

电力系统污闪分析及其清扫机械手的设计

江 凯, 杨佳华

(上海电力公司, 上海 200122)

摘要: 为解决电力系统绝缘子传统人工清扫中存在的危险性较大、费时费力、清扫效率低等问题,分析了绝缘子不同类型、不同半径、不同安装位置和安装角度对清扫的要求,提出了一种能够打破清扫角度局限性,实现360°全方位清扫的半自动清扫机械手设计方案。该方案通过清扫大臂的伸缩、毛刷的旋转和俯仰摆动,以及清扫手爪的开合调整,实现了各种类型绝缘子的清扫。研究结果表明,该清扫机械手可以很好地代替传统人工清扫,提高了清扫效率,保证了清扫质量,使清扫工作更安全。

关键词: 电力系统污闪; 绝缘子清洗技术; 清洁机器人; 机械手

中图分类号: TM75; TH69; TH3

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)10-1183-04

Analysis of pollution flashover in power system and design of manipulator applied in cleaning robot

JIANG Kai, YANG Jia-hua

(Shanghai Municipal Electric Power Co., Shanghai 200122, China)

Abstract: The traditional insulator cleaning method is very dangerous, effortless, time-consuming and low efficiency. In order to solve these problems, the type, radius, installation location and angle of different insulators were analyzed. A new design of the manipulator used in the semi-automatic cleaning robot was proposed, which can break the sweeping angle limitation and achieve 360° all-round cleaning. The all type insulators cleaning were realized through the stretching of the sweeping arm, the rotation and tilt of the brush, and the opening and closing adjustments of the gripper. The results indicate that, this new design of the manipulator can replace the traditional manual cleaning very well, which make the cleaning work safer, improve the cleaning efficiency and ensure the quality of the cleaning.

Key words: pollution flashover in power system; insulator cleaning technology; cleaning robot; manipulator

0 引 言

在电力系统中,为了固定导电元件,并保证该元件与其他导体绝缘,需要用到绝缘瓷瓶。瓷瓶是一种用瓷或者玻璃制成的电气元件,通常呈椭圆形、鼓形或圆柱形等。瓷瓶在运行中需要承受所固定导体的压力、拉力等机械作用力,这对瓷瓶的机械强度提出了较高的要求。更为严重的是,室外瓷瓶还要长期经受风吹、日晒、雨淋、阴霾、沙尘等恶劣天气环境,以及由不良大气环境引起的化学物质腐蚀。这些气体、液体、固体物质引起积聚在瓷瓶表面形成污层,在遇到湿润作用时,瓷瓶电导会急剧增加,导致泄漏电流增

大,严重时会产生局部放电,局部放电严重时即发展为污闪。

设备发生污闪会严重影响电力系统的安全稳定运行,带来电压的波动,引起短路故障等。而如果在污闪时输电线路发生瞬时故障,也会使继电保护重合闸的成功率大大降低。重合闸是电力系统瞬时故障恢复供电的重要手段,重合闸成功率降低将造成大面积的停电事故。同时,污闪中伴随的放电电弧还可能导致电气设备被击穿损坏,不仅损害了设备本身,还会使停电事故进一步扩大。污闪事故直接影响电力系统运行,严重降低供电可靠性,由此带来的其他国民经济损失更是不可估量的。防止绝缘瓷瓶污闪是

电力系统长期而重要的任务^[1]。

本研究首先对我国污闪情况进行介绍,并对污闪发生的原因进行分析。重点介绍通过绝缘子清扫技术防止污闪发生的方法,并指出传统人工清扫方法存在的不足。在此基础上,提出一种半自动人工清扫机械手设计方案,详细介绍机械手的整体结构设计及功能实现。

