(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 116545000 A
(43)申请公布日 2023.08.04

(21)申请号 202210087407.7

(22)申请日 2022.01.25

(71)申请人 南京南瑞继保电气有限公司
地址 211102 江苏省南京市江宁区苏源大道69号
申请人 南京南瑞继保工程技术有限公司

(72)发明人 张庆武 王俊生 肖建民 沈天骄 王永平

(74)专利代理机构 北京律和信知识产权代理事务所(普通合伙) 11446
专利代理师 张莎莎 刘兴

(51)Int.Cl.
H02J 3/36(2006.01)
H02H 7/12(2006.01)
H02H 7/122(2006.01)
H02H 7/125(2006.01)
H02H 7/26(2006.01)

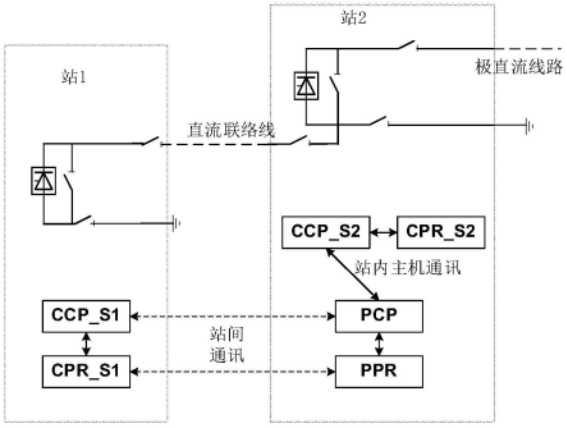
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

串联多端直流输电控制保护系统

(57)摘要

本申请提出一种串联多端直流输电控制保护系统,所述串联多端直流输电系统的每极包括至少三个换流站和四个换流器,其中两个换流器以串联的形式分布在所述串联多端直流输电系统的每极的送端侧或受端侧中的两个不同的换流站,所述两个不同换流站包括站1和站2,所述站1为末端站,所述站2为站内有三站汇流母线的中间站,其中:在所述站1配置站1控制主机,实现所述站1的换流器层控制功能和所述站1的双极层控制功能;在所述站2配置站2第一控制主机和站2第二控制主机,所述站2第一控制主机实现所述站2的换流器层控制功能,所述站2第二控制主机实现所述站2的双极层控制功能及所述站1和所述站2两站相关的极层控制功能。



CN 116545000 A

1.一种串联多端直流输电控制保护系统,所述串联多端直流输电系统的每极包括至少三个换流站和四个换流器,其中两个换流器以串联的形式分布在所述串联多端直流输电系统的每极的送端侧或受端侧中的两个不同的换流站,所述两个不同换流站包括站1和站2,所述站1为末端站,所述站2为站内有三站汇流母线的中间站,其特征在于:

在所述站1配置站1控制主机,实现所述站1的换流器层控制功能和所述站1的双极层控制功能;

在所述站2配置站2第一控制主机和站2第二控制主机,所述站2第一控制主机实现所述站2的换流器层控制功能,所述站2第二控制主机实现所述站2的双极层控制功能及所述站1和所述站2两站相关的极层控制功能。

2.根据权利要求1所述的串联多端直流输电控制保护系统,其特征在于:

在所述站1配置站1保护主机,实现所述站1的换流器层保护功能、所述站1区域内的极层保护功能、所述站1的双极层保护功能、所述站1和所述站2间的直流联络线保护功能;

在所述站2配置站2第一保护主机和站2第二保护主机,其中站2第一保护主机实现所述站2的换流器层保护功能,站2第二保护主机实现所述站2的双极层保护功能、所述站2区域内的极层保护功能、所述站1和所述站2间的直流联络线保护功能、整流侧与逆变侧间直流极线路保护功能。

3.如权利要求1所述的串联多端直流输电控制保护系统,其特征在于:

在所述站1控制主机与所述站2第二控制主机之间配置站间通讯,实现所述站1和所述站2间控制功能的协调配合。

4.如权利要求2所述的串联多端直流输电控制保护系统,其特征在于:

在所述站1保护主机与所述站2第二保护主机之间配置站间通讯,实现所述站1和所述站2间保护功能的协调配合。

5.根据权利要求1所述的串联多端直流输电控制保护系统,其特征在于,所述站1控制主机包括:

