

Research on Repair with Electricity Technology of 110 kV Cable Joint Ground Wires

Ze Xiang, Guo Ma, Hanyi Zhang, Yongpeng Yang, Yang Feng, Zhigang Wang, Haolin Zhang, Yue Shang, Junying Li, Xiaojing Huo

State Grid Chengdu Power Supply Company, Chengdu Sichuan
Email: xiangze1987@163.com

Received: Nov. 30th, 2018; accepted: Dec. 20th, 2018; published: Dec. 27th, 2018

Abstract

In recent years, cable joint grounding wires were stolen in many parts of China, resulting in cable joint damage, external jacket burned and serious casualties. What's more, further economic losses will be caused due to power cut during repair. To solve this problem, this paper establishes COMSOL and ATP-EMTP simulation model for metal sheath suspension potential calculation of 110 kV power cable when the joint grounding wire is stolen, and floating potentials are calculated under different accidents conditions. Based on the simulation results, a temporary grounding system in repair with electricity is developed, including the grounding joint puncture device, arc extinguishing device and pressure measuring device. Some experiments are carried out to verify the validity of the temporary grounding system in repair with electricity.

Keywords

Grounding Wire Stolen, ATP-EMTP Simulation, Induced Voltage, Repair with Electricity

110 kV 电缆接头接地线带电修复装置研究

向泽, 马果, 张涵轶, 杨永鹏, 冯阳, 王志刚, 张昊霖, 尚月, 李俊英, 霍小晶

国网成都供电公司, 四川 成都
Email: xiangze1987@163.com

收稿日期: 2018年11月30日; 录用日期: 2018年12月20日; 发布日期: 2018年12月27日

摘要

近年来, 国内多地出现电缆接头接地线被盗事件, 造成了电缆接头损坏、外护套烧毁及人员伤亡的严重

文章引用: 向泽, 马果, 张涵轶, 杨永鹏, 冯阳, 王志刚, 张昊霖, 尚月, 李俊英, 霍小晶. 110 kV 电缆接头接地线带电修复装置研究[J]. 输配电工程与技术, 2018, 7(4): 96-102. DOI: 10.12677/tdet.2018.74012

事故。停电修复时,进一步造成了二次经济损失。针对这一问题,本文建立了110 kV电力电缆接头接地线被盗后,金属护套悬浮电位ATP-EMTP仿真模型,计算了不同被盗情况下的悬浮电位值。研制了电缆接头接地线带电修复装置,包括接地穿刺装置、接合灭弧装置和高压测量装置,并开展了相关模拟实验研究,验证了该装置在电缆接头接地线带电修复中的有效性。

关键词

接地线被盗, ATP-EMTP仿真, 感应电压, 带电修复

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

电力系统的安全可靠运行对国民经济的发展至关重要。随着我国经济的飞速发展,城市化建设的进程不断加快,稠密的人口、拥挤的交通造成了城市土地资源日益紧张,城市内架空线入地能够有效减少输电线路及设备对土地资源的占用。同时,电力电缆具有故障率低、受环境影响小、安全可靠等优势。

然而,近年来国内多地出现电缆接头接地线被盗事件,造成了电缆接头损坏、外护套烧毁及人员伤亡的严重事故。正常情况下,电缆金属护套的感应电压仅几十伏。一旦接地线被盗后,金属护套上的感应电压可能上升至非常危险的数值。以往的事故案例也证明了接地线被盗严重危及了电缆输电系统的安全可靠运行[1]。

以往,出于人员安全考虑,修复被盗接地线前必须进行停电操作,进一步造成了附带经济损失。因此,研究电缆接头接地线的带电修复技术是十分必要和紧迫的。带电修复电缆接头接地线过程中最大的难点就是如何保证电缆检修工作人员的人身安全。

