

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.02.018

110 kV 隔离开关带电更换可行性及方法研究^{*}

隆晨海¹, 夏增明^{1*}, 郭 昊¹, 章健军¹, 杨 淼¹, 艾道德²

(1. 国网湖南带电作业中心, 湖南 长沙 410007; 2. 国网邵阳供电公司, 湖南 邵阳 422000)

摘要:针对现有更换110 kV变电站隔离开关只能进行停电检修而导致的操作复杂、检修时间过长、系统供电可靠性低等问题,对110 kV变电站隔离开关带电更换方法进行了研究,提出了带电更换110 kV变电站隔离开关的新方法,利用ATP-EMTP软件对作业过程仿真分析论证该方法的可行性,并研制出了一套分流线绝缘升降装置。通过搭建临时短接分流线、连接引流线来转移隔离开关上电流,再将引流线与隔离开关分离从而完成了带电更换隔离开关。研究表明,所提出的方法适用性强,操作方便,所研制的分流线支撑升降器运行可靠,带电更换110 kV隔离开关项目具有可观的经济和社会效益,适合于全国推广。

关键词:可行性;110 kV变电站隔离开关;引流线;安全距离;经济效益

中图分类号:TM407

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)02-0194-06

Feasibility and method study of live working on 110 kV isolating switch

LONG Chen-hai¹, XIA Zeng-ming¹, GUO Hao¹, ZHANG Jian-jun¹, YANG Miao¹, AI Dao-de²

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

2. Power Supply Company of State Grid Corporation of Hunan, Shaoyang 422000, China)

Abstract: Aiming at the problems that the existing solution of replace the 110 kV substation isolating switch was to use a power outage overhaul, which was complex and waste of time, results in the decrease of the power supply reliability, the method of live working on the 110 kV isolating switch was researched, and the new technical was proposed. The feasibility of the method was demonstrated by using ATP-EMTP software to simulate the operation process and a set of shunt wire insulation lifting device was developed. The current on the isolating switch was transferred by setting up temporary short shunt circuit and leading wire. Live replacement of isolating switch was accomplished by separation drainage line and isolating switch. The results indicate that the proposed method has the advantages of strong applicability and convenient operation. The experiments show that the shunt wire insulation lifting device is reliable in operation and this project has considerable economic and social benefits, suitable for the promotion of the country.

Key words: feasibility study; 110 kV substation isolating switch; leading wire; safety distance; economic benefits

0 引 言

目前,电力供应需求逐年增强,对供电可靠性的要求也越来越高。变电站是电力供应的中枢站,对保证供电的可靠性起着至关重要的作用^[1],而变电站的一次电气设备在供电过程中长期受到机电荷载、施工质

量、气候和环境的影响,会出现不同程度的缺陷。经详细了解,湖南省范围内隔离开关故障率较其他一次设备故障率高,容易发生连接点过热、操作机械部位氧化锈蚀导致接触不良或操作不灵敏,更甚的是隔离开关出现故障,以上这些缺陷均直接危及到设备正常供电,以往都是依靠转移负荷停电进行检修,转移负荷时

收稿日期:2016-08-02

基金项目:国网湖南省电力公司科技项目(5216AD14000N)

作者简介:隆晨海(1990-),男,湖南邵阳人,硕士,助理工程师,主要从事高电压与绝缘技术及输电带电作业方面的研究. E-mail:564775436@qq.com

通信联系人:夏增明,男,高级技师. E-mail:2378688946@qq.com

涉及到调度及多个班组的工作配合,操作复杂检修时间过长,降低了系统供电可靠性,甚至可能发生误操作事故。

目前,国内在变电站带电作业方面研究起步较晚,部分作业项目沿用了线路带电作业的方法^[2]。国外在变电站带电作业方面的研究较早,取得了很好的工程价值,部分国家多次开展过相关试验研究,得到了部分电气参数,制定了相应的作业方法和防护方法,形成了比较系统的作业方法及规章制度^[3-5]。由于设备紧凑,净空间距离小,在安全要求方面,变电站带电作业较线路带电作业严格。国外变电站带电作业经验不能直接照搬,需要对作业过程中涉及到电磁场分布情况进行充分的研究,找出可控因素并制定相应的防护措施,确保变电站带电作业的安全开展^[6-7]。

