

ICS 29.240.30

CCS P 62

T/DIPA 团体标准

T/DIPA 17—2023

多端高压直流站间协调控制技术要求

Technical requirements for coordinated control between multiterminal
high voltage direct current converter stations

2023-12-29 发布

2024-03-30 实施

国家技术标准创新基地
(直流输电及电力电子技术) (筹建)

珠海市直流输电及电力电子产业促进会

发布

全国团体标准信息平台

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体要求	2
5 多端直流系统站/极协调控制	2
5.1 站/极启停	2
5.2 站/极在线投退	3
5.3 站/极故障闭锁	3
5.4 直流线路故障	3
5.5 顺序控制	3
6 多端直流系统换流器投退协调控制	4
6.1 换流器在线投入	4
6.2 换流器在线退出	4
6.3 换流器故障退出	4
7 多端直流系统站间通信协调控制	4
7.1 站间通信配置原则	4
7.2 两站站间通信故障	4
8 多端直流系统直流功率/电流及电压协调控制	5
8.1 功率指令	5
8.2 功率升降速率	5
8.3 站/极间功率转移	5
8.4 电压、电流控制	6
9 多端直流系统交流故障穿越过程的直流协调控制	6
9.1 送端站交流故障穿越	6
9.2 受端站交流故障穿越	6
附录 A (资料性) 退站示例	7
附录 B (资料性) 退极示例	8
附录 C (资料性) 系统级/站级功能说明	9

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由国家标准创新基地（直流输电及电力电子）（筹建）和珠海市直流输电及电力电子产业促进会标准化管理中心提出和归口。

本文件起草单位：中国南方电网有限责任公司超高压输电公司昆明局、南方电网科学研究院有限责任公司、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司、中国南方电网有限责任公司电力调度控制中心、广东电网有限责任公司珠海供电局、南京南瑞继保电气有限公司、许继电气股份有限公司、北京四方继保自动化股份有限公司、中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司柳州局、海南电力产业发展有限责任公司。

本标准主要起草人：黄剑湘、熊岩、孔飞、杨涛、石万里、陈名、李浩、周月宾、张怿宁、吴宏远、裴星宇、王加磊、刘航、陈图腾、张鹏望、谢桂泉、李建勋、胡亚平、孙豪、焦石、唐力、韦甜柳、徐义良、李阳、陈钦磊、冯文昕、李少森、赵伟杰、彭福琨、乔柱桥、杨学广、王小岭、龙磊、魏金林、王云龙、王杨正、赵世伟、陶冶、王叶飞、庞科伟、刘天宇、卢挺进。

本文件在执行过程中的意见或建议可反馈至珠海市直流输电及电力电子产业促进会（地址：广东省珠海市香洲区乐园路46号，519000）。

多端高压直流站间协调控制技术要求

1 范围

本文件规定了多端高压直流输电系统（以下简称“多端直流系统”）的站/极及换流器投退、站间通信、功率/电流及电压、交流故障穿越的协调控制技术要求。

本文件适用于新建、改扩建 $\pm 500\text{kV}$ 及以上电压等级的多端直流系统；本文件也适用于基于常规直流、柔性直流、混合直流的多端直流系统。在运的 $\pm 500\text{kV}$ 及以上电压等级多端直流系统参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 2900.49 电工术语 电力系统保护
- GB/T 13498 高压直流输电术语
- GB/T 25843 $\pm 800\text{ kV}$ 特高压直流输电控制与保护设备技术要求
- GB/T 35745—2017 柔性直流输电控制与保护设备技术要求
- GB/T 40865 柔性直流输电术语
- DL/T 1778—2017 柔性直流保护和控制设备技术条件
- NB/T 10679 混合直流输电控制与保护设备技术要求

3 术语和定义

GB/T 2900.49、GB/T 13498、GB/T 40865 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

多端高压直流输电系统 multiterminal HVDC transmission system; MTDC

多端直流系统

由多于两个独立的高压直流换流站和互联的高压直流输电线织成的高压直流输电系统。

[来源：GB/T 13498-2017, 8.2.2]

3.2

主控站 master station

多端直流系统（3.1）中某换流站（以下简称“站”）发出的命令除在本站执行外，还会协调其他站执行，该站称为主控站。

3.3

从控站 slave station

多端直流系统（3.1）中除主控站（3.2）外的其他站的总称。

3.4

系统级 system mode

多端直流系统（3.1）的一种运行模式，该模式下将高压直流输电系统的各站双极作为一个整体来控制。系统级功能说明见附录 C.1。

3.5

站级 station mode

多端直流系统（3.1）的一种运行模式，与系统级相对应，该模式下以本站作为控制对象。站级功能说明见附录 C.2。

3.6

换流器 converter

用于将交流电能转换为直流电能或将直流电能转换为交流电能的装置，连接于三个交流端子和两个直流端子之间。

[来源：GB/T 40865—2021，8.1]

