断路器闭锁分合闸的处理方法研究和实例分析

杨浚文[1]，朱余启[1]，姚 勇[2]，黄宋波[1]，王珍意[1]

(1.云南电力调度控制中心，云南 昆明 650011；2.国家电网公司重庆市区供电局，重庆 400015)

摘要：断路器闭锁分合闸是调度运行中会遇到的一类重大缺陷。该缺陷若不及时处理，在电网发生故障时可能扩大停电范围，甚至造成系统运行失稳风险。首先对断路器闭锁分合闸前后的系统运行极限进行了对比分析，表明断路器闭锁分合闸后电网已进入紧急状态, 需对相关断面进行潮流控制。然后对一些典型接线方式下断路器闭锁分合闸的如何处理进行讨论，提出在不能带电处理情况下，典型接线方式下隔离处理闭锁断路器的方法。最后对断路器隔离处理期间的风险进行了分析，提出相关防控要求，避免处理过程中再发生 *N*-1 故障导致局部电网解列或系统失稳。

关键词：断路器；闭锁分合闸；缺陷处理；实例分析；调度运行

Case analysis and study on treatment of open-close blocked breaker

YANG Junwen[1], ZHU Yuqi[1], YAO Yong[2], HUANG Songbo[1], WANG Zhenyi[1]
(1. Yunnan Power Dispatching and Control Center, Kunming 650011, China;
2. State Grid Chongqing Urban Power Supply Bureau, Chongqing 400015, China)

Abstract: The open-close block of breaker is one of the serious defects in power dispatching. It may expand the range of outage and even cause power system instability after fault if not be treated in time. Analysis on system sending limitation before and after the open-close blocked of breaker is proposed to prove power grid has been operated into the state of emergency and power flow of the corresponding transmission section should be limited. Discussion on treatment of open-close blocked breaker in typical connection modes without outage of equipment is presented. Finally, risk analysis during the isolation of breaker is proposed and the corresponding prevention and control requirements are introduced to avoid local grid islanding or system instability after *N*-1 fault during defect treatment.

Key words: breaker; open-close blocked; defect treatment; case analysis; dispatching operation

中图分类号： TM732 文献标识码：A 文章编号： 1674-3415(2015)15-0132-05

0 引言

断路器在运行中，本体 SF_6 气体压力异常，操作机构的液压、弹簧压力异常等，都可能导致断路器出现闭锁分合闸，这是电网调度运行会遇到的一类重大缺陷。若运行中断路器闭锁分合闸不及时处理，在电网发生故障时，保护装置动作并向闭锁断路器发送分闸信号，但断路器将拒动，不能正常跳闸切除故障，此时只能靠失灵保护或后备保护动作来隔离故障，扩大系统故障引起的停电范围，在某些运行方式下系统甚至存在失稳风险。这时电网所面临的风险不能用传统的*N*−1 系统安全准则判断[1-3]，所以在出现断路器闭锁分合闸后，应迅速对电网进行调控，并尽快对闭锁断路器进行处理。处理断路器闭锁分合闸缺陷，首先应考虑带电处理，若不能带电处理，则应根据断路器所在厂站接线方式的特点，调整运行方式将闭锁断路器从系统中隔离后再处理缺陷。在大多数情况下，隔离闭锁断路器时需将其相邻间隔的元件停电，这将形成新的运行风险。

1 断路器闭锁分合闸后的实例分析

首先通过云南电网内两个例子对断路器闭锁分合闸后的风险进行分析。

1) 500 kV 大宝Ⅰ回线两侧厂站大朝山电厂和 500 kV 宝峰变的部分接线图如图 1 所示。若大朝山电厂 500 kV 第一串联络 5012 断路器闭锁分合闸，则若 500 kV 大宝Ⅰ回线发生永久性故障，线路保护动作将断开宝峰变侧 500 kV 大宝Ⅰ回线 5073 断路器及 500 kV 第七串联络 5072 断路器，大朝山电厂侧 500 kV 大宝Ⅰ回线 5011 断路器也将断开，但大

朝山电厂 500 kV 第一串联络 5012 断路器将拒动，断路器失灵保护经延时将动作跳开 500 kV#1、#2 主变 500 kV 侧 5013 断路器，以及#1、#2 机出口断路器，最终隔离故障。

