

## 兴安直流 2012 年度运行情况分析

曾丽<sup>1</sup>, 郑伟<sup>2</sup>, 邬乾晋<sup>2</sup>

(1. 中国南方电网超高压输电公司广州局, 广东 广州 510663;  
2. 中国南方电网超高压输电公司检修试验中心, 广东 广州 510663)

**摘要:**总结了兴安直流输电系统 2012 年度的运行情况, 统计了能量可用率、强迫能量不可用率、传输电量等主要运行指标。分析了直流闭锁、直流紧急停运、直流临时停运等影响直流可靠性的基础事件。对兴安直流 2012 年度直流保护不正确动作事件和典型事件进行分析, 详细介绍了事件原因、暴露问题、现场处理、反措落实等。针对事件暴露出的问题集中在二次回路上, 且在过去的检修维护工作中, 有“重装置、轻回路”的思想, 提出今后的检修工作中要有“重回路、轻逻辑”的思路, 并重视备用回路的检查。这些经验不但为直流输电系统的运行、检修提供有益的参考, 还有助于提高直流输电系统的运行维护水平, 确保系统的稳定运行。

**关键词:**兴安直流; 运行指标; 保护不正确动作; 典型事件; 二次回路

### Operation condition analysis of Xing-An HVDC Project in 2012

ZENG Li<sup>1</sup>, ZHENG Wei<sup>2</sup>, WU Qian-jin<sup>2</sup>

(1. Guangzhou Bureau, EHV Power Transmission Company, CSG, Guangzhou 510663, China;  
2. Test & Maintenance Center, EHV Power Transmission Company, CSG, Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** The operation condition of Xing-An HVDC Project in 2012 is analyzed, the operation indexes such as energy availability, forced energy unavailability, transmission power are summarized. The events which affect the reliability of HVDC project such as DC blocking, ESOF, DC temporary outage are analyzed. The protection maloperation events and typical events are analyzed, whose causes, problems exposed, on-site treatments and counter-measurements are introduced in detail. Contrary to that the problems the events exposed focus on the secondary circuits, and in the repair and maintenance work in the past, there is idea "heavy equipment, light circuit", a new idea "heavy circuit, light logic" is put forward in the future maintenance work, and emphasizing the standby loop circuit checks. All above are not only valuable to improve the ability of operation and maintenance to ensure the safety and the reliability of HVDC system, but also benefit to improve the design, commissioning and operation level of HVDC power transmission projects in China in the future.

**Key words:** Xing-An HVDC; operation index; maloperation; typical event; secondary circuit

中图分类号: TM723; TM732 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)12-0131-06

## 0 引言

高压直流输电在远距离大容量输电和电力系统联网方面有明显的优点, 在我国发展迅速, 其运行状况关系到整个电力系统的安全、经济运行<sup>[1-3]</sup>。

南方电网兴安直流投运以来, 在实施西电东送、促进区域资源优化配置和推动社会经济发展方面发挥了重要作用, 而且为我国直流输电技术的发展积累了宝贵的经验<sup>[4]</sup>。

通过总结一年来系统运行状况, 及时分析、处理运行中发生的异常情况并实施相应的反事故措

施, 不但可以减少影响系统稳定运行的隐患, 还有助于提高直流输电系统的运行维护水平, 确保系统的稳定运行<sup>[5-6]</sup>。

## 1 兴安直流2012年度运行指标分析

2012 年度, 兴安直流输电系统主要运行指标如表 1 所示。

### 1.1 能量可用率

2012 年兴安直流能量可用率为 96.4841%, 优于年度目标值 96%, 同比 2011 年的 95.7492%有提高, 持续保持较高水平。其中兴仁站能量可用率为

97.2647%，宝安站为 96.4646%。

表 1 兴安直流 2012 年度主要运行指标

Table 1 Main operation indexes of Xing-An HVDC system in 2012

指标名称/单位	指标值
能量可用率 EA/%	96.484 1
能量不可用率 EU/%	3.5158
强迫能量不可用率 FEU/%	0.011 7
计划能量不可用率 SEU/%	3.504 0
单极计划停运次数 MSOT/次	6
单极计划停运时间/h	612.933 3
单极强迫停运次数 MFOT/次	7
单极强迫停运时间/h	2.066 6
降额运行次数 MDOT/次	0
降额等效停运时间/h	0.0
双极计划停运次数 BSOT/次	1
双极计划停运时间/h	0.491 6
双极强迫停运次数 BFOT/次	0
双极强迫停运时间/h	0.0
系统双极停运时间/h	197.283 3
系统双极运行时间/h	8 335.55
系统运行时间/h	8 562.717
系统运行率 SR/%	97.747 9
系统双极运行率 BSR/%	95.154 6
传输电量/kWh	130.013 73

