

# 500 kV 变电站 220 kV 侧主接线运行分析

苏晓, 陈旋

(中国南方电网超高压输电公司南宁局, 广西 南宁 530021)

**摘要:** 地区枢纽变电站的主接线形式对电网的经济性和供电可靠性有着至关重要的影响。500 kV 变电站的 500 kV 侧主接线通常采用 3/2 断路器主接线, 220 kV 侧主接线设计仍然存在一定的争论, 对比了多个已经运行多年的 500 kV 变电站, 结合理论分析了各种主接线的优劣, 并结合多年运行经验为今后的 500 kV 变电站 220 kV 侧的设计提出一些有用建议。

**关键词:** 主接线; 运行分析; 比较

## Operational analysis of the main connection of 220kV section in the 500kV substation

SU Xiao, CHEN Xuan

(EHV Transmission Company, Nanning 530021, China)

**Abstract:** The main connection form of a regional pivot substation plays an important role in economical operation and reliability of power system. 500kV section of a 500kV substation adopts 3/2 breaker main electrical scheme usually. There are some dispute in the design of 220kV section of a 500kV substation. This paper compares several long-term running 500kV substations, and analyses the advantages and disadvantages of each main connection form. Based on long-term running operation experience, it finally proposes some useful advice for the design of 220kV section of a 500kV substation.

**Key words:** primary system connection; operation analysis; comparison

中图分类号: TM732 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)04-0086-04

## 0 引言

500 kV 超高压变电站在电力系统作为枢纽变电站, 处于重要的地位, 对主接线的可靠性和灵活性有很高的要求。可靠性是 500 kV 变电站主接线选择的首要因素。但由于超高压电气设备价格昂贵, 过分强调可靠性, 势必采用较多的电气设备, 增加设备的冗余度, 使投资增大。

现在我国超高压电网 220 kV 部分常用的主接线中, 应用最为广泛的是双母线(分段)带旁路或 3/2 断路器主接线。3/2 主接线比双母线(分段)带旁路接线可靠性要高, 投资较大, 必须综合考虑可靠性和经济性的有机统一。目前, 我国 500 kV 侧广泛应用 3/2 接线。对于 500 kV 变电站 220 kV 侧主接线, 运行实践的检验尤为重要。

## 1 500 kV 变电站 220 kV 侧主接线比较

500 kV 变电站 220 kV 侧主接线, 主要是接受区域电网的下网电量, 为地区的 220 kV 变电站提供电源, 是地区电网的主要电源点, 对主接线的

可靠性和灵活性有较高要求。我国的 500 kV 变电站 220 kV 侧主接线主要有双母线(分段)带旁路接线或 3/2 接线, 为更好地总结经验, 分别从运行、保护、方式对两种主接线进行比较。

### 1.1 运行方面

如表 1 所示。

### 1.2 保护方面

作为地区的枢纽变电站, 对保护的要求较高。但主接线对保护的影响容易被忽视。经过多年实践比较, 不同主接线对保护功能、配置的影响也是非常重要的。保护在 220 kV 电压等级保护方面主要包括母差、失灵和线路保护。

#### 1.2.1 母差保护

在 3/2 断路器主接线下, 保护使用线路的三相电压互感器, 母线的电压供同期回路使用, 母线仅有一相电压互感器供同期合闸使用, 3/2 断路器主接线母差没有复合电压闭锁功能, 母差保护可靠性降低。

在双母线主接线中, 可以利用母差跳闸回路使纵联保护快速切除电流互感器和断路器之间的死区

故障,对系统暂态稳定性影响较小。3/2 主接线的死区故障时,靠母差动作启动断路器保护失灵功能,经过断路器保护失灵延时远跳对侧断路器切除死区,对系统暂态稳定性影响较大。

