

Development of Cable Outer Sheath Ring Cutting Machine Based on Spring Supercharging Mechanism

Yifeng Xue

Hangzhou Yingmin Technology Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang
Email: 736162986@qq.com

Received: May 29th, 2020; accepted: Jun. 16th, 2020; published: Jun. 23rd, 2020

Abstract

For the non-metallic outer sheath thickness measurement of power cables, it is used for the sample preparation before the thickness detection. Aimed at the problem that the quality of cutting section is poor, which is easy to be hurt by sharp knives, and the outer sheath is difficult to cut, a fully automatic mechanical equipment for sampling the annular section of sheath is proposed. This kind of mechanical equipment uses the spring mechanism to store energy. When it works, it drives the cutter head through the ball screw, and adjusts the pressure output, so as to make the sheath sample by non true circular cutting. In this paper, the cable outer sheath ring cutting machine is applied to the actual work situation. The results show that the efficiency of sample preparation is greatly improved; the section cutting is high quality; the manpower work is greatly reduced; the preparation is convenient; the operation is convenient; and it meets the measurement requirements, without defects.

Keywords

Power Cable, Sheath Thickness Measurement, Automatic Machinery

基于弹簧增压机构的电缆外护套环切机械的研制

薛逸峰

杭州应敏科技有限公司, 浙江 杭州
Email: 736162986@qq.com

收稿日期: 2020年5月29日; 录用日期: 2020年6月16日; 发布日期: 2020年6月23日

摘要

厚度检测前制备样品时,要对电力电缆非金属外护套厚度进行测量。针对原由人为切取薄片造成切割截面质量差,容易被锋利的刀具伤手,外护套难以割取等问题,提出一种面向护套环形截面取样的全自动机械设备。这种机械设备利用弹簧机构蓄能,工作时通过滚珠丝杆驱动刀头,调节压力输出,达到非真圆环切制取护套样品。本文将电缆外护套环切机械应用于实际工作场合,结果表明,样品制取效率大幅提高,截面切割优质,人力工作大幅降低,制取便捷,操作方便,且满足测量要求,无残缺现象。

关键词

电力电缆,护套厚度测量,自动化机械

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

随着电力电缆检测行业的不断进步,为实现作业自动化,工作高效化的目标,对电力电缆检测制样的机械设备要求不断提高。但作为电缆外护套径向截取薄片的制取方法,一直以手持锋利刀具沿垂直于电缆轴线的平面切取薄片为主。导致试验工程师花费大量时间在制取试样工作上,影响工作效率与工作热情,甚至经常会伤手。因此本文研究一种外护套薄片制取机械,以达到提高试验工程师工作效率的目的,方便试验工程师完成电缆外护套径向截面制取工作。

2. 介绍

电力电缆的基本结构由线芯、绝缘层、屏蔽层和保护层组成,其保护层为非金属护套和金属护套的组成,本文所称的非金属护套,通常为黑色,为热塑性材料(聚氯乙烯或聚乙烯)或弹性体护套料(聚氯乙烯、氯磺化聚乙烯或类似聚合物),其组合作用是保护电力电缆免受外界杂质和水分的侵入,以及防止外力直接损坏电力电缆。

现今,在电力电缆机械性能试验过程中,其厚度和外形尺寸测量为至关重要的一部分,尤其是检测前的样品制取环节,手工割取截面薄片的方式对试验工程师的操作手法要求较高,不仅容易被锋利的刀具伤手,且样品制取效率低下,以及最终手工割取的试样薄片切面割痕明显,质量较差。因此,在电缆外形检测的前置环节,研制本文所论述的取样机械设备,通过操作机械来代替原有手工割取薄片的方式。

本文所论述的机械设备适用于线芯直径截面积 $35\sim 500\text{ mm}^2$ 的多芯电力电缆外护套环形薄片制取,从设备的产能提升、成本控制、结构稳定性等方面综合考虑,可在 2 分钟以内完成一次试样的制取。设备需外接 220 V 电源对其供能,操作简便,只需将一段 100 mm 长的电缆放置于内置工装上,关闭安全门,点击触控屏上的启动键,设备即自动工作,对试验工程师进行安全培训及设备操作培训后,即可上机操作。

