

光纤复合架空地线直流融冰绝缘化改造方法应用研究

邓元实¹ 廖文龙¹ 陈俊² 朱军¹ 李昆³ 刘凤莲¹ 陈少磊² 卜祥航¹

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院 四川 成都 610041;

2. 国网四川省电力公司 四川 成都 610041; 3. 国网四川省电力公司凉山供电公司 四川 西昌 615000)

摘要: 在覆冰季节,输电线路重冰区段的光纤复合架空地线(optical fiber composite overhead ground wire, OPGW)易发生因覆冰后应力过载导致的光纤断裂事故。覆冰已严重影响重冰区段的 OPGW 光缆安全运行。针对既有线路,可采用对 OPGW(地线)绝缘化改造后,通过直流融冰消除覆冰。以国网凉山公司 110 kV 雷坝二线 N56 至 N80 重冰区段 OPGW(地线)为研究对象,在已有 OPGW 绝缘化改造直流融冰研究成果基础上,对包含 OPGW(地线)直流融冰回路、绝缘段感应电压计算、接地方式、地线绝缘子选型在内的关键技术问题进行了研究。目前,采用所研究成果实施的 N56 至 N80 重冰区段 OPGW 绝缘化改造工程已完成。在 2018 年冬季至 2019 年春季,已对该线路绝缘改造区段 OPGW 开展直流融冰 4 次,融冰效果良好,线路运行正常。对该线路 OPGW(地线)绝缘改造涉及到的关键技术说明可供后续 OPGW 绝缘化改造参考。

关键词: 光纤复合架空地线;绝缘化改造;直流融冰

中图分类号: TM75 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2019)03-0044-06

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.03.011

Engineering Research on Insulation Reconstruction for DC De-icing of OPGW

Deng Yuanshi¹, Liao Wenlong¹, Chen Jun², Zhu Jun¹, Li Kun³, Liu Fenglian¹,
Chen Shaolei², Bu Xianghang¹

(1. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, Sichuan, China;

2. State Grid Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610041, Sichuan, China;

3. State Grid Liangshan Electric Power Supply Company, Xichang 615000, Sichuan, China)

Abstract: Optical fiber composite overhead ground wire (OPGW) located in heavy icing area of transmission line is likely to suffer fracture accident caused by stress overload when icing in winter. The icing has a strong impact on safe operation of OPGW in heavy icig area. The method of DC de-icing using insulation reconstruction is adopted to eliminate the ice covered on OPGW. Based on the existing research results, taking N56 ~ N80 OPGW, which is in heavy icing area belonging to 110 kV Leiba II line of State Grid Liangshan Power Supply Company, as the research object, the relevant simulation and calculation, including DC de-icing circuit, induced voltage, grounding mode, selection of insulator and insulation reform method for different types of towers, are illustrated. Using the obtained conclusions, the insulation reconstruction project for N56 ~ N80 OPGW of 110 kV Leiba II line has been completed. DC de-icing has been carried out four times from December of 2018 to January of 2019 which has a good de-icing effect, and the line is operating normally. The insulation reconstruction method of OPGW can provide a reference for the subsequent projects.

Key words: optical fiber composite overhead ground wire (OPGW); insulation reconstruction; DC de-icing

0 引言

悬挂在输电杆塔最顶端的 OPGW 具有电力系

统通信和普通地线的双重功能,在中国的电力通信网整体应用率超过了 90%。由于其挂点高、缆径小,所以其等值覆冰厚度较相同档距内的导线更为严重。OPGW 光缆承载着电力系统保护、安控、调度

等重要业务,一旦发生光纤因覆冰断裂或应力过载,将造成电力数据传输中断或输电线路力学体系失衡,为杆塔倾斜甚至倒塌埋下隐患。因此,解决好OPGW覆冰问题,是提高输电线路整体抗冰能力的关键技术问题,对提高线路运行可靠性、保障电网安全起着决定性的作用。

2013年起,国家电网公司专门设立《光纤复合架空地线(OPGW)抗冰技术及措施研究》项目,开展了OPGW抗冰机理及关键技术研究,提出了适用于线路绝缘化改造和非绝缘化改造的OPGW融冰技术方法。