表 1 双母线(分段)带旁路接线和 3/2 断路器接线比较

Tab.1 Comparison of double-bus with 3/2 breaker main electrical scheme

项目	双母线(分段)带旁路	3/2 断路器主接线
可靠性	1) 供电可靠,通过倒母线检修一组母线而不影响供电。 2) 母线故障和断路器失灵切除该段母线所有设备,影响面大。 3) 断路器偷跳影响该回路供电。	1) 供电可靠,检修母线或者任一单台断路器不影响供电。 2) 母线故障不影响供电,断路器失灵仅影响本串内线路供电。 3) 断路器偷跳不影响该回路供电。
灵活性	1) 运行灵活,双回路或者环路可以接至不同母线运行,需要分列运行比较容易实现。 2) 刀闸作为操作电器,运行方式改变和事故处理都需要倒闸操作。	1) 运行灵活,任一台断路器断开都不影响供电。 2) 刀闸仅作为检修电器,不作为操作电器,事故处理仅需要操作断路器,处理迅速。
经济性	投资较省	投资较大
运行维护	1) 设备布置清晰,停电范围容易确认。 2) 无和电流问题,二次回路、保护及通信回路较简单,没有远方跳闸需要,各间隔具有独立性,运行维护方便。 3) 旁路断路器增加操作量,需要切换保护通道。	1) 设备布置紧凑,停电范围不够清晰。 2) 有和电流问题,二次回路、保护及通信回路较复杂,有远方跳闸需要,通讯设备维护量大,运行维护有一定难度。

1.2.2 失灵保护

(1) 3/2 主接线的失灵保护比较复杂,涉及保护(边断路器失灵为例)多达两套断路器保护、线路保护和辅助保护,失灵启动回路(图 1)、出口回路(图 2、图 3)和远跳回路(图 4)互相交叉。

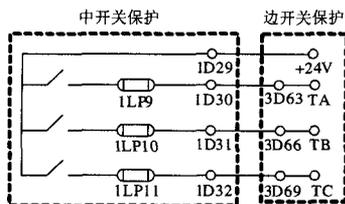


图 1 失灵启动回路

Fig.1 Fail function startup circuit

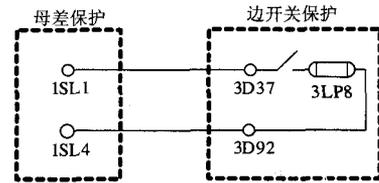


图 2 母差出口回路

Fig.2 Bus differential exit circuit

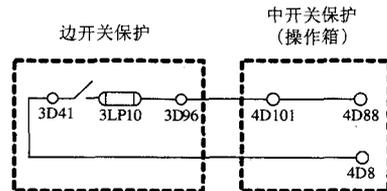


图 3 中开关出口回路

Fig.3 Middle breaker exit circuit

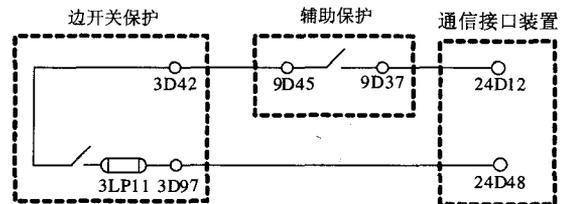


图 4 失灵远跳回路

Fig.4 Fail function transferred tripping circuit

(2) 双母线的失灵保护分间隔单元布置,早期双母线失灵保护由线路保护触点启动,过流判据设置在断路器保护。现在的失灵保护进一步简化单元配置(图 5),失灵保护变为由线路保护触点启动,将所有线路过流判据模块集中在专门的母差失灵保护中,由母差出口回路完成故障隔离。这种方式可实现利用母差出口回路联跳本断路器,经过简化后涉及保护少,便于事故的快速处理且提高了跳闸的可靠性,在失灵保护发生异常时,缩小故障查找范围。

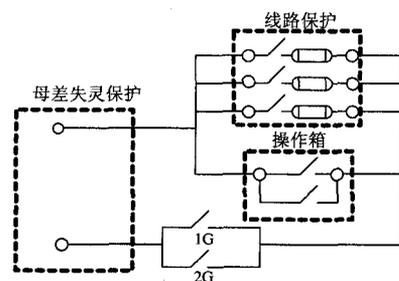


图 5 母差失灵回路

Fig.5 Bus differential maifunction circuit

1.2.3 线路保护

双母线主接线和 3/2 断路器主接线对线路保护

功能和配置影响差别不大。

### 1.3 方式方面

3/2 主接线与双母线对方式最大的影响在于断路器故障所带来的影响。

在大多数 500 kV 变电站所在地区已经形成 220 kV 环网供电，如南宁电网（图 6，南宁电网系统图. 2003）

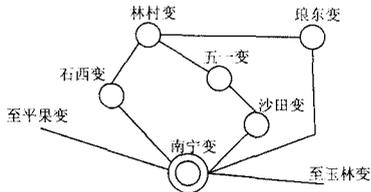


图 6 电网系统图（南宁）

Fig.6 Connection diagram of power system(Nanning)

