

工业设计

架空电缆除冰机器人的设计

张利霞^{1,2}, 袁家政^{1,2}, 杨志成¹

(1. 北京市信息服务工程重点实验室, 北京 100101; 2. 北京联合大学, 北京 100101)

摘要: 通过对现有架空电缆除冰机器人的分析, 提出一种敲击挤压式除冰机器人的设计方案, 并进行了优化设计。该方案完善了除冰机器人原有的工作方式, 给出了该机器人的具体功能与结构的设计方法。最后对设计的合理性进行了相关分析, 并在动力源、对电缆的损伤、操作危险性、效率、除冰效果等方面提供了一种设计思路。

关键词: 架空电缆; 除冰机器人; 结构设计; 除冰机构

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)12-0038-04

Overhead Cable Deicing Robot Design

ZHANG Li-xia^{1,2}, YUAN Jia-zheng^{1,2}, YANG Zhi-cheng¹

(1. Beijing Key Laboratory of Information Service Engineering, Beijing 100101, China; 2. Beijing Union University, Beijing 100101, China)

Abstract: Based on analysis of the existing problem of overhead cable deicing robot, it put forward a kind of percussion extrusion type deicing robot design scheme, and optimized design. The scheme improved the deicing robot original way, gives the robot the specific function and structure design method. Finally, it undertook relevant analysis to the rationality of the design, and provided a design for the power source, damage of cable, operation risk, efficiency, effect of deicing.

Key words: overhead cable; deicing robot; structure design; deicing mechanism

我国南方湿度大且气候多变, 容易产生冻雨给输电系统造成很大的影响, 特别是会给电网带来极大的安全隐患。人工除冰效率低, 也容易对操作工人的生命安全造成威胁。为此, 发展机器人事业有着极其重大的意义。现今, 随着机器人事业的发展, 架空电缆除冰机器人已成为了较为关注的研究对象, 有一些除冰机器人也相继问世^[1-3]。

1 除冰机器人存在的问题

功能期望和使用状况是对于现有除冰机器人发展程度的最佳表述, 功能期望说明发明该种机器人受到越来越多的重视, 而应用状态的缺失是最能说明目前发明效果所存在的问题的。除了专利应用的转化期原因外, 设计复杂和功能的针对性差也使应用受到限制。

除冰机器人在架空电缆除冰自动化中起着至关重要的作用, 它不仅是效率高低的保障, 有时也关系

着是否会伤害电缆的问题。文献[1]专利申请对除冰机器人只作了简单地描述, 未能表明其深入解决问题的实质所在; 文献[2]中的破冰锥如果向下过长就会伤害到电缆, 过浅又除冰不理想; 文献[3]中破冰机构只能破除自身前方和自身组合破冰刀外径以内的冰层, 对于自身组合破冰刀外径以外, 破冰机构就会象钻一样钻进冰中, 深入到组合冰刀的长度就无法再继续前进了。根据电视画面, 冻冰很大很厚, 按照冻冰厚度理论, 该种机器人的大小应取决于冻冰厚度, 又因为机器人不能设计得太大, 否则就会损伤电缆, 而对于电缆下方的冰雪就去除不了, 因此有必要设计一种更为行之有效的除冰机器人。

2 架空电缆除冰机器人设计方案

2.1 提出架空电缆除冰机器人设计方案

2008年初, 南方冻雨给工农业生产造成极大的破

收稿日期: 2012-10-04

基金项目: 基于超图形XGML的图像半结构化的研究(61271369)

作者简介: 张利霞(1975—), 女, 甘肃人, 硕士, 北京联合大学讲师, 主要研究方向为机器人专门化、计算机控制。

坏,特别是对电网的破坏,直接影响到当地居民的正常生活,大量的人工除冰作业在崇山峻岭之间进行,直接威胁到作业人员的生命安全,所以,经电视报道后一些发明应时而生。笔者设计了一种新型架空电缆除冰机器人,它包括机器人本体、除冰机构和控制系统组成。机器人本体是机器人的载体部分,它有行走功能和控制功能。除冰机构安装在机器人本体的前端,它是机器人的工作部分,相当于人类的手。控制系统的控制器、传感器分散在机器人的相应部位,有测量控制的功能。