3. 电力电缆基本结构

当前,按国内外习惯的划分,电缆分为低压电缆、中压电缆、高压电缆和超高压电缆,即电压为 35

kV 及以下为低压电缆；35~69 kV 为中压电缆；110~220 kV 为高压电缆；大于 220 kV 称为超高压电缆 [1]。

电力电缆最里边的是线芯(导体)，线芯外面是相绝缘和填料，再外面是三相统包绝缘，统包绝缘外为铅包，铅包外层为防护层如钢甲和聚氯乙烯护套。如分相铅包电缆结构由里到外依次为：导体、导体屏蔽、绝缘层、绝缘屏蔽、铅套、内衬垫及填料、铠装层、外被层，如图 1 所示。

本文所论述的电缆外护层一般由内衬层、铠装层和外被层组成。内衬层的作用是防止内护层受到腐蚀，并防止内护层在电缆弯曲时被铠装层破坏，铠装层位于内衬层外面，其作用是减少机械力对电缆的影响，使作用在电缆上的机械力由铠装层来承受[2]。外被层在铠装层外，其作用是防止铠装层受到侵蚀 [2]，所以，电缆外护层的作用是保护内护层免受外界影响和机械损伤。

而本文所论述的，则是制取外被层圆环截面，根据《GBT 2951.11-2008 电缆绝缘和护套材料通用试验方法第 11 部分通用试验方法——厚度和外形尺寸测量——机械性能试验》规定，测量外被层各厚度点并取平均值[3]。

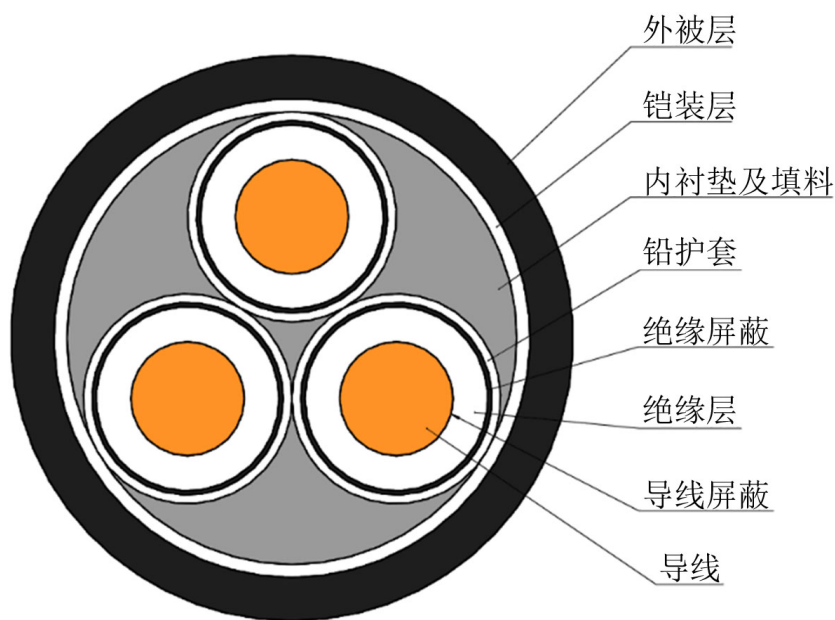


Figure 1. Cable structure drawing

图 1. 电缆结构图

4. 设备整机的设计

4.1. 整机功能逻辑设计

本文所论述的机械设备整体设计思路需从产能的提升、功能的完整、操作的简便、成本的控制及结构和程序的优化等多方面综合考虑，其整机的设计思路尤为重要，稳定可靠的机械结构是保证设备持久工作，降低故障率的关键所在。

