

旁路作业技术在配电网工程中的研究与应用

王武双,李杰,陈效,陈显忠,刘德锋

(国网四川省电力公司成都供电公司,四川成都 610041)

摘要: 配电不停电作业技术是提高供电可靠性的重要手段,已不断受到国内供电企业重视。其中的旁路作业技术作为不停电解决配电网大型检修和改造工程的有效方式,一直被业内归类为配电不停电作业技术中最复杂的作业项目。按照传统作业方式,旁路作业的开展将依托柔性电缆和旁路开关等设备形成较为复杂的旁路系统,以实现负荷转移,作业过程牵涉多班组和多专业配合,准备工作多,需投入较多的人力、物力,且现场安全风险管控难度较大。对传统旁路作业现场组织管理流程进行总结,提出了一种多班组、多专业作业现场组织管理模式和一种新的旁路作业技术。经多次现场实践,证明该方法在配电网检修和改造中是有效且实用的。

关键词: 不停电作业;旁路作业;配电网检修;配电网改造

中图分类号:TM73 文献标志码:B 文章编号:1003-6954(2021)02-0073-06

DOI:10.16527/j.issn.1003-6954.20210216

Research and Application about Usage of Bypassr in Distribution Network Reconstruction

Wang Wushuang, Li Jie, Chen Xiao, Chen Xianzhong, Liu Defeng

(State Grid Chengdu Electric Power Supply Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: Live working technology is an important means to improve the reliability of power supply, which has been constantly attached importance by the domestic power supply enterprises. As an effective way to solve the large-scale maintenance and reconstruction project of distribution network, the bypass working technology is classified as the most complex live working. According to the traditional methods, bypass working should rely on flexible cables, bypass switches and other special equipments to form a complex bypass system to achieve load transfer. The operation process involves multiple professional departments, and requires more worker and equipment. The traditional bypass working process is summarized. A multi-departments, multi-fields organization and management idea is proposed, and a new bypass working technology is put forward. It is proved that the proposed method is effective and practical in the maintenance and reconstruction of distribution network.

Key words: live working; bypass working; distribution network maintenance; distribution network reconstruction

0 引言

随着用电客户优质服务和维权意识不断增强,供电可靠性要求不断提高,供电企业一直在不断探索新技术和新方法以更好地为客户提供优质的电力供应。不停电作业是以实现用户不停电或短时停电为目的,采用多种方式对设备进行检修的技术,其作业方式包括了带电和停电检修^[1]。而旁路作业则是通过旁路设备接入,将配电网中的负荷转移至旁

路系统,实现待检修设备停电检修的作业方式^[2]。长期以来,配电不停电作业技术作为减少停电、提高供电可靠性的有效技术手段不断得到重视和强化,在国内配电检修和改造工作中大放异彩,为供电企业优质服务和供电可靠性提升提供了坚实的技术支撑^[3-5]。在国家电网公司和南方电网公司,根据作业方式方法和难易程度,常见配电不停电作业项目可分为四类,其中一、二类为简单项目,三、四类为复杂项目^[1-6]。作为第四类复杂类型的旁路作业项目因其可减少甚至避免因大型施工现场的配电网检修

或改造导致的客户停电而备受重视。但也因为该项技术的应用往往涉及旁路柔性电缆及其附件、旁路负荷开关和中间对接头的应用,作业现场布局较大。此外,作业现场还通常涉及带电作业、运行操作、检修和调度等多专业、多班组配合。该类项目现场综合性强,管控难度较大,一定程度上制约了该项技术在各供电企业全面推广^[7]。目前国内相关研究主要集中在基于柔性电缆的旁路作业技术应用探讨^[8-11],少有对作业组织流程和现场安全风险管控的研究。文献[12]提出了一种新的旁路作业方式,但多专业协同作业过程的风险点把控尚无详细阐述。因此,能在满足安全管理规定的框架下,结合既有的带电作业、配电网调度、运行操作和检修业务流转模式,探索出旁路作业现场各专业、各班组间高效、规范的组织管理模式,对推广旁路作业在各供电部门的普遍应用具有重要意义。