本文建立了电缆接头接地线被盗后,金属护套悬浮电位计算的ATP-EMTP仿真模型,研究了不同被盗情况下的悬浮电位值,为带电修复提供了理论指导。在此基础上,研制了电缆接头接地线带电修复装置,并开展了相关模拟实验研究,验证了该装置在带电修复中的有效性。为后续接地线带电修复技术的实地操作提供了参考与指导。

2. 理论分析

2.1. 电缆的基本结构

在110 kV及220 kV电力电缆系统中,采用的是高压单芯电缆。如图1所示,为典型的110 kV电力电缆的截面图,型号为YJLW03-64/110。

当金属护套的直接接地线及交叉互联线被盗后,护套上的感应电压有可能变为悬浮电压。此时,芯线、金属护套、大地之间构成了一个同轴圆柱型电容分压系统,金属护套上的电压有可能上升至非常危险的数值[9]。

2.2. ATP-EMTP 仿真

2.2.1. 建模

在前面部分,仅从“悬浮”运行的单位长度电缆角度进行了计算,忽略了单端接地线、交叉互联线

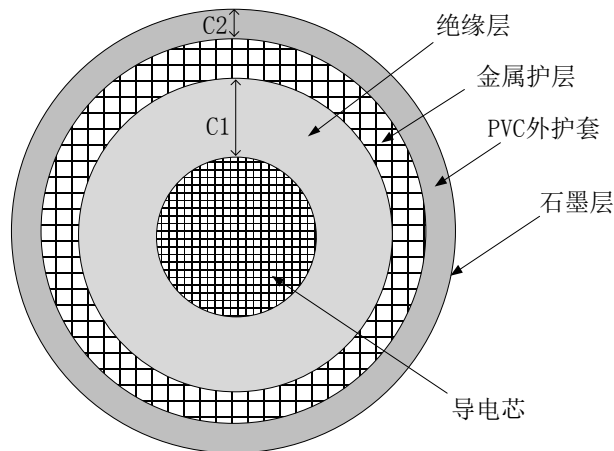


Figure 1. Power cable section of YJLW03-64/110
图 1. YJLW03-64/110 电力电缆截面图

被盗等多种实际存在的情况，显得较为粗略。因此，采用 ATP-EMTP 电磁暂态仿真软件，搭建了某电缆工区 110 kV 电缆输电线路模型，线路长度为 1.5 km，包括 3 个电缆段，每经过两次换位进行一次直接接地。如图 2 所示，模型主要包括工频电压源模块、电缆模块以及负载模块三部分[2]。

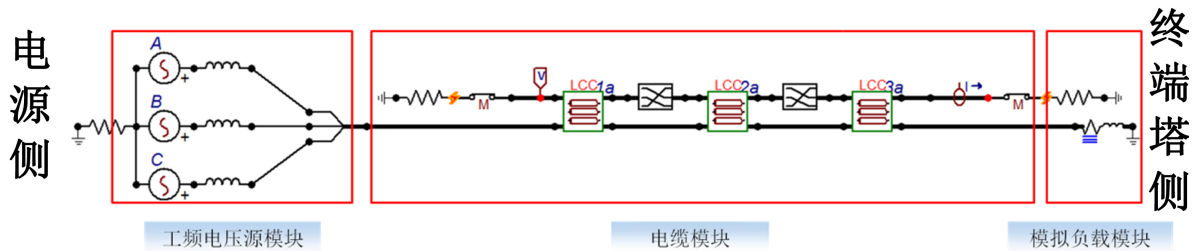


Figure 2. 1.5 km/110 kV high voltage single core cable ATP-EMTP simulation model
图 2. 1.5 km/110 kV 高压单芯电缆 ATP-EMTP 仿真模型

