

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.04.022

10 kV 配网小型旁路系统作业方法研究

刘夏清¹, 牛捷¹, 李金亮¹, 周冠东², 杨琪¹, 徐溧¹, 隆晨海¹, 易子琦¹
(1. 国网湖南带电作业中心, 湖南长沙 410010; 2. 国网湖南省电力公司, 湖南长沙 410007)

摘要: 针对现有配网旁路作业系统存在所需车辆多、移动不便、安全防护困难等问题, 研制了 10 kV 配网线路旁路作业移动平台; 同时综合考虑绝缘防护、安全距离和控制策略等因素的影响, 采用有限元法计算验证了旁路电缆的电场强度, 提出了小型旁路系统作业新方法, 并通过现场试验进行了验证, 证实了所提出方法的有效性。研究结果表明: 将旁路负荷开关、柔性电缆等设备集成在 10 kV 配网线路旁路作业移动平台上, 可使所提出的方法具有安全性、便捷性和可靠性, 能够实现配网检修不停电作业。

关键词: 旁路作业; 10 kV 配网; 柔性电缆; 作业平台; 有限元法

中图分类号: TM762.1⁺4

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2016)04-0493-05

Research on small bypass system operation method in 10 kV distribution network

LIU Xia-qing¹, NIU Jie¹, LI Jin-liang¹, ZHOU Guan-dong², YANG Qi¹,
XV Li¹, LONG Chen-hai¹, YI Zi-qi¹

(1. Live Working Center of State Grid Corporation of Hunan, Changsha 410010, China;
2. State Grid Corporation of Hunan, Changsha 410007, China)

Abstract: Aiming at the problems of the existing bypass operation system, need many vehicles, in the meantime it's mobility was poor and it's safety protection was difficult, 10 kV distribution network bypass work platform was developed and manufactured. Meanwhile, the influence of insulation protection, safe distance and the control strategy were considered comprehensively, a small bypass operation method based on the 10 kV bypass work platform was proposed. The electric field intensity of the bypass cables was calculated by the finite element method. The field test demonstrated the effectiveness of the method. The results show that the method is safe, convenient and reliable owing to integrating the bypass load switch and flexible cable on the mobile work platform.

Key words: bypass work; 10 kV distribution network; flexible cable; work platform; finite element method

0 引言

随着社会经济的快速发展,用户对供电可靠性要求越来越高。10 kV 配电网是直接供应电能给用户的电力基础设施,配电系统是供电企业面对用户的最后环节,它直接关系到能否把优质的电能源源不断地供给用户,同时也是充分体现社会效益的关键环节^[1-4]。在对配电网进行停电作业时,需要提前通知停

电线路的沿线用户,同时要要进行负荷转移、停电、做安全措施等一系列的准备工作,这样会给用户带来极大的不便,在面对紧急抢修任务时,更会造成抢修时间的浪费,进而影响到供电企业的经济效益和社会效益^[5-6]。

配网线路旁路作业法是一种在确保用户不停电的情况下进行线路检修的作业方法,该方法通过在主线上搭接旁路作业来保证用户不停电。而现有旁路作业系统存在所需车辆多、移动不便、受作业场地限制和

对旁路开关等设备的安全防护措施复杂等问题^[7-10]。因此,研究新的旁路作业方法具有重要的学术意义和工程应用价值。

本研究在研制 10kV 配网线路旁路作业移动平台的基础上,利用有限元法对旁路电缆的绝缘性能进行仿真验证,提出 10 kV 配网小型旁路系统作业方法,并在配网故障线路现场进行实例验证。

1 新方法的提出

1.1 小型旁路作业系统

本研究设计研制的小型旁路作业系统整体结构紧凑,具有升降功能,解决了作业时设备的安全防护问题。同时采用集成化、移动化、便捷式的设计思路,将一台旁路负荷开关、6 盘柔性电缆等设备集成设计在一个长 1 620 mm、宽 1 220 mm 具有升降功能的移动平台上,可由作业车辆拖行至作业场地。该系统采用模块化组装,主要包括旁路开关及自动升降装置、柔性电缆展放盘、行驶转向控制装置及相应的安全控制装置组成,整体结构及各主要组成构件如图 1 所示。