2.2 架空电缆除冰机器人方案的优化设计

架空电缆除冰机器人方案的优化设计主要包括功能优化设计和结构优化设计2个部分。通过2个方面的优化设计,提出一种敲击挤压式除冰机器人的设计方案,具体步骤如下。

2.2.1 架空电缆除冰机器人功能优化设计

架空电缆除冰机器人功能主要有行走功能、越障功能、除冰功能和通信功能。行走功能是机器人必须具备的功能,考虑到机器人的平衡稳定性,机器人行走机

构采用倒挂轮式。越障功能是体现机器人连续作业提高工作效率的工作机构,越障功能的设计采用三轮交替通过,这对简化机器人设计,减轻其重量有作用。通信功能是减少人工直接参与保护现场工人的手段,使得操作人员在远离操作现场也能了解现场情况,操作人员还可以采取措施控制机器人工作、休息、返回等功能。在增加机器人功能时,还要注意将技术与成本综合考虑^[4]。

架空电缆除冰机器人核心功能主要是除去附在架空电缆上的冻冰。冻冰的形状为依势电缆的形状成条形延展,除冰方法有撸剥式、钻击式和旋钻式^[5-8]。针对冻冰的特点,设计了敲击式和挤压式相结合除冰机器人。

撸剥式主要用于人工操作,在电缆上挂环状物体,下方人工拖拽,除冰效果一般,容易造成电缆的损伤,更容易对操作人员造成磕碰、跌落等伤害。通过在动力源、对电缆的损伤、操作危险性、效率、除冰效果等方面的对比后发现,架空电缆除冰机器人更有优势。将优势再有机组合,将会在效果和效率2个方面得到收益,对比效果见表1。

表1 参数对比
Tab.1 Parameter comparison

条件	撸剥式	钻击式	旋钻式	敲击式	挤压式
动力源	人工	机器人	机器人	人工,机器人	机器人
对电缆的损伤	大	小	中	小	小
操作危险性	大	小	小	大,小	小
效率	中	差	差	差,快	中
除冰效果	一般	差	好	中	好

2.2.2 架空电缆除冰机器人结构优化设计

架空电缆除冰机器人结构包括控制部分和机械部分。控制部分包括各种传感器、单片机控制器、驱动电路、电源调理电路和执行电机,原理见图1。机械部分包括行走机构和工作机构。行走机构见图2,包

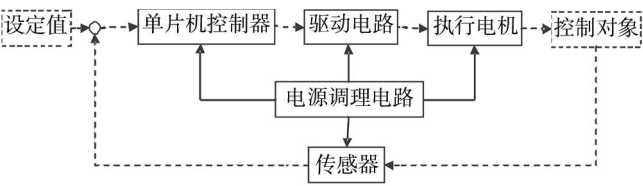


图1 系统结构

Fig.1 System structure diagram

括机器人本体和3个行走轮。

2.2.3 除冰机构的优化设计

除冰机构是除冰机器人的工作部分,也是核心部

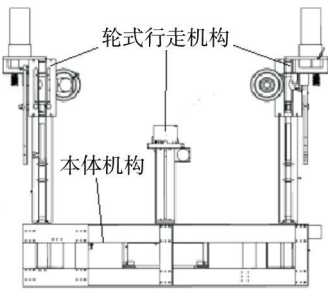
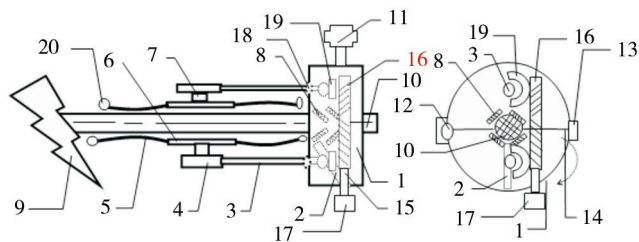


图2 行走机构

Fig.2 Walking mechanism diagram

位,关系到除冰速度和除冰效果,见图3。



1.机构本体;2.导冰槽;3.带齿的支架;4.电机;5.钢丝绳;6.轮盘;
7.输出轴;8.螺纹轴;9.冻冰及障碍物;10.电缆;11.摄像头;12.下部基体驱动电机;13.电磁固定装置;14.连接缝隙;15.联轴器;
16.竖直双向丝杠;17.摇摆电机;18.支点;19.月型双面齿轮;20.击打锤