换流器触发控制、控制脉冲发生单元、开关顺序控制、模式顺序控制、准备顺序控制、换流变压器分接头控制、解闭锁顺序控制、站间通讯和/或站1无功控制。

6.根据权利要求1所述的串联多端直流输电控制保护系统,其特征在于,所述站2第一控制主机包括:

换流器触发控制、控制脉冲发生单元、开关顺序控制、模式顺序控制、准备顺序控制、换流变压器分接头控制和/或解闭锁顺序控制。

7.根据权利要求1所述的串联多端直流输电控制保护系统,其特征在于,所述站2第二控制主机包括:

极功率/电流控制、过负荷限制、直流功率调制、开关顺序控制、模式顺序控制、准备顺序控制、电压角度参考值计算、开路试验控制、站间通讯和/或站2无功控制。

8.如权利要求1所述的串联多端直流输电控制保护系统,其特征在于:

所述站1控制主机还包括

后备极功率/电流控制、后备过负荷限制和/或后备直流功率调制,以实现所述站1和所述站2两站相关的极层后备控制功能。

9.根据权利要求2所述的串联多端直流输电控制保护系统,其特征在于,

所述换流器层的保护功能包括：

阀短路保护、换相失败保护和/或换流器差动保护；

所述极层的保护功能包括：

极母线差动保护、极中性母线差动保护、极差动保护、直流谐波保护、直流过电压保护、直流低电压保护和/或接地极引线开路保护；

所述双极层保护功能包括：双极母线差动保护、接地极引线不平衡保护和/或金属回线接地保护。

10.根据权利要求2所述的串联多端直流输电控制保护系统，其特征在于，所述的直流联络线保护功能和所述直流极线路保护功能分别包括：

直流线路行波保护、直流线路电压突变量保护、直流线路低电压保护和/或直流线路差动保护。

11.根据权利要求1所述的串联多端直流输电控制保护系统，其特征在于，在所述站2配置站2第一保护主机和站2第二保护主机，其中：

所述站2第一保护主机实现所述站2的换流器层保护功能、所述站1和所述站2间直流联络线保护功能，

所述站2第二保护主机控制实现站2双极层保护功能、站2区域内的极层保护功能、整流侧与逆变侧间直流极线路保护功能。

12.根据权利要求11所述的串联多端直流输电控制保护系统，其特征在于：

所述站1保护主机与所述站2第一控制主机间配置站间通讯，实现所述站1和所述站2间保护功能的协调配合。

串联多端直流输电控制保护系统

技术领域

[0001] 本申请涉及多端直流输电领域，具体而言，涉及一种串联多端直流输电控制保护系统。

背景技术

[0002] 当前，特高压直流在中国已经取得了广泛的工程应用，现有的特高压直流工程几乎都采用两端换流站架构，每端换流站包含两个极，每极由两个12脉动换流器串联组成。

[0003] 两端特高压直流输送容量大，送、受端落点集中，对相联交流系统要求高。为提高交直流系统运行的安全稳定性，近年来一些新建特高压直流的受端站采用了高低压换流器分层接入不同交流电网的拓扑方式，有助于提高直流受端系统电压支撑能力，但这仍局限于两端直流系统范畴，设计灵活性仍显不足。

[0004] 乌东德直流工程是我国第一个多端特高压直流工程，采用三端换流站并联架构，1个送端换流站，2个受端换流站，这种多端架构降低了对受端交流系统的要求，提升了直流系统运行灵活性，但并联多端特高压直流工程整体建设成本较高。

[0005] 在现有两端特高压直流输电系统的基础上，将每极送端侧或受端侧串联的两个换流器，分别布置到不同落点的两个换流站，并与另一侧的换流站一起，构成串联型三端或四端直流输电系统，既可以提升特高压直流汇聚和消纳大规模能源的安全性和灵活性，相对于并联多端特高压直流工程建设成本又较低。但这种拓扑的难点在于每一侧串联的两个换流器间存在紧密的直流耦合关系，需要密切的协调控制，同侧串联的两个换流器分置不同落点的两个换流站后，该侧的直流控制保护系统也需要重新设计架构，形成串联多端特高压直流控制保护系统，配置到不同换流站，并通过新增的站间通讯实现同侧串联两个换流器的协调控制。