下面在对现有相关配电专业间工作流转机制进行总结的基础上,提出了一种可行的旁路作业组织管理新模式。同时,结合配电线路改造工程的特点,在充分利用改造后网络设备资源的条件下,采用旁路作业法实施不停电作业,极大地减少了柔性电缆敷设,节省了人力成本,压缩了工作时长,提升了工作效率。通过配电网改造和检修现场的实际应用,证明所提方法可行、实用。

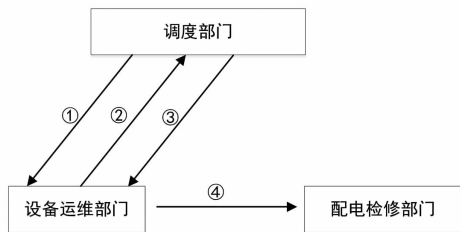
1 作业现场组织管理分析

按照配电作业安全管理相关规定,无论是运行维护、停电检修,还是带电作业,都需要履行保障安全的组织措施^[13],严格执行包括工作票制度、工作许可制度和终结制度在内的各项措施。文献[13]对停电检修和带电作业的技术适用范围,相应的配电第一、第二种工作票和配电带电作业工作票的使用条件都做了严格规定。各类现场作业都涉及作业前的许可和作业后的汇报终结环节,并且对于某作业项目的许可和终结必须一一对应。下面就停电检修、常规带电作业和旁路作业的现场组织管理模式进行分析。

1.1 停电检修组织管理

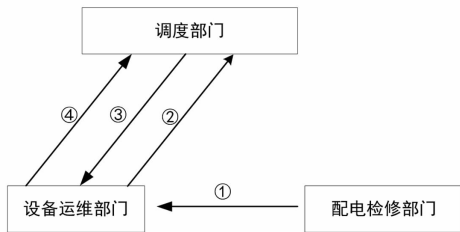
对于计划性配电网停电检修工作,按照现有管

理规定,工作的全过程通常涉及调度、运行操作和检修 3 个专业班组(部门)^[13]。根据当日停电计划,调度部门向设备运维部门下达倒闸操作指令,由运行操作人员按照调度指令对设备进行逐项操作,将待检修线路由运行状态转换至检修状态。当倒闸操作完毕后,运行操作人员向调度汇报操作完毕及线路已处于停电检修状态。接下来,再由调度下达检修工作许可,同意检修人员进入停电线路开展工作。若检修现场复杂,涉及多个作业点位,多个检修班组同时作业,中间还可设两级许可。在线路由运行状态转至检修后,由调度部门向设备运维管理部门下达一级许可,再由设备运维管理部门向各检修施工单位(班组)分别下达二级许可。现场工作管理流程如图 1 所示。与此类似,当各检修单位完成线路检修后,即可按原有许可路径向许可人终结工作任务。最后,当所有检修工作都汇报终结后,由调度部门向运行操作人员下达倒闸操作指令,将线路由检修状态转至运行状态,恢复线路供电。现场工作管理流程如图 2 所示。



1. 调度下达倒闸操作指令
2. 运维部门操作完毕后汇报调度, 线路转检修状态
3. 调度向运维部门许可检修工作开工(一般许可)
4. 运维部门向检修部门下达检修许可(二级许可)

图 1 停电检修工作流程(停电环节)



1. 检修部门向运维部门汇报检修工作结束
2. 运维部门向调度汇报检修结束, 线路具备送电条件
3. 调度向运维部门下达倒闸操作指令
4. 倒闸操作结束后运维部门汇报调度线路恢复运行状态

图 2 停电检修工作流程(恢复供电环节)