3.7

常规直流输电 LCC-HVDC transmission

常直

基于电流源换流器的直流输电技术。

3.8

柔性直流输电 VSC-HVDC transmission

柔直

基于电压源换流器的直流输电技术。

[来源：GB/T 40865—2021，3.3，有修改]

3.9

开路试验 open line test

OLT

又称空载加压试验（以下简称“OLT”），主要是检测换流阀、直流场设备、直流输电线路绝缘是否正常，分为带直流输电线路 OLT 和不带直流输电线路 OLT。

4 总体要求

4.1 多端直流系统的控制系统应配置主、从协调控制功能，运行的多端直流系统中应有一个主控站，其余为从控站。

4.2 多端直流系统的控制系统主、从协调控制功能宜配置在直流站控系统中，双极主控、从控状态应保持一致。

4.3 多端直流系统在系统级方式下运行时，站间顺序控制功能应只允许在主控站开放。

4.4 多端直流系统的站间协调控制功能所在的装置应按双重化配置，设备的功能和性能应符合 GB/T 35745—2017 相关规定。

4.5 多端直流系统的站间通信主通道故障后应能切换至迂回通道且不应影响多端直流系统继续运行。

4.6 多端直流系统的协调控制功能应符合 DL/T 1778—2017、NB/T 10679 相关规定。

5 多端直流系统站/极协调控制

5.1 站/极启停

5.1.1 站/极正常启动

5.1.1.1 正常启动前，主控站应设定非定直流电压站的目标直流功率/电流的参考值及其升降速率的参考值。主控站下发启动站/极命令后，定直流电压站应先于定直流功率/电流站解锁。

5.1.1.2 正常启动后，主控站可停止功率升降过程，并可在直流功率/电流升降过程中修改其目标参考值和升降速率参考值。

5.1.2 站/极正常停运

主控站下发停运站/极命令后，定直流功率/电流站应先于定直流电压站闭锁。

5.1.3 站/极故障停运

5.1.3.1 站间通信正常时，极层保护闭锁命令应送往本直流系统其他站，各站收到保护性闭锁命令后应做出相应响应。

5.1.3.2 站间通信故障时，本站极层保护性闭锁后，其他站应根据控制保护逻辑做出相应响应。

5.2 站/极在线投退

5.2.1 站/极在线投入

- 5.2.1.1 站/极在线投入时，不应影响在运站/极的正常运行。
- 5.2.1.2 若常规直流输电（以下简称“常直”）站/极在线投入，原运行站宜采用强制移相的方式配合其投入。
- 5.2.1.3 若柔性直流输电（以下简称“柔直”）站/极在线投入，解锁后的待投入站/极应控制本站/极的极线直流电压升高至运行站/极的极线直流电压水平，待两者电压差在允许范围内时（宜小于额定电压的5%），合上高速并联开关，完成在线投入。
- 5.2.1.4 若站/极在线投入失败，宜先自动执行退站/极操作。退站示例见附录 A、退极示例见附录 B。

5.2.2 站/极在线退出

- 5.2.2.1 站/极在线退出时，不应影响在运站/极的正常运行。
- 5.2.2.2 站/极在线退出指令下发后，需要退出的站/极应将功率降至最小运行功率（宜为额定功率的10%）后闭锁，剩余运行的常直站/极强制移相、柔直站/极控制直流电压到零闭锁；待直流电流降至允许值时，退出站/极断开高速并联开关，非退出站/极恢复运行。
- 5.2.2.3 若站在线退出失败，应闭锁所有站；若极在线退出失败，应闭锁所有站对应的极。

5.3 站/极故障闭锁

- 5.3.1 站/极故障退出指令下发后，故障站/极应立即闭锁，非故障常直站/极宜强制移相、柔直站/极宜控制直流电压到零闭锁；待直流电流降至允许值时，故障站/极断开高速并联开关，非故障站/极恢复运行。
- 5.3.2 当多端直流系统有多个送端站，其中一个或部分送端站发生站/极层故障闭锁，故障站/极成功退出后，非故障站/极应尽快恢复运行。
- 5.3.3 当多端直流系统有多个受端站，其中一个或部分受端站发生站/极层故障闭锁，故障站/极成功退出后，非故障站/极应尽快恢复运行。
- 5.3.4 若故障站/极退出失败，应闭锁所有站/极。