[0006] 串联多端特高压直流控制保护系统并不是对原两端特高压直流控制保护系统功能配置的简单复制或拆分，而是需要考虑多种限制因素，进行大量的优化设计，以实现串联多端特高压直流系统整体上的最佳安全性、可靠性、灵活性和经济性。上述限制因素至少包括：

[0007] (1)要实现串联多端特高压直流系统所有运行接线方式，以及各种运行接线方式间的安全转换；

[0008] (2)要可靠检测和处理串联多端特高压直流系统可能出现的所有故障类型，包括因新增站间直流联络线而新引入的直流联络线故障的检测和处理等；

[0009] (3)要实现串联多端特高压直流系统任一换流器退出检修，且不对剩余部分系统可靠运行造成影响；

[0010] (4)新增站间通讯可靠性必然低于原站内通讯，要在此限制条件下，通过串联多端特高压直流控制保护系统的优化设计，尽可能维持串联多端特高压直流输电系统的整体可靠性；

[0011] (5)在实现上述要求的同时，还要尽可能降低串联多端特高压直流控制保护系统

的整体复杂度等。

[0012] 因此，串联多端特高压直流控制保护系统设计难度大，且受站间通讯的制约，运行可靠性可能低于两端特高压直流控制保护系统。目前国内外还没有串联多端直流工程应用方面的报道，但由于其在经济性、灵活性方面的优势，且随着我国直流控制保护技术的不断发展，相关的预研究已经逐步开展。但目前主要是关于串联多端直流换流站间协调控制方面的内容，没有关于串联多端直流输电控制保护系统整体配置方法的报道。

发明内容

[0013] 本申请提出一种串联多端直流输电控制保护系统，以更好地适应串联换流器分站布置对直流控制保护系统设计及功能配置的影响，在不大幅增加直流控制保护系统复杂程度的前提下，满足串联多端直流输电系统的运行方式及可靠性要求。

[0014] 根据本申请的一方面，提出一种串联多端直流输电控制保护系统，所述串联多端直流输电系统的每极包括至少三个换流站和四个换流器，其中两个换流器以串联的形式分布在所述串联多端直流输电系统的每极的送端侧或受端侧中的两个不同的换流站，所述两个不同换流站包括站1和站2，所述站1为末端站，所述站2为站内有三站汇流母线的中间站，在所述站1配置站1控制主机，实现所述站1的换流器层控制功能和所述站1的双极层控制功能；在所述站2配置站2第一控制主机和站2第二控制主机，所述站2第一控制主机实现所述站2的换流器层控制功能，所述站2第二控制主机实现所述站2的双极层控制功能及所述站1和所述站2两站相关的极层控制功能。

[0015] 根据一些实施例，在所述站1配置站1保护主机，实现所述站1的换流器层保护功能、所述站1区域内的极层保护功能、所述站1的双极层保护功能、所述站1和所述站2间的直流联络线保护功能；在所述站2配置站2第一保护主机和站2第二保护主机，其中站2第一保护主机实现所述站2的换流器层保护功能，站2第二保护主机实现所述站2的双极层保护功能、所述站2区域内的极层保护功能、所述站1和所述站2间的直流联络线保护功能、整流侧与逆变侧间直流极线路保护功能。

[0016] 根据一些实施例，在所述站1控制主机与所述站2第二控制主机之间配置站间通讯，实现所述站1和所述站2间控制功能的协调配合。

[0017] 根据一些实施例，在所述站1保护主机与所述站2第二保护主机之间配置站间通讯，实现所述站1和所述站2间保护功能的协调配合。

[0018] 根据一些实施例，所述站1控制主机包括换流器触发控制、控制脉冲发生单元、开关顺序控制、模式顺序控制、准备顺序控制、换流变压器分接头控制、解闭锁顺序控制、站间通讯和/或站1无功控制。

[0019] 根据一些实施例，所述站2第一控制主机包括换流器触发控制、控制脉冲发生单元、开关顺序控制、模式顺序控制、准备顺序控制、换流变压器分接头控制和/或解闭锁顺序控制。

[0020] 根据一些实施例，所述站2第二控制主机包括极功率/电流控制、过负荷限制、直流功率调制、开关顺序控制、模式顺序控制、准备顺序控制、电压角度参考值计算、开路试验控制、站间通讯和/或站2无功控制。