文献[8]和文献[9]提出了一种利用分流线辅助进行隔离开关发热处理的方法,为带电更换隔离开关提供了技术思路,但缺少相关计算来论证方法的可行性;文献[10]对变电站带电作业间隙进行操作冲击放电试验,得到了典型作业间隙的放电特性曲线及最小电气安全距离等数据;文献[11]对不同工况下变电站内人体周围的最大场强进行了分析研究,为隔离开关周围电场仿真分析提供了技术参考。

本研究将从作业的安全距离和间隙击穿时对线路运行电压的影响两个方面对110 kV 变电站广泛应用的GW5 隔离开关进行可行性分析,以便为后期带电作业的顺利开展提供理论依据和工程指导。同时分析该方法推广的社会经济效益,判断是否具有现实意义和广阔的应用前景。

1 带电更换隔离开关可行性

GW5 隔离开关为双柱水平旋转式,由底架、支柱绝缘子、导电系统、接地开关(不接地除外)及传动系统组成,110 kV 隔离开关如图1所示。

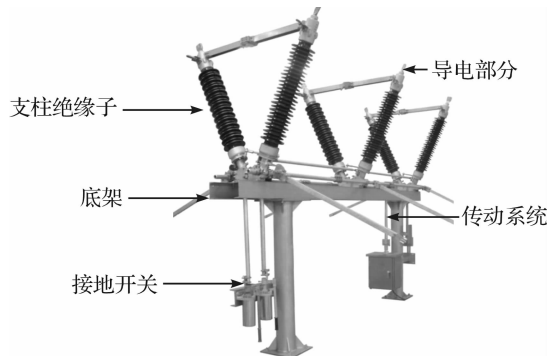


图1 110 kV 隔离开关

安全作业距离是指为了保证人身安全,作业人员与不同电位的物体之间所应保持的各种最小空气间隙距离的总和,即地电位作业人员与带电体的距离。

1.1 作业人员与引流线安全距离分析

最小安全距离是指为了保证人身安全,作业人员与不同电位的物体之间所应保持的各种最小空气间隙距离的总和。本研究的作业方式为地电位作业,根据《安规》中的相关规定,作业人员保证与带电体的距离始终大于1 m,作业示意图如图2所示。

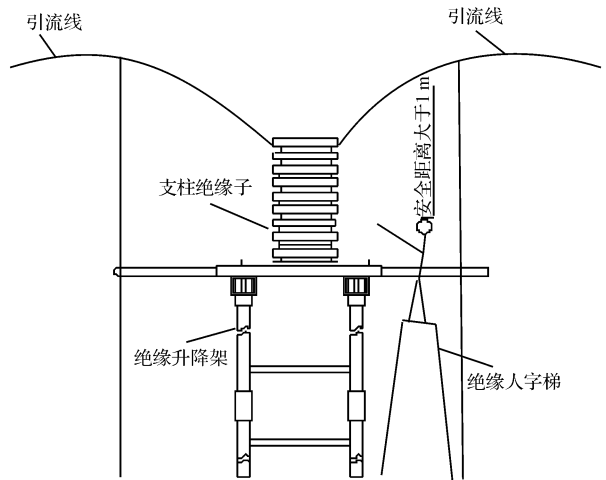


图2 带电更换110 kV 隔离开关作业示意图

从图2中可知,作业时,作业人员站在人字梯上,为了保证作业人员的安全,需采取一定的安全措施,如安装绝缘挡板等措施,使作业人员保证与带电体的距离始终大于1 m,满足《安规》规定。

1.2 作业人员与邻相带电体安全距离分析

根据《带电作业工具基本技术要求与设计导则》中规定:110 kV 设备带电作业相间安全距离为1.4 m。经过查找相关资料,110 kV 变电站隔离开关空间距离相关参数如图3所示。

