

# 提高南方电网直流保护动作可靠性的建议

朱韬析

(南方电网超高压输电公司广州局, 广东 广州 510405)

**摘要:** 直流保护系统的可靠性直接关系到设备的安全和电网的稳定。介绍了南方电网直流输电系统中较典型的单一量测量异常造成保护误动的案例, 结合实例指出采用的“二取一”出口逻辑的直流滤波器保护、采用的是“一取一”的出口逻辑的极控系统内后备保护误动可能性较高, 并介绍了相应的一些改进措施, 如增加闭锁条件、改进出口逻辑和测量回路等。这些探讨有助于在未来直流输电工程的改造、设计和实施时改进直流保护功能、完善直流保护的冗余配置, 从而提高直流保护的可靠性。

**关键词:** 直流输电; 保护系统; 可靠性

## Suggestions to improve the reliability of HVDC protection in CSG

ZHU Tao-xi

(GZ Bureau, CSG EHV Power Transmission Company, Guangzhou 510405, China)

**Abstract:** The reliability of HVDC protection is very important to the safety of equipments and the stability of the power system. In this paper, the operation logics of HVDC protection in the HVDC system of CSG are introduced first, then combined with the operation examples, the defect that the DC filter protection which uses the “select 1 from 2” logic and the backup protection in pole control system which uses the “select 1 from 1” logic are apt to act incorrectly, is discussed. At last, some useful suggestions are analyzed. All of these are valuable to improve the reliability of HVDC protection system in the future.

**Key words:** HVDC; protection; reliability

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)05-0064-04

## 0 引言

直流输电具有传送功率大、线路造价低、控制性能好等优点, 是作为高电压、大容量、长距离送电和异步联网的重要手段<sup>[1]</sup>, 在我国得到了越来越广泛的应用。

直流输电系统的保护功能的可靠性对交直流混联电网的稳定运行有着重要影响, 直接关系到整个直流系统以及相关交流系统的安全运行。然而, 南方电网直流输电系统运行中, 却多次发生直流保护误动的事故, 针对这一问题, 本文以南方电网目前运行的直流输电保护系统为例, 介绍了较典型的单一量测量异常造成保护误动的案例, 并结合直流保护系统出口逻辑、测量回路原理等分析了保护误动的原因, 最后还针对这些问题探讨了一些改进建议。

## 1 单一量测量异常造成直流保护误动的典型案例

(1) 2007 年 01 月 15 日, 高肇直流输电系统送肇庆换流站极 2 直流滤波器保护系统 2 的高压直流

线路电压  $U_{DL}$  测量值偏大, 导致过负荷保护误动作, 极 2 误停运。

(2) 2007 年 06 月 20 日, 天广直流输电系统广州换流站极 1 直流滤波器保护系统 2 过负荷保护动作, 极 1 直流滤波器自动退至接地状态, 并闭锁极 1。检查发现故障原因为高压直流线路电压分压器的光电传感器故障, 使送极 1 直流滤波器保护系统 2 的  $U_{DL}$  偏大。

(3) 2007 年 12 月 12 日, 天广直流输电系统广州换流站极 2 直流滤波器控制保护系统 2 Simadyn D 电源瞬时故障, 自动重启时  $U_{DL}$  测量值异常, 导致过负荷保护动作, 停运极 2。

(4) 2008 年 01 月 28 日, 天广直流输电系统广州换流站因极 2 直流滤波器保护系统电流采样模块损坏, 导致直流滤波器差动保护(87DF)动作, 闭锁极 2。

(5) 2007 年 09 月 11 日, 天广直流系统双极负荷 1 600 MW 运行, 光电传感器故障导致送逆变侧极 1 极控主系统直流电压测量值突然变大, 引起换流器开路保护 I 段动作, 停运极 1。

## 2 直流保护误动率较高的原因分析

### 2.1 直流保护系统出口逻辑存在的问题

直流保护系统保护的区域包括换流器、直流母线、高压线路及接地极线路、直流断路器和直流滤波器。以南方电网直流输电系统为例，换流器、直流母线、高压线路及接地极线路、直流断路器保护配置在同一系统中，习惯上统称为直流保护，直流滤波器采用单独的保护系统，同时还在极控系统中设置了一些后备保护。