5.4 直流线路故障

5.4.1 线路故障

- 5.4.1.1 极控系统应配置直流线路故障再启动控制功能。极控系统接收到直流保护系统发送的直流线路故障信号后，启动强制移相或控直流电压到零清除故障电流，并经过一定的放电时间（宜为200ms~500ms）后重启直流系统。
- 5.4.1.2 极控系统应配置合理的再启动触发和计数功能，保证各站应能可靠触发再启动功能。
- 5.4.1.3 直流线路故障再启动控制功能应设置合理的再启动次数（宜不多于5次），应可独立设置每次的去游离时间、再启动电压等参数，应设置合理的复归时间（宜不小于5s）。
- 5.4.1.4 站间通信故障时，多端直流系统宜直接闭锁直流线路故障再启动控制功能。
- 5.4.1.5 直流线路故障再启动控制功能宜配置极间协调配合功能。
- 5.4.1.6 直流线路故障再启动控制功能宜配置与站/极退出功能协调配合的功能。

5.4.2 汇流母线故障

当汇流母线故障与直流线路故障同时发生，与故障相关的站不应执行直流线路故障再启动。

5.4.3 中间站极区故障

当中间站极母线故障与直流线路故障同时发生，应执行退站或所有站闭锁极。

5.5 顺序控制

5.5.1 大地金属回线转换

5.5.1.1 系统级下大地金属回线顺控转换过程中，某一站发生顺控故障后该站顺控应停止，其他站根据顺控条件可选择顺控继续或停止。

5.5.1.2 大地金属回线顺控转换逻辑应避免支路电流超出转换开关的分断电流能力。

5.5.1.3 共用接地极的站，若在接地开关处配置了限流电阻，大地金属回线转换过程中在本站形成站内及接地极两点接地之前，应先将限流电阻投入，当只有一点接地后，再退出限流电阻。

5.5.2 空载加压试验

5.5.2.1 OLT 具有以下运行方式：单换流器站内 OLT、单极双换流器站内 OLT、单换流器带线路 OLT、单极双换流器带线路 OLT。

5.5.2.2 当一极停运一极运行时，停运极的各站可进行带直流输电线路的 OLT。

5.5.2.3 一个或几个站进行不带直流输电线路 OLT 时，不应影响其他站正常运行。

6 多端直流系统换流器投退协调控制

6.1 换流器在线投入

6.1.1 换流器在线投入，不应影响另一换流器的正常运行。

6.1.2 常规多端直流系统中，宜先同时解锁各送端站换流器，后同时解锁各受端站换流器。混合多端直流系统，宜先解锁受端定直流电压站，然后依次解锁定直流功率/电流站。

6.1.3 换流器投入后，若功率/电流未达到限制值，则该极功率/电流值应保持不变：双极功率控制时功率指令不应发生变化，单极电流控制时电流指令不应发生变化。

6.2 换流器在线退出

6.2.1 换流器在线退出，不应影响另一换流器的正常运行。

6.2.2 当一极双换流器正常运行时，若需退出其中一个换流器，则应先将受端站换流器退出，然后将送端站换流器退出。

6.2.3 换流器退出后，若功率/电流未达到限制值，则该极功率/电流值应保持不变：双极功率控制时功率指令不应发生变化，单极电流控制时电流指令也不应发生变化。

6.3 换流器故障退出

6.3.1 站间通信正常时，多个送端站其中一个或部分站发生换流器故障闭锁，可根据实际运行工况需求，选择所有站均闭锁一个换流器或故障站闭锁极。

6.3.2 站间通信正常时，多个受端站其中一个或部分站发生换流器故障闭锁，可根据实际运行工况需求，选择所有站均闭锁一个换流器或故障站闭锁极。

6.3.3 站间通信故障时，换流器层保护闭锁命令应闭锁本站该极，其他站根据控制保护逻辑做出相应响应。

7 多端直流系统站间通信协调控制

7.1 站间通信配置原则

7.1.1 控制保护系统宜在每两站间配置互相独立、互为冗余的主、备通信通道，正常运行时，主、备通道均应发送和接收数据。

7.1.2 控制系统宜优先使用站间通信主通道数据，主通道故障时，使用备用通道数据。

7.1.3 控制系统宜只将主系统数据通过主、备通道传输给其他站。

7.1.4 各站同一区域直流线路保护应相互独立通信，如：A 站的 A 套极 1 直流线路保护应仅与 B 站、C 站……X 站的 A 套极 1 直流线路保护通信。

7.2 两站站间通信故障

7.2.1 当三端直流控制系统两站间主、备通道均故障时，应能通过两站与第三站的通道构成迂回通道进行通信；当三端以上直流控制系统两站间主、备通道均故障时，宜根据工程实际需求决定是否配置迂回通道。