当南沙线断路器故障时，通过石西---林村变电站对南沙变电站供电，由于 220 kV 沙田变电站作为终端变，只要方式上选择合适，开环运行不会引起系统振荡。在 220 kV 联系日益紧密的环境下，双母线主接线已经满足 220 kV 电网运行方式的需要。而 500 kV 主要选用 3/2 主接线的—个主要原因就在于 500 kV 联系不够紧密，即使系统联系紧密，由于 500 kV 变电站作为电源端，开环运行的系统阻抗增大，容易导致系统振荡。所以双母线在 500 kV 电压等级应用较少。

## 2 各种主接线实际运行的经验

### 2.1 3/2 主接线的变电站

#### 2.1.1 平果变电站

1993 年投运的 500 kV 平果变电站，是担负着西电东送及向南宁地区供电的枢纽站，500 kV 及 220 kV 侧主接线均采用 3/2 断路器接线，220 kV 侧（一期）主要向南宁地区和平果铝供电，见图 7（平果电网系统图.1993）

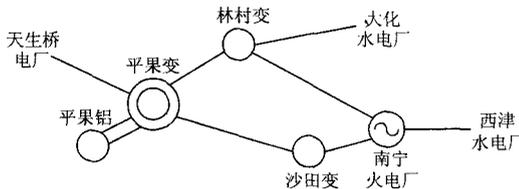


图 7 电网系统图（平果）

Fig.7 Connection diagram of power system(Pingguo)

该站 220 kV 侧连接广西几个主要电厂，交换功率较大，当时广西电网 220 kV 网架比较薄弱，要求该变电站 220 kV 侧主接线有很高的供电可靠性和

运行检修的灵活性。其采用的 3/2 断路器主接线有很高的可靠性，采用两个不完整串和一个完整串（一期）。在长期的运行实践中，体现较高的可靠性与灵活性，但是在系统稳定方面（特别是初期）值得深入探讨。

#### 2.1.1.1 运行方式

1) 南方电网由广东、广西、贵州、云南四省（区）组成，一千多公里 500 kV 线路把贵州、广西、广东电网连成一体，云南经 220 kV 线路接入。1993 年 8 月三省（区）500 kV 联网正式运行，接线示意图如图 8 所示。

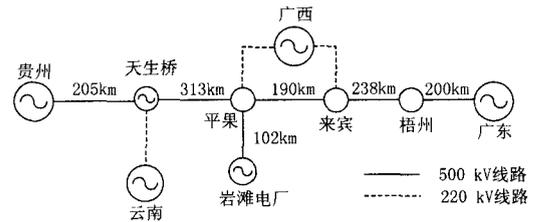


图 8 南方电网（初期）主系统

Fig.8 South power grid primary system

由图 8 可见，南方四省（区）联网初期，广西境内 500 kV 和 220 kV 系统形成电磁环网；500 kV 联络线仅为单回，而东送潮流较大，系统受到扰动后容易发生失步振荡；在广西电磁环网区段，500 kV 线路发生故障或突然断开，220 kV 电网将出现暂态失稳及线路严重超载，此时应在适当地点将 220 kV 电网解列。平果变电站 220 kV 侧的 3/2 接线解列困难，多次造成大化等电厂停机，从 1993 年到 2000 年的几次电网事故就充分证明这一点。

2) 在南方电网联网运行后较长时间内，安全稳定控制装置不能同步投运，平来线故障时若不联跳岩平线（代替远切岩滩机组），将影响广西、贵州电网的稳定运行。所以采用断开平果变两个不完全串中间断路器 5042、5052 的特殊运行方式（见图 9）。平来线跳闸后，岩滩电厂失去负荷，发电机转子超速保护动作停机。由天生桥厂从 5023 断路器向广西电网供电。

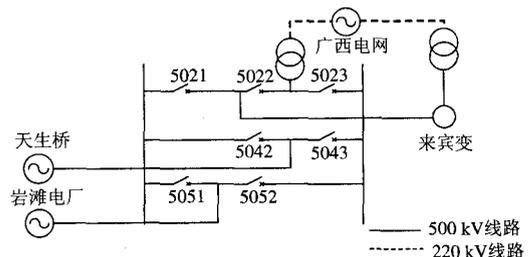


图 9 平果变一次系统接线方式

Fig.9 Primary system connection mode of Pingguo

平果变 500 kV 侧由 3/2 接线变为不完全单母线分段运行,任一断路器跳闸均引起停电,甚至导致系统解列,220 kV 侧的 3/2 接线的优点荡然无存。运行实践证明,这种运行方式 500 kV 变电站 220 kV 侧 3/2 主接线的可靠性和双母线主接线相比,在运行初期没有优势。