非绝缘化改造的OPGW融冰方法是利用可融冰光纤复合架空地线内置的通流导体,在施加电流后使导体发热融冰。该方法需重新敷设可融冰光纤复合架空地线。从成本经济性考虑,该方法适用于新建线路。

绝缘化改造的OPGW融冰是利用绝缘金具将OPGW与铁塔绝缘,然后给OPGW外加融冰电流发热后实现融冰。该方法通过绝缘金具实现现有OPGW光缆的绝缘处理,无需重新敷设光缆,因此适用于有OPGW融冰需求的既有线路。

国网凉山供电公司110 kV雷坝二线全线共146基塔。N55至N80穿越四川凉山雷波县山陵岗区域,为单回架设的重冰区段。该区段导线设计覆冰厚度为20 mm,线路长7.334 km,地线采用GJ-100型钢绞线,OPGW光缆采用OPGW-24B1-100型。根据2017年冬季至2018年春季期间导线覆冰拉力数据计算,该区段导线等值覆冰厚度最大值约30 mm,已超过该区段设计等值覆冰厚度(20mm)。架空地线与OPGW光缆的覆冰则较导线更为严重。从经济性考虑,采用对雷坝二线N56至N80(重冰区)的架空地线与OPGW光缆进行绝缘化改造方法,实现OPGW光缆融冰。

下面将以110 kV雷坝二线N56至N80为研究对象,开展融冰电流、绝缘段感应电压计算、绝缘化改造、融冰回路、绝缘金具选择等OPGW光缆改造关键技术说明,以供后续实施OPGW光缆绝缘化改造的技术人员参考。

1 OPGW绝缘化改造直流融冰方法

1.1 融冰回路

为了防止绝缘区段感应电压过高和融冰时直流

融冰电压过高,一般仅需对重冰区段内的OPGW光缆和地线进行绝缘化改造。OPGW光缆直流融冰回路由线路导线、OPGW光缆和架空地线构成。

该工程中采用位于110 kV菜坝变电站的移动直流融冰装置(额定容量:25 MVA/2000 A)作为融冰电源。该线路N146至N79 A相导线将融冰电流引流至N80塔后,经绝缘化改造的N55至N81地线与OPGW光缆后,再通过N146至N79 B相导线留回站内,形成“一去一回”串联融冰回路,如图1所示。

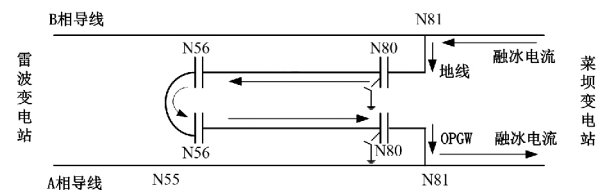


图1 雷坝二线N56至N80 OPGW(地线)融冰回路

1.2 绝缘段感应电压

当OPGW光缆区段进行绝缘化改造后,在线路正常运行时,会产生较高的感应电压。特别是同塔双回线路,当一回线路运行,另一回线路停运时,停运回地线因两回线路间的电磁耦合和静电耦合产生感应电压,将对检修人员安全带来威胁。因此,必须对地线与OPGW光缆绝缘区段的感应电压进行仿真计算,明确绝缘段的分段数和接地点的设置。GB 26859-2011《电力安全工作规程(电力线路部分)》规定1 kV及其以下为低压,1 kV以上电压为高压。因此将绝缘区段的感应电压限制在低电压等级是更有利于作业安全的^[1]。

110 kV雷坝二线N56至N80导线型号为LGJ-240/40,绝缘子型号为U70BP-146,悬垂串为8片绝缘子串长1.314 m。在杆塔平均呼高18 m、平均档距200 m、土壤电阻率100 Ω·m、杆塔接地电阻10 Ω的条件下,当线路以额定电流运行时,采用ATP-EMTP软件对绝缘化改造后各种接地情况下的N56至N80感应电压和感应电流进行仿真计算,结果如表1。