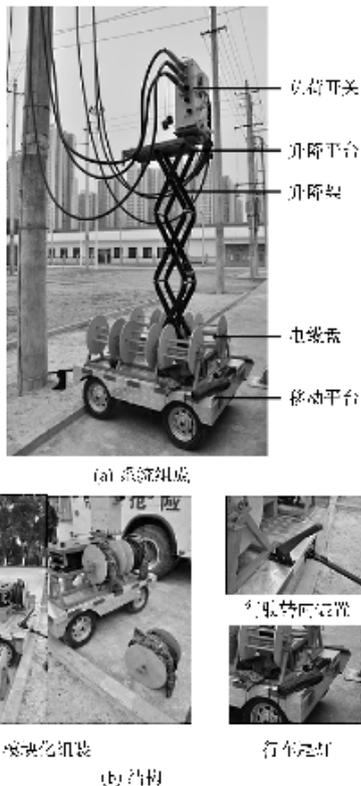


图 1 配网小型旁路作业系统

1.2 具体操作步骤

配网小型旁路系统作业方法示意图如图 2 所示。只需在待检修线路或杆塔下方,利用研制的配网 10 kV 旁路作业移动平台,搭建包括负荷开关、柔性电缆等设

备的小型旁路系统,即可实现配网线路的不停电检修。具体操作流程:①用一台可移动的负荷开关,来代替固定安装在线路上的开关,用两根 20 m 电缆一端与开关牢固连接,并保证绝缘良好;②将开关移到工作地点,确认开关在断开位置;③采取带电作业的方式,将开关两端的电缆在开断点两侧与线路连接好;④合上负荷开关;⑤采取带电作业的方式,解离开断点三相线路;⑥断开开关,线路后段停电。

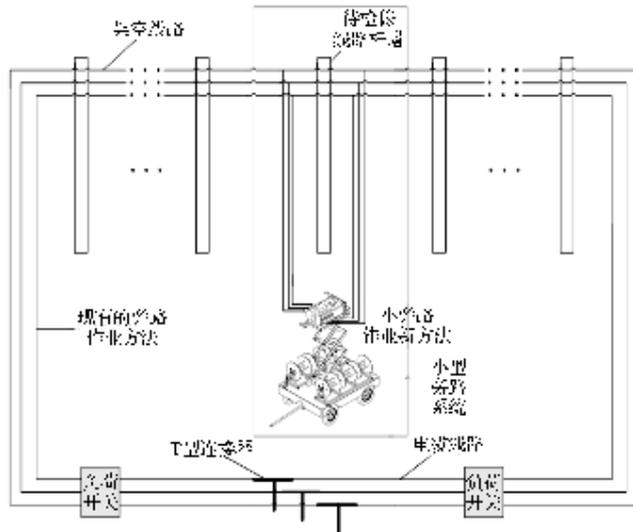


图 2 配网小型旁路系统作业方法示意图

2 柔性电缆电场计算分析

2.1 有限元法计算原理

有限元以变分原理和剖分插值为基础,结合静电场理论,当空间电荷时,此时场域 D 的电场能量泛函可表述如下^[11-13]:

$$W(\varphi) = \iint_D \frac{1}{2} \varepsilon E^2 dx dy = \iint_D \left\{ \frac{\varepsilon}{2} \left[\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)^2 \right] - \rho \varphi \right\} dx dy \quad (1)$$

能量泛函变分表达式为:

$$\delta W(\varphi) = \frac{\partial}{\partial x} W(\varphi + t\delta\varphi) \Big|_{t=0} = \iint_D [\varepsilon \nabla \varphi \cdot \nabla (\delta\varphi) - \rho \delta\varphi] dx dy \quad (2)$$

由格林公式得:

$$\delta W(\varphi) = - \iint_D (\varepsilon \nabla^2 \varphi + \rho) \delta\varphi dx dy + \oint_C \varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial n} \delta\varphi | dl | \quad (3)$$

式中: \vec{n} —单位法线向量; C, D —对应的边界和场域。

通过上述公式得出电位方程,将其离散化后予以

求解^[14-16]。把场域 D 进行剖分,数量为 n_0 个单元,假设 n_0 个单元节点相应电位分别为 $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3 \cdots \varphi_{n_0}$, 则能量泛函 $W(\varphi)$ 和 $W_c(\varphi)$ 可用多元函数 $W(\varphi_1, \varphi_2 \cdots \varphi_{n_0})$ 和 $W_c(\varphi_1, \varphi_2 \cdots \varphi_{n_0})$ 予以表示,假设有 n 个未知节点电位,据此得出:

$$d[W + W_c] = \frac{\partial(W + W_c)}{\partial\varphi_1}d\varphi_1 + \cdots + \frac{\partial(W + W_c)}{\partial\varphi_n}d\varphi_n = 0 \quad (4)$$