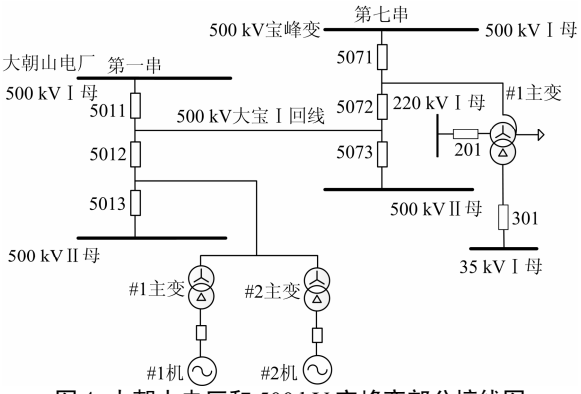

图 1 大朝山电厂和 500 kV 宝峰变部分接线图

Fig. 1 Partial network of Dachaoshan Power Plant and 500 kV Baofeng Substation

大朝山电厂仅通过 500 kV 大宝双回线断面送出，通过 PSD-BPA 暂态稳定程序分析计算正常情况下 500 kV 大宝双回线的送出极限，5012 断路器单相拒动以及三相拒动情况下的送出极限，得到结果如表 1 所示。(计算故障均为三相短路永久性故障，断路器失灵保护动作延时按 0.3 s 计算，下同)。

表 1 各方式下 500 kV 大宝双回线送出极限

Table 1 System sending limitation of 500 kV Dabao double-circuit lines in different operation modes

运行方式	正常无检修方式	大朝山电厂 500 kV 第一串联络 5012 断路器单相闭锁	大朝山电厂 500 kV 第一串联络 5012 断路器三相闭锁
500 kV 大宝双回线送出极限/MW	1 400	1 350	250

2) 500 kV 德宏博尚Ⅰ回线两侧厂站 500 kV 德宏变和 500 kV 博尚变的部分接线图如图 2 所示，其中 500 kV 博尚变侧有线路串补及高抗。若 500 kV 博尚变 500 kV 德宏博尚Ⅰ回线串补主旁路 5101 断路器闭锁分合闸，则若 500 kV 德宏博尚Ⅰ回线串补本体发生永久性故障，串补本体保护动作将合上主旁路 5101 断路器，但由于断路器拒动，5101 断路器失灵保护将动作，经延时跳开 500 kV 博尚变 500 kV 德宏博尚Ⅰ回线 5353 断路器及 500 kV 第五串联络 5352 断路器，跳开 500 kV 德宏变 500 kV 德宏博尚Ⅰ回线 5653 断路器和 500 kV 第五串联络 5652 断路器，最终隔离故障。

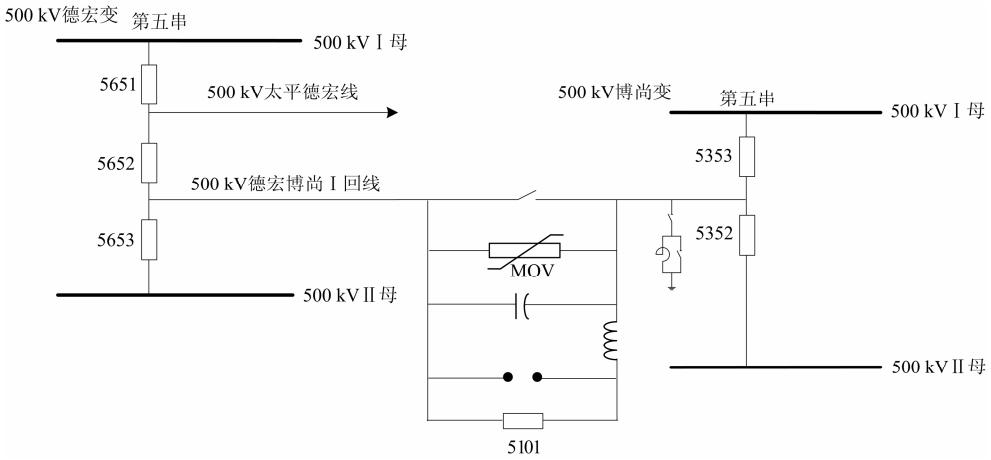

图 2 500 kV 德宏变和 500 kV 博尚变部分接线图

Fig. 2 Partial network of 500 kV Dehong Substation and 500 kV Boshang Substation

德宏地区电网仅通过 500 kV 德宏博尚双回线断面送出，通过 PSD-BPA 暂态稳定程序分析计算正常情况下 500 kV 德宏博尚双回线的送出极限，主旁路5101断路器单相拒动以及三相拒动情况下的送出极限，得到结果如表 2 所示。