7.2.2 当单套直流线路保护系统两站间主、备通道均故障时，该套直流线路保护应能通过两站与第三站的通道构成迂回通道通信。

7.2.3 控制保护装置应能自动判别站间通信故障，应发出告警并闭锁该通信相关的协调控制功能，不应闭锁直流。

8 多端直流系统直流功率/电流及电压协调控制

8.1 功率指令

各站的直流功率指令宜由主控站进行协调分配，协调分配的直流功率应在设计容量之内。

8.2 功率升降速率

8.2.1 各站的直流功率宜以设定的升降速率在同一时间达到新的功率目标值。

8.2.2 当一个或多个站的直流功率由于新的限制因素导致无法达到目标功率时，主控站应重新整定各站的升降速率。

8.3 站/极间功率转移

8.3.1 发生故障后，功率转移应尽可能减少送端站输送功率的损失，同时兼顾各站入地电流。

8.3.2 运行极的功率传输模式为双极功率控制时，应具备极间功率转移的能力。

8.3.3 当一极的功率传输模式为单极电流控制，另一极的功率传输模式为双极功率控制时，双极功率控制极应补偿单极电流控制极的功率损失。

8.3.4 当一极发生换流器闭锁后：

- a) 若双极的功率传输模式均为双极功率控制，直流功率应按照双极的电压比例分配至双极，且各极直流功率均应在过负荷能力范围内；
- b) 若双极的功率传输模式均为单极电流控制，则各极均保持原有电流指令继续运行；
- c) 若本极的功率传输模式为双极功率控制，另一极的功率传输模式为单极电流控制，则本极功率应在过负荷能力范围内，另一极保持原有电流指令继续运行；
- d) 若本极的功率传输模式为单极电流控制，另一极的功率传输模式为双极功率控制，则本极保持原有电流指令继续运行，另一极接收极间功率转移指令补偿直流功率损失后直流功率应在过负荷能力范围内。

8.3.5 当双极运行，一极发生极闭锁后：

- a) 若另一极的功率传输模式为双极功率控制，则另一极接收极间功率转移指令后直流功率应在过负荷能力范围内；
- b) 若另一极的功率传输模式为单极电流控制，则另一极保持原有电流指令继续运行。

8.3.6 一个站或部分站发生极闭锁后：

- a) 若另一极的功率传输模式为双极功率控制，则本站损失的功率应优先转移至另一极，且另一极接收极间功率转移指令补偿直流功率损失后直流功率应在过负荷能力范围内；若另一极不能完全承担，则可进行站间转移，所转移的功率应保证其他站在过负荷能力范围内；
- b) 若另一极的功率传输模式为单极电流控制，则本站损失的功率不应转移至另一极，可进行站间转移，所转移的功率应保证其他站在过负荷能力范围内。

8.4 电压、电流控制

8.4.1 各站均应设置电压、电流控制器，其电压、电流指令值裕度宜为额定值的10%，保证多端直流系统的电压、电流可控。

8.4.2 定直流功率/电流站应控制多端直流系统的直流功率/电流，当定直流功率/电流站失去电流控制能力时，定直流电压站应接管电流控制。

8.4.3 多端直流输电系统中功率较大的受端站宜控制系统直流电压，送端站设置过电压限制器，当电压越限时应控制直流电压。

9 多端直流系统交流故障穿越过程的直流协调控制

9.1 送端站交流故障穿越

9.1.1 交流故障初始阶段，送端站应通过电流控制器快速调节直流电流，减小直流功率损失。

9.1.2 若发生严重交流故障导致送端站失去直流电流控制能力，受端站定直流电压站应接管直流电流控制。

9.1.3 送端站应配置抑制送端交流故障恢复瞬间直流过压的功能。

9.2 受端站交流故障穿越

9.2.1 常直受端站

9.2.1.1 常直受端站宜配置针对交流系统故障的换相失败预测功能和基于换相面积裕度计算的紧急触发等功能，在故障期间根据需要可采取提前触发换相等措施，防止受端站发生连续换相失败。