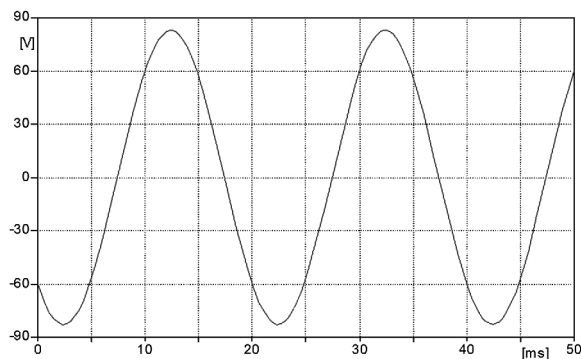
从仿真结果可知,若N56至N80绝缘化改造后悬空,绝缘段感应电压将达到4.2 kV(有效值),超过GB 26859-2011规定。当在绝缘段任意位置设置单点接地后,绝缘段感应电压将降至100 V(有效值)以下。

考虑到OPGW数据传输稳定性和施工便捷,采

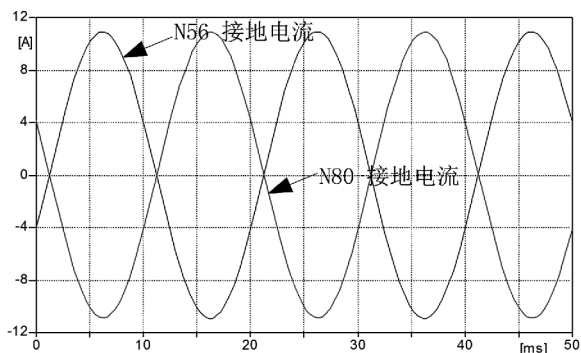
用在 N80 架空地线侧和 OPGW 侧分别设置接地点的“单绝缘段,双点接地”方式接地。根据仿真结果,当雷坝二线以额定电流运行时,绝缘段感应电压为 70 V,感应电流为 2.8 A,满足运行与检修要求,如图 2、图 3 所示。

表 1 110 kV 雷坝二线 N56 至 N80 绝缘段感应电压仿真结果

接地方式	N56 处 感应电压 /kV	N80 处感应电压		接地 点电 流/A
		架空地 线侧 /kV	OPGW 侧 /kV	
不接地	4.2	4.2	4.2	
单 点 接 地	N80 地线侧接地	0.079	0.045	
	N80 OPGW 侧接地	0.070	0.043	
	N56 接地		0.078	0.069
双 点 接 地	N56 OPGW、 N80 OPGW 侧接地		0.058	7.8
	N80 地线、OPGW 侧接地	0.070		2.8



(a) N80 地线侧感应电压



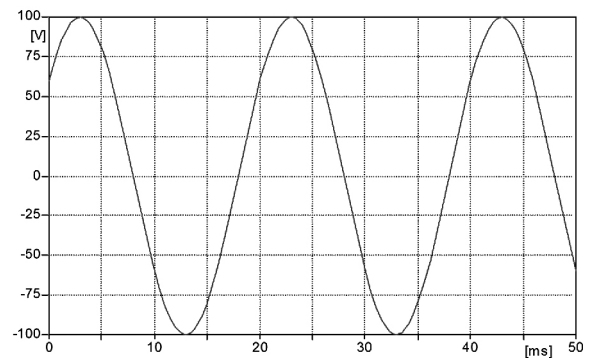
(b) 接地点入地电流

图 2 绝缘段感应电压与入地电流仿真结果
(在 N56 地线与 N80 OPGW 侧接地)

