

国内外高压断路器操作回路比较研究

刘超, 李倩, 肖异, 贺磊

(中国电力工程顾问集团中南电力设计院有限公司, 湖北 武汉 430071)

摘要: 随着“一带一路”建设的不断推进, 电力设备的出口已成为行业发展的必然趋势。然而, 国产控制保护设备, 特别是高压断路器的操作回路, 在装置设计和运行维护习惯上与海外产品存在不小差异。国内设计理念往往无法被海外同行接受。为提高国内操作回路在海外的适用性, 从装置配置、回路设计、运行维护习惯以及与一次设备配合等方面对国内外高压断路器操作回路进行比较研究。研究总结了国内外技术方案的差异, 基于 ± 800 kV 美丽山 II 回直流输电工程电气二次的设计经验, 分析国内外技术差异的内涵, 指出相关国产设备海外推广需要解决的关键问题。

关键词: 操作回路; 保持回路; LOCKOUT 回路; 操作箱

中图分类号: TM561 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2020)05-0043-06

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2020.05.010

Comparison of Domestic and Foreign Operation Circuit of High-voltage Circuit-breaker

Liu Chao, Li Qian, Xiao Yi, He Lei

(Central Southern China Electric Power Design Institute of China Power Engineering
Consulting Group Corporation, Wuhan 430071, Hubei, China)

Abstract: With the continuous promotion of "the Belt and Road" construction, the export of power equipment has become an inevitable trend of industry development. However, the domestic control and protection equipment, especially the operation circuit of high-voltage circuit-breaker, is quite different from overseas products in device design, operation and maintenance habits. As a result, the domestic design concept is often not accepted by overseas counterparts. In order to improve the applicability of domestic operation circuit in overseas countries, a comparative study on the operation circuit of domestic and foreign high-voltage circuit-breakers is carried out from the aspects of device configuration, circuit design, operation and maintenance habits and coordination with primary equipment. The differences between domestic and foreign technical solutions is summarized. Based on the experiences of electrical secondary design of ± 800 kV Belo Mount II DC transmission project, the connotation of domestic and foreign technical differences is analyzed, and the key problems to be solved for overseas promotion of the relevant domestic equipment are pointed out.

Key words: operation circuit; holding circuit; LOCKOUT circuit; operation box

0 引言

随着“一带一路”建设的不断推进, 电力设备出口已成为行业发展必然趋势^[1-4]。然而, 国产控制保护设备特别是高压断路器的操作回路, 在装置设计和运行维护习惯上与海外产品存在不小差异。国内的设计理念往往无法被海外同行接受, 大大降低了在海外的接受程度。中国在海外建设交直流工程中, 仅有菲律宾直流工程采用过操作箱设备, 其他工程均采用

海外接受的辅助继电器方案。因此, 从技术推广层面考虑, 有必要对国内外的操作回路进行研究。

首先, 总结了操作回路的主要技术路线, 在此基础上从运行维护习惯差异的角度, 揭示国内外操作回路设计差异的内在根源; 最后, 针对海外应用环境, 就操作箱设备的工程应用提出了合理建议。

1 操作回路主要技术路线

高压断路器操作回路, 按照技术路线分为单操

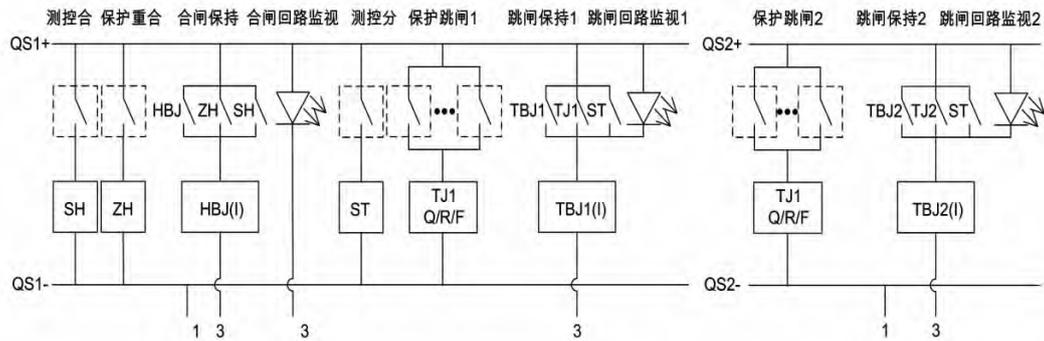


图 1 单操作箱主要功能配置

作箱、双操作箱、多继电器箱和辅助继电器 4 种方案。

单操作箱方案,是指为一台断路器配置一台操作箱,操作箱内含一组合闸操作回路和两组跳闸操作回路。双操作箱方案,是指为一台断路器配置两台操作箱,每台操作箱内含有一组合闸操作回路和一组跳闸操作回路。多继电器箱方案,是指为每一台保护装置配置一台继电器箱,继电器箱中包含辅助继电器、出口继电器等。辅助电器方案,是指为每套保护装置在屏柜内配置一套继电器,继电器包括辅助继电器、出口继电器等,所有继电器都直接安装在屏柜导管架上。

