LOCKOUT 继电器在特高压直流工程二次回路中的应用研究

陈　鹏[1]，尹　刚[1]，郭力驰[2]，邹荣盛[1]，许　斌[1]
（1. 中南电力设计院有限公司，湖北 武汉　430072；
2. 国网湖北省电力有限公司，湖北 武汉　430000）

摘　要：由于巴西当地电网运行维护习惯不同，巴西美丽山二期 ±800 kV 特高压直流工程交流系统二次回路中的 LOCKOUT 继电器与中国工程的应用和配置原则存在较大的差别。详细分析和比较了巴西与中国特高压换流站交流系统典型的断路器操作回路的差异性，提出了适用于巴西当地电网运行维护要求的特高压换流站交流系统二次回路中 LOCKOUT 继电器的配置原则。并以欣古换流站交流滤波器小组断路器的操作回路为例，详细介绍了 LOCKOUT 继电器的启动和闭锁逻辑。所提出的 LOCKOUT 继电器的配置原则有利于更好地适应巴西当地的电网建设，为特高压直流输电技术走出国门、服务世界提供了强有力的技术支撑。

关键词：LOCKOUT 继电器；巴西美丽山二期 ±800 kV 特高压直流工程；断路器操作箱；二次回路设计
中图分类号：TM 77　**文献标志码**：A　**文章编号**：1003－6954(2021)04－0075－05
DOI：10.16527/j.issn.1003－6954.20210415

Application and Research of LOCKOUT Relay Used in Secondary Circuit of UHVDC Project

Chen Peng[1], Yin Gang[1], Guo Lichi[2], Zou Rongsheng[1], Xu Bin[1]
(1. Central Southern China Electric Power Design Institute Co., Ltd., Whuhan 430072, Hubei, China;
2. State Grid Hubei Electric Power Co., Ltd., Wuhan 430000, Hubei, China)

Abstract: Due to the different operation and maintenance habits of power grid in Brazil, the LOCKOUT relay used in circuit-breaker secondary circuit of Belo Mountain Ⅱ ±800 kV UHVDC project is different from its application and configuration principles of power grid in China. The differences between Brazil and China about the typical circuit-breaker operation circuit in AC system of UHVDC project are analyzed and compared. Then, the configuration principle for LOCKOUT relay of the circuit-breaker operation circuit in AC system of UHVDC project is put forward, which can meet the operation and maintenance requirements in Brazil. Moreover, taking the circuit-breaker operation circuit in Xingu converter station for example, the start-up and locking logic of LOCKOUT relay are introduced in detail. The proposed configuration principle for LOCKOUT relay is adapted to the construction of power grid in Brazil, and provides a support for the Chinese UHVDC technology to go abroad and service the "Belt and Road" countries.

Key words: LOCKOUT relay; Belo Mountain Ⅱ ± 800 kV UHVDC project; circuit-breaker operation interface equipment; secondary circuit design

0　引　言

巴西美丽山二期 ±800 kV 特高压直流工程（以下简称“巴西美二工程”）是中国第一个特高压直流输电技术、设计、装备、建设、运行维护全产业链“走出去”的电网工程，是中国在巴西乃至拉美地区推进“一带一路”倡议、构建全球能源互联网的重要实践，对实现中国特高压直流输电标准、技术和装备“走出去”具有重要战略意义[1-2]。

由于巴西当地电网的运行维护习惯与国内电网不同,巴西美二工程换流站交流系统的二次回路设计理念存在较大的差别。LOCKOUT 继电器(86)因其具有接点容量大、锁定保持等特点[3],广泛应用于巴西500 kV交流断路器的操作回路中,且断路器的操作回路需根据与其相关的交流保护功能要求进行单独设计。而国内特高压直流输电工程交流系统断路器通常采用标准化和集约化的操作箱或继电器箱实现不同的交流保护功能要求[4-5]。因此,国内成熟的特高压换流站二次系统设计经验不能完全满足巴西当地电网运行维护的要求。