1.2 带电作业组织管理

1.2.1 常规带电作业组织管理

作为常规项目的一、二、三类带电作业因其作业

现场通常不涉及配电检修和运维操作专业的配合,不存在工作界面交叉,职责界面清晰,现场工作流程一般在调度部门和带电作业部门间流转。作业前通常由带电作业班向调度发起作业申请,由调度下达许可并根据情况退出线路重合闸后即可开展工作。也可由带电作业班向设备运维部门发起作业申请,再由运维部门向调度申请开工并根据情况退出重合闸^[13]。作业现场流转过程如图 3 所示。

变压器和 3 号箱式变压器负荷进行转供。再通过柔性电缆将 10 kV 1 号环网柜待用间隔 984,10 kV 3 号箱式变压器环网柜待用间隔 985 连接形成旁路,实现对线路后端负荷转供。待负荷成功转移后,即可断开 10 kV 1 号箱式变压器环网柜 982 间隔和 10 kV 3 号箱式变压器环网柜 981 间隔,实现对 10 kV 2 号环网柜停电,为改造工作创造停电条件。

在上述复杂类旁路作业现场,作业部门直接涉及到调度、带电作业、运维和检修 4 个专业部门(班组)。多班组的现场组织和安全管控要求较高,通常应设置现场总工作负责人,负责多班组(作业小组)协调^[1-2]。因该类型作业通常归类于带电作业项目,参与该项工作的作业人员及地面辅助人员须取得经省公司级培训基地进行不停电作业专项理论培训、考试合格后,持证上岗^[1]。因此,作业现场通常由带电作业班统一组织协调和指挥。作业前由带电作业班总工作负责人向调度发起工作申请,作业中由总工作负责人根据既定作业方案分别向带电作业、运维操作和检修班组下达工作许可。工作流程如图 5、图 6 所示。该类流转方式主要是将作业现场由一名带电作业人员担任总工作负责人。但实际上,由于带电作业(或设备运维单位)的工作人员难以全盘掌握带电作业、运维操作和检修 3 个专业的工作方式和特点,也无法做到对所有在场人员技能水平的掌控,现场管控难度较大,存在较大安全管理漏洞。

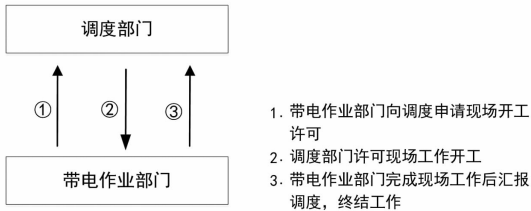


图 3 带电作业现场工作流程

1.2.2 旁路作业组织管理

作为四类作业项目的旁路不停电作业,相对于另外三类项目,其通常用于某些较大型的配电网检修、改造工程。工作内容综合性强,往往可能涉及到配电网电缆施放、环网柜吊装、杆塔组立、断路器和配电变压器等柱上设备安装等多种配电专业工作。上述类型工作已远远超出了带电作业这一工种的技术范畴,现场的顺利实施必须依赖于多工种、多专业的配合。并且,诸如电缆施放、环网柜和配电变压器安装及调试属于传统的配电检修专业领域,必须由检修人员负责实施。因此,其作业现场管控相对复杂。

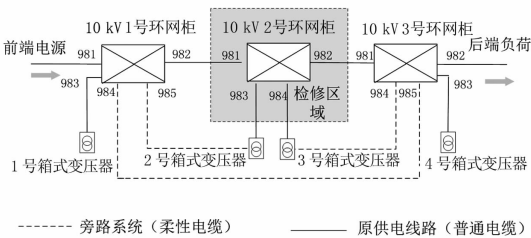
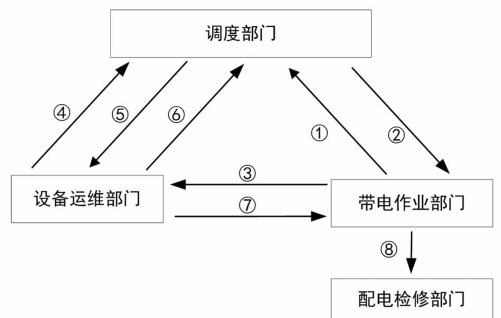