国内大部分地区采用单操作箱配置,华北地区采用双操作箱配置,华东地区多采用多继电器配置,而在中国承接的非洲、东南亚以及南美等海外工程基本采用辅助继电器方案。

国内关于操作回路/操作箱的研究多集中在防跳回路事故机理分析^[5-8]以及操作箱与就地机构的配合关系^[9-11],对于操作回路的配置差异研究内容较少。下面就以上 4 种技术路线,在装置设计和回路连接上对高压断路器操作回路进行比较分析。

1.1 国内操作回路设计

1) 单操作箱方案

单操作箱原理电路如图 1 所示,每只操作箱含两组独立的跳闸回路和一组合闸回路,分别对应断路器的两个跳闸线圈和一个合闸线圈。

合闸操作回路和其中一组跳闸操作回路共用第一路操作电源;另外一组跳闸操作回路使用第二路操作电源。尽管两组操作电源、两组跳闸操作回路在操作箱中基本独立;但由于在同一台装置中,一组跳闸回路检修时,另一组跳闸回路也必须同时停电检修,因此,尽管操作箱位于继电器室内,却可认为是断路

器机构的延伸,其检修也应与断路器同时进行。

以合闸回路为例,测控装置的合闸出口(保护装置的重合闸出口)通过重动继电器 SH(ZH)给自保持继电器 HBJ 充电,完成合闸保持功能,直至合闸动作完成,断路器辅助接点切断合闸保持输出回路。跳闸保持原理与合闸保持一致。另根据保护装置跳闸类型不同,跳闸重动需启动不同的重动继电器如 TJQ(启动失灵不启动重合闸)、TJR(启动失灵不启动重合闸)、TRF(不启动失灵不启动重合闸)。

操作箱还包括对分合闸出口回路的监视功能。

回路设计上,保护装置的跳闸接点与操作箱连接方式还和保护类型有关。

交流保护跳闸,保护动作接点与操作箱分闸回路采用“单对单”方式,如图 2 所示。

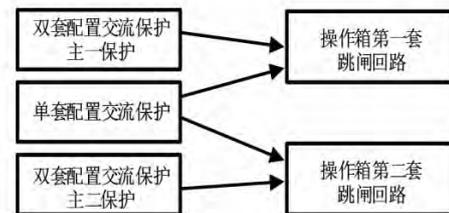


图 2 交流保护与操作箱连接方式

直流保护跳闸回路有两种方式:(1)每套直流保护/三取二装置的两副接点并联后,采用“单对单”连接方式;(2)每套直流保护/三取二装置的两副接点不并接,采用“双交叉”连接方式。直流保护跳闸回路如图 3 所示。

直流保护的两种方案都是双重化连接,只是双交叉方式在通道的冗余度上更高。

2) 双操作箱方案

双操作箱的主要目的是将两路跳闸操作回路从装置上完全分开,分别屏蔽,防止跳闸操作回路之间的互相干扰。同时,两组操作回路由于配置在不同

的操作箱中,可进行分别检修。双操作箱外部回路设计与单操作箱基本相同。

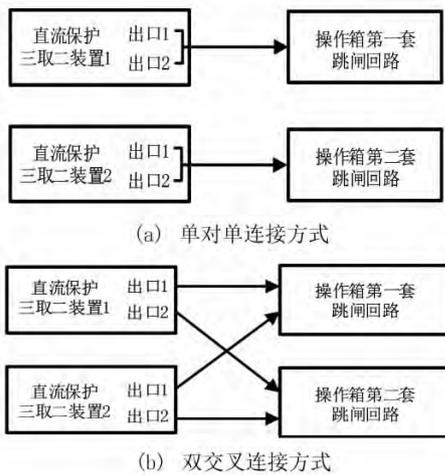


图3 交流保护与操作箱连接方式

3) 多继电器箱方案

参考近期特高压直流泰州换流站的多继电器箱方案,如图4(b)所示,该方案中,测控装置的手跳手合功能、交流保护的重合闸功能、直流保护跳闸操作回路通过操作箱实现,其他交流保护每套保护配置一只继电器箱,继电器箱完成操作回路功能。单操作箱与多继电器箱外回路差异如图4所示。