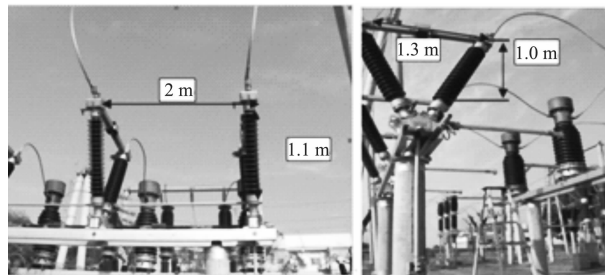
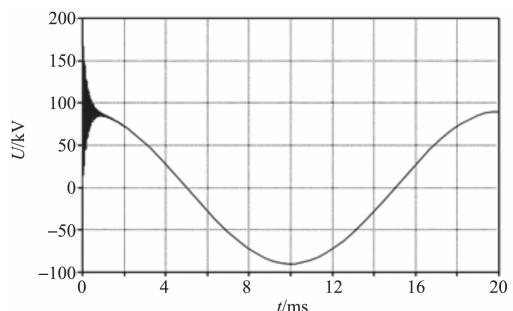
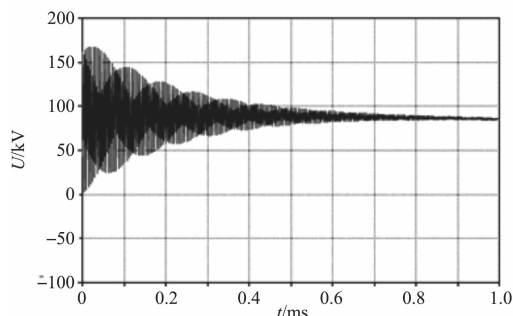


图3 110 kV 变电站隔离开关空间位置示意图

隔离开关间距为2 m,隔离开关绝缘瓷柱垂直高度为1.0 m,触头间距1.3 m。人体沿绝缘人字梯进入作业位置时,扣除人体宽度0.5 m,剩余空间为1.5 m,满足110 kV 设备带电作业相间距离1.4 m的要求。

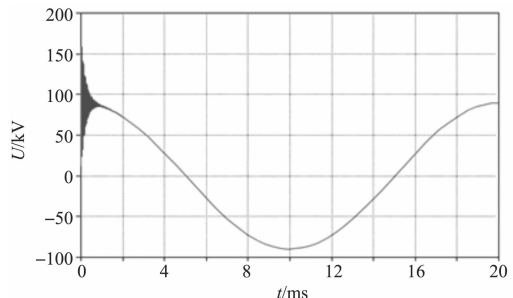


(a) 20 ms内波形图

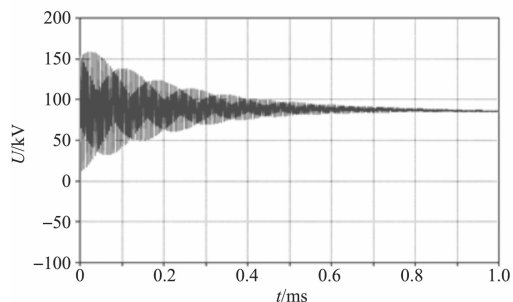


(b) 1.0 ms内波形图

图7 线路电压仿真图(空气间隙为10 mm)



(a) 20 ms内波形图



(b) 1.0 ms内波形图

图8 线路电压仿真图(空气间隙为20 mm)

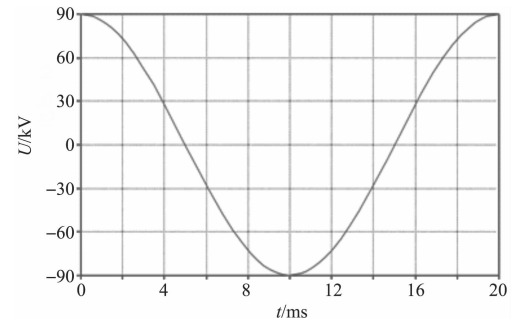


图9 线路电压仿真图(空气间隙为40 mm)