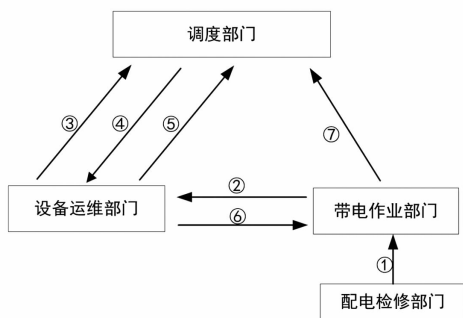
图 4 某典型旁路作业现场接线

一个典型的旁路作业现场如图 4 所示。供电部门计划对某一配电线路的 10 kV 2 号环网柜进行配电自动化改造,若按照传统停电检修方式,则需要将该环网柜及后端负荷停电,这难以满足日益严格的优质服务 and 供电可靠性要求。若采用旁路作业方式实施,则需通过 10 kV 1 号环网柜待用间隔 985,10 kV 3 号环网柜待用间隔 984 敷设柔性电缆,分别将 2 号箱式



1. 带电作业部门向调度部门申请许可可开工
2. 调度下达带电作业许可
3. 带电班组织人员完成旁路系统搭建,并告知设备运维部门
4. 运维部门向调度申请倒闸操作许可
5. 调度部门向设备运维单位下达倒闸操作指令
6. 运维部门完成倒闸操作,旁路系统投运,拟检修回路转至检修状态,完成后向调度汇报操作结束
7. 运维部门向带电作业部门通报倒闸操作结束
8. 带电作业部门向检修部门下达检修许可

图 5 旁路作业工作流程(开工环节)

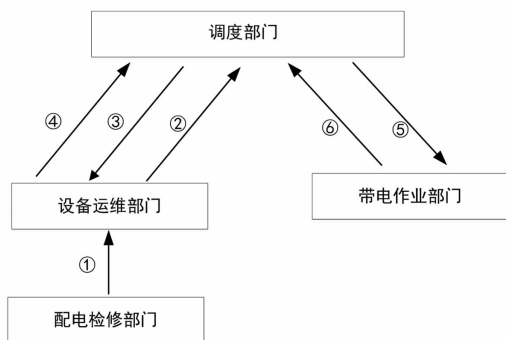


1. 检修工作结束, 检修部门向带电作业部门汇报工作终结
2. 带电作业班向运维部门通报检修结束
3. 设备运维单位向调度申请倒闸操作指令
4. 调度部门向设备运维单位下达倒闸操作指令
5. 操作完毕后向调度汇报检修设备已转运行状态
6. 运维部门向带电作业部门通报倒闸操作结束
7. 带电作业部门完成现场工作并汇报调度, 终结工作

图 6 旁路作业工作流程(终结环节)

1.3 改进后的旁路作业现场组织管理

通过分析各类型作业现场工作流转模式,可以发现,调度部门在常规的倒闸操作、配电网检修和带电作业工作中都发挥了调度指挥角色,运行操作、检修和带电作业班组都会向调度申请许可,汇报终结工作。因此,在旁路作业这样涉及到调度、运行操作、检修和带电作业的大型复杂作业现场,可充分发挥调度部门的指挥中枢职能,构建全新、可靠和高效的现场管控新模式。将旁路作业分解为带电作业、停电检修和倒闸操作等常规作业类型,实施模块化组合。在该模式下,带电作业、运行操作和配电检修仍然按照原有的作业流转程序向许可人发起工作申请(1.1节和1.2.1条),作业完成后汇报终结,如图7、图8所示。