2.2.2. 感应电压分析

在正常情况下，由于采取了双端直接接地和金属护套交叉互联等措施，金属护套的感应电压较低，不会超过国标《GB-50217-2007 电力工程电缆设计规范》所规定的 300 V。然而，当接地线或交叉互联线被盗后，将引发金属护套的感应电压大大增加，对电缆运行及人身安全造成威胁[3] [4]。根据实际案例，可以将接地线被盗分为三类：直接接地线被盗、交叉互联线被盗、两种情况同时被盗。通过 ATP-EMTP 软件计算的交叉互联线被盗后电缆金属护套感应电压分布结果，如表 1 所示：

Table 1. Induction voltage amplitude of metal sheath under different steal types
表 1. 不同被盗类型下金属护套感应电压幅值

被盗类型	无	单端接地线	两端接地线	单端互联线	两端互联线
U_m/V	66.3	68.4	11.0×10^3	68.5	91.55×10^3
位置	1 右	1 右/2 左	悬浮点	2 左	悬浮点

事实上，相比于实际情况，上述计算结果显得过于严酷。在电缆模型中，外护套周围设置为空气，相当于前文提到的外护套上的石墨层完全脱落。然而，在电缆隧道中，每隔数米便有接地的金属构架与

电缆外皮直接接触。当金属护套“悬浮”运行时，实际的感应电压应该更接近于外护套有良好接地的情况，约为数千伏。但此时对维修人员及周围设备的威胁仍然较大，需尽快修复[5]。

3. 带电修复装置设计

3.1. 接地装置

由计算和实际经验可知，受到破坏的电缆接头接地线在断面处往往存在很高的悬浮电位，可达数千伏[6]。带电修复时，若将悬浮断面直接接地，很可能会出现电弧放电，危及人员及设备安全。本文研制了一套专门用于电缆接头接地线带电修复的临时接地系统，主要包括接地穿刺装置、接合灭弧装置和高压测量装置，其原理如图3所示。

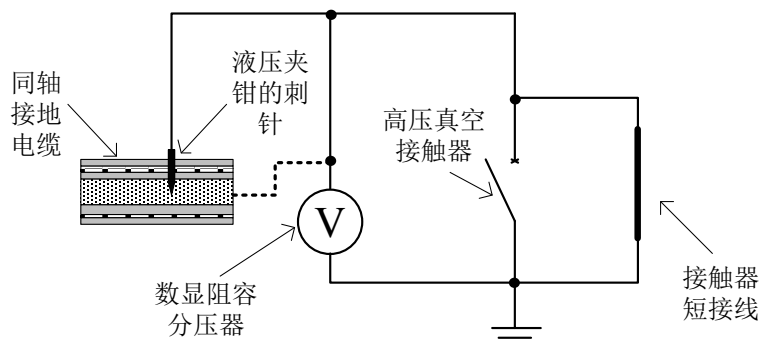
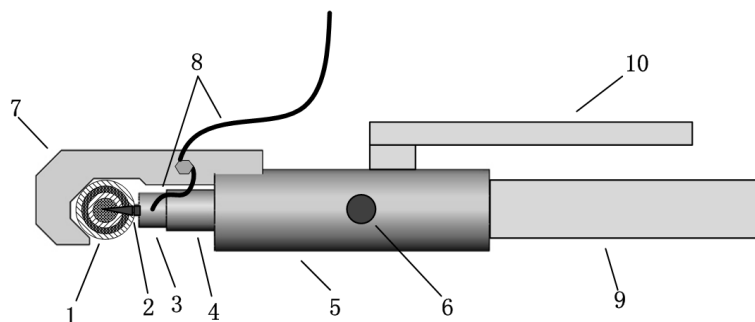


Figure 3. Schematic diagram of temporary grounding system in repair with electricity

图3. 带电修复临时接地系统示意图

实际工况中，交叉互联线往往采用的是同轴电缆，外绝缘护层较坚固。电缆接头接地线被盗后，其端部为同轴圆柱截面，带有数千伏的对地感应电压，普通的接地线无法挂接。要实现中间导电芯和外屏蔽金属导电层同时实现接地，需要一种能够可靠接触同轴电缆内外导电的穿刺装置。