### 1.2 强迫能量不可用率

强迫能量不可用率是指由于强迫停运或降额运行造成的不可用指标，能够更有效地反映直流运行客观水平。2012 年兴安直流强迫能量不可用率为 0.0117%，同比 2011 年的 0.0436%有降低，持续保持较低水平。其中兴仁站为 0.0089%，宝安站为 0.1289%。

### 1.3 传输电量

2012 年受益于西部煤炭供应充足、雨水充沛，南方电网经营策略的调整和各直流系统可靠稳定的运行，整个南方电网超高压输电公司交直流通道西电东送电量大幅增长，突破了一千亿 kWh。各条直流传输的总电量为 532.08393 亿 kWh，同比 2011 年的 382.36436 亿 kWh 增加了 149.71957 亿 kWh。其中兴安直流传输 130.01373 亿 kWh，相比 2011 年的 102.99114 亿 kWh 有大幅度提高。

## 2 兴安直流2012年度停运分析

影响直流可靠性的基础事件主要是强迫停运

和计划停运，其中强迫停运包括闭锁和紧急停运，计划停运包括临时停运、备用停运和计划检修。

2012 年兴安直流输电系统运行平稳。发生单极计划停运 6 次，双极计划停运 1 次。发生单极闭锁 3 次，没有发生双极闭锁及双极相继闭锁。发生单极紧急停运 4 次，没有发生双极紧急停运。发生临时停运 2 次。

### 2.1 直流闭锁

2012 年，兴安直流输电系统未发生双极闭锁、双极相继闭锁，发生 3 次单极闭锁。其中控制保护的原因 1 次，线路的原因 2 次，如表 2 所示。

表 2 兴安直流 2012 年度直流闭锁事件统计

Table 2 DC blocking events of Xing-An HVDC system in 2012

换流站	闭锁时间	范围	闭锁事件描述
宝安站	4 月 27 日 19:59	极 1	宝安站极 1 极控系统主系统频发“直流线路故障”、“外部保护跳闸”信号，极 1 退至备用状态。
宝安站	4 月 27 日 21:02	极 2	宝安站极 2 三套直流保护中的接地极线路不平衡 II 段(60EL-2)保护出口，极 2 退至闭锁状态。
兴仁站	4 月 30 日 16:35	极 1	兴仁站极 1 三套直流保护行波保护(WFDPL)、电压突变量保护(27(DU/DT))动作，极 1 降压 0.8pu 重启不成功，极 1 闭锁。

### 2.2 直流紧急停运

2012 年，兴仁站发生单极紧急停运 3 次，未发生双极紧急停运；宝安站发生单极紧急停运 1 次，未发生双极紧急停运。具体紧急停运事件如表 3 所示。

表 3 兴安直流 2012 年度紧急停运事件统计

Table 3 ESOF events of Xing-An HVDC system in 2012

换流站	紧急停运时间	范围	紧急停运事件描述
兴仁站	2 月 5 日 10:42	极 2	兴安直流极 2 紧急停运，极 1 转单极金属回线方式运行，配合兴仁换流站处理极 2 阀冷系统内冷水管主过滤器堵塞检查及处理工作。
	3 月 14 日 10:55	极 2	兴安直流极 2 转为接地状态进行兴仁换流站侧极 2A 相右塔阀塔漏水的处理工作。
	6 月 11 日 6:30	极 2	兴安直流极 2 因兴仁侧内冷水温度快速升高紧急停运进行检查处理工作。
宝安站	3 月 10 日 18:36	极 1	处理极 1 阀冷#2 主泵熔断器 F012 空开异常跳开，软启动器故障的紧急缺陷。

## 2.3 直流临时停运

2012 年, 兴安直流发生 2 次临时停运, 临时停运原因类型分为阀冷系统 1 次, 测量系统 1 次。具体停运事件如表 4 所示。总体而言, 阀冷系统依然是整个系统的薄弱环节<sup>[7]</sup>。