1. 检修工作结束, 检修班向运维部门汇报终结工作
2. 运维部门向调度汇报检修结束
3. 调度部门向设备运维单位下达倒闸操作指令
4. 操作完毕后向调度汇报检修设备已转运行状态
5. 调度部门向带电作业班下达工作许可, 退出旁路系统
6. 带电作业班工作结束后汇报调度, 终结工作

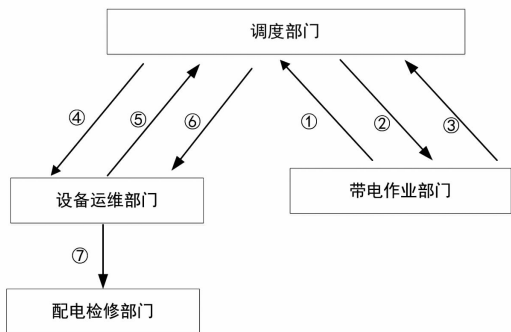
图 8 改进后的旁路作业工作流程(终结环节)

通过该模式,调度、运行操作、带电作业和配电网检修班组人员仍然可沿用原来熟悉的作业流转方式开展工作(1.1节和1.2.1条),无需学习新的流转方式,减少了学习成本和协调工作。各专业工种仍可按原有方式组织管控,既满足安全管理规程和技术标准的要求,也不涉及大量的人员资质问题,便于旁路作业普遍推广。此外,作业现场还可通过在各带电作业和设备运维部门各设置一名协调人,参与现场辅助协调,这样可有效避免旁路作业发生操作失误风险,进一步为该类型的复杂作业现场提供安全保障。

2 新型旁路作业技术

2.1 原有作业方式

旁路作业原理即利用柔性电缆搭建临时旁路系统,对原有供电线路形成旁路,再通过倒闸操作(带电作业)等手段,实现将负荷临时转移至旁路系统,然后再对待检修或改造线路进行停电隔离,为检修人员进入检修区域创造安全的无电环境^[1-2],如图9所示。对于设备间距离相对较小的电缆网系统,该方式敷设柔性电缆相对较少,实用性较强。但对于架空线路工作,因架空线路通常较长,采用该类作业方式需使用大量的旁路作业装备,通常有旁路电缆施放车、柔性电缆、旁路负荷开关和电缆保护槽盒等^[1]。而由于柔性电缆的自身特性,敷设工艺要求



1. 带电作业班向调度部门申请许可开工
2. 调度许可带电班工作
3. 带电班组织人员完成旁路系统搭建,完成后汇报调度系统搭建完成
4. 调度部门向设备运维单位下达倒闸操作指令
5. 运维部门完成倒闸操作,旁路系统投运,拟检修回路转至检修状态,完成后向调度汇报操作结束
6. 调度部门下达检修许可(一级许可可由运维部门接收)
7. 运维部门向检修部门下达检修许可(二级许可)

图 7 改进后的旁路作业工作流程(开工环节)

高,不可与地面直接摩擦^[1],且为了便于施放和回收,单节电缆长度一般不超过50 m(单芯),敷设工作较为耗时。以图9(a)所示的10 kV某线架空线路迁改工程为例,按照原有作业方式,若要采用旁路作业法完成9—19号杆线路迁改,则需在8—20号杆间敷设柔性电缆,搭建旁路系统,以实现负荷转移。该工程待迁改部分架空线路达到500 m,若仍采用该方式则将使用30根柔性电缆、27支柔性电缆专用中间直接头和1台旁路负荷开关。作业现场不仅布置复杂,需投入较多的人力和装备,影响施工效率,而且仅适用于负荷电流不大于200 A的线路^[1-2]。