本文设计的针刺液压夹钳，如图4所示，不但实现了接地系统与同轴电缆内外导电部分的可靠搭接，液压开关的设计可以使针刺结构接触上后不会出现松动现象，从而保证电缆修复过程中作业人员的人身安全。另外，临时接地系统中选用了高压真空接触器，其真空灭弧室和电磁控制开关，完全克服了直接采用接地线搭接高压断面时可能出现放电电弧的危险隐患。



1-同轴电缆 2-刺针 3 刺针固定台 4-油泵活塞 5-液压腔 6-卸压阀 7-电缆挂钩 8-连接导线 9-支撑绝缘杆 10-手动液压绝缘杆

Figure 4. Schematic diagram of hydraulic clamp acupuncture

图4. 针刺液压夹钳示意图

该装置使用过程如下:

- 1) 使用数显阻容分压器测量断面电压, 确定断面电压具体数值;
- 2) 断开真空接触器, 采用针刺液压夹钳对金属护套同轴电缆进行牢固接触;
- 3) 闭合真空接触器, 再次测量断面电压, 确定其降低到地电位后, 将接触器短接, 以免修复过程中误动作使其断开。

3.2. 模拟实验

由理论计算结果可知, 单位长度的芯线对金属护套的电容 C_1 约为 200 pF, 金属护套对地的电容 C_2 约为 2000 pF, 假设所模拟电缆长度为 250 m, 电缆表面近剩余 5% 的石墨层(即单位长度的 C_2 约为 100 pF), 则总值 C_1 约为 50 nF, C_2 约为 25 nF。因此, 搭建了如图 5 所示的模拟实验电路, 将交叉互联用同轴电缆的内外导体均连接在图中 a 点, 实验时, 采用临时接地装置在同轴电缆右侧进行接地操作[7] [8] [9]。

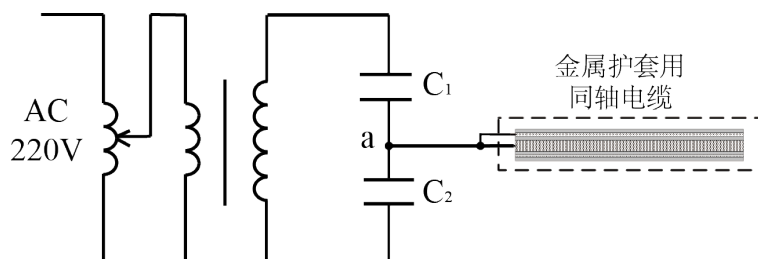


Figure 5. Sketch of temporary grounding system experiment
图 5. 临时接地系统实验示意图

通过改变调压器来调节电缆悬浮电位的高低, 试验中施加在电缆上的电压从最低 0.7 kV 开始, 进行了 10 个不同电压等级下的接地实验, 最高加到 8.4 kV。每个电压等级下, 进行 10 次重复接地, 以验证装置的可靠性。随机选取了 4 组有效值为 8.3 kV 电压下临时接地前后电缆电压的变化曲线, 如图 6 所示。

在整个实验过程中, 在不同电压等级和相位点进行操作时, 所研制的临时接地系统均能稳定工作, 未发现异常现象。

3.3. 结果分析

通过对模拟实验的结果进行分析, 可以得到以下结论:

- 1) 高压真空接触器闭合过程中, 电压值并没有直接降为零, 而是随着接触器触头的运动有一定的跳变, 经过 0.01 秒(半个工频电压周期)后才降为零电位。若不采用真空接触器, 而是直接与接地体搭接, 很可能会出现危险的放电电弧, 搭接不牢固的话还可能出现间歇电弧。
- 2) 电缆金属护套上的悬浮电位随芯线的高压工频变化, 在不同相位进行接地时, 其悬浮电位值是不一样的。修复过程中, 接地时刻相对于工频变化的电压是随机的, 实验结果表明, 接触器在不同相位下均能够稳定可靠的工作[10] [11]。
- 3) 模拟实验中, 受限于电源容量, 临时接地系统的工作电压最高进行到 8.4 kV。事实上, 电缆接头接地线带电修复实际作业的检修人员穿戴相应电压等级的绝缘防护用品, 配合本临时接地系统, 可以在更高电压等级下进行带电修复操作[12]。