通过以上两个例子可以看出，断路器单相闭锁以及三相闭锁情况下相关断面的极限与正常无检修方式下相比下降，特别是断路器三相闭锁情况下相关断面极限大幅下降。在断路器闭锁缺陷未处理前，

表 2 各方式下 500 kV 德宏博尚双回线送出极限

Table 2 System sending limitation of 500 kV Dehongboshang double-circuit lines in different operation modes

运行方式	正常无检修方式	500 kV 博尚变 500 kV 德宏博尚Ⅰ回线串补主旁路 5101 断路器单相闭锁	500 kV 博尚变 500 kV 德宏博尚Ⅰ回线串补主旁路 5101 断路器三相闭锁
500 kV 德宏博尚双线送出极限/MW	1 925	1 790	1 060

若不及时将相关断面潮流进行控制，电网发生 N-1 故障后即使失灵保护和后备保护正确动作，电网也存在失稳的风险。此时电网已进入紧急状态[4]，需立即采取措施进行处理。

2 典型接线方式断路器闭锁分合闸的处理

断路器闭锁分合闸后，虽可以通过隔离开关拉合电容电流在允许范围内的空母线及空载线路[5]，以隔离断路器，但实际运行中大部分厂站未进行过该类操作，考虑设备的安全性以及非常规操作的风险，且 220 kV 及以上电压等级一般严禁用隔离开关拉合空载线路[6]，应采取停运闭锁断路器间隔的相邻元件，以隔离闭锁断路器的方式处理。

以下就一些典型接线方式下断路器闭锁分合闸的处理方法进行简要的分析。

2.1 主接线为双母线接线形式

目前新投产的 220 kV 及以上变电站中，已很少采用双母线带旁路母线的接线方式，且文献[7]中对双母线带旁路母线的接线方式下的讨论已比较详细，在此不再赘述。双母线接线形式变电站出现断路器闭锁分合闸后的处理方案如下。

2.1.1 出线断路器或主变高压侧断路器

首先采取倒母线操作，将闭锁断路器所处母线其余断路器倒至另一组母线。若闭锁断路器为出线断路器，断开线路对侧的出线断路器，若闭锁断路器为主变高压侧断路器，则断开主变中低压侧断路器，然后断开本侧母联断路器，解除断路器两侧隔离开关的防误闭锁，再拉开断路器两侧的隔离开关，退出断路器的启动失灵保护，做好一、二次安全措施后对断路器进行处理。

如图 3 所示，若线路甲 281 断路器上Ⅰ组母线，则线路甲 281 断路器闭锁分合闸后，进行处理时，首先将Ⅰ组母线其余断路器倒至Ⅱ组母线，然后断开线路甲对侧的 263 断路器，再断开本侧站内的母联 212 断路器，解除 281 断路器两侧隔离开关的防误闭锁，然后拉开 281 断路器两侧的隔离开关，退出 281 断路器的启动失灵保护，做好一、二次安全措施后对 281 断路器进行处理。

2.1.2 母联断路器

母联断路器闭锁分合闸后，若短时内无法处理，可以考虑将母差保护调整为大差方式，保证保护的速动性。若考虑母线上所有出线断路器以及主变高压侧断路器断开后，再隔离处理母联断路器，停电范围较大，处理复杂，所以可以优先考虑将所有元件倒至一组母线后，直接拉开母联断路器两侧隔离开关，隔离母联断路器处理。