场击穿的可能性。从图中可以看出,当空气间隙为5 mm时,线路电压有2 ms左右的振荡过程,当空气间隙为10 mm时,线路电压只有1 ms左右的振荡过程,且振荡幅值逐渐减小,随着空气间隙距离的增大,线路电压振荡时间越来越短,空气间隙为40 mm时,线路电压基本恢复正常。该结果不会对线路及其他电气设备造成危害。

3 作业方法及主要装置

3.1 作业方法介绍

带电更换110 kV变电站隔离开关的设计总思路是搭建临时短接分流线、连接引流线来转移隔离开关上电流,再将引流线与隔离开关分离来完成带电更换隔离开关。具体操作步骤如下:

(1) 进入地电位。作业人员沿绝缘人字梯到达接地刀闸处,选择合适位置系好安全带,然后拆除接地刀闸。

(2) 安装绝缘挡板。作业人员在绝缘支柱上合适位置安装绝缘挡板。绝缘挡板可防止作业人员头部超过作业安全距离。

(3) 拆除接地连杆。作业人员在绝缘人字梯上对接地刀闸接地连杆进行拆除。

(4) 组装绝缘升降架。地面作业人员按顺序将绝缘升降架组装好,并且通过旋转传动丝杆,调整绝缘升降架高度,满足隔离开关下部金属件的拆除空间为准。

(5) 安装分流线。地面作业人员采用绝缘操作杆将分流线安装在绝缘升降架的移动卡具上,再将分流线两端的猴头线夹安装在引流线上,紧固猴头线夹,使其与引流线接触紧密。

(6) 拆除引流线。地面作业人员使用电动(扳手)绝缘操作杆退出引流线与隔离开关桩头的连接螺栓,通过绝缘操作杆将引流线与桩头脱离;地面作业人员调整绝缘升降架高度,向上水平提升卡住引流线的连接杆,直至连接杆及引流线与隔离开关构架平台之间满足足够的安全距离。

(7) 拆除隔离开关。作业人员使用绝缘人字梯上对隔离开关操作连杆进行拆除。随后,地面人员将叉车移至作业位置,地电位作业人员沿绝缘人字梯至隔离开关构架水平位置,与地面人员相互配合,将叉车吊臂举升支架穿过隔离开关工作孔,拧紧螺栓。地电位电工拆除隔离开关与构架的连接螺栓,与地面作业人员相互配合利用叉车将隔离开关进行拆除。

(8) 安装隔离开关。作业人员按照与拆除隔离开关相反的步骤,将隔离开关安装好。

3.2 分流线绝缘升降装置研制

绝缘升降架主要用来固定和升降分流短接线杆,最高可升至 6 m。主要由两根可升降的绝缘支撑杆组成,分流线绝缘升降装置结构图如图 10 所示。

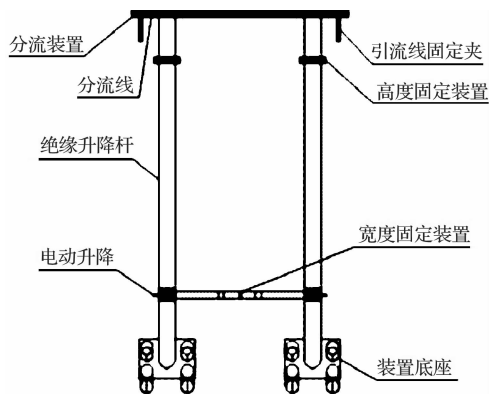


图 10 分流线绝缘升降装置结构图

从图 10 中可知,升降结构包括固定底座、手摇丝杆、固定丝杆、分流短接线固定装置等。其中固定底座上装有水平仪,可为作业人员对装置进行水平固定时提供参考;固定丝杆是对升降架下节高度进行调节;手摇丝杆主要用来对装置上节高度进行调节。