为适应巴西美二工程换流站交流系统的二次回路设计理念,满足巴西当地电网运行维护要求,对巴西与国内特高压换流站交流系统典型的断路器操作回路进行了差异性分析,提出了适用于巴西当地电网运行维护要求的特高压换流站交流系统二次回路中LOCKOUT继电器的配置原则。并以巴西美二工程中具体的断路器操作回路为例,详细介绍了LOCKOUT继电器的启动和闭锁逻辑。所提出的LOCKOUT继电器的配置原则有利于更好地适应巴西当地的电网建设,为特高压直流输电技术走出国门、服务世界提供了强有力的技术支撑。

1 国内与巴西美二工程交流断路器操作回路差异性分析

国内特高压直流换流站的500 kV及以上交流系统主要包括交流串、交流滤波器、变压器、高压电抗器等设备。500 kV及以上交流系统保护主要包括:线路保护、母线差动保护、断路器失灵保护以及变压器和高压电抗器等元件保护。交流滤波器保护虽然是属于直流系统保护的一部分,但其保护配置和出口回路设计与交流系统保护类似。以上交流保护除了断路器失灵保护为单套配置外,其他的保护均为双重化配置,且全站计算机监控系统的测控装置为双重化配置[6-8]。

巴西美二工程的500 kV交流系统保护配置与国内特高压直流换流站的配置基本相同,但是其交流断路器操作回路的设计与国内特高压直流换流站的设计存在较大的差异。特高压直流换流站交流断路器操作回路通常有操作箱和出口继电器两种方式,接下来将对两种方式下的断路器操作回路进行分析。

1.1 采用操作箱方式

国内特高压直流换流站500 kV及以上交流系统保护的出口回路通常采用配置分相操作箱的方式[9-10]。分相操作箱主要包含2组分相跳闸回路和1组分相合闸回路,操作箱集成跳闸/合闸保持、跳位/合位监视、防跳回路、三相不一致保护、手动合闸/分闸、重合闸、等功能。以国内某特高直流换流站500 kV交流断路器操作回路为例,双重化配置的保护中任意一套保护动作后,根据保护装置判断结果启动断路器操作箱对应功能的跳闸继电器(TJR:启动失灵不启动重合闸;TJQ:启动失灵启动重合闸;TJF:不启动失灵不启动重合闸)。并将对应功能的跳闸继电器的节点接入交流断路器机构箱内的跳闸回路,实现保护跳闸的功能,如图1所示。

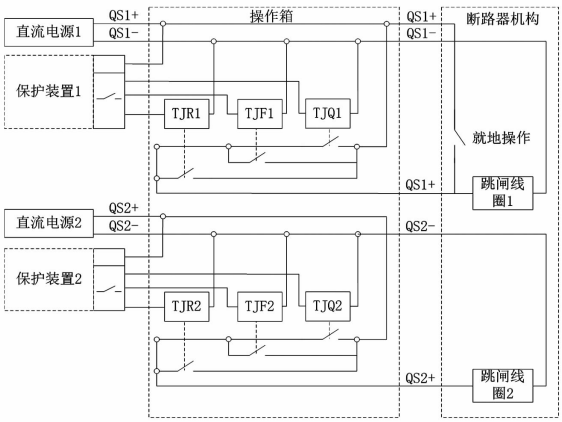

图1 采用操作箱的断路器操作回路

1.2 采用出口继电器方式

1)LOCKOUT继电器用于跳闸保持

国内某区域电网要求500 kV及以上交流断路器操作回路不直接利用操作箱中的TJR、TJQ、TJF继电器来实现断路器失灵保护和重合闸功能是否启动,而是通过采用单独的出口继电器实现断路器失灵保护启动、重合闸功能的闭锁和启动功能。同时,在断路器的跳闸回路中并接LOCKOUT继电器的常开接点,如图2所示。

图2示意了第一套断路器跳闸回路。第二套断路器跳闸回路与第一套线圈回路的原理相同,且第二套断路器跳闸回路和第一套断路器跳闸回路不共用LOCKOUT继电器,LOCKOUT继电器的动作逻辑如下:

(1)正常情况下,LOCKOUT继电器的线圈不带电,且接在断路器跳闸回路的LOCKOUT继电器节点断开;

(2)当失灵保护动作要求跳本断路器或其他断路器失灵保护动作要求联跳本断路器时,LOCKOUT 继电器的线圈带电,且接在断路器跳闸回路的 LOCKOUT 继电器节点闭合,本断路器跳闸,且一直保持断路器跳闸线圈带电,直到人为对 LOCKOUT 继电器进行复归(远方手动或就地手动),本断路器跳闸保持才取消,如图 2 所示。

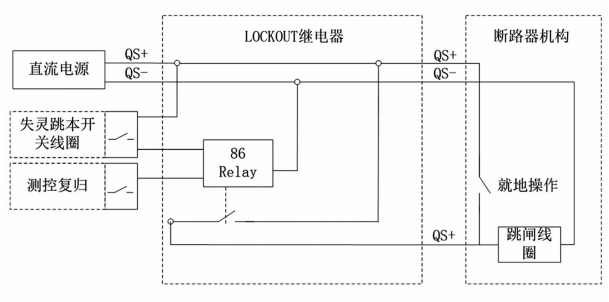

图 2　LOCKOUT 继电器用于跳闸保持回路

2)LOCKOUT 继电器用于合闸闭锁

巴西美二工程的 500 kV 交流断路器的操作回路与国内工程不同,其操作回路不设置统一的操作箱,而是针对每个断路器间隔,根据交流保护的动作结果单独设置断路器操作回路。并在直接出口跳闸本断路器的保护装置中设置 LOCKOUT 继电器,并将 LOCKOUT 继电器的常闭接点串接在断路器的合闸回路中,如图 3 所示。

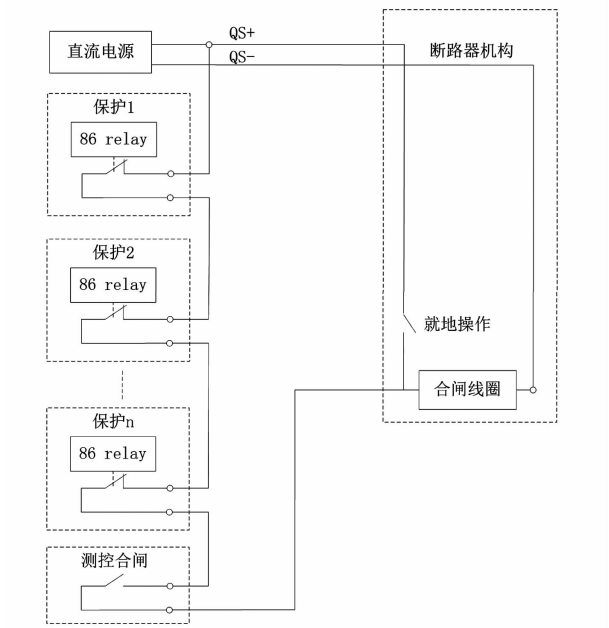

图 3　LOCKOUT 继电器用于合闸闭锁回路示意

图 3 为断路器合闸闭锁回路示意图,其中,保护 1、保护 2,…,保护 n 为直接出口跳闸本断路器的保护,且双重化配置的保护装置共用 1 个 LOCKOUT 继电器,LOCKOUT 继电器的动作逻辑如下:

(1)正常情况下,保护装置中的 LOCKOUT 继电器不带电,常闭接点闭合,测控装置可直接对断路器进行合闸操作。

(2)某保护动作后,保护出口跳开断路器,并同时启动 LOCKOUT 继电器,LOCKOUT 继电器的常闭接点断开,即对断路器的合闸回路进行闭锁。此时,无论保护装置是否复归,断路器都不能进行合闸操作,直到人为对动作后的保护装置中的 LOCKOUT 继电器进行复归(远方手动或就地手动),才能解除闭锁,对断路器进行合闸操作。