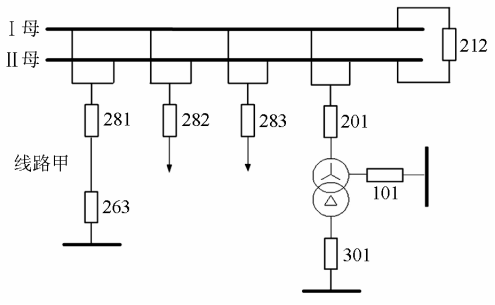

图 3 双母线接线

Fig. 3 Double bus connection mode

如图 3 所示，若母联 212 断路器闭锁分合闸，首先将母差保护调整为大差方式，然后将所有元件倒至Ⅰ母，然后拉开 212 断路器两侧的隔离开关，做好一、二次安全措施后对 212 断路器进行处理。

2.2 主接线为双母分段方式接线形式

若出线回数较多，主接线采用双母线分段接线方式，其中单个分段断路器接线形式变电站出现断路器闭锁分合闸后的处理方案如下。

1) 出线断路器或主变高压侧断路器

处理方法基本同双母线接线方式，不再赘述。

2) 分段断路器

腾空分段断路器连接的两段母线，断开两段母线上其余的母联断路器，解除闭锁断路器两侧隔离开关的防误闭锁，拉开分段断路器两侧的隔离开关，做好一、二次安全措施后对分段断路器进行处理。

如图 4 所示，若分段 212 断路器闭锁分合闸，首先腾空Ⅰ、Ⅱ母，然后断开母联 213、223 断路器，解除 212 断路器两侧隔离开关的防误闭锁，然后拉开 212 断路器两侧的隔离开关，做好一、二次安全措施后对 212 断路器进行处理。

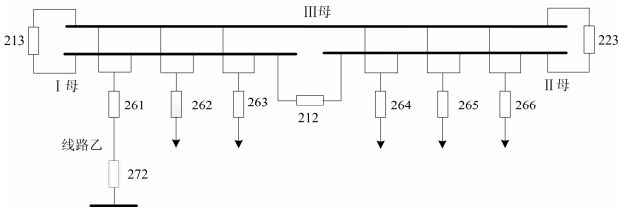

图 4 双母线分段接线

Fig. 4 Double bus with section breaker connection mode

3) 母联断路器

220 kV以下厂站可以考虑腾空一组母线后直接拉开母联断路器两侧的隔离开关，隔离处理母联断路器。

如图 3 所示，若母联 213 断路器闭锁分合闸，首先将Ⅰ-Ⅲ母的母差保护调整为大差方式，将Ⅰ母

所有元件倒至III母运行，断开分段 212 断路器，然后拉开母联 213 断路器两侧隔离开关，做好一、二次安全措施后对 213 断路器进行处理。

2.3 主接线为 3/2 接线形式

2.3.1 边断路器

首先断开边断路器相邻母线上所有其他断路器，停运母线，再断开闭锁断路器的相邻断路器，停运该边断路器和相邻断路器供电的线路或主变，解除闭锁断路器两侧隔离开关的防误闭锁，然后拉开断路器两侧的隔离开关，退出的断路器失灵保护，做好一二次安全措施后对断路器进行处理。

如图 1 所示，若 500 kV 宝峰变 500 kV#1 主变 500 kV 侧 5071 断路器闭锁分合闸，需要断开 500 kV 宝峰变 500 kV Ⅰ母上其余的断路器，断开 500 kV#1 主变 35 kV 侧 301 断路器及 220 kV 侧 201 断路器，断开 500 kV 第七串联络 5072 断路器，解除 5071 断路器两侧隔离开关的防误闭锁，然后拉开断路器两侧的隔离开关，退出的 5071 断路器失灵保护，做好一、二次安全措施后对断路器进行处理。

2.3.2 联络断路器

断开本串上闭锁断路器的相邻断路器，停运本串上所有的线路或主变。特别的，若该串为不完整串且一侧无边断路器，还需将该侧母线停运，最后解除闭锁断路器两侧隔离开关的防误闭锁，然后拉开断路器两侧的隔离开关，退出断路器的失灵保护，做好一、二次安全措施后对断路器进行处理。

如图 1 所示，若 500 kV 宝峰变 500 kV 第七串联络 5072 断路器闭锁分合闸，需断开 500 kV#1 主变 35 kV 侧 301 断路器及 220 kV 侧 201 断路器，断开 500 kV 宝峰变 5071 和 5073 断路器，断开大朝山电厂 500 kV 大宝Ⅰ回线 5011 和 5012 断路器，解除 5072 断路器两侧隔离开关的防误闭锁，然后拉开断路器两侧的隔离开关，退出的 5072 断路器失灵保护，做好一、二次安全措施后对断路器进行处理。