9.2.1.2 送受端站应设置合适的调节器参数和直流低压限流功能参数，降低交流故障期间受端站换相失败发生的概率。

9.2.2 柔直受端站

9.2.2.1 故障期间宜根据换流器通流能力对受端站电流参考值进行限制，防止受端站过流。

9.2.2.2 故障期间应通过站间协调控制策略，控制送端站的直流功率注入量，防止直流严重过压。

附录 A
(资料性)
退站示例

图 A.1 给出了一种典型的多端高压直流系统退站的示意图。

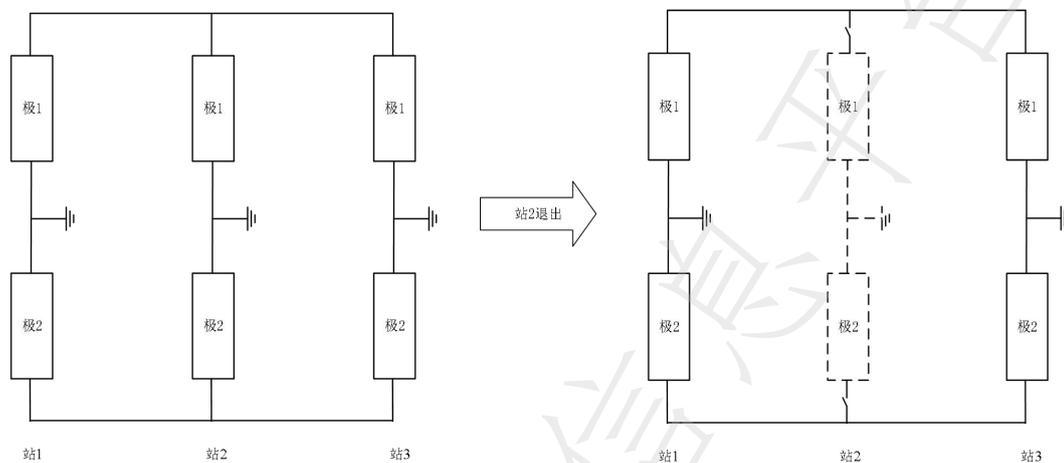


图 A.1 多端高压直流系统退站示意图

附录 B
(资料性)
退极示例

图 B.1 给出了一种典型的多端高压直流系统退极的示意图。

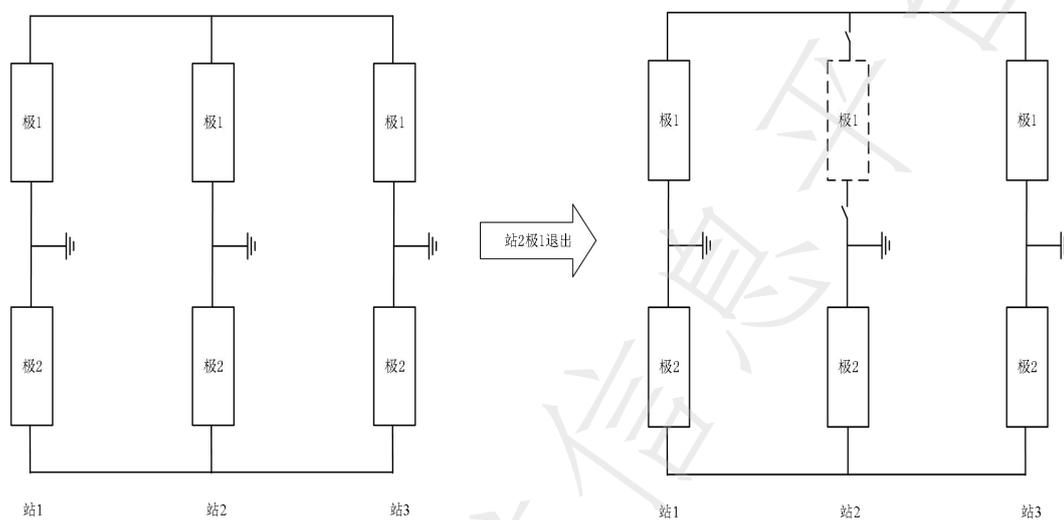


图 B.1 多端高压直流系统退极示意图

附 录 C
(资料性)
系统级/站级功能说明

C.1 系统级

在系统级下，将多端直流系统的各站作为一个整体来控制，以整个系统的双极作为控制对象，同一时刻有且仅有一个站为主控站，其余站为从控站，多端直流系统的控制功能由主控站实现，主控站发出的控制命令应自动在各站之间协调执行。在站级且站间通信正常情况下，可由主控站运行人员操作进入系统级。

C.2 站级

站级与系统级相对应，在站级下，多端直流系统的各站独立控制，仅以本站双极作为控制对象，发出的控制命令应只针对本站，各站之间通过站间通信或电话通信协调配合完成操作。在系统级下，可由主控站运行人员操作进入站级或极控系统、直流站控系统站间通信故障时自动进入站级。

参 考 文 献

- [1] GB/T 13498—2017 高压直流输电术语
- [2] GB/T 40865—2021 柔性直流输电术语