为了防止绝缘升降杆在升降过程中产生左右摆动,本研究在升降架的上半部分安装有固定卡具,当升降架升高至构架高度时,可将升降架固定在构架上,防止其产生左右摆动。

为了防止在升降的过程中产生前后摆动,本研究在其两边分别各装有一个电动扳手接口,作业人员同时使用电动扳手对装置进行升降操作,使两根升降杆同时升降,保证绝缘升降架稳定升降。

分流线绝缘升降架现场安装图如图 11 所示。

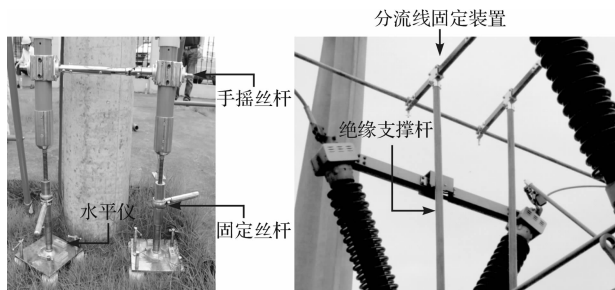


图 11 分流线绝缘升降架现场图

其工作原理:地面作业人员在隔离开关下方合适位置将整套固定,通过电动扳手操作电动升降器将分流装置升高至约高于引流线 200 mm 位置,根据现场情况微调装置的高度、宽度以满足安全作业要求,将两端引流线固定夹分别与引流线两端固定,转移隔离开关的电流,然后开展隔离开关的带电更换。

强度校验如下:

(1) 压应力校验

绝缘升降架主要承受的是来自铜质分流短接线的轴向压力。绝缘升降架的内径 $d = 45 \text{ mm}^2$,抗压强度为 70 N/mm^2 ,铜质分流线的重量 $G_1 = 950 \text{ N}$,引流线重量 $G_2 = 250 \text{ N}$ 。故绝缘升降架的压应力为:

$$\sigma = \frac{G_1 + G_2}{2S}$$

代入数字得:

$$\sigma = \frac{950 + 250}{2 \times \frac{\pi \times 45^2}{4}} = 1.2 \text{ N/mm}^2 \quad (3)$$

$$[\sigma] = 70 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma \leq [\sigma]$$

可见绝缘升降架受到的压应力是很小的,满足作业要求。

(2) 弯曲应力校验

绝缘升降架顶端的固定装置受到铜质分流短接线的弯应力,因此有必要进行弯曲应力校验。固定装置为截面为矩形,抗弯强度为 180 N/mm^2 ,铜质分流线的重量 $G_1 = 950 \text{ N}$,故固定装置受到的弯曲应力为:

$$\sigma = \frac{G_1 \times l}{W} = \frac{G_1 \times l}{\frac{bh^2}{6}}$$

代入数字得:

$$\sigma = \frac{950 \times 200}{\frac{30 \times 25^2}{6}} = 57.92 \text{ N/mm}^2 \leq [\sigma] = 180 \text{ N/mm}^2$$

(4)

可见绝缘升降架受到的弯曲应力满足作业要求。

4 应用效益分析

该项目在全国范围内推广应用,一方面可以解决 110 kV 变电站隔离开关尚不能带电更换的问题,减少停电检修次数,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、社会效益显著。作业分析表如表 3 所示。

表 3 带电更换 110 kV 变电站隔离开关作业分析表

项目	作业时间/	作业人数/	年均作业	年度作业
	h	个	次数/次	时间/h
更换隔离开关	2	4	20	40

4.1 直接经济效益

根据初步预测,每停电更换一套隔离开关需 12 h 以上,线路平均负荷按 50 000 kW 计算,将少供电 60 万度电以上,每度电按 0.633 元计算,停电更换一次隔

离开关将损失约 37.98 万元,而带电更换隔离开关将减少或消除该损失。以湖南省为例,带电更换 110 kV 变电站隔离开关作业 20 次/年,通过开展本项目作业,直接经济效益预估全省每年约 759.6 万元。具体计算如表 4 所示。