由于 $d\varphi_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 的不确定性,假定除了使 $d\varphi_i \neq 0$ 外,取其余表达式为零,可得:

$$\frac{\partial(W + W_c)}{\partial\varphi_i}d\varphi_i = 0 \quad (5)$$

综上,得出一 $n \times n$ 方程组,进行求解后可得各节点电位值,电场近似解由此得到。

2.2 电缆电场计算

柔性电缆的结构示意图如图3所示。

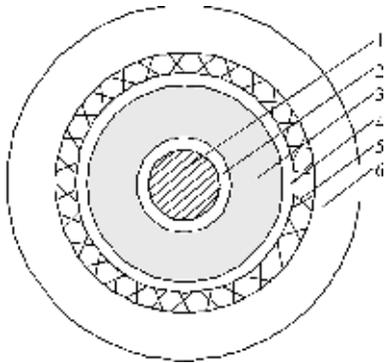


图3 柔性电缆结构示意图

1-镀锡铜导体;2-导体屏蔽;3-乙丙橡胶绝缘;4-绝缘屏蔽;5-镀锡铜丝/纤维屏蔽层;6-氯丁橡胶护套

绝缘层采用乙丙橡胶绝缘,屏蔽层由镀锡铜丝和纤维混合编织组成,均保证了柔性电缆的柔软性。

本研究利用有限元仿真软件对柔性电缆的电场进行仿真和计算。电缆电位分布云图如图4所示。

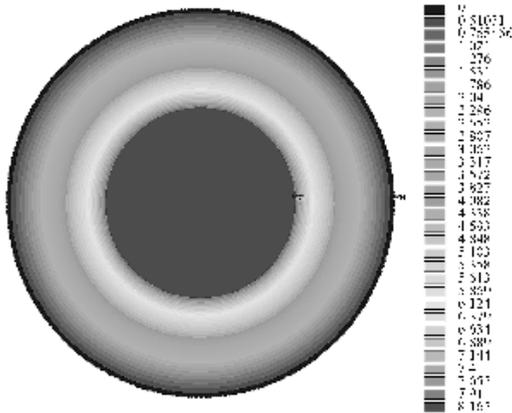


图4 电缆电位分布云图

电场强度分布云图如图5所示。

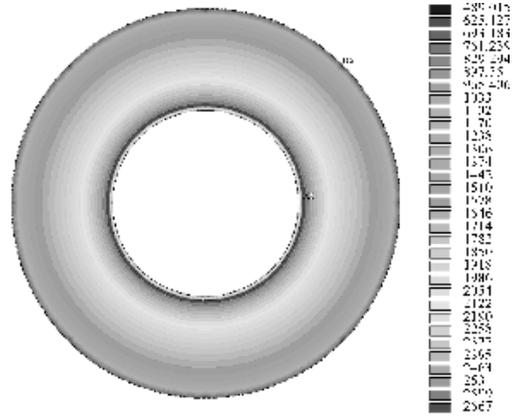


图5 电缆电场强度分布云图

柔性电缆的电场分布比较均匀,最大电场强度出现在绝缘层,为 26.67 kV/cm,满足绝缘要求,验证了所选用的导电线芯标称截面 50 mm² 的柔性电缆能够满足实际需要。

3 10 kV 旁路作业移动平台的研制

3.1 平台参数

为实现复杂地段的旁路不停电,笔者设计研制了 10 kV 旁路作业移动平台,平台总重为 450 kg,该平台采用伸缩支架式升降结构,架设旁路负荷开关更加便捷,省时省力,系统的升降装置升起时,整体高度可达 3.8 m,可以形成足够高的安全距离,可有效解决负荷开关的安全防护问题。当升降装置收缩时,整体高度不到 1.3 m,占用空间小,便于搬运和存储。该系统可以在各种复杂的环境下开展旁路作业,实现不停电更换柱上断路器和跌落式熔断器等常规方法无法实施的不停电作业内容。

研制的 10 kV 旁路作业移动平台侧视图如图6所示。

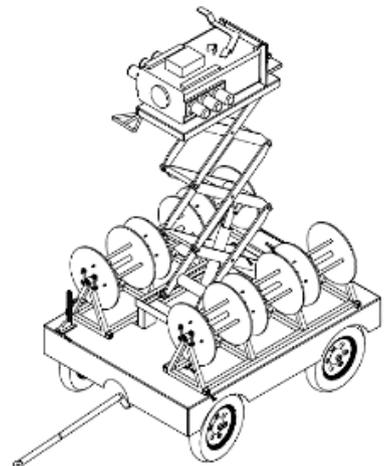


图6 移动平台示意图

主要技术参数如表 1 所示。

表 1 移动平台主要参数

参数类型	单位/mm	参数类型	单位/mm
长	1 620	伸缩臂高	500
宽	1 220	伸缩臂宽	430
高(缩)	1 300	车轮半径	210
高(伸)	3 800	轴距	1 050