保护系统必须确保本身的高可靠性，因此需采用冗余配置，并且冗余方式的选择直接影响到其可靠性的高低。

#### 2.1.1 采用“三取二”出口逻辑的直流保护系统

南方电网天广、高肇及兴安直流输电工程中，直流保护系统均采用了“三取二”的出口逻辑<sup>[2]</sup>。

图1为套直流保护“三取二”逻辑的实现原理图。“三取二”逻辑模块只位于直流保护系统1和直流保护系统2，保护系统3只有保护功能模块，而没有“三取二”逻辑模块。因此，保护最后是从直流保护系统1和直流保护系统2出口。

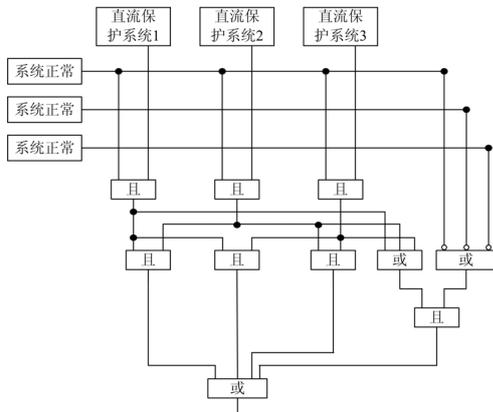


图1 直流保护“三取二”逻辑图

Fig.1 “Selecting 2 from 3” logic of DC protection

显然，这样的配置既有较好的防拒动能力，也有较好的防误动能力<sup>[2]</sup>。而文献[3]也对高压直流输电系统保护装置冗余配置的可靠性进行了深入研究，对比了“二取一”、“二取二”、“三取二”和“四取二”这几种典型冗余配置方式的可靠性和经济性后指出：三取二配置是直流输电系统保护冗余方式的较好选择。

#### 2.1.2 直流滤波器保护系统和极控内后备保护的出口逻辑

南方电网天广、高肇及兴安直流输电工程中，直流滤波器保护为冗余配置，两个系统设置相同的保护功能，任一套系统动作都将闭锁相应极。显然，这种“二取一”的出口逻辑，虽然不易拒动，但容易发生误动，并不能很好地平衡保护的防拒动和防误动能力。

而极控系统由系统1、系统2和系统切换控制模块三部分组成。系统1和系统2完全独立，正常时一个系统工作，另一个系统热备用，如果主系统故障，可以自动切换到热备用系统。主系统内的后备保护功能动作将直接闭锁相应极，这样的出口逻辑显然同时具有更高的误动和拒动的风险。

综上所述，由于出口逻辑的问题，直流滤波器保护系统和极控内后备保护本身就具有较高的误动可能性，而其中的部分保护功能仅采用单一特征量的测量值，更加增加了因测量值的异常造成保护误动、误停运直流输电系统的概率。

### 2.2 直流电压测量值异常的原因

由上述运行实例可以发现，高压直流线路电压测量异常是造成直流保护系统保护误动的最主要的原因，这和直流电压测量回路的特性有关。直流电压测量与传感器的布置结构如图2所示。直流电压通过电阻分压器在低压端输出测量电压。通过光电传感器将测量电压进行“电—光”转换后，分别传送至极控、直流保护以及直流滤波器保护等系统，用以执行相应的控制保护功能。

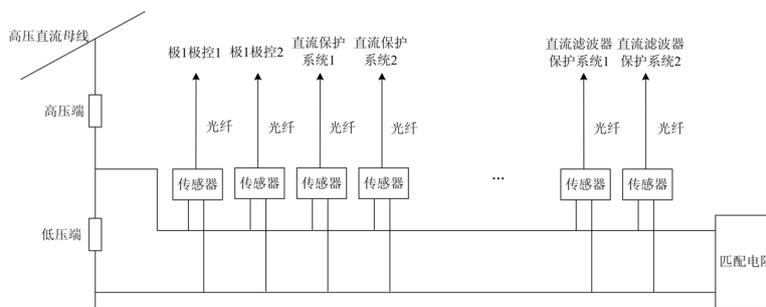


图2 直流电压测量及传感器布置示意图

Fig.2 Configuration of HVDC voltage dividers and its optical-to-electrical transducer