1 污闪情况分析

1.1 我国电力系统污闪情况

据不完全统计,1971~1994年全国 35 kV~500 kV 输电线路污闪 3 542 条次;1971~1992年发变电站污闪 1 768 座次。

自 20 世纪 90 年代以来还曾发生过 3 次跨省区的大面积污闪事故。分别为:① 1989 年底~1990 年初,由于河南、河北、山西、京津唐以及辽宁等地的局部地区相继出现大雾及雨夹雪天气导致的华北 4 省 2 市的大范围污闪事故^[2];② 1996 年底~1997 年初,由于长江中下游 6 省 1 市持续大雾,导致的华中、华东两大电网大范围污闪,以及同年华北、山东、西北等地的污闪事故^[3];③ 2001 年初,由于华北大部和东北辽宁相继出现的雨雪、大雾天气,导致的由河南电网发展至河北、京津唐、辽宁电网的大范围污闪事故^[4]。

除以上 3 次特大范围跨区域污闪事故之外,全国各电网的局部污闪事故、小区域的小范围污闪事故也不断发生。

对污闪事故进行认真深入的分析,是预防事故发生的有效措施。

1.2 污闪发生原因

电力系统污闪的发生,整体来说是由设备积污引起的。但根据以往的运行经验及对污闪情况的具体分析表明,输变电设备发生污闪既有外在环境的原因,也有一些内在的原因^[5-6]。

外在原因:

(1) 空气环境恶劣,污秽中所含的导电成分比例较高;

(2) 雨、雾、阴霾等易导致污闪的潮湿天气频繁出现。

这些恶劣环境情况带来的影响是不可避免的,可认为是外在原因。

内在原因:

(1) 在计算泄露比距时,采用额定电压,而不是设备实际运行电压(设备实际运行电压可能比额定电压高 5%~10%),导致计算结果偏低;

(2) 设备绝缘水平低,如果设备实际绝缘水平较

低,即使在没有发生积污时,也可能发生闪络,则绝缘子对污秽的耐受水平会较低,积污时发生闪络的概率会大大增加;

(3) 没有对绝缘子进行较好的防积污处理,在污秽后也没有及时进行清扫;

(4) 其他分析、预防工作不足,如没有根据天气情况合理安排污秽清扫,没有合理分析污染物情况以进行有效防积污处理等。

这些原因都是由于分析、设计时考虑不足,以及存在的缺陷造成的,可以通过更加科学、严谨的分析和和管理方法进行避免,可以认为是内在原因。

污闪发生的外在原因是不可调控的,只有从内在的原因入手进行规避,才能减少污闪事故的发生,提高电力系统的安全运行水平。

1.3 污闪防治方法

电力系统防治污闪的方法,主要从 4 个方面入手:

- ① 对所在区域污染信息、天气信息的准确分析,确定污染等级,为防污闪工作提供有效的信息基础,并且能够在天气情况比较恶劣时,灵活的提高防污闪等级;
- ② 针对设备具体运行情况进行量化设计,选择绝缘水平足够的绝缘设备;
- ③ 定期对绝缘设备进行清扫,保持绝缘子表面的清洁,减少污闪发生的概率;
- ④ 基于材料科学的发展,研究者可以采用以高分子有机材料为主制造的新型绝缘子,其形状系数和表面电阻大,具有良好的憎水性,绝缘子表面难以形成积污,且绝缘子耐压水平等方面也比普通绝缘子更有优势。

2 绝缘子清扫技术

在以上污闪防治方法中,对环境信息的准确分析和针对设备具体运行水平的绝缘水平确定均只属于防污闪的基础性分析工作。定期清扫和采用新材料绝缘子则涉及到电力系统具体的操作和设备选型。在这个方面,新材料绝缘子虽然有诸多优点,但也存在制作工艺复杂和绝缘子自身易损坏等问题。在我国,绝大多数绝缘子还是采用传统的瓷或玻璃制成,因此,对绝缘子的定期清扫还是电力系统防污闪的主要方法和手段。