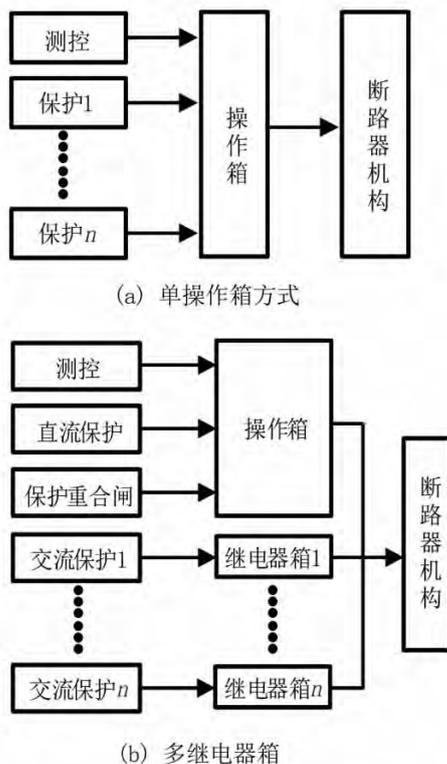


图4 单操作箱与多继电器箱比较

继电器箱的原理电路与保护的类型有关,对于变压器保护、高抗保护、母线保护等不需要重合闸的

保护,继电器箱主要通过RS继电器实现保护装置跳闸的LOCKOUT保持功能,保护装置的跳闸接点和LOCKOUT继电器的重动接点并联后作为该保护的跳闸输出,其原理电路如图5(a)。该设计一方面用保护装置跳闸接点保证跳闸的快速性;另一方面用LOCKOUT回路保证跳闸的持续性,直到断路器辅助接点变位切断LOCKOUT回路。此时,LOCKOUT仍需手动复归。

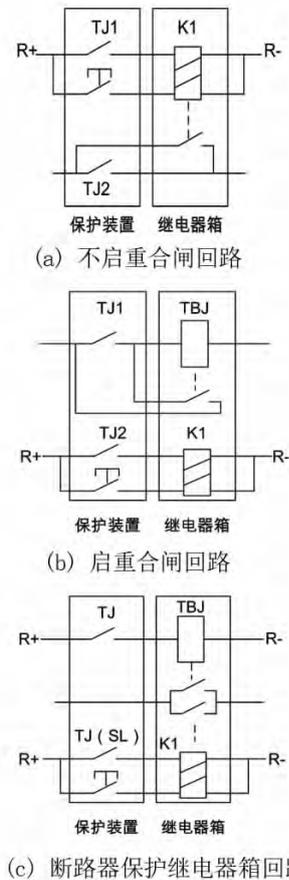


图5 华东多继电器箱原理电路

对于线路保护等需要重合闸的保护,继电器箱的功能与操作箱类似,主要功能为继电器重动及合闸保持,线路保护继电器箱原理电路如图5(b)所示。与操作箱合闸保持回路一样,该继电器箱会通过额外的RS继电器完成跳闸信号复归的功能。

对于断路器保护,保护跳闸接点需要重合,失灵跳闸接点延时动作且不需要重合闸。因此,断路器保护的继电器箱同时包含跳闸电流保持回路以及LOCKOUT回路,跳闸电流保持和LOCKOUT接点并联后作为断路器保护的跳闸输出。断路器保护继电器箱的原理电路如图5(c)所示。各保护的失灵启动回路仍从各保护发送到断路器保护装置。多继电器箱外部回路设计与单操作箱方案相同。

1.2 国外操作回路设计

国外操作回路基本采用辅助继电器方案。

该方案在控制保护屏模中搭建,并且不集成在装置中。跳闸回路部分,装置跳闸接点经辅助继电器直接出口,闭锁合闸/重合闸功能,则由专门的RS继电器86完成,RS继电器原理电路如图6所示。