#### 2.1.1.2 检修及施工

1) 在技改和施工中,由于其设备紧凑并且二次回路复杂,有较多的远跳回路,往往需要停电并退出保护工作,影响电网的安全稳定运行。

2) 和电流问题在 3/2 主接线问题突出,在线路检修时,中间断路器 CT 仍然和另一个未停运边断路器汇流至运行线路的线路保护,在中间断路器跳合闸试验中合上中间断路器时,如果恰好运行线路故障的时候,电流分流导致降低线路保护灵敏度。解决的办法主要有两个,一个是现在主要采用的方法,把检修断路器的 CT 二次侧短接隔离,另一个是将线路的两个 CT 电流分别接入保护。第一个办法在试验中容易被遗漏,且可能导致 CT 开路。第二个办法需要保护支持电流分别接入。

3) 失灵保护要求的远跳功能牵涉设备较多,维护量大。

在初期的运行中,3/2 断路器主接线并没有带来较高的可靠性和灵活性,当广西网区联系较为紧密以后,上述问题才得到解决。

## 2.2 双母线(分段)带旁路

### 2.2.1 玉林变电站

2000 年投运的 500 kV 玉林变电站是承担着西电东送及向玉林地区供电的枢纽站。500 kV 侧采用 3/2 接线,220 kV 侧采用双母线(分段)带旁路接线。220 kV 侧(一期)主要向玉林地区供电,见图 10(玉林电网系统图.2003)。

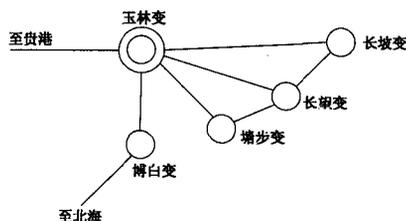


图 10 电网系统图(玉林)

Fig.10 Connection diagram of power system(Yulin)

在玉林变电站 220 kV 侧主接线设计中,比较双母线(分段)带旁路和 3/2 接线,理论上 3/2 接线可靠性略高于双母线(分段)带旁路接线,但投资却多 345.29 万元,考虑便于扩建及继电保护简化,最终选择双母线(分段)带旁路接线。

### 2.2.1.1 运行方式

该接线有较高的可靠性。双回路及环网接入不同段的母线上,在出现一条母线故障的情况下,具有快速恢复送电的优点。适应电网的各种运行方式的改变,包括运行方式需要的双母线分列运行及安全稳定装置需要的解列点等。

### 2.2.1.2 检修及施工

1) 在大规模技改及扩建中,该接线保证供电的可靠性。停电回路清晰,二次回路简洁,施工简单易行,在断路器故障或者检修时使用专旁带路保证供电的可靠性,从玉林变电站建设完成到今,负荷侧发展较快,在运行期间增加多条 220 kV 出线并经历多次技改,带路操作达 62 次,由于出线回数较多,旁路母线过长,在带路操作过程中刀闸起弧过大,易导致刀闸接触不良引起过热现象,运行和检修时需要注意测温和维护。

2) 使用的专旁带路增加操作,并且需要切换保护通道,切换通道过程中线路没有高频保护,平时要注意检查旁路通道正常,对实现无人值班有一定难度。

### 2.2.2 南宁变电站

2002 年投运的 500 kV 南宁变电站亦是西电东送及向南宁地区供电的枢纽站。500 kV 侧采用 3/2 接线,220 kV 侧采用双母线(分段)接线。220 kV 侧主要负担南宁地区的供电任务,与平果变 220 kV 系统形成环网供电,见图 6(南宁电网系统图.2003)。

由于此时的广西电网 220 kV 系统比较紧密,达到 n-1 标准,SF<sub>6</sub> 断路器质量有很大提高,所以取消旁路母线及专旁断路器,进一步减少占地面积,降低造价,主接线简洁清晰,提高操作的安全性,有利于变电站向无人值班发展。在保护方面,母差保护按最新设计布置,母差和失灵功能分开,模块集中化配置。

## 3 结语

变电站主接线应根据该变电站在电力系统中的地位、变电站的最终容量、负荷性质、线路及变压器连接元件总数、设备特点等条件确定。并应综合考虑供电可靠、运行灵活、操作检修方便、投资节约和便于扩建等要求。对于 500 kV 变电站主接线,必须把可靠性放在首位,并综合考虑灵活性、经济性及运行习惯。