2.1 现有清扫技术

现有的对绝缘子进行清扫的技术主要有:利用停电机会进行人工清扫、机械带电清扫、带电气吹清扫以及悬式绝缘子落地清扫。不管采用何种清扫技术,在清扫过程中都必须严格按照技术规程,安全有序地进行清扫工作。

近年来,为了避免停电清扫对电力系统运行带来的影响,对带电清扫的研究有了很多进展,尤其在机

械带电清扫方面,也获得了许多产品成果。一系列的产品已投入使用,如由陕西银河电气防污技术有限公司开发的单杆手持式对6 kV、10 kV、35 kV电压等级的QBRQ轻便型高压带电清扫器;适用于110 kV电压等级变电设备清扫的STQ-11型手推车式高压带电清扫机;由上海交通大学与兰州供电局高压带电清扫课题组共同研发的330 kV带电清扫机器人等。

机械带电清扫虽然减少了电力系统的停电时间以及清扫人员的工作强度,但是对清扫设备的绝缘性能提出了较高要求,特别是在较高电压等级下。而能够满足绝缘要求的清扫设备,其机械强度又会受到影响。

现阶段,机械带电清扫设备在我国电力系统的普及率还很低。停电进行的人工清扫还是绝缘子清扫的主要方式,同时,当设备需要检修时,清扫人员也可以利用这一停电机机会进行人工清扫。针对人工清扫的普遍性和不可替代性,研究便捷高效的人工清扫设备具有重要的意义。

2.2 传统人工清扫

传统的纯人工清扫方法需要工作人员亲自拿着毛巾或清洁毛刷等清洁物对绝缘子进行清扫。当绝缘子处于高处时,为了保证人身安全,工作人员还需要系着安全带,爬上高处完成清扫工作。工作人员清扫高处绝缘子的情况如图1所示。



图1 人工清扫绝缘子

从图1中可以看出,这种清扫方法比较危险,而且费时费力,清扫效果也很难保证。除了耗费大量的人力、物力、财力之外,极低的清扫效率也难以保证清扫工作按时完成。

针对这一情况,停电清扫也需要有新的方法,以提高清扫效率,并保证清扫质量。

3 新型清扫机械手设计

在设计停电清扫设备时,研究者除了要考虑清扫机械手载体的灵活移动性、上升高度、控制维度等问题,更要合理设计清扫机械手,以保证能够打破清扫角度的局限,实现360°全方位清扫^[7-10]。

不同带电设备所采用的绝缘子种类不同,且绝缘子半径不同,绝缘子安装位置和角度也不同。这些不

同类型、不同安装位置的绝缘子的存在为清扫机械手的设计带来了困难。研究者必须设计一种能够实现360°清扫,且能够适应不同半径、不同位置绝缘子的机械手,以自适应地完成不同情况绝缘子的清扫工作。

以下提出的机械手设计方案,可以很好地满足以上要求。

3.1 清扫机械手方案

该机器人整体结构示意图如图2所示,可实现大臂的伸缩,工作部位毛刷的旋转和俯仰摆动,可开合的手爪可抱住不同大小的瓷瓶,从而实现全方位的清扫工作。

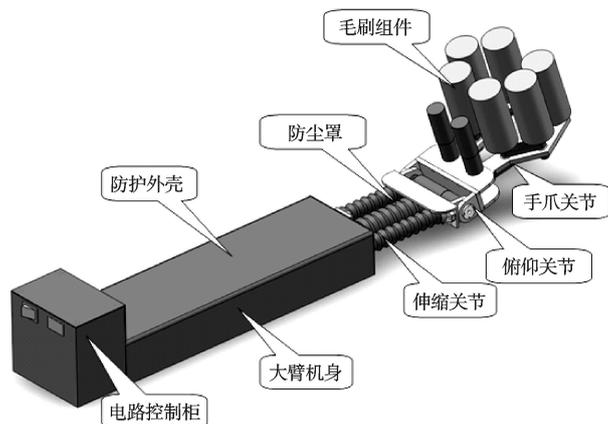


图2 机械手结构示意图

其中,伸缩关节可以实现机械手的前后伸缩,以接触到不同距离的绝缘子;俯仰关节可以实现机械手的角度设置,以完成对非竖直安装,不同安装角度绝缘子的清扫;可开合的手爪可以灵活控制开合角度,以适应不同大小绝缘子的清扫;毛刷组件的旋转实现绝缘子360°的全方位清扫。