图3 除冰机构

Fig.3 The eradication of ice organization chart

具体操作方法是:将机构本体安装在架空电缆除冰机器人的前端,机构本体包括上下2个部分,通过连接轴连接,连接之间缝隙要狭小,再通过固定装置构成一个整体;将2个支架装在机构本体上,将电机安装在带齿轮的支架上,将轮盘通过输出轴安装在电机上;将钢丝绳装载在轮盘上,再将竖直双向丝杠装载在机构本体的前方,同时保证竖直双向丝杠与月型双面齿轮有很好地接触;将摇摆电机装载在机构本体上,其输出轴与竖直双向丝杠连接。将8个螺纹轴和导冰槽安装在机构本体内部,安装时保证8个螺纹轴能够与电缆很好地接触,螺纹轴线与电缆是交叉接触;将传感器、摄像头安装在机构本体的前方便于测量。

当安装在本体机构前方的摄像头、传感器发现冻冰及障碍物时由控制器甄别,当发现是障碍物(电路设施等)由机器人决定如何跨越,不作为这里论述的重点。考虑到电缆冻冰产生的特性,冻冰为硬脆性物质,很多除冰机构采取以硬对硬的方式,这样的结果很容易造成对执行机构和输出电机的损害,当遇到比较小的冻冰,除冰机构还能对付,当遇到比较大的冻冰、冻雪,除冰机构输出力矩因电机的功率限制,无法对冻冰造成破坏,反而对自身造成损伤,这时应该采用“以柔克刚”的方式处理问题。当发现是冻冰、冻雪时,控制器启动摇摆电机带动竖直双向丝杠转动,竖直双向丝杠螺纹带动月型双面齿轮,月型双面齿轮转

动,其内圆齿轮带动齿轮的支架摆动,因此钢丝绳可以根据摇摆电机的转动,带动竖直双向丝杠转动,双向丝杠带动月型双面齿轮上下运动,使得机器人除冰机构的高度,适应前面的冻冰、冻雪的高度。又因为在钢丝绳的顶端装有小击打锤,它在高速旋转的同时又能提高该装置的动能,使得除冰机构遇到冻冰、冻雪后,可以迅速将其击碎、打落。电机高速旋转时钢丝绳的“柔”因动能作用,克服冻冰的“刚”,不会因为遇到顽固的冻冰而损坏设备,而冻冰在击打锤的多次敲击下变成碎块。电机与击打锤的组合方式多种多样,可根据具体需要而定,结构见图4。组合得好达

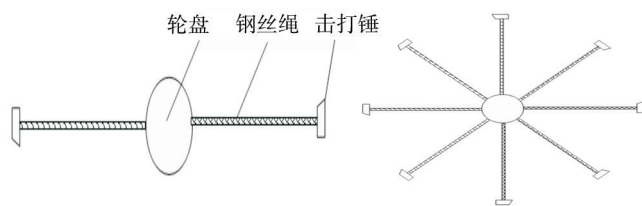


图4 结合方式

Fig.4 Combination chart

到事半功倍的效果,这样分布在电缆上方和下方的冰雪就被击碎了。剩下的就是分布在电缆左右两侧的残余冰雪了,当除冰机构前进到螺纹轴处,8个螺纹轴能够与电缆很紧地接触,螺纹轴与电缆是滚动式交叉接触,对电缆形成挤压,螺纹轴凸起的螺纹接触的地点和角度不同,对冰雪形成一种撵转、挤压动作,使得附着在电缆上的冰雪很快脱落。脱落的冰雪顺着导冰槽滑落,不会将水溅在机器人内部。

3 架空电缆除冰机器人方案分析

3.1 架空电缆除冰人的机械机构分析

1) 确定电机的旋转速度和摇摆角度。除冰装置要依据除冰过程严格设计,电机的输出转速要达到相当高的速度,以对前面触及的冰连续敲击3~10次为宜,次数少说明电机输出过大,不经济,少则影响速度。电机的提升高度和摇摆角度应符合机器人的姿态和运动轨迹。冰雪的高度影响电机的提升高度和摇摆角度,又由于该机构自身的特点,前面冰雪的高度会作用于机器人的前进速度,因此设计电缆除冰机器人时,可依据前面冰雪高度调试电机的旋转速度和摇摆角度,有效

地实现辅助除冰。

2) 钢丝绳和丝杠的尺寸。除冰机器人钢丝绳和丝杠的尺寸设计以除冰效果为依据,满足机器人除冰效果和速度的要求。根据机器人各部分尺寸之间的比例关系,再通过试验数据分析,得到与机器人设计相关的尺寸。经试验和修正,电机及钢丝绳半径在 205~355 mm 之间调节,丝杠的长度与电缆的直径比为 2:1,夹角为 45° 。