每次故障发生后，检查发现事故原因均为传感器内部的突然故障，造成送入相应控制或保护系统

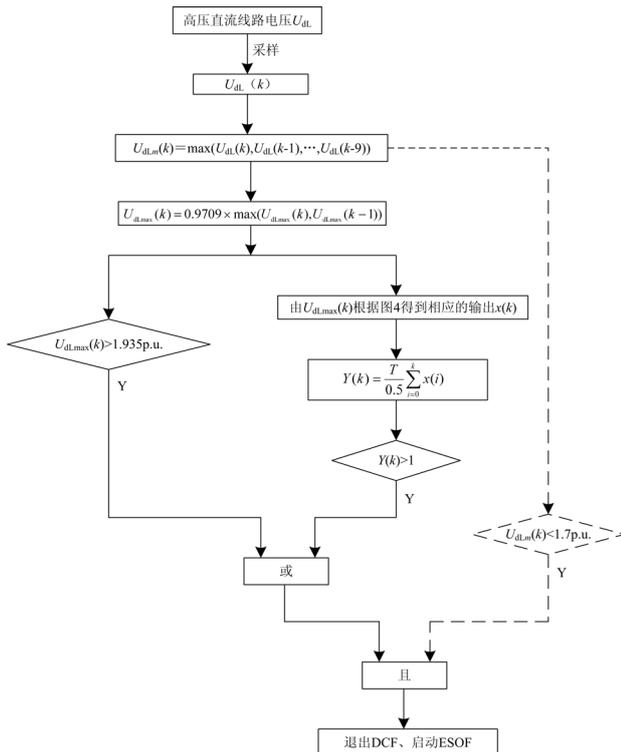
的测量值突然变大并最终造成保护误动。

### 3 改进建议

#### 3.1 附加闭锁条件

针对直流滤波器过负荷保护误动率较高的问题，高肇直流输电系统改进了直流滤波器过负荷保护，增加了闭锁条件：一旦  $U_{DL} > 1.7$  pu，则闭锁过负荷保护。

实现方法如图 3 所示。



注：T 为采样周期。

图 3 高肇直流输电系统直流滤波器过负荷保护流程图

Fig.3 Improved capacitor overload protection of DC filter used in Gao-Zhao HVDC system

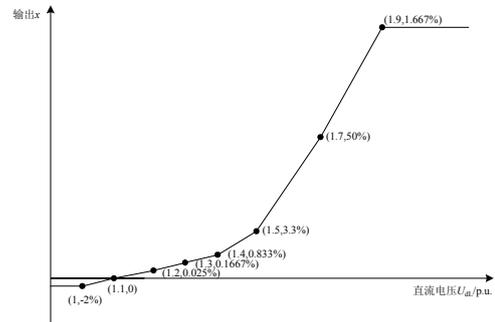


图 4 电容器过负荷能力的电压—时间特性曲线

Fig.4 Voltage-time characteristic representing the load capability of the capacitor

图 3 中，实线部分为原过负荷保护逻辑（电容器过负荷能力根据图 4 判断），虚线部分为增加的闭锁条件。

显然，经上述改进后的直流滤波器过负荷保护虽然可以防止发生类似的误动事故，但同时也带来了拒动的风险，所以，应考虑更可靠的修改方案。

#### 3.2 改进出口逻辑

然而，这仅仅针对过负荷保护，并不能从根本上提高采用“二取一”出口逻辑的直流滤波器保护和采用“一取一”出口逻辑的极控后备保护的可靠性，对此，建议改进出口逻辑，采取“二取二”或是“三取二”出口逻辑。如在 2009 年底计划开展的天广直流制保护系统综合治理工作中，就计划将直流滤波器保护的出口逻辑改进为“二取二”方式。

#### 3.3 改进测量回路

上文已介绍过，直流电压测量回路中某一光电传感器故障是造成相应的直流电压测量值异常，并导致保护误动、停运直流输电系统的直接原因，对此，可以对如图 2 所示的直流电压测量回路做如下改进：