[0021] 根据一些实施例，所述站1控制主机还包括后备极功率/电流控制、后备过负荷限

制和/或后备直流功率调制，以实现所述站1和所述站2两站相关的极层后备控制功能。

[0022] 根据一些实施例，所述换流器层的保护功能包括阀短路保护、换相失败保护和/或换流器差动保护；所述极层的保护功能包括极母线差动保护、极中性母线差动保护、极差动保护、直流谐波保护、直流过电压保护、直流低电压保护和/或接地极引线开路保护；所述双极层保护功能包括双极母线差动保护、接地极引线不平衡保护和/或金属回线接地保护。

[0023] 根据一些实施例，所述的直流联络线保护功能和所述直流极线路保护功能分别包括直流线路行波保护、直流线路电压突变量保护、直流线路低电压保护和/或直流线路差动保护。

[0024] 根据一些实施例，在所述站2配置站2第一保护主机和站2第二保护主机，其中所述站2第一保护主机实现所述站2的换流器层保护功能、所述站1和所述站2间直流联络线保护功能，所述站2第二保护主机控制实现站2双极层保护功能、站2区域内的极层保护功能、整流侧与逆变侧间直流极线路保护功能。

[0025] 根据一些实施例，所述站1保护主机与所述站2第一控制主机间配置站间通讯，实现所述站1和所述站2间保护功能的协调配合。

[0026] 根据本申请的一些实施例，通过较少的站间通讯通道实现了串联多端直流控制保护系统整体运行控制。

[0027] 根据本申请的另外一些实施例，较少的站间通讯通道实现了串联多端直流控制保护系统整体保护控制。

[0028] 根据一些实施例，通过在串联多端直流控制保护系统中布置较少的站间通讯通道，实现了串联换流器分站布置结构下的多端直流输电系统的各种运行控制方式及保护功能，且串联多端直流控制保护系统整体具有较高的可靠性。

附图说明

[0029] 为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案，下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍。

[0030] 图1示出一种串联四端直流输电系统的示意图；

[0031] 图2示出一种串联三端直流输电系统的示意图；

[0032] 图3示出根据本申请示例实施例的一种串联多端直流控制保护系统单侧单极的配置方式示意图；

[0033] 图4示出根据本申请示例实施例的另一种串联多端直流控制保护系统单侧单极的配置方式示意图；

[0034] 图5示出根据本申请示例实施例的另一种串联多端直流控制保护系统单侧单极的配置方式示意图。

具体实施方式

[0035] 现在将参考附图更全面地描述示例实施例。然而，示例实施例能够以多种形式实施，且不应被理解为限于在此阐述的实施例；相反，提供这些实施例使得本申请将全面和完整，并将示例实施例的构思全面地传达给本领域的技术人员。在图中相同的附图标记表示相同或类似的部分，因而将省略对它们的重复描述。

[0036] 所描述的特征、结构或特性可以以任何合适的方式结合在一个或更多实施例中。在下面的描述中，提供许多具体细节从而给出对本公开的实施例的充分理解。然而，本领域技术人员将意识到，可以实践本公开的技术方案而没有这些特定细节中的一个或更多，或者可以采用其它的方式、组元、材料、装置或操作等。在这些情况下，将不详细示出或描述公知结构、方法、装置、实现、材料或者操作。

[0037] 附图中所示的流程图仅是示例性说明，不是必须包括所有的内容和操作/步骤，也不是必须按所描述的顺序执行。例如，有的操作/步骤还可以分解，而有的操作/步骤可以合并或部分合并，因此实际执行的顺序有可能根据实际情况改变。

[0038] 本申请的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”等是用于区别不同对象，而不是用于描述特定顺序。此外，术语“包括”和“具有”以及它们任何变形，意图在于覆盖不排他的包含。例如包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备没有限定于已列出的步骤或单元，而是可选地还包括没有列出的步骤或单元，或可选地还包括对于这些过程、方法、产品或设备固有的其他步骤或单元。

[0039] 下面结合附图，对根据本申请示例实施例的一种串联多端直流输电控制保护系统进行详细说明。

[0040] 根据本申请的一些实施例，串联多端直流输电系统的每极包括至少三个换流站和四个换流器，其中两个换流器以串联的形式分布在串联多端直流输电系统的每极的送端侧或受端侧中的两个不同的换流站，且两个不同换流站包括站1和站2，站1为末端站，所述站2为站内有三站汇流母线的中间站。