3) 除冰机器人的材料分析。除冰装置的材料应以塑料和金属材料为主,能有效减轻机器人重量,达到轻量化的目的。除冰机构本体为铝合金材料,这样不仅材料轻,而且对电缆造成的伤害也小。钢丝绳采用柔性钢丝绳,以钢丝绳自然状态下最高提升度悬垂时不触碰到电缆处为宜。丝杠采用康铜材料,与冰直接接触,比冰硬度高可以挤压碾碎冰雪,接触到铝制电缆时,是 2 种不同金属,根据热电偶工作原理,金属的两端随温度的变化可以得到当时电势值,电缆的温度也将被测量出来,为计算机控制提供可靠的依据。外壳材料采用橡胶,既不影响外观和重量,也能起到固定作用,同时在寒冷的天气也便于拆卸和安装。

3.2 机器人控制器系统软件设计

机器人在架空电缆工作,需要接受地面控制中心的指挥,可编程控制器(PLC)作为控制系统的下位机,由于其结构简单、可靠性高、易于编程,成为工业控制主要的装置,且具有无线通信功能。机器人在除冰现场工作,设备分布分散,需要无线通信功能。这里设计的机器人控制现场采用的是三菱牌 PLC——FX2N-64,它有 FX2NC-485ADP 型无线通讯模块,可将地面控制命令和现场信号进行收发,接受系统管理。

机器人控制器核心部件采用 C8051F120 单片机, C8051F120 是 Cygnal 公司的高速 SOC 单片机,它可以扩展数字和模拟 2 种外围电路,它具有 8K 字节的 RAM 以及 128K 字节的 FLASH,可以满足存储程序和处理数据存储空间。机器人与地面控制中心采用无线异步方式通讯,通过 UART 口连接无线通讯模块。数据收发可通过中断标志位的方式通知微控制器进行处理,大大提高微控制器的工作效率。

在机器人除冰控制过程中,单片机首先对 A/D 接口、UART 口进行初始化设置,再启动 UART 口接收 SP3232E 和 SP3485 转换的无线收发的指挥系统的信号,然后单片机内部程序通过查询 A/D 的情况进行决

策。单片机通过运算发出指令,指挥机器人各执行机构前进、倒退、除冰、过障等工作。除冰工作流程见图 5。

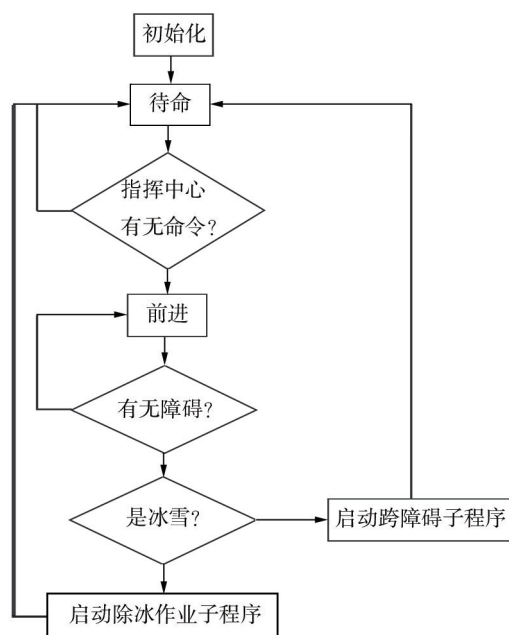


图 5 程序流程

Fig.5 Program flow diagram

4 结语

针对现有的架空电缆除冰机器人存在的问题,应用工业设计的相关知识,从功能优化设计和机械机构的优化设计 2 个方面,提出一种新的设计方案,为除冰机构的设计提供了一种思路,解决除冰效果不理想、除冰速度慢的缺点,丰富机器人工作环境,提高除冰机器人的工作质量。

参考文献:

- [1] 汤靖邦.输变电线除冰机器人:中国,200810019735.3 [P].2008-11-05.
TANG Jing-bang.Transmission Line Deicing Robot: China, 200810019735.3[P].2008-11-05.
- [2] 王耀南,刘睿,蒋文辉,等.架空线除冰机器人的除冰机构:中国,200910043583.5[P].2009-11-04.
WANG Yao-nan, LIU Rui, JIANG Wen-hui, et al.Overhead Line Deicing Robot Deicing Mechanism: China, 200910043583.5[P].2009-11-04.