4. 结语

本文通过在电磁暂态仿真软件 ATP-EMTP 中建立隧道内 110 kV 电缆的仿真计算模型, 针对其接头接地线被盜后金属护套的悬浮电位进行计算; 在此基础上, 研制了一套电缆接头接地线带电修复装置,

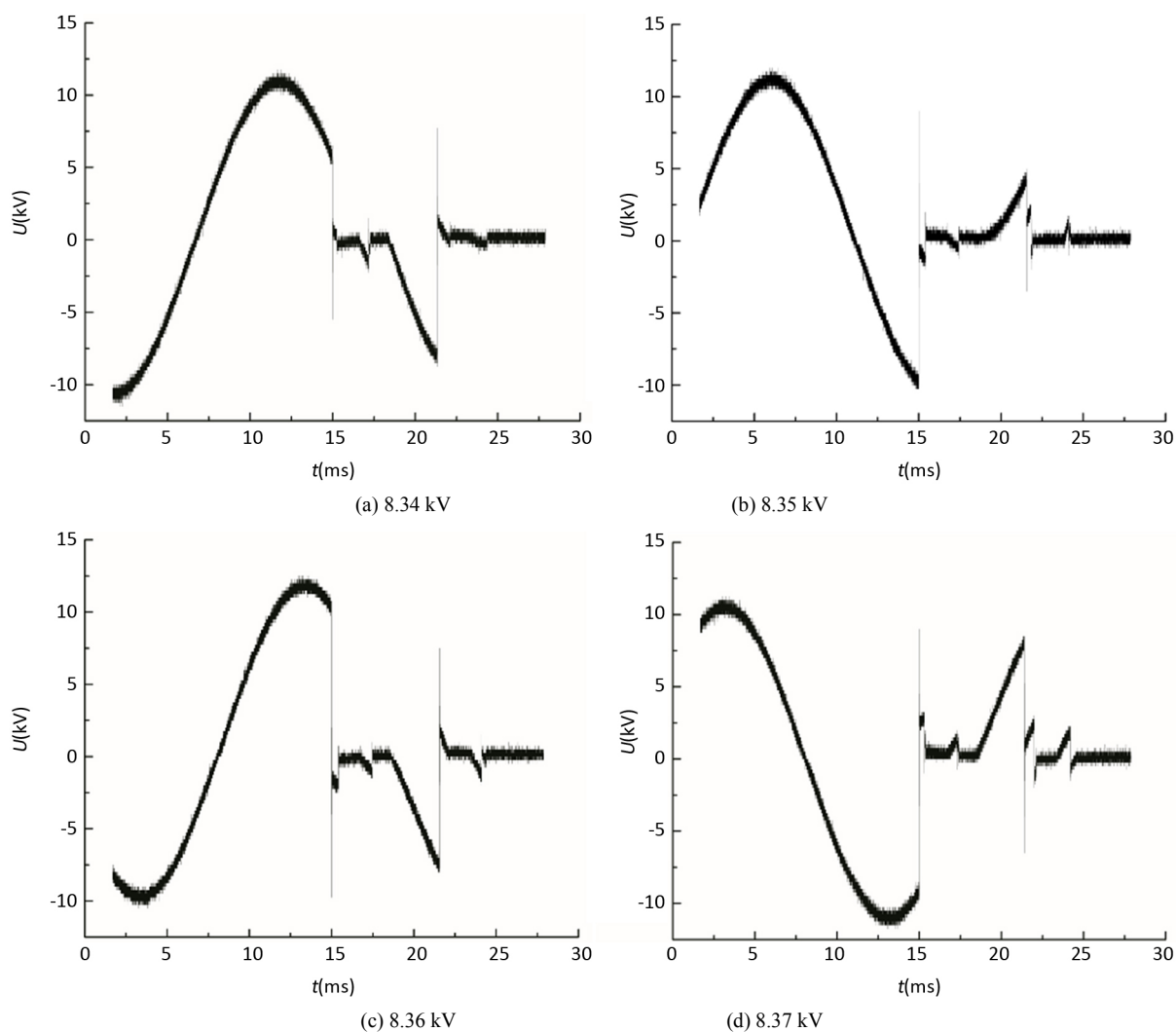


Figure 6. Curves of voltage before and after temporary grounding of cable
图 6. 电缆临时接地前后电压随时间的变化曲线

开展了相关模拟实验研究。根据仿真和实验的结果可以得到：

- 1) 当某处直接接地线或交叉互联线被盗后，金属护套上的悬浮电位仍有可能处于国标要求的 300 V 电压以下。只有当某段金属护套“悬浮”运行时，其感应电位将达到数千伏，处于非常危险的状态。
- 2) 研制了一套专门用于电缆接头接地线带电修复装置，包括接地穿刺装置、接合灭弧装置和高压测量装置。
- 3) 开展了电缆接头接地线临时修复的模拟实验研究，结果表明，该装置在 0~10 kV 金属护套悬浮电压下均能够安全可靠的工作，验证了其带电修复中的有效性。

参考文献

- [1] 王尉军, 杨远. 高压电缆金属护套接地系统被盗的危害及对策[J]. 贵州电力技术, 2016, 19(11): 53-56.
- [2] 牛海清, 王晓兵, 刘毅刚, 蚁泽沛, 张尧. 高压单芯电缆金属护套雷电过电压仿真和参数分析[J]. 高电压技术, 2009, 35(4): 784-789.
- [3] 王波, 罗进圣, 黄宏新, 吕峻, 周焕. 220 kV 高压单芯电力电缆金属护套环流分析[J]. 高压电器, 2009, 45(5):

141-145.

- [4] 丛光, 韩晓鹏, 周作春, 张文新, 李华春, 陈平. 高压单芯电缆接地系统破坏后的悬浮电压分析[J]. 供用电, 2009, 26(5): 61-64.