表 4 兴安直流 2012 年度临时停运事件统计

Table 4 DC temporary outage events of Xing-An HVDC system in 2012

换流站	临时停运时间	范围	临时停运事件描述
兴仁站	5 月 27 日 00:58	极 2	极 2 阀冷主管道滤网主过滤器更换。
宝安站	12 月 1 日 00:39	极 1	开展极 1 电压异常波动检查及处理。

## 3 兴安直流 2012 年度直流保护不正确动作分析

兴安直流输电系统 2012 年度继电保护装置动作的正确率在维持较高水平的同时, 发生了 3 次不正确动作事件。

### 3.1 “5.12”兴仁站极 1 012LB 直流滤波器停运事件

5 月 12 日 17 时 23 分, 兴安直流极 1 012LB 直流滤波器保护 2 电容器 C1 不平衡监视 (60/61DF) 保护元件动作, 极 1 直流滤波器 2 转为接地状态。

原因分析: 极 1 012LB 直流滤波器保护 2 中 I/U 变送器 T12 (型号: 7KG6105-8AA) 第 2 路存在异常, 导致差流 ITD 采样不准确, 电容器 C1 不平衡监视 (60/61DF) 保护达到保护动作条件后出口。

暴露问题: I/U 变送器运行不稳定, 存在产品质量问题。

落实情况: 1) 事件发生后, 立即组织开展了极 1 012LB 直流滤波器保护动作原因检查处理, 更换 I/U 变送器后恢复正常运行。2) 已将换下的 I/U 变送器送设备厂家进行检验。3) 已制定针对兴安直流直流滤波器保护的应急预案, 加强对直流滤波器差流、和流的在线监视, 并完善 2 小时快速恢复预案, 确保及时有效地进行事故处理。

### 3.2 “6.6”兴仁站 582 交流滤波器停运事件

6 月 6 日 14 时 41 分 19 秒 715 毫秒, 兴仁站 582 交流滤波器小组保护系统 2 发“A 相差动保护 (87ACF)”动作信号。582 开关跳开, 582 交流滤波器转为手动状态 (非计划停运 22 小时 51 分钟, 未造成负荷限制和损失)。

事件原因: 582 交流滤波器-T1 CT 回路的端子存在质量问题, 致端子间产生瞬时性短路, 582 交

流滤波器小组保护 2 差动保护元件达到动作条件后出口。

暴露问题: 交流滤波器 CT 端子存在质量问题。

落实情况: 1) 事件发生后, 天生桥局立即组织开展了 582 交流滤波器差动保护 (87ACF) 动作原因检查处理, 及时恢复了 582 交流滤波器正常运行。2) 对兴仁站全部交流滤波器保护装置进行专业巡视。分析差动电流、不平衡保护等元件的差动电流, 确认交流滤波器差动电流异常。3) 再次对 582 交流滤波器 T1、T3 CT 进行检查, 重点检查 CT 本体二次端子箱电缆封堵、防潮等情况, 并对 CT 回路电缆进行检查, 防止电缆破损而导致绝缘降低。4) 对串接在差动保护二次回路中的 CPR04 保护装置端子及压接进行检查, 确保接触良好。5) 对 CT 本体二次回路和保护装置电缆进行电缆屏蔽检查。6) 利用便携式故障录波仪对 582 交流滤波器小组保护系统 2 差动电流回路进行录波监测。7) 对交流滤波器小组保护 SIMADYN D 采样板进行检测。8) 对许继日立、南瑞继保和许继电气三家单位的交流滤波器保护原理进行深入分析研究, 提出现有 SIMADYN D 保护优化建议。通过对三家单位的交流滤波器保护原理进行对比分析, 认为许继日立 SDR100 系列和南瑞继保 PCS976 系列保护引入了制动电流, 有利于提高运行可靠性, 而目前 SIMADYN D 交流滤波器保护中差动保护原理设计相对简单, 运行不够可靠, 建议进行改进。