表 4 经济效益分析一览表

电压等级/kV	每次停电时间/h	平均负荷/kW	多供电量/kWh	经济效益/万元	年均次数/次	直接效益/万元
110	12	50 000	600 000	37.98	20	759.6

注:电价按 0.633 元/kWh 计算

计算公式:直接经济效益:12 h(每次作业减少停电时间)×20(作业次数)×50 000 kW(线路平均负荷)×N 元/kWh(N 为各省居民用电价格)=759.6 万元

4.2 社会效益分析

据统计湖南省每度电产生的社会效益(或社会产值)约 20 元(湖南省 2014 年统计结果)。以各地市供电公司作业 20 次/年计算,则该项目全省全年产生的社会经济效益可达到 2.4 亿元。同时不包括如企业形象、社会满意度等难以统计的效益。

计算公式:12 h(每次作业减少停电时间)×20(作业次数)×50 000 kW(线路平均负荷)×20 元/kWh(度电产值)=2.4 亿元。

5 结束语

本研究根据带电更换 110 kV 隔离开关的特点,从作业的安全距离和间隙击穿时对线路运行电压的影响两个方面验证了更换的可行性,并分析了装置的研制成功对社会经济效益的影响,得出以下结论:

(1)本研究所提作业方法及工器具满足带电安全距离安全要求,本文研究成果填补了带电更换 110 kV 隔离开关工具及作业方法的空白,拓展了带电作业的范围和项目。

(2)仿真结果表明当导线线夹与隔离开关底座分

离时,两者的电压差不会对线路运行电压及电气设备造成危害,只会出现短期的振荡过程,且其振荡幅值不大。

(3)带电更换 110 kV 变电站隔离开关新方法研究及新工具研制项目的研究将会获得巨大的社会和经济效益,对电网的安全、对人民的生活也有着积极的意义。

参考文献(References):

- [1] 刘 强,姚建锋,杨莉萍,等. 中国科技纵横[J]. 2013(14):314-315.
- [2] 胡 毅. 带电作业关键技术研究进展与趋势[J]. 高压技术,2014,40(7):1921-1931.
- [3] 刘国华,陆益民. 变电站软母线带电作业现行挂绳方法分析[J]. 电力安全技术,2010,14(9):59-60.
- [4] 王少华,叶自强,梅冰笑. 输变电设备在线监测及带电检测技术在电网中的应用现状[J]. 高压电器,2011,47(4):84-90.
- [5] 张启平. 变电站带电作业操作方法[M]. 北京:中国电力出版社,2011.
- [6] 胡 毅. 送变电带电作业技术[M]. 北京:中国电力出版社,2004.
- [7] 王建军,苏梓铭,吴季浩. 220 kV 输电线路引流板带电消缺工具研制[J]. 电力科学与技术,2014,29(4):93-100.
- [8] 安 军,五永强. 带电处理 110 kV 隔离开关设备线夹发热问题[J]. 电网技术,2006,30(S1):228-229.
- [9] 王建伟,王 军,马 军,等. 地电位单静直连法带电处理变电站 220 kV 出线隔离开关发热[J]. 电气技术,2014(7):40-42.
- [10] 刘 强,周 平,朱雪松,等. 220 kV 变电站带电作业的安全间隙试验分析[J]. 电力科学与技术,2013,28(3):77-82.
- [11] 朱翔宇,李人晟,刘功能,等. 110 kV 及以上变电设备带电作业电场分布计算与仿真[J]. 湖南电力,2014,34(6):17-21.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式:

隆晨海,夏增明,郭 昊,等. 110 kV 隔离开关带电更换可行性及方法研究[J]. 机电工程,2017,34(2):194-199.

LONG Chen-hai, XIA Zeng-ming, GUO Hao, et al. Feasibility and method study of live working on 110 kV isolating switch[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017,34(2):194-199.

《机电工程》杂志;http://www.meem.com.cn