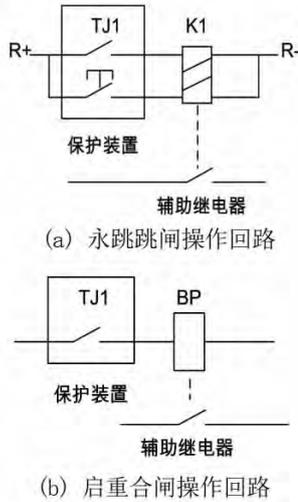


图6 国外操作回路原理

国外操作回路设计方案一直由ABB公司、西门子子公司、施耐德公司等欧洲设备厂家主导,设计方案比较一致,其操作回路通常在控制保护屏柜中搭建。参考近期建设巴西美丽山±800kV直流输电工程欣古换流站,其操作回路配置如下。

无论是变压器保护、高抗保护、母线保护、失灵

保护等不需要启动重合闸的保护,还是线路保护等需要启动重合闸的保护,跳闸部分回路一致。装置输出的保护动作接点经快速继电器(94)重动后,再经跳闸母线合并同一断路器跳圈的所有跳闸信息后,通过室外长电缆接到对应的断路器分闸线圈。跳闸母线设置在断路器保护屏柜中。美丽山工程欣古换流站分闸操作回路部分如图7所示。

对于欣古换流站9212断路器第一跳闸线圈,断路器保护跳闸、母线保护跳闸、交流滤波器母线保护跳闸等保护装置跳闸接点经各自快速继电器重动后在9212断路器保护屏中并联。

另外,由于南美地区对分合闸回路的分合位共4个工作状态都要进行回路完整性监视,因此需要采用专门的分相监视继电器完成该功能,巴西美丽山工程采用MD1501继电器。

由于各保护重动的快速继电器节点直接并联出口,没有保护总动作信号,无法满足安稳策略/最后断路器保护总信号(注:由于巴西美丽山工程交流场并非同一个业主,并且大部交流场前期都已完成建设,因此要求交流场断路器增加预分位信号具有工程不可操作性,采用保护动作信号作为最后断路器保护的输入接点是唯一的方案)的需求,需要在断路器跳闸母线上增加辅助继电器生成保护总信号,巴西美丽山工程采用55.34型辅助继电器。

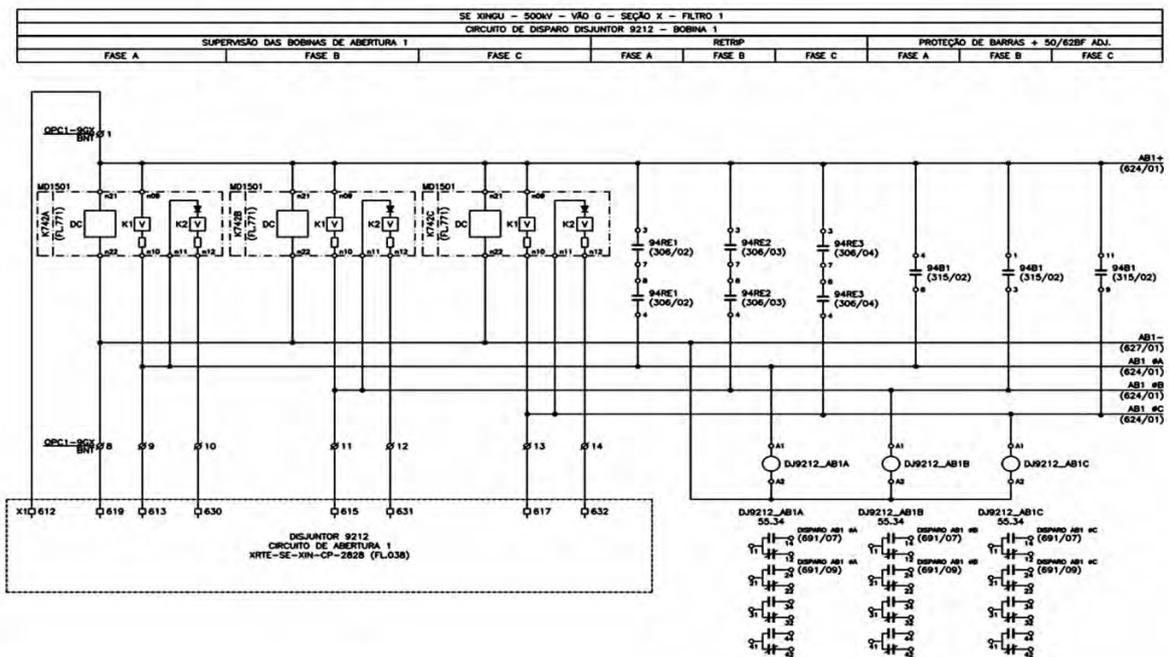


图7 巴西美丽山工程分闸操作回路

对于闭锁合闸/重点闸功能,则由专门的 RS 断路器 86 完成。如果保护需要闭锁合闸或重合,则由对应装置闭锁接点动作,并由 RS 继电器 86 保持住闭锁信号,同时将影响断路器合闸回路的所有保护闭锁接点串接到合闸回路中,完成闭锁合闸/闭锁重点闸功能。