### 3.3 宝安站极 2 直流保护系统 1 星侧桥差动保护 II 段误动事件

宝安站极 2 直流保护系统 1 星侧桥差动保护 II 段 (87CBY-2) 先后在 6 月 8 日、6 月 20 日、10 月 12 日共发生 4 次 (其中 10 月 12 日两次) 异常动作。动作情况完全一致, 保护系统 1 内跳闸指示灯红灯亮, 读取装置内部 Trace 录波图发现 IacY 电流量有突变, 满足保护动作判据而动作出口, 另外两套保护未动作, 因不满足三取二出口逻辑, 保护未最终出口闭锁极 1。

处理情况: 1) 在前两次出现保护误动后, 先后对 IacY 电流量相关的装置 EM3 板卡及电流变送器进行了更换, 电流回路的绝缘进行检查并对电流回路端子进行紧固。2) 在第 3、4 次出现保护误动后, 对 EP31 处理器板以及阀侧电流 IacY 和 IacD 通道的公用带缆及 T 型端子进行更换, 并挂接示波器监视 IacY 和 IacD 相关模拟量信号, 以确认故障来自于保护屏外部还是保护屏内部。3) 将更换下来的 EM3 板卡及 EP31 处理器板返厂进行检测, 发现 EP31 处理器板的模拟通道 2 存在工作不稳定情况,

不定期会出现采样值异常,最终导致差动保护动作。

落实情况:在年度检修中已将直流保护系统 1 中的 IacY 和 IacD 电流通道接入至故障录波装置。

## 4 兴安直流2012年度典型事件分析及处理

### 4.1 “4.27”宝安站极 1 极控系统故障导致单极 ESOF

4月27日19时59分,宝安换流站极 1 极控系统主系统频发“直流线路故障”、“外部保护跳闸”信号,极一退至备用状态。现场检查保护装置,未发现相关保护动作信号,两套直流线路故障定位装置均无测距,现场检查一次设备均未发现异常,当时站内为大雨天气。

原因分析:检查发现“直流线路故障”、“外部保护跳闸”信号外部开入回路无异常,分析认为极 1 极控系统 2 屏内的数字量开入开出板卡 EB11 自身工作不稳定,导致外部无“直流线路故障”、“外部保护跳闸”开入信号的情况下,误发开入信号至极控系统,最终导致极控系统跳闸出口。

处理情况:1)对该数字量开入开出板卡 EB11 进行更换,进行断电重启,并对开入开出回路进行试验,未发现异常。2)对更换 EB11 板卡的极控系统运行情况进行监视,观察系统运行情况,目前系统运行正常。3)将存在异常的 EB11 板卡返厂进行检测,经分析认为该板卡工作不稳定导致控制系统输入异常,建议更换插件。

落实情况:年度保护定检中加强极控系统、直流保护系统的开入、开出回路的检查。

### 4.2 “4.27”宝安站接地极线路不平衡 II 段动作闭锁极 2

4月27日21时02分,宝安换流站极 2 三套直流保护中的接地极线路不平衡 II 段(60EL-2)保护功能出口,极 2 退至闭锁状态。故障前极 2 运行在单极大地方式,输送功率 1100 MW。在保护装置接地极线路不平衡 II 段动作出口前,极 2 直流保护系统 3 频发接地极不平衡 I 段(60EL-1)DLFR 告警信号,另两套保护无此告警信号。因保护动作出口采用三取二逻辑,接地极不平衡 I 段未最终出口<sup>[8]</sup>。按宝安站接地极线路不平衡保护动作逻辑,接地极线路不平衡保护 I 段出口将启动直流线路故障重启<sup>[9-10]</sup>。此次单极大地运行方式下,接地极线路不平衡 I 段未动作出口而 II 段出口,存在异常。

原因分析:接地极线路不平衡保护和两个极的状态密切相关,不同方式下的动作逻辑不同。分析认为,此次故障时保护系统 1、保护系统 2 接地极线路不平衡保护 I 段未出口的原因可能是两套保护检测到本极解锁信号异常,导致直流保护误判,闭

锁了不平衡 I 段的逻辑功能,在南网科研院的仿真试验验证了这一点。在 5 月份的停电检修中,重点检查了两套保护的开入回路,未发现异常,对保护装置的逻辑功能进行试验,也未发现异常。故障时刻,极 2 保护系统 1 和系统 2 的“本极解锁”信号输入回路工作不稳定,导致极 2 直流系统 1、系统 2 接地极电流不平衡保护 I 段未启动直流线路重启功能。