2　适用于巴西美二工程的 LOCKOUT 继电器的配置原则

在巴西美二工程中,LOCKOUT 继电器用于闭锁断路器合闸回路,不因保护装置复归而解除合闸回路闭锁,有利于断路器合闸回路闭锁的持续性,能够有效地避免保护动作后断路器合闸的误操作,对提高特高压直流输电工程的可靠性和运维人员的安全性具有积极作用,该设计方案在巴西美二工程中得到了广泛应用。但是 LOCKOUT 继电器的配置增加了断路器操作回路的复杂程度,不利于交流系统二次回路的设计标准化和功能集成化,且 LOCKOUT 继电器的配置原则与交流系统保护的动作逻辑关系密切,因此,亟需提出符合巴西当地运行习惯的 LOCKOUT 继电器的配置原则,为后续直流工程设计提供有利的技术支撑。针对巴西美二工程中 LOCKOUT 继电器的配置情况,提出了适用于该工程的 LOCKOUT 继电器的配置原则,主要包括:

1)除线路保护之外的双重化的保护(如母差保护、变压器保护、断路器失灵保护等)共用 1 个 LOCKOUT 继电器,且 LOCKOUT 继电器配置在第一套保护屏内,任意一套保护动作均可启动对应的 LOCKOUT 继电器;且与本断路器跳闸相关的保护对应的 LOCKOUT 继电器,其常闭接点均需要串接入本断路器的合闸回路中。

2)变压器保护、高压电抗器保护、滤波器保护和断路器失灵保护等保护动作启动其对应的 LOCKOUT 继电器。为保护设备免受故障电流冲击造成事故扩大,变压器保护、高压电抗器保护、滤波器保护和断路器失灵保护等保护动作后均不需要进

行重合闸操作,因此,在上述保护的出口回路均配置 LOCKOUT 继电器,闭锁跳闸后断路器的合闸回路。

3)母差保护动作跳闸和断路器失灵联跳母差保护不共用 LOCKOUT 继电器。500 kV 交流系统母差保护动作的原因有两种:一是交流母线发生短路故障,母差保护动作跳开母线上的所有断路器;二是断路器失灵保护动作,为及时隔离故障,联动母差保护,跳开母线上的所有断路器。在巴西美二工程中,母差保护提供 2 个出口,分别为母线故障的保护动作出口和失灵联跳的的保护动作出口,2 个出口不共用 LOCKOUT 继电器,母差保护装置根据保护动作的判据分别启动不同的 LOCKOUT 继电器,对所有跳开的断路器进行合闸回路闭锁,如图 4 所示。

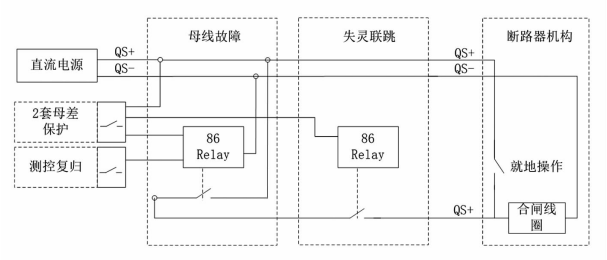

图 4 母差保护启动 LOCKOUT 继电器

4)线路保护不配置 LOCKOUT 继电器,线路保护集成远跳功能需启动 LOCKOUT 继电器。为防止瞬时性故障造成输电线路跳闸停运,线路保护跳闸后需启动断路器重合闸装置,故线路保护不配置 LOCKOUT 继电器。但巴西美二工程的 500 kV 线路保护集成了远跳线路对侧断路器的功能,通常情况下本侧交流母线发生故障或断路器失灵时,母差保护动作虽切除本侧断路器,但故障依然没有切除,且故障不在线路保护范围内,此时需通过远跳功能瞬时跳开对侧断路器,并闭锁对侧断路器合闸,达到彻底切除故障的目的。

