, 电缆两端分别连接大功率直流电源和电子负载, 规定两根正导线与两根负导线组成一组, 共分为八组。试验原理如图 5 所示。

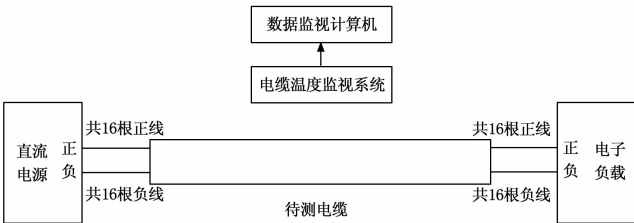


图 5 电缆载流实验原理图

4.3 试验结果

对每组电缆依次通不同档位电流, 每组电缆加电持续约 2 小时, 同时测出某时刻电缆表面的最大温度值并记录。之后, 增加电流到 11A/组, 维持约 40 分钟后, 电缆表面最高温度在一分钟内迅速上升 5.4℃, 从 98.93℃ 上升到 104.32℃, 电源出现过流保护, 断电后立刻标记此时电缆最高温度的位置, 通过万用表测得每组电缆的正负极均短路。对电缆标记部分进行了剥皮检查, 发现该电缆有约 10 cm 导线全部处于粘结状态。

表 1 电缆载流试验结果

通过电流	环境温度	环境湿度	温度变化范围
6.01A	27℃	68%	29.50~48.65℃
7.01A	27℃	54%	47.84~56.15℃
8A	28℃	60%	31.09~64.46℃
9.03A	28℃	60%	61.59~75.21℃
10.01A	28℃	60%	30.29~85.60℃
11A	28℃	50%	81.62~104.32℃

4.4 试验结论

通过试验可以得知: 在外界条件不变的情况 (气压、温湿度、电缆摆放方式、电流大小) 下, 电缆表面的温升速度会逐渐减缓, 待达到热平衡后, 其表面温度应趋于稳定; 在导线一定的情况下, 导线的温度随电流的增加而上升, 并在某一温度处于动态平衡; 电缆的摆放方式 (直置、圈置、堆置) 与其最

终达到的稳定温度大小有直接关系,并且各种摆放方式之间的温差很大;对于该型号电缆,在常温常压下,每根导线的最大载流量为 5A;在电缆堆盘方式下,对于该型号电缆,电缆表面允许的最高温度为 104℃;电缆短路是由于持续通过大电流,电缆内部温度接近导线绝缘层熔点(140℃)时,绝缘层发生熔化并相互粘着。

5 总结

卫星地面供电电缆的运行温度是一个重要参数,必须对其进行监视,为此研制了小卫星地面供电电缆温度监测系统。该系统主要由热电偶、温度数采盒、温采主机、监视计算机、连接电缆等部分组成,采用 T 型热电偶对电缆重点部位进行测温,通过位于现场的温度数采盒将测温数据转换为 RS-485 信号进行远程传输,通过温采主机内工业串口服务器和以太网交换机接入测试网络,在监视计算机上基于 LabVIEW 开发温度监视软件,实现温度数据的便捷访问,实时监视,该系统易于操作,安装方便,数据自动记录,测量安全高效,为供电电缆温度提供严格监控和管理。最后,为了获取小卫星地面供电

(上接第 46 页)

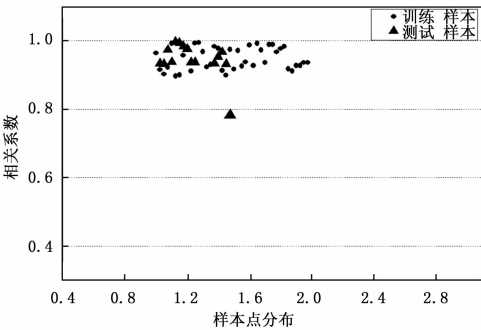


图 8 测试数据状态诊断结果

表 2 测试数据诊断正确率

故障状态	正常	外圈故障	内环故障	滚子故障
正确率	100%	95%	100%	95%

由表 2 可以知,由本方法得到故障诊断正确率为 97.5%,绝大部分故障状态都能够准确判断出来,可以采用相关系数作为故障诊断判定阈值,进行故障诊断。

4 结论

本文将频谱分析和相关性原理相结合应用于起重机的状态监测与故障诊断系统中,以工业无线形式将采集的信号量汇总到上位机 LabVIEW 监测中心,解决了起重机各部分可能出现故障分散,有线的方式进行信号汇集不便且不易扩展的问题。同时对起重机核心机电设备电动机的振动采集分析,分析起重机负载电机机械震动的谐波含量,并在上位机 LabVIEW 监测平台上完成信息数据的发布,实验验证了基于相关性原理的起重机负载电机机械震动信号无线远程监测系统检测方法的有效性,使得相关人员能方便及时的了解起重机系统的运行状态。为今后可以对更加复杂的状态参数和故障状态进行分析,并采用人工智能的算法进行故障分析和分类奠定基础。