处理情况:1)对故障原因进行了分析,并在南网科研院的仿真平台进行仿真,认为保护动作异常是由于其开入回路异常引起的。2)停电时已对可能原因进行排查,对极控系统解锁信号输出的重动继电器进行了更换,并对端子进行紧固。3)将更换下来的重动继电器返厂进行检查,未发现异常。4)对极控系统、保护系统中开入开出继电器和光隔进行标识,便于巡检时进行核对,发现异常时及时处理。5)已明确在运行方式上应尽量减少单极大地回线的运行时间,防止雷击等原因造成的不平衡保护动作。

落实情况:年度保护定检中加强极控系统、直流保护系统的开入、开出回路的检查。

### 4.3 “6.11”兴仁站极 2 内冷水温度高跳闸事件

2012年06月11日06时21分,兴仁站 SER 工作站发极 2 内冷水温度高告警信号,06时36分工作站发极 2 内冷水温度高跳闸信号。

原因分析:极 2 外冷水水位传感器结垢卡死,当实际水位下降后不能启动补水功能,导致外冷水池缺水,冷却容量不足,最终引起内冷水温度高跳闸<sup>[11-12]</sup>。

处理措施:利用草酸对整个传感头进行了清洗除垢,对除垢后的传感头进行校验,并进行了外冷水补水功能试验。试验结果正常。

暴露的问题如下:1)各级管理人员对外冷水水垢导致探头卡死缺陷重视不够。无人员对这种结垢周期突然缩短的缺陷重视,制定有关措施,也未深入分析结垢突然变快的原因,对缺陷的后续跟踪分析不足。2)风险辨识不充分。只考虑了前 2 次污垢卡死传感器探头会导致一直补水,但未能辨识出对污垢导致传感探头卡死还会导致外水位少时无法补水,当外冷水耗尽时会发生内冷水温度过高而闭锁直流。3)向总调申请直流系统停运的经验不足。在应急处理过程中,运行人员发现内冷水温度上升后,向总调申请了紧急停运,但在第一次汇报时,运行人员未能向调度说明如不停运会导致的后果,特别是有可能导致阀片损坏等严重后果,从而未能及时得到调度同意停运的答复。在总调同意停运

时, 由于现场处置方案未明确启动 ESOF 条件, 未能果断采取手动 ESOF, 增大了出现事件的概率。4) 对外冷水的有关巡视项目不明确。目前各局运行人员日常巡视项目主要是根据各单位运行经验制定的。天生桥局要求对外冷水池每周巡视一次, 巡视项目也仅限于打开盖板检查水位, 无法发现污垢缺陷。池水一般在 3 天内用完, 此次出现故障离上次检查有 6 天, 从而未能发现水位变化。5) 外冷水池水位探测器未实现双重化配置。外冷水池水位传感器的校验主要通过手动滑动浮子位置来实现, 缺乏科学性。虽然外冷水池水位已取消跳闸功能, 但此参数对系统运行较为重要, 采用 2 个非同源监测设备为宜。

落实情况: 针对本次不安全事件, 从技术及管理方面入手, 制定了近期阀冷系统缺陷和隐患整改计划和近期不安全事件整改措施表。其中阀冷系统缺陷和隐患整改中 16 项已完成 11 项整改, 1 项需要在兴安直流年度停电期间完成, 其余 4 项为长期执行措施。近期不安全事件整改措施中 22 项措施已完成 13 项整改, 其余 9 项为长期执行措施。

#### 4.4 检修工作中重视二次回路的检查

兴安直流输电系统 2012 年度各次事件中, 暴露出的问题较为集中在二次回路上。在过去的检修维护工作中, 有“重装置、轻回路”的思想, 现场检修维护人员对保护装置本身的重视程度也高于二次回路。事实上, 微机保护的装置发生故障的可能性不大, 在今后的检修工作中要有“重回路、轻逻辑”的思路, 并重视备用回路的检查。

## 5 结语

本文总结了兴安直流输电系统 2012 年度的运行状况, 分析了运行中发生的保护不正确动作事件和典型事件。介绍了各次事件相应的事件原因、处理情况、暴露问题和反事故措施。提出在今后的检修工作中要有“重回路、轻逻辑”的思路, 并重视备用回路的检查。这不但有助于提高运行维护水平, 确保兴安直流输电系统的安全稳定运行, 还为将来直流输电工程的实施和改造提供了有益的参考。

### 参考文献

[1] 曹涛, 汲胜昌, 吴鹏, 等. 换流站电容器装置振动与噪声特性分析[J]. 电工技术学报, 2010, 25(10): 87-92.  
CAO Tao, JI Sheng-chang, WU Peng, et al. Vibration and noise characteristics for capacitor in HVDC converter station[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,

2010, 25(10): 87-92.