[0041] 例如，串联多端直流输电系统的每极包括四个换流器和四个换流站，其中两个换流器分布在串联多端直流输电系统每极的送端侧的两个不同的换流站，另外两个分布在串联多端直流输电系统每极的受端侧的两个不同的换流站，如图1所示。

[0042] 又例如，串联多端直流输电系统的每极包括四个换流器和三个换流站，其中两个换流器分布在串联多端直流输电系统每极的送端侧的两个不同的换流站，另外两个分布在串联多端直流输电系统每极的受端侧的同一个换流站，如图2所示。

[0043] 又例如，串联多端直流输电系统的每极包括四个换流器，其中两个换流器分布在串联多端直流输电系统每极的受端侧的两个不同的换流站，另外两个分布在串联多端直流输电系统每极的送端侧的同一个换流站。

[0044] 根据一些实施例，对于以串联的形式分布在串联多端直流输电系统的每极的同一端的两个换流站分别为站1和站2，其中，站1为末端站，站2为站内有三站汇流母线的中间站。

[0045] 为了区分送端侧和受端侧的站1和站2，将分布在串联多端直流输电系统的每极的送端侧的两个换流站定义为送端侧站1和送端侧站2，将分布在串联多端直流输电系统的每极的受端侧的两个换流站定义为受端侧站1和受端侧站2。

[0046] 图1示出一种串联四端直流输电系统的示意图。如图1所示的串联四端直流输电系统的极1侧包括4个换流站，其中有2个送端侧换流站和2个受端侧换流站。

[0047] 送端侧换流站的极1侧包括站A和站B，受端侧换流站的极1侧包括站C和站D，且每个换流站均包括一个换流器。其中，站A是四端直流的末端站，定义为送端侧站1；站B的中性母线区和极母线区作为站A、站B、站C三站的汇流母线，定义站B为送端侧站2；站C的中性母

线区和极母线区作为站B、站C和站D三站的汇流母线，定义为受端侧站2，站D定义为受端侧站1。其中，将送端侧站1和受端侧站1统称为站1，将送端侧站2和受端侧站2统称为站2。

[0048] 根据本申请的一些实施例，在串联四端直流输电系统的每极的站1配置站1控制主机，实现站1的换流器层控制功能和站1的双极层控制功能；在串联四端直流输电系统的每极的站2配置站2第一控制主机和站2第二控制主机，其中站2第一控制主机实现站2的换流器层控制功能，站2第二控制主机实现站2的双极层控制功能及站1和站2两站相关的极层控制功能。

[0049] 如图1所示，在送端侧站1配置1套控制主机，也即站1控制主机，如图3或图4中所示的CCP_S1，实现送端侧站1换流器层控制功能、送端侧站1双极层控制功能；在受端侧站1配置1套控制主机，也即站1控制主机，如图3或图4中所示的CCP_S1，实现受端侧站1换流器层控制功能、受端侧站1双极层控制功能。在送端侧站2配置2套控制主机，其中1套控制主机实现送端侧站2换流器层控制功能，即图3或图4中CCP_S2，另外1套控制主机实现送端侧站2双极层控制功能、送端侧站1和送端侧站2两站相关的极层控制功能，即图3或图4中PCP；在受端侧站2配置2套控制主机，其中1套实现受端侧站2换流器层控制功能，即图3或图4中CCP_S2，另1套控制主机实现受端侧站2双极层控制功能、受端侧站1和受端侧站2两站相关的极层控制功能，即图3或图4中PCP。

[0050] 在此需要说明的是，在送端侧站2和受端侧站2配置的2套控制主机为2套不同的控制主机，其中1套统称为站2第一控制主机，另外一套统称为站2第二控制主机。同样，在送端侧站1和受端侧站1配置的控制主机为不同的控制主机，只是将配置在送端侧站1和受端侧站1的控制主机统称为站1控制主机。

[0051] 根据本申请的一些实施例，在串联四端直流输电系统的每极的站1配置站1保护主机，实现站1的换流器层保护功能、站1区域内的极层保护功能、站1的双极层保护功能、站1和站2间联络线保护功能。