为了达到以上所述的设计目的，本文提出的基于弹簧增压机构的电缆外护套环切机械设备如图 2 所示，包括：设备钢构机架及外围防护壳体、主进给传动系统、移栽刀架、弹簧增压机构、电动恒力夹紧卡盘、人机交互界面及电气控制系统。

其中为了满足承载机械负荷的需要及机械电气元件与作业人员的物理隔离需求，设备采用 Q235 钢

构的机架本体及 1.5 mm 厚度的碳钢钣金作为外围防护的壳体, 碳钢材料的表面均做热喷塑处理以长期防锈, 其中外观壳体采用白色塑粉装饰。人机交互除了触控屏作为参数调试调整, 还留有旋转式急停按钮、设备运行指示灯和设备待机指示灯。

本文提出的整机功能逻辑有如下所述: 试验工程师将所需制样电缆截取 $100\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$ 长度放置于卡盘中心。试验工程师通过手持遥控器控制卡爪的张开与收紧, 到达指定夹紧力矩后, 卡爪即停止工作(为防止过度加力将电缆挤压形变过大, 而超过刀片直径所能允许的峰谷差, 故采用控制卡爪力矩的方式调节其夹紧力, 即本文所述的电动恒力夹紧卡盘, 每次夹紧以到达特定力矩为停止电机的工作信号)。设备工作前, 试验工程师必须关闭安全门, 安全门采用单层钢化玻璃, 如在工作中有杂质脱离, 可防止其飞离工作区。

设备启动后, 首先自动完成机构程序回零, 初始化设备状态, 通过激光测距测得电缆实际安装高度, 卡盘以 80 r/min 的速度顺时针旋转。主进给传动系统带动移栽刀架靠近电缆, 到达水平位置 A 后, 弹簧增压机构下降至电缆端面以下 5 mm 处, 随后主进给传动系统带动移栽刀架中速逼近电缆至水平位置 B, 将速度降为低速, 此时主进给传动系统以低速持续工作, 因电缆外护套为凹凸不平的非真圆截面, 圆刀片会首先切入凸面外护层, 随后通过弹簧的不断增压加力, 将刀片切入电缆的非金属护套。据实际试验所得, 当弹簧加力至 96 N 时, 带 $R0.05$ 刀尖钝度的圆刀会切断其内的金属护套, 故为提高刀具的使用寿命, 在弹簧加力至某特定值时, 将触发回程开关, 主进给传动系统即时停止进给工作, 反向退刀至水平位置 B。弹簧刀机构下降 1 mm , 重复如上所述的切入工作, 完成后, 机构脱离卡盘, 卡盘停止旋转, 设备运行指示灯灭, 设备待机指示灯亮时, 试验工程师即可打开安全门取出圆环制样



Figure 2. Equipment structure drawing

图 2. 设备结构图

薄片和废料。

4.2. 具备弹簧增压机构的切刀系统设计

本文设计的切刀系统由垂直位移机构、弹簧增压机构、切刀更换模块组成(如图3所示)。其中垂直位移机构的应用主要在于控制弹簧刀的高度调节,分为机械零点、第一工作高度位置、第二工作高度位置、负极限位置等。通过激光测距传感器检测至电缆的安装高度后,垂直位移将降低弹簧刀的高度至第一工作位,完成第一步环切后,垂直位移机构再降低弹簧刀的高度至第二工作位,完成两步环切后,垂直位移机构将返回零位。本机构还设计其具备自我保护的功能,如若未检测到样品高度或样品高度过低都不会启动工作,防止发生意外机械碰撞事故。

垂直位移机构带动切刀上下位移调整高度位置,其上的弹簧增压机构也随着刀具位移微调,本文设计的弹簧增压机构必须具备足够强度的结构主梁,并用滚珠导向器对刀具直线导向,滚珠摩擦系数低,且模块式的结构利于维护和安装。弹簧增压机构使切刀具备一定的压缩性,从而自适应电缆外护套环切过程中电缆的非真圆外形,切刀会被施加足够的压力以切透外被层,且不足以切穿钢铠,所以切刀会沿着钢铠外形轨迹行走,因本机构中,样品做旋转运动,切刀做简谐运动,所以切刀所运动的位移差即是电缆的非真圆度,当然也受到夹持时的偏离旋转中心距离的影响。