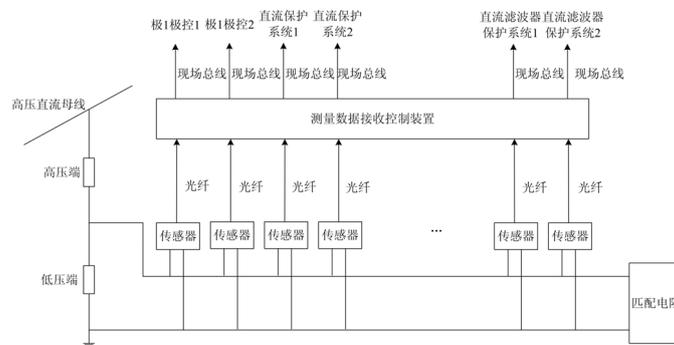


图 5 改进后的直流电压测量回路

Fig.5 The ameliorated measurement circuit of HVDC voltage

如图 5 所示，现场测量数据通过光纤均送至测量数据接收控制装置，在该装置中对所有的测量数

据进行对比、分析，然后选取正确的测量值经现场总线送至各控制保护系统。

通过这样的改进方法，便可以避免运行中常见的光电传感器故障造成测量值异常、保护误动的事故。计划在2009年底开展的天广直流制保护系统综合治理工作中，就准备按这一方法改进直流测量回路。

### 3.4 复合其它特征量的闭锁条件

运行经验证明，误动概率较高的保护为采用了单一直流电压量的直流滤波器过负荷保护或极控系统内的换流器开路保护，这与直流电压的测量原理及测量回路中光电转换模块的设计和工艺有一定关系。除了要求设备制造厂家提高生产质量外，对于采用单一电压量的保护，还可以考虑根据电路原理复合其它量的闭锁条件，从而避免单一量的测量异常造成保护误动。

正常运行情况下，直流输电系统整流侧为定电流控制方式，可以看作一个电压源；而逆变侧可以看作通过调节等值阻抗  $R$ ，实现定电压控制方式；其等效模型如图 6 所示。

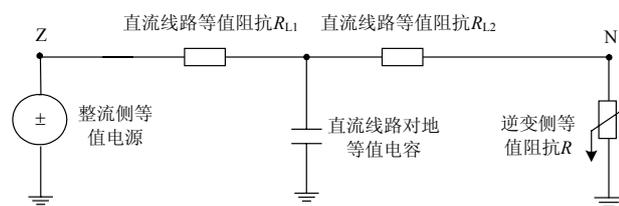


图 6 直流输电系统正常运行时的等效模型

Fig.6 Equivalent model of HVDC transmission system

根据图 6，如果直流线路电压实际值大幅升高，这一瞬间的直流电流都必然发生巨大变化。因此，对于仅采用单一电压量的直流滤波器保护和换流器开路保护，也可以考虑附加电流闭锁条件。

## 4 结语

直流保护系统是直流输电系统中重要的设备之一，不仅可以保护一次设备的安全，还直接影响

到直流输电系统乃至电网的稳定运行，因此往往采用冗余配置。南方电网直流输电系统中，大部分直流保护功能采用了具有较高可靠性和较好经济性的“三取二”的出口逻辑，然而，直流滤波器保护采用的却是“二取一”出口逻辑、极控系统后的后备保护采用的是“一取一”的出口逻辑，这造成了实际运行中一些保护功能多次误动。

对于这些保护多次误动的问题，运行维护单位采取了增加闭锁条件的方式改进直流滤波器电容器过负荷保护功能，并计划将直流滤波器保护出口逻辑改进为“二取二”的出口逻辑、改进直流测量回路；另一方面，考虑到直流电压测量回路异常是造成保护误动的主要原因，这也要求厂家进一步改进测量原理；而几次误动案例的直接原因都是测量设备故障，所以，设备制造厂家必须改进工艺流程、提高工艺制造水平，才能从根本上避免保护误动，提高直流保护的可靠性。

## 参考文献

- [1] 浙江大学发电教研组直流输电教研组. 直流输电[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.
- [2] 雷兵. “三取二”逻辑在南方电网直流输电工程中的应用[J]. 继电器, 2008, 36(7): 88-91.  
LEI Bing. Application of Selecting 2 from 3 Logic in CSG HVDC Transmission Project[J]. Relay, 2008, 36(7): 88-91.
- [3] 刘耀, 王明新. 高压直流输电系统保护装置冗余配置的可靠性分析[J]. 电网技术, 2008, 32(5): 51-54.  
LIU Yao, WANG Ming-xin. Reliability Analysis on Redundant Configuration of Protective Relayings for HVDC Power Transmission System[J]. Power System Technology, 2008, 32(5): 51-54.

收稿日期: 2009-04-01; 修回日期: 2009-05-12

作者简介:

朱韬析(1980-), 男, 工程师, 目前从事直流输电维护工作。E-mail: taoxi\_zhu@hotmail.com