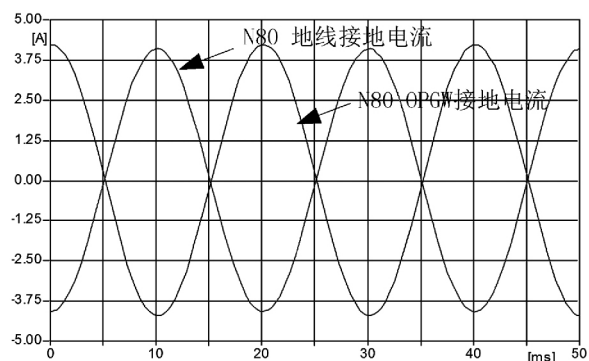
1.3 融冰电流

按照镀锌钢绞线最高耐受温度 125 °C^[2] 和 OPGW 光缆内部光单元最高允许温度 85 °C^[3] 的温

度限制下,在环境温度 -5 °C、风速 5 m/s、覆冰厚度 10 mm 时计算得到的绝缘区段最大、最小融冰电流如表 2 所示。



(a) N80 地线侧感应电压



(b) 接地点感应电流

图 3 在 N80 地线与 N80 OPGW 侧接地绝缘段仿真结果
表 2 110 kV 雷坝二线架空地线与 OPGW 光缆融冰电流

型号	单位电阻 /($\Omega \cdot \text{km}^{-1}$)	最小融冰 电流/A	最大融冰 电流/A
GJ-100	0.242	149.5	380.2
OPGW-24B1-100	0.440	126.8	365.8

1.4 金具选择

OPGW(地线)全绝缘改造所用绝缘金具包括了 OPGW 绝缘耐张金具、OPGW 悬垂耐张金具、带并间隙 OPGW 绝缘子、光缆绝缘接头盒、绝缘余缆架、绝缘引下线夹、融冰接地刀闸等。重点对两种重点金具进行说明。

1.4.1 OPGW(地线)绝缘子并间隙选择

10 kV OPGW(地线)绝缘子并间隙应满足以下 3 个条件^[1]:

- 1) 在正常运行时不被线路工频感应电压击穿;
- 2) 在融冰时不被融冰电压击穿;
- 3) 在雷电梯级先导发展阶段可靠击穿。

由 1.2 节可知,N56 至 N80 区段 OPGW(地线)采用“单绝缘段,双点接地”的方式可以使线路工频感应电压不超过 1 kV。选择 1.15 倍^[1]安全系数,OPGW(地

线)绝缘子并联间隙耐压值应大于1.15 kV。20 mm 以上的放电间隙即可满足要求。

从融冰电压考虑,采用额定容量为25 MVA/2000 A 融冰装置对 N55 至 N80 线路段进行直流融冰时,融冰端电压不会超过10 kV。地线绝缘子配合10 mm 以上的并联间隙即可满足要求。

从雷电先行击穿考虑,一般并联放电间隙距离与地线绝缘子最小电弧距离之比介于80%~85%即可满足要求^[1]。一般10 kV 绝缘子干弧距离为150 mm,则并联放电间隙距离不大于120 mm 时,并联放电间隙即会先于地线绝缘子击穿。

综上3个因素,选取带40 mm 并联间隙的合成悬式棒型绝缘子(FXBZW-10/120)并配合双悬垂金具和耐张金具分别安装于直线塔和耐张塔处,如图4所示。



(a)耐张串地线绝缘子 (b)悬垂串地线绝缘子

图4 110 kV 雷坝二线地线绝缘子

1.4.2 OPGW 接续盒

OPGW 绝缘接续盒分为中间型绝缘接续盒和终端型绝缘接续盒。中间型隔离接续盒安装于原OPGW 接续处,终端型接续盒安装于绝缘段起始塔处,如图5所示。

雷坝二线 N63、N71 的 OPGW 接头盒需更换为中间型绝缘接续盒,实现融冰时 OPGW 数据仍正常传输数据。

雷坝二线 N56、N80 的 OPGW 接头盒改造成终端型绝缘接头盒,实现 OPGW 数据传输接续和分段绝缘。

1.5 OPGW(地线)绝缘化改造

在 OPGW(地线)悬垂塔处,采用1套带并联间隙双悬垂串绝缘子实现地线与铁塔地线塔头之间绝缘;在地线耐张塔处,采用2套带并联间隙绝缘耐张垂串绝缘子实现地线与塔头绝缘。