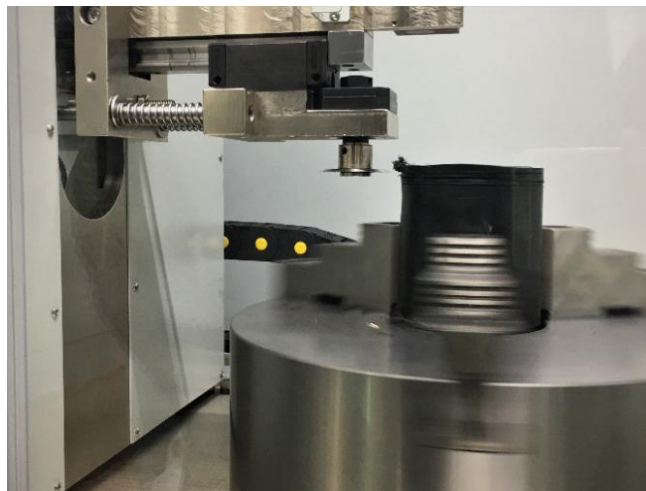


Figure 3. Physical drawing of mechanism
图3. 机构实物图

4.3. 恒力矩电动夹紧卡盘的传动设计

恒力矩电动夹紧卡盘的传动原理如图4所示,其主要由卡盘旋转机构和电动恒力夹紧机构组合而成,卡盘旋转机构通过同步带传递旋转力矩,将三相异步电动机的输出力矩通过摆线针轮减速机机械放大后传递给连接卡盘的传动轴。

传动轴具备足够的机械稳定性,能承受传递运动过程中所产生的交变载荷,其上下又有可同时承受轴向力和径向力的交叉滚子轴承支撑。可承受因同步带张紧所带给传动轴的侧向力。当三相电机旋转时,其所输出的力矩被多级放大,最后可带动卡盘做低速旋转运动。

电动恒力夹紧机构的组成主要用于力矩反馈和输出动力的交流伺服系统、齿轮减速机构、传动机构等组成,其主要实现的目的是通过交流伺服系统完成卡盘的自动夹紧与放松,通过齿轮减速机构,将电机输出轴的旋转运动转换成卡爪的自向心直线运动,为保证安全可靠的操作过程,则采用大速比的减速