2.4 主接线为 4/3 接线形式

现如今部分大型电厂主接线采用 4/3 接线形式，在该种接线方式下，若某个断路器闭锁分合闸时，处理方法如下。

2.4.1 边断路器

首先断开边断路器相邻母线上所有其他断路器，停运母线，断开闭锁断路器的相邻的联络断路器，停运该边断路器和相邻断路器供电的线路或主变，解除闭锁断路器两侧隔离开关的防误闭锁，然后拉开断路器两侧的隔离开关，退出断路器的失灵保护，做好一、二次安全措施后对断路器进行处理。

如图 5 所示，若 A 电厂 500 kV#2 主变 500 kV 侧 5421 断路器闭锁分合闸，需要断开 A 电厂 500 kV Ⅰ母其余的断路器，停运#2 机，断开 500 kV 第二串联络甲 5422 断路器，解除 5421 断路器两侧隔离开关的防误闭锁，然后拉开断路器两侧的隔离开关，退出的 5421 断路器失灵保护，做好一、二次安全措施后对断路器进行处理。

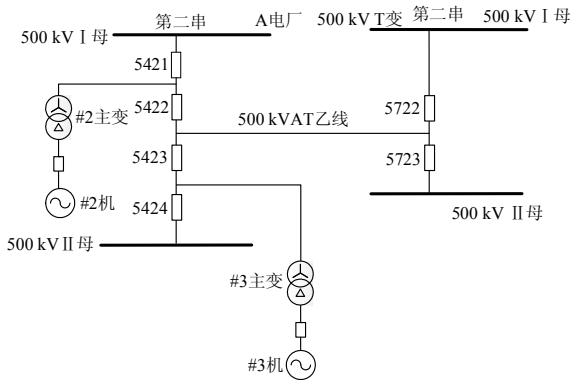

图 5 A 电厂和 500 kV T 变部分接线

Fig. 5 Partial network of A Power Plant and 500 kV T substation

2.4.2 联络断路器

断开该断路器相邻的边断路器和联络断路器，停运该断路器与相邻边断路器共同供电的线路或主变，停运该断路器与相邻联络断路器共同供电的线路或主变，解除闭锁断路器两侧隔离开关的防误闭锁，然后拉开断路器两侧的隔离开关，退出的断路器失灵保护，做好一、二次安全措施后对断路器进行处理。

如图 5 所示，若 A 电厂 500 kV 第二串联络甲 5422 断路器闭锁分合闸，需停运#2 机，断开 500 kV#2 主变 500 kV 侧 5421 断路器，断开 500 kV 第二串联络乙 5423 断路器，断开 500 kV T 变 500 kV AT 乙线 5723 和 5522 断路器，解除 5072 断路器两侧隔离开关的防误闭锁，然后拉开断路器两侧的隔离开关，退出的 5422 断路器失灵保护，做好一、二次安全措施后对断路器进行处理。

2.5 串补主旁路断路器闭锁的处理

串补主旁路断路器闭锁后，需要将线路停电，将主旁路断路器隔离，解除闭锁断路器两侧隔离开关的防误闭锁，然后拉开断路器两侧的隔离开关，退出串补本体及远跳保护，做好一、二次安全措施后对断路器进行处理。

如图 2 所示，若 500 kV 德宏博尚Ⅰ回线串补主旁路 5101 断路器闭锁分合闸，需要断开 500 kV 德宏博尚Ⅰ回线两侧断路器将线路停运，拉开 5101 断路器两侧的隔离开关，退出串补本体及远跳保护，

做好一、二次安全措施后对断路器进行处理。

3 断路器闭锁分合闸处理期间的风险分析

如本文第 2 部分所述，若采取相关措施，隔离闭锁断路器进行处理期间，一般需要陪停元件以隔离闭锁断路器，这将会引起新的系统风险。处理期间系统的风险分析及防控要求如表 3 所示。

表 3 各接线方式下闭锁断路器处理期间的风险分析及防控要求

Table 3 Risk analysis and prevention-control requirements during the isolation of breaker in different connection modes