在 OPGW(地线)接续塔,按照1.4.2节所述实现 OPGW 数据传输与分段绝缘。其余 OPGW 与地线一致,采用带有并联间隙的绝缘子实现与塔头绝缘。

地线与 OPGW 改造明细如表3、图6所示。

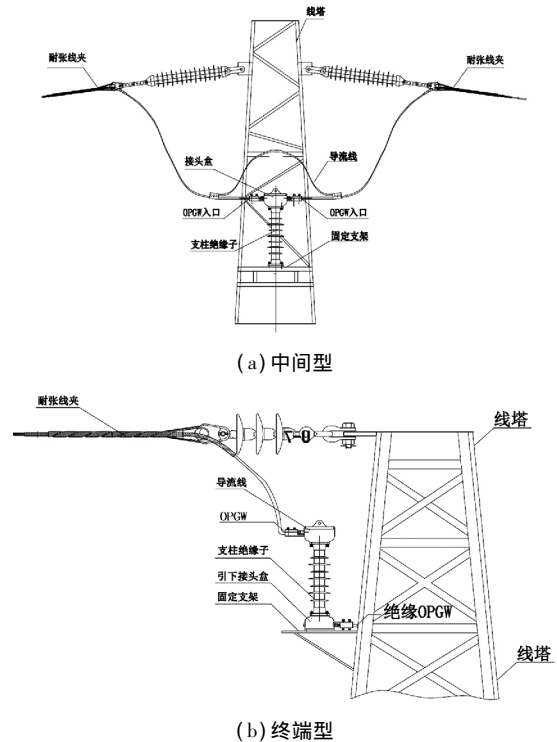


图5 110 kV 雷坝二线 OPGW 绝缘接续盒安装

2 应用成效

2018年12月11日,受强降温影响,110 kV 雷坝二线 N56 至 N80 塔 OPGW(地线)出现15 mm 覆冰。为及时消除覆冰对 OPGW(地线)的影响,采用位于110 kV 菜坝变电站的移动直流融冰装置(额定容量为25 MVA/2000 A)作为融冰电源对 N56 至 N80 地线与 OPGW 光缆通过导线形成的“一去一回”串联回路进行直流融冰工作。

2.1 绝缘区段感应电压

110 kV 雷坝一线正常运行时,闭合雷坝二线 N80 塔地线与 OPGW 引下线接地开关,B相导线-地线-OPGW-A相导线形成的 OPGW(地线)融冰回路感应电压值为59 V。该值与仿真结果一致,也满足 GB 26859-2011 的要求。

2.2 绝缘区段绝缘电阻

在110 kV 菜坝变电站内,用5 kV 绝缘电阻表测试 B 相导线-地线-OPGW-A 相导线形成的

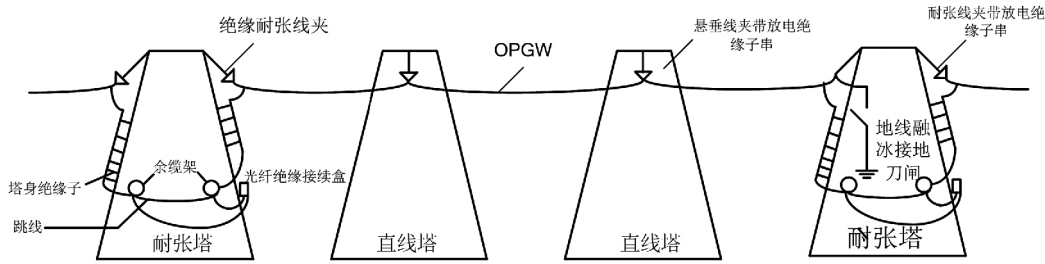


图6 OPGW 光缆绝缘化改造

OPGW(地线)融冰回路绝缘电阻。在不拆除回路接地线时,其绝缘电阻 $R_1 = 0 \Omega$; 拆除回路接地线后,其绝缘电阻 $R_2 = 74.2 \text{ M}\Omega$ 。上述结果说明融冰回路无接地点、无断线,接线正确。