- [2] 谢开贵, 吴韬, 黄莹, 等. 基于二分法的高压直流输电系统可靠性最优分解[J]. 电工技术学报, 2010, 25(5): 149-154.  
XIE Kai-gui, WU Tao, HUANG Ying, et al. Reliability optimal distribution for HVDC systems using bisection method[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(5): 149-154.
- [3] 王峰, 徐政, 黄莹, 等. 高压直流输电主回路稳态参数计算[J]. 电工技术学报, 2009, 24(5): 135-140.  
WANG Feng, XU Zheng, HUANG Ying, et al. Calculation of main circuit parameters for HVDC transmission[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(5): 135-140.
- [4] 朱韬析. 提高南方电网直流保护动作可靠性的建议[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(5): 64-67.  
ZHU Tao-xi. Suggestions to improve the reliability of HVDC protection in CSG[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(5): 64-67.
- [5] 赵晚君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [6] 张鹏, 刘森, 雷兵, 等. 一种新的直流输电系统可靠性指标探讨[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(12): 85-88.  
ZHANG Peng, LIU Sen, LEI Bing, et al. A novel reliability index for HVDC transmission system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(12): 85-88.
- [7] 洪乐洲, 江一, 翁洪志, 等. 换流站阀冷系统设计缺陷与改进措施[J]. 南方电网技术, 2013, 7(1): 44-46.  
HONG Le-zhou, JIANG Yi, WENG Hong-zhi, et al. Design flaws and corrective measures of valve cooling system at converter station[J]. Southern Power System Technology, 2013, 7(1): 44-46.
- [8] 张楠, 陈欢, 国建宝, 等. 贵广、天广工程直流保护系统“三取二”逻辑比较[J]. 南方电网技术, 2011, 5(2): 37-39.  
ZHANG Nan, CHEN Huan, GUO Jian-bao, et al.

- Comparison of "two out of three" DC protection logic between Guizhou-Guangdong and Tianshengqiao-Guangzhou HVDC projects[J]. Southern Power System Technology, 2011, 5(2): 37-39.
- [9] 杨光, 朱韬析, 魏丽君, 等. 直流输电系统接地极线路故障研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(21): 45-49.
- YANG Guang, ZHU Tao-xi, WEI Li-jun, et al. Research on the faults of electrode line of HVDC transmission system in monopolar ground return operation[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(21): 45-49.
- [10] 朱韬析, 何方, 何焯勇, 等. 南方电网直流输电系统接地极线路不平衡保护动作后果探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(15): 112-116.
- ZHU Tao-xi, HE Fang, HE Ye-yong, et al. Discussion on operation results of electrode current unbalanced protection used in HVDC transmission system in CSG[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(15): 112-116.
- [11] 田兴旺, 邓本飞. 兴安直流阀冷系统主过滤器堵塞原因分析及改进建议[J]. 高压电器, 2010, 46(10): 45-47.
- TIAN Xing-wang, DENG Ben-fei. Filter blocking analysis and improvements of valve cooling system of Xing'an HVDC Project[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(10): 45-47.
- [12] 杨光亮, 邵能灵, 郑晓冬. 换流站阀水冷系统导致直流停运隐患分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(18): 199-203.
- YANG Guang-liang, TAI Neng-ling, ZHENG Xiao-dong. Analysis of potential dangers leading to HVDC outage in valve cooling system[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(18): 199-203.

---

收稿日期: 2013-09-06

作者简介:

曾丽(1983-), 女, 硕士, 主要从事直流输电系统运行管理工作; E-mail: 65622149@qq.com

郑伟(1985-), 男, 硕士, 主要从事直流输电系统控制保护工作;

郭乾晋(1986-), 男, 硕士, 主要从事直流输电系统控制保护工作。