3.2 伸缩装置机械结构

伸缩关节的内部结构设计如图3所示。伸缩装置采用电动推杆实现直线移动,采用两根直线导轨保证机构的刚性和稳定性。推杆电机额定电压为24 V,额定功率为209 W,额定最高转速为6 800 r/min,减速器减速比37.8:1,可以实现伸缩速度30 mm/s。在电动推杆两端位置装有碰撞开关,使伸缩装置能在一定范围内实现到位自动停机。

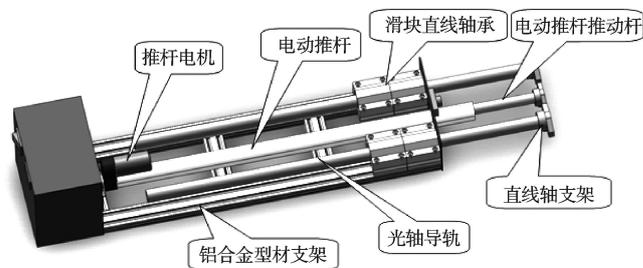


图3 伸缩关节结构示意图

3.3 刷头关节结构设计

刷头关节主要包括俯仰关节、手爪开合关节和毛刷旋转关节,本研究共采用3个直流电机驱动以实现前端手爪的俯仰、手爪开合动作以及毛刷旋转。其中俯仰关节电机电压为24 V,功率为10 W,减速比为100:1,输出转速为30 r/min,俯仰角度范围为 $-90^{\circ}\sim+90^{\circ}$ 。手爪开合电机电压为24 V,功率为7 W,减速比为137:1,输出转速为30 r/min,角度范围为 $-90^{\circ}\sim+15^{\circ}$ 。毛刷旋转电机电压为24 V,功率为7 W,减速比为35:1,输出转速为150 r/min,通过一个7个同步带组将运动传到6个毛刷上。

3.3.1 毛刷手爪开合关节

手爪开合关节结构示意图如图4所示。毛刷手爪开合关节由直流电机驱动,直流电机与齿轮1A固连,齿轮1B与齿轮1A组合传动,与电机2的轴同轴但不固定(中间有轴承,即电机2的运动与齿轮1B的运动是相互独立的)。齿轮1A和齿轮1B分别固定在爪子的左、右半边。这样,就可以同过直流电机驱动爪子的开合。

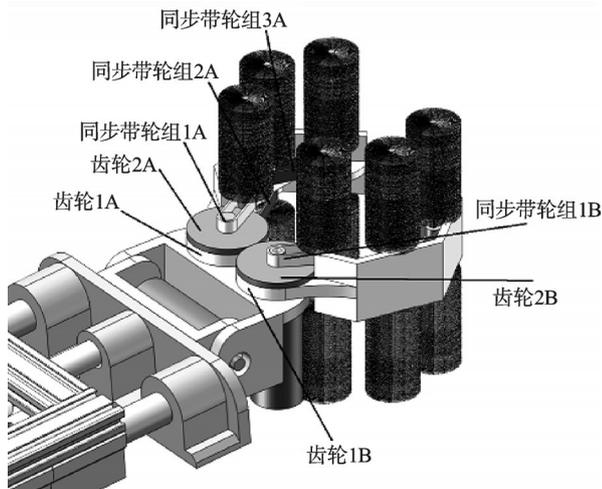


图4 手爪开合关节结构示意图

3.3.2 毛刷传动关节

毛刷传动关节结构示意图如图5所示。毛刷传动关节由直流电机驱动,电机的轴与带轮2B固连,然后与带轮2A啮合,带轮2A与电机1同轴不固定(中间有轴承,即电机1的运动与带轮2A的运动是相互独立的)。同步带轮组3A和3B分别固定在带轮2A和2B上,这样就将直流电机的运动传到毛刷1和2上,后面的毛刷同样通过串联同步带轮组的形式获得传动。