3 LOCKOUT 继电器在巴西美二工程中的应用

欣古换流站是巴西美二工程送端换流站。欣古换流站 500 kV 交流系统采用 3/2 接线方式,本期 1 回出线、2 回换流变压器进线和 3 回交流滤波器大组出线,共 6 组进出线,组成 3 个完整串;交流滤波器大组母线采用单母线接线方式,3 回小组滤波器进线,1 回大组滤波器出线接入 500 kV 交流串中。欣古换流站 500 kV 交流系统电气主接线如图 5 所示。

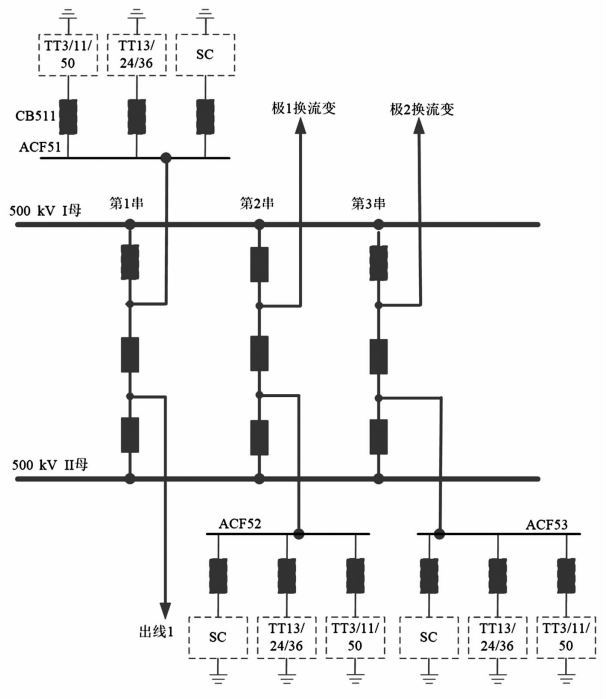

图 5 欣古换流站 500 kV 交流系统电气主接线

由于巴西美二工程的每个断路器操作回路需要对与该断路器相关的交流保护的功能要求进行单独设计,且 LOCKOUT 继电器与交流保护的动作特性密切相关。为详细分析巴西美二工程交流断路器操作回路的设计特点,以欣古换流站 500 kV 交流滤波器小组断路器的合闸回路为例,对 LOCKOUT 继电器在巴西美二工程中的应用进行详细说明。

在图 5 中,CB511 为 500 kV 第一大组交流滤波器 TT3/11/50 小组的并网断路器,由欣古换流站的交流保护配置可知,与 CB511 断路器出口跳闸相关的保护装置主要包括 ACF51 交流滤波器大组保护装置、交流滤波器 TT3/11/50 小组保护装置、CB511 本身的断路器失灵保护装置,且交流滤波器大组保护和交流滤波器小组保护双重化配置,断路器失灵保护单套配置。

交流滤波器大组保护的 LOCKOUT 继电器布置在交流滤波器大组保护屏 1 中,交流滤波器大组保护 2 与交流滤波器大组保护 1 共用 1 个 LOCKOUT 继电器;TT3/11/50 小组保护的 LOCKOUT 继电器布置在 TT3/11/50 小组保护保护屏 1 中,TT3/11/50 小组保护 2 与 TT3/11/50 小组保护 1 共用 1 个 LOCKOUT 继电器;CB511 本身的断路器失灵保护配置 1 个 LOCKOUT 继电器。上述 LOCKOUT 继电器的常闭节点均串接在断路器合闸回路中,用于闭锁该断路器合闸回路,并考虑到交流滤波器小组断路

器配置选相合闸装置,CB511 的断路器合闸回路具体接线如图 6 所示。

图 6 中,正常情况下,可通过测控装置对 CB511 断路器进行合闸操作;当发生故障时,交流滤波器大组保护、TT3/11/50 小组保护或断路器失灵保护中任意保护动作,跳开 CB511 断路器,同时保护动作均启动其对应的 LOCKOUT 继电器,对应合闸回路中 LOCKOUT 继电器的常闭接点断开,对断路器合闸回路进行闭锁保持。此时,无法通过测控装置对断路器进行合闸操作,直到通过测控对动作的 LOCKOUT 继电器进行复归操作,断路器才能合闸。