(下转第 53 页)

动用具的设计和其他产品设计一样,不能脱离人与物的研究,从人手生理特点、人的行为习惯、意识特性、产品物理结构创新以及现代科技成果应用等要素着手,设计出与之相匹配的产品。这里从一些手动用具设计的问题出发,在安全性、应用性、容错性3个设计的基本原则,基于知与行进行探讨,再从使用者和产品2个方面归纳出手动操作产品设计的一些原则和方法,希望可以为手动用具设计提供一些借鉴,设计更多更好的手动用具产品去引导使用者如何安全、正确、清晰、智能地操作,使之在使用过程中达到知行合一的状态。

参考文献:

- [1] 李乐山.工业设计心理学[M].北京:高等教育出版社,2004.
LI Le-shan. Psychology of Industrial Design[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004.
 - [2] 熊兴福,付朝华.基于手的生理解剖特征的园艺工具设计[J].包装工程,2009,30(8):114—116.
XIONG Xing-fu, FU Zhao-hua. Design of Gardening Tools Based on Physiological and Anatomical Characteristics of Hand Products[J]. Packaging Engineering, 2009, 30 (8) : 114—116.
 - [3] 吴屹.易用性——人性化设计的首要因素[J].杭州师范学院学报,2004,3(6):515—517.
WU Yi. Convenience: the First Factor in Human-centered Design[J]. Journal of Hangzhou Normal University, 2004, 3 (6): 515—517.
 - [4] 丁玉兰.人机工程学[M].北京:北京理工大学出版社,2007.
DING Yu-lan. Ergonomics[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2007.
 - [5] 视觉中国网.洛可可设计公司作品欣赏——医疗领域[EB/OL].http://c.chinavisual.com/2008/05/05/c49437/.
Chinavisual.com. Design Works Exhibition of Rococo Design Company: Medical Industry[EB/OL].http://c.chinavisual.com/2008/05/05/c49437/.
 - [6] MORMAD D A.设计心理学[M].梅琼,译.北京:中信出版社,2007.
MORMAD D A. The Design of Every Day Things[M]. MEI Qiong, Translate. Beijing: China Citic Press, 2007.
 - [7] 盛夏.基于符号学理论的趣味性产品设计[J].包装工程,2008,29(11):45—46.
SHENG Xia. Interesting Product Design Based on the Semiology Theory[J]. Packaging Engineering, 2008, 29 (11) : 45—46.
 - [8] 杨先艺.设计概论[M].北京:清华大学出版社,2010.
YANG Xian-yi. The Meanings of Design[M]. Tsinghua University Press, 2010.
-
- (上接第41页)
- [3] 王耀南,周原力,谭磊,等.架空线除冰机器人的冲击除冰机构:中国,200910043582.0[P].2009-11-04.
WANG Yao-nan, ZHOU Yuan-li, TAN Lei, et al. Overhead Line Deicing Robot Impact Deicing Mechanism: China, 200910043582.0[P]. 2009-11-04.
 - [4] 李晓刚,刘晋浩.码垛机器人的研究与应用现状、问题及对策[J].包装工程,2011,32(3):96—102.
LI Xiao-gang, LIU Jin-hao. Research and Application Status, Problems and Countermeasures of Stacking Robot[J]. Packaging Engineering, 2011, 32 (3) : 96—102.
 - [5] 曹文明,王耀南,印峰,等.高压输电线路除冰机器人障碍物识别方法研究[J].仪器仪表学报,2011,32(9):2049—2056.
CAO Wen-ming, WANG Yao-nan, YIN Feng. High Voltage Transmission Line Deicing Robot Obstacle Recognition Method[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2011, 32 (9) : 2049—2056.
 - [6] 杨暘,高虹亮,孟遂民,等.架空输电线路除冰机器人的结构[J].电力建设,2009(3):93—96.
YANG Yang, GAO Hong-liang, MENG Sui-min, et al. Research and Application Status, Problems and Countermeasures of Stacking Robot[J]. Electric Power Construction, 2009 (3) : 93—96.
 - [7] 缪思怡,孙炜,张海霞.基于小波矩的高压输电线路除冰机器人障碍智能视觉识别方法[J].机器人,2010,32(3):425—431.
MIU Si-yi, SUN Wei, ZHANG Hai-xia. Wavelet Moment Based High Voltage Transmission Line Deicing Robot Obstacle Intelligent Visual Recognition Method[J]. Robot, 2010, 32 (3) : 425—431.
 - [8] 王耀南,魏书宁,印峰,等.输电线路除冰机器人关键技术综述[J].机械工程学报,2011,47(23):30—38.
WANG Yao-nan, WEI Shu-ning, YIN Feng, et al. Review of Key Technique of Transmission Line for Deicing Robot[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2011, 47 (23) : 30—38.