2.2 新作业方式

通常来讲,配电网线路迁改或改造工程往往涉及新的线路敷设,以将原线路通道腾出,完成配合市政改造等任务。在采用旁路作业法实施该类工程时,若充分利用新建部分线路(架空线路或者电缆网),首先,通过带电作业方式完成新建部分两端带电搭火;再通过新装柱上隔离开关(或断路器)实现新建部分并入系统带电运行,即可与原线路形成旁路;最后,通过带电作业方式对待迁改部分线路进行解头断电,并配合检修部门完成杆塔和导线拆除工作。作业示意图如图9(b)所示。

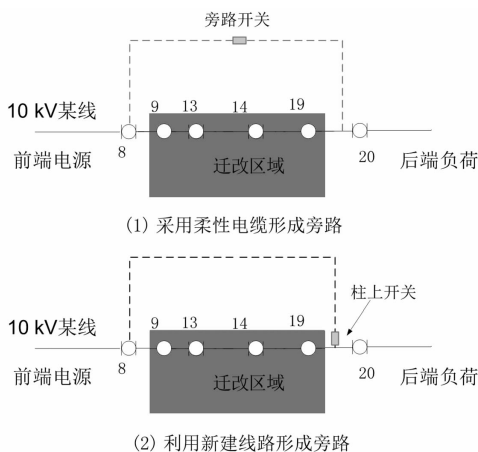


图9 某10 kV架空线路迁改工程

3 实际应用

某供电公司接政府部门通知,10 kV某黄线部分线路所在区域将进行土地整顿,以顺利推进某重

点市政民生工程,如图10所示。地块中的10 kV架空线路需通过配套电力线路迁改工程完成通道迁移。因工期较紧,需尽快予以实施,因此供电部门计划通过旁路作业方式完成该项工程,以缓解优质服务和供电可靠性压力。

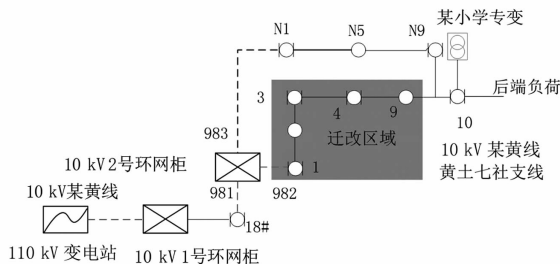


图10 某电力迁改工程示意

按施工设计方案,该迁改工程将在10 kV 2号环网柜983待用间隔新出一回电缆,并在N1号杆处上杆,经N9号杆后在原10 kV某黄线黄土七社支线10号杆搭火。因此,旁路作业时可充分利用新建线路对计划迁改的部分形成旁路,实现负荷转移。作业时,按照1.3节改进后的旁路作业组织管理模式,由调度部门作为带电、运维操作和检修专业的工作流转中枢,对作业环节进行全闭环管控。主要工作内容及步骤信息如表1所示。

表1 主要作业步骤信息

步骤	工作内容	工作班组	工作票/操作票类型	许可人
1	新建线路架设	检修	第二种工作票	—
2	10号杆带电搭火	带电	带电作业票	调度
3	核相并依次合上10 kV 2号环网柜983断路器,拉开2号环网柜982断路器	运维	倒闸操作票	调度
4	断开10号杆原架空线路	带电	带电作业票	调度
5	拆除迁改区域配电线路	检修	第一种工作票	调度

按照新的组织管理模式,将相对复杂的旁路作业项目分解为带电、运维操作和检修3个专业模块,细分为各专业常见的普通工作类型,各专业可利用原有的组织方式开展工作。作业过程中的工作申请和终结环环相扣,都通过调度部门进行流转,避免了新增流程可能出现的安全漏洞。按照新的旁路作业

方法,充分利用改造工程将新建线路这一有利条件,首先,由检修部门提前完成电缆敷设、架空线路架设、柱上设备安装等工作;然后,再由带电作业部门在 10 号杆完成新架线路搭火;接下来再由设备运行部门倒闸操作完成新建线路通电,形成旁路。在运行部门完成倒闸操作使待迁改线路负荷退出后,带电作业部门在 10 号杆完成原有线路的解头断电,为检修部门最终拆除原线路创造停电条件。新旧流程与方法特点对比如表 2 所示。