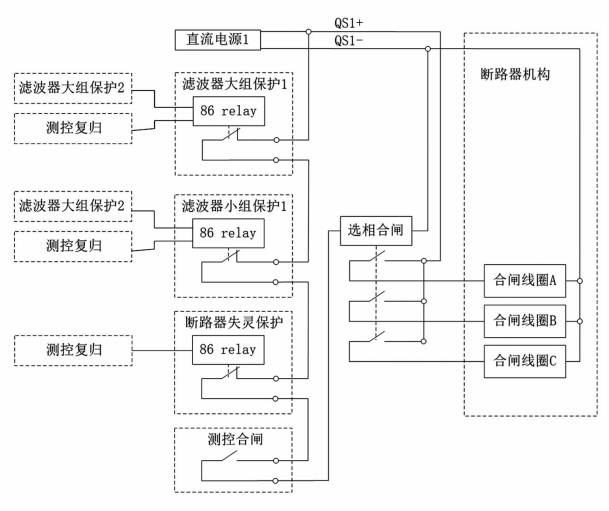

图 6　交流滤波器小组断路器合闸回路接线

以上为欣古换流站 500 kV 交流滤波器小组断路器的合闸回路原理接线方式,其他 500 kV 交流断路器的接线方式在考虑到与对应断路器相关的保护配置后,其合闸回路的接线方式类似,不再赘述。

4　结　语

针对巴西美二工程与国内特高压换流站交流系统二次回路中的 LOCKOUT 继电器的应用和配置原则不同的问题,详细分析和比较了巴西与国内特高压换流站交流系统典型的断路器操作回路的差异性,提出了适用于巴西当地电网运行维护习惯的特高压换流站交流系统二次回路中 LOCKOUT 继电器的配置原则,得出的主要结论如下:

1)巴西美二工程中 LOCKOUT 继电器用于闭锁断路器合闸;

2)母差保护、变压器保护、断路器失灵保护、交流滤波器保护等不需要重合闸的保护,均需要启动 LOCKOUT 继电器,且双重化或三重化的保护可共用 LOCKOUT 继电器;

3)母差保护动作跳闸和断路器失灵联跳母差保护不共用 LOCKOUT 继电器;

4)线路保护不需要启动 LOCKOUT 继电器,但线路保护中集成的远跳功能需要启动 LOCKOUT 继电器。

参考文献

[1]　刘振亚. 全球能源互联网[M]. 北京:中国电力出版社,2015.

[2]　赵婉君. 高压直流输电工程技术(第二版)[M]. 北京:中国电力出版社,2011.

[3]　IEEE Standard for Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms, and Contact Designations: IEEE Std C37. 2™—2008 [S],2008.

[4]　兰岚,万伟民. 基于微机继电保护装置的集成化保护和控制系统设计[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(8):111 - 114.

[5]　曹树林,林榕. 断路器操动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 - 76.

[6]　±800 kV 直流换流站设计规范:GB/T 50789—2012 [S]. 北京:中国电力出版社,2012.

[7]　高压直流输电系统控制与保护设备 第 1 部分 运行人员控制系统:GB/T 22390. 1—2008[S]. 北京:中国电力出版社,2008.

[8]　高压直流输电系统控制与保护设备 第 2 部分 交直流系统站控设备:GB/T 22390. 2—2008[S]. 北京:中国电力出版社,2008.

[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]　李扬. 西门子断路器二次控制回路的比较[J]. 电力建设, 2009,30(11):96 - 98.

作者简介:

陈　鹏(1990),男,硕士,工程师,主要研究方向为特高压直流输电技术、柔性直流输电技术等;

尹　刚(1984),男,硕士研究生,高级工程师,主要研究方向为电力系统保护与控制、变电二次设计。

(收稿日期:2021 - 01 - 22)