表3 110 kV 雷坝二线 N56 至 N80 区段
OPGW(地线)绝缘化改造明细

杆塔号/区段	杆塔类型	改造方案
N56	耐张	在大号侧安装带并联间隙 OPGW(地线)绝缘耐张串; 在塔头安装地线与 OPGW 引流线; 安装高压隔离分段 OPGW 绝缘接续盒。
	耐张	在小号侧安装带并联间隙 OPGW(地线)绝缘耐张串; 在大号侧安装带并联间隙 OPGW(地线)绝缘耐张串; 安装 OPGW(地线)绝缘跳线。
N57 至 N79	直线	安装带放电间隙地线悬垂线夹。
	OPGW 接续	安装 OPGW 绝缘引下线夹; 安装高压隔离分段 OPGW 绝缘接续盒。
N80	耐张	在大号侧安装带放电间隙 OPGW(地线)绝缘耐张串; 在小号侧安装耐张线夹(通过融冰接地开关接地); 安装 OPGW(地线)绝缘跳线; 安装融冰接地开关; 在地线小号侧地线耐张线夹处安装导线-地线引流线; 在 OPGW 小号侧安装导线-OPGW 引流线; 安装高压隔离分段 OPGW 绝缘接续盒(终端型)。

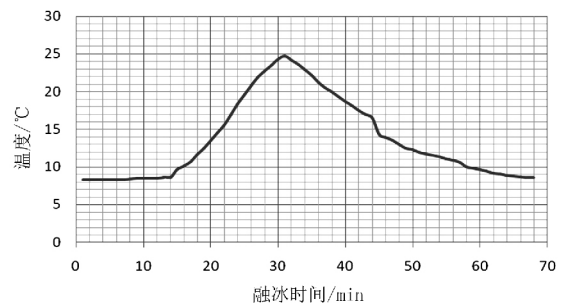
2.3 融冰电压与融冰电流

本次试验设置起始输出融冰电流为 200 A, 电流增长步长为 20 A, 最终增大到 280 A 并持续 30 min。融冰装置直流出线侧的融冰电压、电流如表 4 所示。

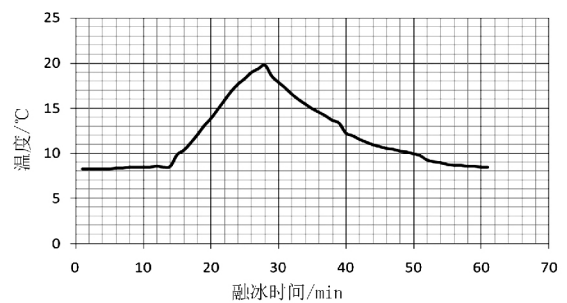
为监测融冰期间 OPGW(地线)温升情况,采用测温贴片测试 OPGW(地线)表面温度。融冰期间,OPGW 与地线表层温升曲线如图 7 所示。

表4 直流融冰装置出线侧融冰参数

融冰电流/A	融冰电压/kV	容量/MW
198	5.2	1.35
225	6.4	1.98
245	7.5	2.51
261	8.5	3.10
278	9.9	3.51



(a) OPGW 温升曲线



(b) 地线温升曲线

图7 OPGW 融冰温升曲线

融冰 15 min 后,OPGW(地线)上的覆冰开始脱落。25 min 后,该区段 OPGW(地线)覆冰全部脱落。整个融冰期间,OTDR 测试数据正常,OPGW 光缆纤芯传输数据正常,热稳定性良好。

3 结语

在采用绝缘改造的 OPGW 直流融冰研究成果基础上,针对性地分析了 110 kV 雷坝二线 N56 至 N80 重冰段直流融冰回路、绝缘段感应电压与接地方式、地线绝缘子并联间隙选择、绝缘化改造具体方

法。在2018年冬季至2019年春季覆冰季节期间,已采用该方法对该区段开展直流融冰4次,OPGW光缆(地线)未发生因冰故障。

OPGW(地线)绝缘化改造需差异化进行。今后将开展不同电压等级下单回、同塔双回和交叉跨越线路的OPGW(地线)感应电压分布规律,明确地线绝缘子并联间隙取值范围,绝缘改造长度、接地方式和导线换位情况对电能损耗影响规律研究,为相关绝缘化改造工程的实施提供依据和参考。

参考文献

[1] 陈秀娟,夏潮,朱海宇,等. 光纤复合架空地线直流融冰绝缘化改造对地线绝缘子与并联放电间隙的电气要求[J]. 高压技术 2017 43(8):2733-2738.