需要注意的是,由于将不同保护屏的闭锁合闸接点串接会造成合闸回路过长,合闸回路压降需要重点验算。对于压降不满足的回路,可以增加继电器重动闭锁信号缩短合闸回路长度。

2 技术路线比较研究

通过以上比较分析可以看到,几种操作回路的区别主要在于以下点:永跳保护采用电流保持回路或 LOCKOUT 回路;启动重合闸保护是否采用电流保持回路;同种类型保护的操作回路是否集成;外部回路接线是否根据保护类型区别配置。

1) 对于永跳回路,电流保持方案和采用 LOCK-OUT 继电器方案,都能保持跳闸信号直至断路器辅助接点变位切断控制回路。不同之处在于,电流保持方案保护动作复归只能复归信号,物理合闸回路并未被锁死;而 LOCKOUT 继电器方案保护动作不复归,物理合闸回路被切断不能进行正常合闸。

2) 是否采用电流保持回路是国内外操作回路的核⼼差异,采用电流保持的操作箱方案和直接重动的辅助继电器方案差异如图 8 所示。

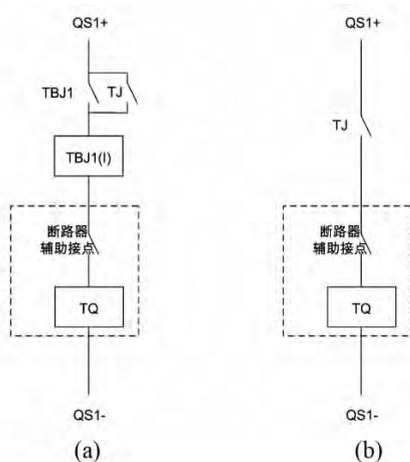


图 8 启动重合闸保护操作回路

正常情况下,两种方式都可以完成对断路器的正确控制。对于采用电流保持的操作回路,如图 8

(a),若断路器拒动或辅助接点不返回,操作回路将一直带电,直到回路中的元件烧毁,烧毁元件可能是断路器机构跳闸线圈 TQ;对于不采用电流保持、只采用继电器重动的操作回路,若断路器动作较慢、断路器拒动或辅助接点不返回,保护接点还返回时,如图 8 (b) 所示的回路并未由断路器辅助接点切断,只能由接点容量较弱的重动继电器的接点切断操作回路,容易引起继电器的烧毁。可以看到,针对断路器动作较慢的故障,电流保持回路优势明显;然而,针对断路器拒动或者辅助接点不返回的故障,重动继电器烧毁比机构跳闸线圈烧毁更容易检修,不采用合闸保持回路更有优势。若出现故障,在继电器室内更换可插拔继电器对于国外业主是较为便利的运行维护方式,因此,不采用分闸保持回路的方案在国外更受青睐。在设备推广时,断路器线圈接点配合时间表以及断路器拒动或者辅助接点不返回故障率等统计数据不易获得,因此,很难用数据向海外业主说明分合闸保护回路的可靠性。

3) 同种类型保护的操作回路(包括辅助继电器)是否集成,除涉及到技术问题外,还涉及到事故责任纠纷等管理问题。连接到操作回路的所有保护由不同的厂家供货,或不属于同一业主(国外),独立的操作回路有利于明确各保护厂家、各业主公司管理责任。对于海外多业主变电站/换流站,要想将国内经济指标更优的操作箱方式进行推广,需要海外业主认可新的接口划分方式,将保护与断路器的接口从断路器机构跳闸输入处提前到操作箱的跳闸输入处。

4) 外部回路接线是否根据保护类型分别配置与装置运行故障率有关。对于单套保护,采用两副跳闸接点分别接到不同操作回路是唯一做法。对于双套保护(或三套保护双套出口),保护出口和跳闸回路采用“单对单”连接还是“双交叉”连接主要取决于各环节的稳定性,若各环节设备故障率都极低,建议采用“单对单”连接方式;对于某一环节故障率较高的情况(如电子式 CT 的故障率较高导致的直流保护故障率稍高),建议采用“双交叉”的连接方式。