该清扫机械手通过电路控制柜接受来自控制器的遥控,实现人工半自动清扫。

4 结束语

本研究首先对我国电力系统污闪情况进行了介绍,并分析了污闪发生的原因,指出污闪主要由外在

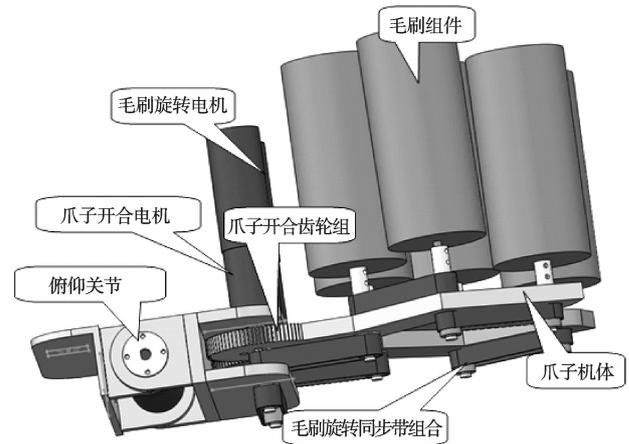


图5 毛刷传动关节结构示意图

环境因素和内在因素造成;然后详细地介绍了污闪的防治方法、绝缘子清扫技术;通过分析指出了停电人工清扫的不可替代性,最后详细介绍了一种新型停电人工清扫机械手的设计方案。

新型清扫机械手通过伸缩、手爪俯仰、手爪开合3个维度的控制实现对不同半径、不同安装位置绝缘子的清扫。毛刷旋转功能可以实现对绝缘子360°全方位清扫,保证了清扫质量。通过使用这种新型机械手,可以有效提高停电人工清扫的清扫效率和清扫质量,具有较好的应用前景。

参考文献(References):

- [1] 喻华玉,徐文澄. 防污闪新技术—BRQ便携式软轴连接高压带电清扫机及其应用[J]. 中国电力,2002,35(10):91-93.
- [2] 刘兆林. 1996年末华东电网污闪事故分析及对策[J]. 电网技术,1997,21(8):63-66.
- [3] 王国春,陈原,张开贤. 1999年3月京津唐电网部分线路闪络原因分析及反措[J]. 华北电力技术,1999(8):5-9.
- [4] 崔江流,宿志一,车文俊,等. 2001年初东北、华北和河南电网大面积污闪事故分析[J]. 电力设备,2001,2(4):16-20.
- [5] 高锡明,段卫国,李文涛. 广州换流站高压直流设备防污闪措施探讨[J]. 高电压技术,2004,30(11):67-69.
- [6] 宿志一,李庆峰. 我国电网防污闪措施的回顾和总结[J]. 电网技术,2010,34(12):124-130.
- [7] 顾毅,翁新华,杨汝清,等. 超高压带电清扫机器人可变半径清扫手爪设计及优化[J]. 上海交通大学学报,2007,41(11):1741-1748.
- [8] 叶敬安,翁新华,顾毅. 高压带电清扫机器人液压调速系统设计[J]. 机械,2006,12(5):12-14.
- [9] 胡利永,章磊. 落叶清扫机器人的研制[J]. 机电工程,2009,26(10):96-98.
- [10] 陈亮,杨汝清,谢霄鹏. 基于视觉的高压带电清扫机器人瓷瓶自动定位伺服系统[J]. 机器人,2004,26(2):161-165.

[编辑:张翔]