[2] 110 kV~750 kV 架空输电线路设计规范:GB-50545-2010 [S] 2010.

[3] 孟志高. 光纤复合架空地线(OPGW)直流融冰过程与模型研究[D]. 重庆:重庆大学 2017.

[4] 陈绍辉,孙鹏. 输电线路架空地线直流融冰方法[J]. 云南电力技术 2017 45(5):32-36.

[5] 陈璨. 架空线路OPGW融冰技术研究[J]. 南方能源建设 2016 3(2):82-87.

[6] 胡叶舟,余绍峰,张琳,等. 输电线路架空地线融冰特性的研究[J]. 浙江电力 2015 34(9):29-33.

[7] 李丹. 并联间隙地线绝缘子覆冰网络的仿真分析与实验研究[D]. 株洲:湖南工业大学 2016.

[8] 张福泉. 光纤复合架空地线OPGW的施工技术[J]. 电气技术 2013(7):76-78.

作者简介:

邓元实(1985),高级工程师,主要从事架空输电线路抗冰除冰技术工作。

(收稿日期:2019-04-03)

(上接第25页)

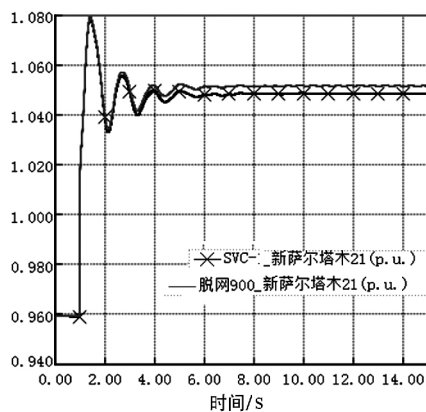


图13 脱网工况3下萨尔塔木变电站220kV 母线电压升高的控制效果

站750kV母线电压幅值都有一定程度增加,但相对而言,片区的220kV母线电压增长和波动幅度较750kV大些。

2)当风电区域的脱网容量由30%增长至90%时,仿真计算得出,变电站220kV母线电压波动的幅度与一次性脱网的风电区域容量成线性关系。当风电脱网60%时,220kV萨尔塔木变电站220kV母线电压越上限(242kV);当风电脱网达到90%时,750kV塔城变电站、220kV额尔齐斯变电站、龙湾变电站、和丰变电站、萨尔塔木变电站等220kV母线电压均越上限运行,给电网的安全稳定造成风险。因此,随着末端电网的风电并网规模增大,应控

制风电的接入,按照并网标准强化风电的故障穿越能力,增强其抗扰动性。

3)在风电汇集的220kV变电站加装动态无功补偿设备是控制220kV母线电压越线的有效措施。

参考文献

[1] 陈珩. 电力系统稳态分析[M]. 北京:中国电力出版社,1995:223-229.

[2] 常喜强,解大,姚秀萍. 新疆阿勒泰地区电网的频率动态过程仿真[J]. 四川电力技术 2008 31(5):35-38.

[3] 张会参,秦艳辉. 基于SVC的异步风力发电机并网系统的暂态稳定性研究[J]. 电工电气 2011(2):4-7.

[4] 程旻,吴琛,李玲芳. 云南电网主网高周切机方案研究[J]. 云南电力技术 2008 36(1):1-4.

[5] 周川梅,孙斌. 贵州主网及地区电网孤网运行安全稳定措施研究[J]. 电力系统保护与控制,2008,36(19):29-32.

[6] 李付强,沈卫东,王彬. 大规模风电并网对京津唐电网的影响和对策分析[J]. 电力技术 2009 18(10):44-48.

[7] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. 电力系统安全稳定导则[M]. 北京:中国电力出版社 2001.

作者简介:

邓梅(1975),工程师,从事新能源发电工作;
胡仁祥(1987),硕士,从事电网调度运行工作。

(收稿日期:2019-01-19)