3 结 语

海内外高压断路器操作回路的设计有较大差别, 因此在进行海外工程操作回路设计时, 一方面需要向国外用户充分展示设计方案差异的内在原因, 尽可能推广经济性更优的国产设备与设计思路; 另一方面需要根据设备装置的应用背景, 如断路器的多发故障类型、保护装置包括测量回路的故障概率, 结合丰富的运行数据对设备及设计方案进行理性改善。

具体到操作箱设备海外推广层面, 现阶段有以下3点主要工作可以进行: 1) 在工程前期与海外业主交流时, 要积极利用与业主二次工程师交流机会, 详尽阐述操作箱方案的工作原理与国内外操作回路差异, 重点强调操作箱方式的简洁设计及其较低运行维护工作量; 2) 收集国内变电站操作箱方式的运行维护数据, 用实际数据消除海外业主对操作箱方式及其分合闸电流保持回路可靠性的疑虑; 3) 海外工程前期, 可加强国内外运行维护部门的需求对接, 电气二次专业是国内外变电站/换流站设计差异较大的专业, 是否能够就差异达成共识往往会影响工程建设进度甚至影响里程碑, 因此有必要对二次设计的根源——运行维护差异进行深入沟通, 在推广设备的同时推广中国运行维护模式, 增强中国电力设备及电力技术在世界范围的影响力。

参考文献

[1] 刘振亚. 构建全球能源互联网推动能源清洁绿色发展[J]. 中国经贸导刊, 2016(9): 56-56.

(上接第42页)

参考文献

[1] 黄胜. 变电站综合自动化改造存在的问题[J]. 四川电力技术, 2010, 33(2): 57-59.
[2] 吴文联, 徐建平, 黄腾. 110 kV 母线差动保护升级改造工程中的问题分析[J]. 浙江电力, 2013, 32(61): 58-61.
[3] 汪熙珍. 浅谈数字化变电站电气二次架构设计[J]. 四川电力技术, 2009, 32(3): 68-70.
[4] 肖磊石, 张波, 李谦, 等. 分布式等电位接地网与变电

[2] 李朝兴. 关于以一带一路为突破口积极推进构建全球能源互联网的建议[J]. 中国科技产业, 2015(5): 48-49.
[3] 曾鸣. “一带一路”战略下看中国与东南亚电力合作[J]. 中国电力企业管理, 2015(23): 75-77.
[4] 李蒲健. 深化中非电力能源合作+推进“一带一路”建设[J]. 中国勘察设计, 2019(7): 25-32.
[5] 兀鹏越, 董志成, 陈琨, 等. 高压断路器防跳回路的应用及问题探讨[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(10): 106-109.
[6] 颜华敏, 顾国平, 陆敏安, 等. 一起断路器防跳回路异常分析及改造[J]. 电力系统保护, 2010, 38(12): 138-140.
[7] 黄超, 胡楠楠. 断路器防跳回路失灵案例分析及改进措施[J]. 南方电网技术, 2012, 6(1): 91-93.
[8] 郭占伟, 原爱芳, 等. 断路器操作回路详述[J]. 继电器, 2004, 32(3): 67-70.
[9] 朱韬析, 史志鸿, 郭卫明, 等. 断路器操作箱和就地操作机构内合闸回路的配合问题[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(8): 115-119.
[10] 曹树江, 林榕. 断路器操作机构与继电保护控制回路的协调与配合[J]. 继电器, 2005, 33(24): 72-77.
[11] 张志华, 冯辰虎. 220 kV 断路器操作箱与断路器二次回路的配路[J]. 华北电力技术, 2006(11): 48-50.
[12] 张群英, 马振国, 齐玮, 等. 500 kV 断路器二次控制回路分析[J]. 山西电力, 2008, 33(6): 57-59.

作者简介:

刘超(1986), 男, 硕士, 工程师, 从事变电电气二次设计工作。

(收稿日期: 2020-07-08)

站主接地网连接方式[J]. 高电压技术, 2015, 41(12): 4226-4232.

[5] 刘阳, 刘俊勇, 张建明. 传统变电站检修向数字化变电站状态检修转变[J]. 四川电力技术, 2009, 32(S1): 38-42.
[6] 蒋家宁. 变电站继电保护改造调试技术研究[J]. 机电技术应用, 2019(14): 174-174.

作者简介:

霍丹(1986), 男, 硕士研究生, 高级工程师、高级技师, 研究方向为智能变电站风险管控。

(收稿日期: 2020-05-06)