综合长期的运行实践,对 500 kV 变电站 220 kV 侧主接线提出以下几点意见:

(下转第 92 页 continued on page 92)

则接线是错误的, 可根据实际显示的相位关系判断错误性质。例如, 如果  $U_A$  与  $I_C$  同相,  $U_C$  与  $I_A$  同相, 则是  $U_A$  与  $U_C$  或  $I_A$  与  $I_C$  接颠倒了。如某电流与正确的相位正好差  $180^\circ$ , 则是电流方向接反了。如上述关系都不适合, 则可能是  $U_B$  与  $U_A$  或  $U_C$  接颠倒了。现场也曾出现过  $I_A$ 、 $I_C$  接入的全是  $I_B$  的情况, 通过观察相位图立即就看出来了。

### 3.3 遥测溢出的检查和处理

遥测溢出是在现场并不常见, 其根本原因是遥测值超出了变量的上限, 这时要检查该遥测是在哪个环节发生溢出的并分情况处理。

a) 测量装置送到 RTU 的数过大, 产生溢出。这时在遥测模块上查看实时数据就能发现异常。

b) RTU 本身设置问题。

实例 2: 城中变反映电度转发到后台后数值不对, 但是在维护软件中察看实际模块数值时都正常。经过检查后发现在处理电度时有问题: 如果设置成电度乘系数上传, 则电度被强制转换成 SHORT 类型, 从而发生溢出。

c) 后台系数过大。减小系数或减少小数位数。

d) 遥测值超出主站规约容量: 典型的是 CDT92 规约, 遥测值范围-2048~2047。可以通过在装置中

配置系数解决。

## 4 结束语

本文讨论的只是遥测明显故障的查找和处理, 对遥测精度问题则要通过现场在线核对和离线校验的方法来解决。在运行中应该切实加强维护和检验管理, 发现问题及时处理, 才能保证调度自动化系统的各种遥测参数实时性和准确性。

### 参考文献

- [1] P·R·贝尔顿. 数据处理与误差分析. 沈维礼, 等译. 北京: 知识出版社, 1986.
- [2] 国家电力调度通信中心, 湖南电力调度通信局. 电网调度自动化与信息化技术标准[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.

收稿日期: 2008-04-21; 修回日期: 2008-12-24

作者简介:

李明珍(1954-), 男, 高级技师, 专业方向为介绍变电站遥测检查方法, 出错的查找及处理; E-mail: liminzli@126.com

李雨舒(1986-), 女, 助理工程师, 专业方向为电力系统及自动化。

(上接第 89 页 continued from page 89)

1) 主接线可靠性的衡量标准是运行实践, 双母线(分段)带旁路接线和 3/2 接线都能满足运行的可靠性及灵活性, 而双母线(分段)带旁路接线投资较省, 二次回路简单及符合运行习惯。

2) 如果 220 kV 侧系统联系比较紧密, SF<sub>6</sub> 断路器质量比较可靠, 可以取消旁路母线及专旁断路器, 使主接线更加清晰, 同时进一步减少占地面积和投资。

3) 对于 3/2 主接线, 在断路器质量不高的初期, 有效提高了供电的可靠性。在系统联系不紧密的时候, 互有利弊。采用 3/2 主接线的方案主要视具体情况而定。

### 参考文献

- [1] 广西电力设计院. 500 kV 玉林变初步设计[Z]. 1998. Guangxi Electric Power Designing Institute. The First Step Designs of Yulin Substation[Z]. 1998.
- [2] 中南设计院. 500 kV 南宁变初步设计[Z]. 2000.

South Central Designing Institute. The First Step Designs of Nanning Substation[Z]. 2000.

- [3] 钟惠霞. 南方电网 500 kV 3/2 断路器主接线的特殊运行方式[J]. 电网技术, 1995 (5): 35-39. ZHONG Hui-xia. Special Run Mode of 500 kV 3/2 Breaker Main Electrical Scheme of South Power Grid[J]. Power System Technology, 1995, (5): 35-39.
- [4] 宋继成. 220~500 kV 变电所电气接线设计[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004. SONG Ji-cheng. 220~500 kV Electricity Connection Designs of Substation[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.

收稿日期: 2008-04-13; 修回日期: 2008-05-30

作者简介:

苏 晓(1984-), 男, 工学学士, 助理工程师, 从事电力运行及继电保护工作; E-mail: 176391311@qq.com

陈 旋(1980-), 男, 助理工程师, 长期从事超高压运行管理工作。