3.2 平台控制系统的设计

3.2.1 自动升降系统设计

自动升降系统结构如图 7 所示。

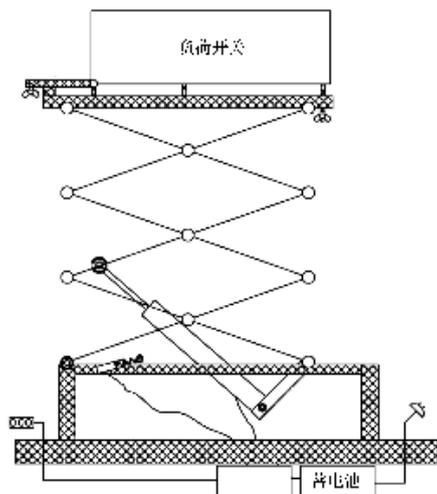


图 7 自动升降系统

为解决小型旁路作业过程中旁路负荷开关的安全防护问题,笔者在移动平台上设计安装了自动升降系统:将旁路负荷开关放置在具有自动升降功能的支撑平台上,可以保证足够的安全距离,确保作业安全。当旁路开关处于非工作状态时,升降梯处于收缩状态,占用空间小,便于移动与维护;当负荷开关处于工作状态时,升降梯处于升起状态,将负荷开关升至与地面保持足够安全距离的高度,以确保作业过程中人员和设备安全。

3.2.2 转向传动系统设计

为使平台实现车轮无侧滑的转向,车轮的偏转必须满足以下条件:汽车前轮定位角都等于零、行走系统为刚性、汽车行驶过程中无侧向力的前提下,整个转向过程中全部车轮必须围绕同一瞬时中心相对于地面作圆周滚动,例如对于两前轮转向情况,前内轮转角 β 与前外轮转角 α 之间应满足如下转向特性公式:

$$\cos\alpha - \cos\beta = BIL \quad (6)$$

在设计平台转向传动系统时,为减小车轮侧滑,转向机构应使两前轮偏转角在整个转向过程中尽可能精确地满足式(6)的关系。旁路作业移动平台的转向控制采用转向梯形结构,将牵引杆作为转向操作杆。当

前方拖行车辆变换车道或转弯时,牵引杆受力方向发生变化,产生转动力矩,该力矩通过左、右转向拉杆传递至前轮转向轴,完成车辆转向动作。

转向动作示意图如图 8 所示。

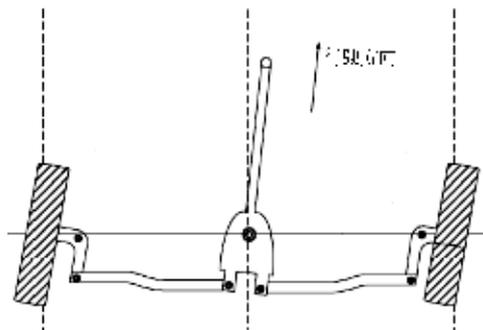


图 8 移动平台转向示意图

4 现场应用验证

10 kV 配网线路旁路作业移动平台研制完成后,基于本研究提出的 10 kV 配网小型旁路作业方法,笔者在配电网模拟实训场地进行了现场作业,如图 9 所示。



图 9 现场作业

作业项目为“带电更换三相柱上隔离开关”。在搭建旁路时,作业现场只需一台绝缘斗臂车和移动平台。当建立好旁路系统后,升降平台将负荷开关升至作业位置,离地高度 3.8 m 达到了安全距离,因此不需要对负荷开关进行其它保护措施,只需对平台周围用围栏遮挡即可。整个作业过程耗时 20 min,现场占用空间小,工作强度小,成功完成了带电更换三相柱上隔离开关作业项目,证实了本研究提出方法的有效性。

5 效益分析

配网小型旁路作业方法的推广应用,一方面可以有效减少配电线路停电检修次数,提高供电可靠性;另一方面可减少长时间停电带来的电量损失,经济效益显著。

5.1 经济效益分析

5.1.1 成本效益分析

目前开展旁路作业的电缆布放车、旁路开关车等大型作业车辆及整套工器具采购费为350万元左右,而10 kV配网小型旁路作业新方法及新工具的采购成本约40万元,工器具仅为之前成本的12%,降低了同类型作业工器具的采购成本,且可节约特种车辆驾驶、作业人工及培训支出,便于该作业项目的大范围推广。