接线方式	闭锁断路器	处理期间风险	防控要求
双母线	出线断路器或主变高压侧断路器	陪停母线期间若运行母线跳闸，存在全站对外停电的风险。	系统内相关断面需按出线(或主变)停运后要求控制，需加强运行母线的维护。
双母线	母联断路器	陪停母线期间若运行母线跳闸，存在全站对外停电的风险。	加强运行母线的维护。
双母线分段	出线断路器或主变高压侧断路器	陪停母线期间若运行母线跳闸，该组母线上所有出线及主变全停。	系统内相关断面需按出线(或主变)停运后要求控制，需加强运行母线的维护。
双母线分段	分段断路器	陪停母线期间若运行母线跳闸，存在全站对外停电的风险。	加强运行母线的维护。
双母线分段	母联断路器	陪停母线期间若运行母线跳闸，该组母线上所有出线及主变全停。	加强运行母线的维护。
3/2 接线(4/3 接线)	边断路器	需陪停边断路器相邻母线，陪停该边断路器和相邻断路器供电的元件。	系统内相关断面需按元件停运后要求控制，需加强运行元件的维护。
3/2 接线	联络断路器	需陪停本串上的线路或主变，不完整串还需陪停相邻母线。	系统内相关断面需按元件停运后要求控制，需加强运行元件的维护。
4/3 接线	联络断路器	需陪停与相邻边断路器共同供电的元件，陪停与相邻联络断路器共同供电的线路或主变。	系统内相关断面需按元件停运后要求控制，需加强运行元件的维护。
串补线路	串补主旁路断路器	需陪停串补所处线路	系统内相关断面需按线路停运后要求控制。

4 结语

断路器闭锁分合闸是电网调度中的一项紧急缺陷，无论在缺陷处理前或处理过程中，电网都存在着极大的风险。为控制电网的运行风险，在缺陷处理前，应按断路器拒动，断路器失灵和后备保护动作情况下相关断面的输送极限来进行潮流控制。若该缺陷不能带电处理，则应根据断路器所在厂站接线方式的特点，通过调整运行方式进行处理。若在隔离处理过程中需要陪停元件，应考虑尽量缩小停电范围，并考虑相关元件陪停后电网的运行风险，避免处理过程中再发生 N-1 故障导致局部电网解列或系统失稳。

参考文献

[1] 倪宏坤, 徐玉琴, 王立晶. 电力系统并行输电断面风险评估的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(9): 93-95.
NI Hongkun, XU Yuqin, WANG Lijing. Research on risk assessment of power system parallel transmission section[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(9): 93-95.

[2] 顾雪平, 张硕, 梁海平, 等. 考虑系统运行状况的电网连锁故障风险性评估[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(24): 124-130.
GU Xueping, ZHANG Shuo, LIANG Haiping, et al. Risk assessment of power grid cascading failure considering system operation conditions[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(24): 124-130.

[3] 杨明玉, 田浩, 姚万业. 基于继电保护隐性故障的电力系统连锁故障分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(9): 1-5.
YANG Mingyu, TIAN Hao, YAO Wanye. Analysis of power system cascading failure based on hidden failures of protective relaying[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(9): 1-5.

[4] 袁季修. 防御大停电的广域保护和紧急控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.

[5] 云南电网调度管理规程[S]. 昆明: 云南电网公司, 2004.

[6] Q/CSG 2 1003-2008 中国南方电网电力调度管理规程[S]. 广州: 中国南方电网有限责任公司, 2008.

[7] 王珍意. 对闭锁分合闸断路器隔离方法的探讨[J]. 继电器, 2007, 35(增刊): 448-451.
WANG Zhenyi. Research on the method of isolating the open-close blocked breaker[J]. Southern Power System Technology, 2007, 35(S): 448-451.

收稿日期：2014-10-25； 修回日期：2015-01-22

作者简介：

杨浚文(1985-)，男，通信作者，硕士研究生，研究方向为电力系统运行与控制；E-mail: junwenyang_1@163.com

朱余启(1984-)，男，硕士研究生，工程师，研究方向为电力系统调度与运行；

姚 勇(1986-)，男，硕士研究生，工程师，研究方向为电力系统运行与控制。

(编辑 张爱琴)