参考文献:

[1] 石万祥,周强. 门机振动监测技术的探讨 [J]. 港口装卸, 2002

电缆的载流数据,进行了电缆载流试验,试验数据表明电缆温度的重要性。

参考文献:

[1] 周健健. 电缆故障检测中温度传感的研究 [D]. 南京: 南京邮电大学, 2012.

[2] 刘永波. 电缆温度在线监测系统的设计 [D]. 大连: 大连海事大学, 2005.

[3] 胡冬梅. 电缆温度在线监测系统的应用 [D]. 沈阳: 东北大学, 2003.

[4] 孙静. 电力电缆温度实时在线监测 [J]. 电线电缆, 2011, (1): 40-42.

[5] 陈仁刚,袁园,周婧婧,等. 电力电缆温度在线监测技术的研究现状与发展趋势 [A]. 重庆市电机工程学会 2008 年学术会议论文集 [C]. 重庆市电机工程学会, 2008: 240-246.

[6] 任慧,孙继平,兰西柱. 矿用电缆温度在线监测方法的研究 [J]. 煤炭科学技术. 2006, 34 (12): 66-68.

[7] 高丹. 动力电缆温度在线监测与火灾预警系统 [D]. 唐山: 河北理工大学, 2007.

[2] 王国峰,周亦武,秦建春. 港口装卸机械动态监测系统的研究 [J]. 测控技术, 2002, 21 (9): 36-38.

[3] Slutej A, Kolonić F, Slutej A. Advances in Control and Sensors Technology Enabling Unmanned Operation of Containers Cranes [J]. EDPE 2005. Abstract and Proceedings Program. CD-ROM / Zvonko Benčić, 2005.

[4] 屈福政,孙铁兵,牛治刚,等. 大型起重机的智能化电子控制系统 [J]. 起重运输机械, 2004 (3): 25-27.

[5] 张健,芮延年,陈洁. 基于人工神经网络理论起重机机械系统故障监测与诊断 [J]. 机电一体化, 2005, 11 (6): 41-44.

[6] 王志欣,胡雄,陈兆能. 集装箱起重机运行状态远程监测评估技术研究 [J]. 武汉理工大学学报, 2006, 28 (4): 101-104.

[7] 王凤萍,程磊,孙影. 国内外履带式起重机的现状及发展趋势 [J]. 工程机械, 2006, 37 (4): 39-43.

[8] 王小明,卢志强. 国内外大型起重机的研究现状及发展趋势 [J]. 机电产品开发与创新, 2009, 22 (2): 6-7.

[9] 张华,张志胜,伏明明,等. 设备远程监控系统的设计与实现 [J]. 中国制造业信息化, 2008, 37 (13): 46-48.

[10] 王超. 起重机行业发展综述 [J]. 工程建设, 2011, 43 (5): 50-53.

[11] 杨海滨. 大型履带式起重机远程状态监测系统智能终端的设计与实现 [D]. 上海: 上海交通大学, 2008.

[12] Lv X L, Li J. Fault diagnosis and self-restore fault-tolerant control for systems with state delays [A]. 2009 Chinese Control and Decision Conference [C]. Guilin, 2009, 902-907.

[13] 李帅毅. 门座起重机振动监测系统研究 [J]. 港口装卸, 2013 (3): 18-20.

[14] 闫淑娟. 基于 LabVIEW 的振动信号测试分析系统的研究 [D]. 沈阳: 东北大学, 2009.

[15] 曾素琼,黄华杰. 基于单片机和 LabVIEW 的无线火灾监测系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (1): 43-45.

[16] Li K, Chen P, Wang H. Intelligent Diagnosis Method for Rotating Machinery Using Wavelet Transform and Ant Colony Optimization [J]. IEEE Sensors Journal, 2012, 12 (7): 2474-2484.

[17] 李婷,卢卯旺,龙诗颐. 电机振动的频谱分析 [J]. 湖南科技学院学报, 2005, 26 (11): 39-41.