表 2 新旧流程与方法对比

对比项目	新流程与方法	原流程与方法
柔性电缆需求	0 m	450 m
辅助工人数	0 人	10 人
旁路作业工作时长	2 h	6 h
信息中枢	调度	带电、调度
现场风险控制难易度	较易	难
额定电流	与原线路相同	200 A

4 结 语

通过对供电部门日常检修和带电作业流程进行分析,针对复杂类作业项目中的旁路不停电作业提出了一种新的作业现场组织管理方法。该方法将旁路作业现场工作按照专业分解为带电、运维操作和检修 3 个模块。每一部分仍按照各专业已有的成熟流程进行流转,将调度部门作为工作流转中枢。该流程既不增加新的管控方式,利于现场工作人员理解和掌握,也使得职责界面清晰,现场风险易于管控。同时,还针对配电网改造工程提出了一种新的旁路作业技术方法,该方法的旁路系统充分利用了新建线路,实现了负荷转移。通过成都地区供电部门多次现场实施,该方法简易可行、风险易控,具有实用意义。

参考文献

- [1] 国家电网公司. 运检三〔2016〕94 号 国网运检部关于印发 10 kV 配网不停电作业规范(试行)的通知[Z]. 2016.
- [2] 国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会. 配电线路旁路作业技术导则:GB/T 34577—2017

[S]. 北京:中国标准出版社,2017.

- [3] 国家电网公司. 设备配电〔2019〕77 号 国网设备部关于全面加强配网不停电作业管理工作的通知[Z]. 2019.
- [4] 魏俊雨. 基于层次分析法的惠州电网供电可靠性评价研究[D]. 广州:广东工业大学,2019.
- [5] 国家电网公司. 国家电网设备〔2018〕1012 号 国家电网有限公司关于印发城市配电网供电可靠性提升工程工作方案的通知[Z]. 2018.
- [6] 中国南方电网有限责任公司. 10 kV 配电线路带电作业指南[M]. 北京:中国电力出版社,2015.
- [7] 郭锐. 旁路带电作业法在配电线路检修中的应用[J]. 电力设备,2018(14):41-43.
- [8] 韩亮,陈俊龙. 基于 10 kV 旁路不停电作业技术在配网实践应用的研究[J]. 东北电力技术,2015,36(9):8-11.
- [9] 刘聪汉. 多种旁路作业方法在配网不停电作业中的应用[J]. 广西电力,2018,41(6):59-61.
- [10] 叶克书. 浅谈电缆不停电技术在配网带电作业中的应用[C]//中国电机工程学会带电作业专业委员会. 带电作业技术会议论文集,2015:296-302.
- [11] 曾华,欧阳光,张斌等. 配电网不停电作业提高供电可靠性分析[J]. 电力传动自动化,2019,41(1):51-53.
- [12] 张效刚,周保民. 浅谈旁路作业在配电线路迁移综合应用[C]//中国电力企业联合会. 供电企业带电作业技术研讨会论文集,2012:160-164.
- [13] 国家电网公司. 国家电网公司电力安全工作规程(配电部分)(试行)[M]. 北京:中国电力出版社,2014.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 配电线路带电作业技术导则:GB/T 18857—2019[S]. 北京:中国标准出版社,2019.

作者简介:

王武双(1985),男,工程师,硕士,从事配电运检技术与带电作业技术实践和研究;

李 杰(1966),男,高级工程师,硕士,从事配电运检技术与带电作业技术管理和研究;

陈 效(1981),男,高级技师,从事配电运检技术与带电作业技术实践和研究;

陈显忠(1974),男,技师,从事配电运检技术与带电作业技术实践和研究;

刘德锋(1976),男,高级技师,从事配电运检技术和带电作业技术实践和研究。

(收稿日期:2020-11-24)