- [5] 吴伟光, 杨晓勇, 王荣鹏. 电缆终端金属外护套直接接地装置的防盗技术改造[J]. 电力建设, 2008, 29(4): 41-42.
- [6] 杜伯学, 李忠磊, 张锴, 王立. 220 kV 交联聚乙烯电力电缆接地电流的计算与应用[J]. 高电压技术, 2013, 39(5): 1034-1039.
- [7] 牛海清, 王晓兵, 蚁泽沛, 张尧. 110 kV 单芯电缆金属护套环流计算与试验研究[J]. 高电压技术, 2005, 31(8): 15-17.
- [8] 张全胜, 王和亮, 周作春. 110 kV XLPE 电缆金属护套交叉互联接地探讨[J]. 高电压技术, 2005, 31(11): 71-73.
- [9] 陈根, 唐焱, 王新桥. 基于 ATP 的高压电缆金属护套多点接地故障仿真[J]. 高压电器, 2014(4): 49-53 + 60.
- [10] 高俊国, 于平澜, 李紫云, 张晓虹, 刘通, 刘智宏. 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.
- [11] 于平澜. 电缆金属护套感应电压及保护接地的研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2013.
- [12] 王亚楠, 丁卫东, 苟杨, 夏健, 闫家启, 王嘉琛, 李志兵. 气体绝缘金属封闭输电线路(GIL)接地问题探讨[J]. 高压电器, 2016(4): 98-102.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2325-1565, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: tdet@hanspub.org