5.1.2 作业效益分析

根据初步预测,按每次作业避免停电4 h计算,线路负荷为0.7万kW,开展一次该作业可减少停电损失电量2.8万kW·h,电价按0.633元/kW·h计算。某省10 kV配网线路开展本方法作业65次/年,直接经济效益预估全省每年约115.05万元。具体经济效益分析如表2所示。

表2 经济效益分析一览表

电压等级	停电时间	平均负荷	多供电量	经济效益	年均次数	直接效益
10 kV	4小时/次	0.7万kW	2.8万kW·h	1.77万元	65次	115.05万元

5.2 社会及其它效益分析

据统计某省每度电产生的社会效益约12元。以作业65次/年计算,则某省全年产生的社会经济总效益可达2184万元。同时这里还不包括一些难以统计的效益,如企业形象、社会满意度等。

采用配网小旁路作业方法后,安全可靠性和作业实施难度降低,且作业范围广,成本低,具备技术推广价值。

6 结束语

基于本研究设计研制的10 kV配网线路旁路作业移动平台,提出采用配网小型旁路作业方法进行不停电作业,与现有的旁路作业方法进行对比,可得到如下结论:

(1) 设计研制的配网移动式小型旁路作业方法及配套工具,解决了现有旁路系统所需车辆多、移动不便、受作业场地限制、防护措施复杂等问题。

(2) 该小型旁路作业系统整体结构紧凑,占用空间小,便于搬运和存储,采用伸缩支架式升降结构,架

设旁路负荷开关更加便捷,省时省力。

(3) 10 kV配网线路小型旁路作业新方法研究及新工具研制将会获得很大的社会和经济效益,对电网的安全、人民的生活有着积极的意义。

参考文献(References):

- [1] 严璋. 电气绝缘在线检测技术[M]. 北京:中国电力出版社,1995.
- [2] 罗俊华. 15 kV柔性旁路电缆的不停电抢修作业技术[J]. 高电压技术,2009,35(4):949-953.
- [3] 张锦秀,蓝耕,范云刚,等. 柔性电缆插拔式快速终端和接头绝缘结构分析[J]. 高电压技术,2005,31(5):25-44.
- [4] 杨晓翔. 10 kV配电网不停电作业中旁路柔性电缆的保护接地研究[J]. 华东电力,2013,41(8):1171-1174.
- [5] TENG Le-tian, ZHANG Jin-xiu, LUO Yan. Study on insulation structure of fast slide-in termination and joint for 15 kV power cable applying to living-work on-site[C]. Proceedings of Electrical Insulation Conference. Indianapolis, USA, 2005.
- [6] 杨金龙. 基于电磁感应的割草机器人边界技术研究[J]. 机电工程,2015,32(11):1443-1447.
- [7] 胡毅. 带电作业技术研究及标准制定[J]. 高电压技术,2012,38(11):3015-3024.
- [8] 胡毅. 带电作业关键技术研究进展与趋势[J]. 高电压技术,2014,40(7):1921-1931.
- [9] 王建明. 10 kV配网变压器旁路作业法的电磁暂态过程仿真计算[J]. 华东电力,2013,41(68):1241-1245.
- [10] 徐政. 电缆电气参数不同计算方法及其比较[J]. 高电压技术,2013,39(3):689-697.
- [11] 李华春,章鹿华,周作春. 应用有限元方法优化应力锥设计[J]. 高电压技术,2005,31(11):55-57.
- [12] 马彩云. 基于ABAQUS的Ti5553合金等径转角挤压过程有限元分析[J]. 机电工程,2015,32(10):1300-1305.
- [13] 李金亮,阮江军,杜志叶,等. 基于阻容网络的高压避雷器干扰电流分析[J]. 电瓷避雷器,2013(5):101-106.
- [14] 雷鸣. 单芯电缆线芯温度的非线性有限元法实时计算[J]. 高电压技术,2011,35(11):163-168.
- [15] 高俊国. 基于有限元法的电缆金属护套感应电压仿真分析[J]. 高电压技术,2014,40(3):714-720.
- [16] 叶信红. 交联聚乙烯绝缘高压直流电缆电场分布计算[J]. 电机与控制学报,2014,18(5):19-23.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式:

刘夏清,牛捷,李金亮,等. 10 kV配网小型旁路系统作业方法研究[J]. 机电工程,2016,33(4):493-497.

LIU Xia-qing, NIU Jie, LI Jin-liang, et al. Research on small bypass system operation method in 10 kV distribution network[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(4):493-497.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>