机构。恒力夹紧机构的自适应感应模块均采用交流伺服系统的力矩控制，通过合适的夹紧力配比，可完成在夹紧后样品最小化的变形，从而大幅提高本设备的可靠性。

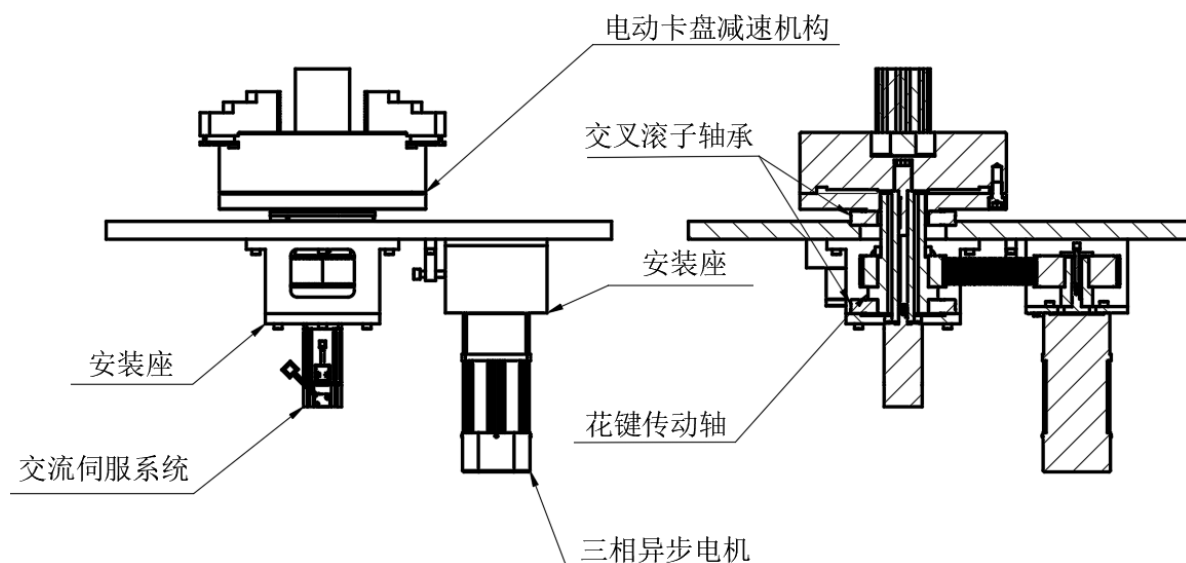


Figure 4. Mechanism schematic diagram

图 4. 机构原理图

5. 弹簧增压机构在本机械设备中应用的技术特点

本文所述的机构采用纯机械结构，结构稳定，性能可靠，整个机构的设计前提是提高其使用的稳定性，因为切刀随着外护套旋转切入时，会不断的进行简谐运动，从而对导向机构的使用寿命有较高要求，本文所述的机构导向为内循环式的滚珠式直线滑动机构，市场上因其突出的可靠性而应用广泛，且后期维修方便。

本机构是采用弹簧随其压缩所增大的压力使刀片逐渐切入外护层的机械结构，到位后被常开型金属接近传感器感应，切刀再利用弹簧自复位，并在设计中增加两路传感开关，如其一失效，后留有备用感应开关，使机构的安全性能大大的提高。

机构中的结构配件均采用碳钢制成，具有强度高，刚性足等优点，并对其表面电镀铬防锈美化，整体工业美感充分，材料规格市场要求不高，能够有效的节约成本，且加工工艺简单，制作容易，可以大批量生产，外观镀铬后，做简单的防锈处理，易于存放。并且零配件的设计均采用统一规格化的设计方法，互换性较高。

6. 外护套环切机械的应用

通过本文对面向基于弹簧增压机构的电力电缆外护套环切机械的设计介绍，完成了机械装置实物的制作，并且最终完成了整体结构的设计。

随后，在实际的工作环境中，对此机械设备进行了实际测试并且与传统人工切割效果进行对比。本装置最终的样品制作如图 5 所示，其设备配件如图 6 所示，设备配件用于刀片的损耗更换所用，在与传统人工切割的方法进行对比，本文设计的机械装置过程便捷且效果优异，样品制作时间过程短，同时取样优质，安全性高。达到《GBT 2951.11-2008 电缆绝缘和护套材料通用试验方法第 11 部分通用试验方法——厚度和外形尺寸测量——机械性能试验》所规定的样品制作要求。



Figure 5. Sample picture
图 5. 样品图片



Figure 6. Accessories picture
图 6. 配件图片

7. 结语

为了解决电力电缆样品检测所带来大量工作量的问题，本文研制了一种基于弹簧增压机构的电力电缆外护套环切装置，以提高试验工程师制作外护套薄片制样的工作效率，并且保证制样过程中的安全性。本体提出的机械装置可靠性高，易于生产，设备对试验工程师的操作要求较低，可适用于 110 kV 及以下电力电缆的外护套薄片制样，对电力电缆检测行业的高效化作业具有很重大的意义。

参考文献

- [1] 胡超. 浅谈高压 XLPE 绝缘电力电缆外护套材料的选择[J]. 中国新技术新产品, 2019(14): 40-41.
- [2] 孙博阳, 陈哲, 谢傲, 等. 高碳黑含量聚丙烯电力电缆屏蔽材料[J]. 高电压技术, 2020, 46(5): 1631-1638.
- [3] 张文清, 张文霞, 等. 一种高效安全的电力电缆剥皮钳[J]. 2018(12): 25.