[0052] 如图1所示，在送端侧站1配置1套保护主机，即站1保护主机，如图3或图4中的CPR_S1，实现送端侧站1换流器层保护功能、送端侧站1区域内的极层保护功能、送端侧站1双极层保护功能、送端侧站1和送端侧站2间直流联络线保护功能；在受端侧站1配置1套保护主机，即站1保护主机，如图3或图4中的CPR_S1，实现受端侧站1换流器层保护功能、受端侧站1区域内的极层保护功能、受端侧站1双极层保护功能、受端侧站1和受端侧站2间直流联络线保护功能。

[0053] 在此需要说明的是，在送端侧站1和受端侧站1配置的保护主机为不同的控制主机，只是将配置在送端侧站1和受端侧站1的保护主机统称为站1保护主机。

[0054] 根据一些实施例，在串联四端直流输电系统的每极的站2配置站2第一保护主机和站2第二保护主机，其中站2第一保护主机实现站2的换流器层保护功能，站2第二保护主机实现站2的双极层保护功能、站2区域内的极层保护功能、站1和所述站2间直流联络线保护功能、整流侧与逆变侧间直流极线路保护功能。

[0055] 如图1所示，在送端侧站2配置2套保护主机，其中1套实现送端侧站2换流器层保护功能，即图3或图4中CPR_S2，另1套保护主机实现送端侧站2双极层保护功能、送端侧站2区域内的极层保护功能、送端侧站1和送端侧站2间直流联络线保护功能、整流侧与逆变侧间直流极线路，也即即图1中的极1直流线路和极2直流线路保护功能，如图3或图4中所示的

PPR。在受端侧站2配置2套保护主机，其中1套实现受端侧站2换流器层保护功能，即图3或图4中CPR_S2，另1套保护主机实现受端侧站2双极层保护功能、受端侧站2区域内的极层保护功能、受端侧站1和受端侧站2间直流联络线保护功能、整流侧与逆变侧间直流极线路，也即即图1中的极1直流线路和极2直流线路保护功能，如图3或图4中所示的PPR。

[0056] 在此需要说明的是，在送端侧站2和受端侧站2配置的2套保护主机为2套不同的保护主机，其中1套统称为站2第一保护主机，另外一套统称为站2第二保护主机。

[0057] 根据一些实施例，在站1控制主机与站2第二控制主机之间配置站间通讯，实现站1和站2间控制功能的协调配合。

[0058] 例如，在送端侧站1的控制主机CCP_S1与送端侧站2中实现送端侧站1和送端侧站2两站相关的极层控制功能的控制主机PCP间配置站间通讯，实现送端侧站1和送端侧站2两站控制功能的协调配合。在受端侧站1的控制主机CCP_S1与受端侧站2中实现受端侧站1和受端侧站2两站相关的极层控制功能的控制主机PCP间配置站间通讯，实现受端侧站1和受端侧站2两站控制功能的协调配合。

[0059] 根据一些实施例，在站1保护主机与站2第二保护主机之间配置站间通讯，实现站1和站2间保护功能的协调配合。

[0060] 例如，在送端侧站1的保护主机CPR_S1与送端侧站2中实现送端侧站1和送端侧站2间直流联络线保护功能的保护主机PPR间配置站间通讯，实现送端侧站1和送端侧站2间保护功能的协调配合。在受端侧站1的保护主机CPR_S1与受端侧站2中实现受端侧站1和受端侧站2间直流联络线保护功能的保护主机PPR间配置站间通讯，实现受端侧站1和受端侧站2间保护功能的协调配合。

[0061] 根据另一些实施例，在站2配置站2第一保护主机和站2第二保护主机，其中站2第一保护主机实现站2的换流器层保护功能、站1和站2间直流联络线保护功能，站2第二保护主机控制实现站2双极层保护功能、站2区域内的极层保护功能、整流侧与逆变侧间直流极线路保护功能。并在站1保护主机与站2第一控制主机间配置站间通讯，实现站1和站2间保护功能的协调配合。

[0062] 例如，在送端侧站2配置的2套保护主机，其中1套实现送端侧站2换流器层保护功能、送端侧站1和送端侧站2间直流联络线保护功能，如图3或图4中的CPR_S2，另1套保护主机实现送端侧站2双极层保护功能、送端侧站2区域内的极层保护功能、整流侧与逆变侧间直流极线路保护功能，如图3或图4中的PPR。这种配置方式下，在送端侧站1的保护主机CPR_S1与送端侧站2中实现送端侧站1和送端侧站2间直流联络线保护功能的保护主机CPR_S2间配置站间通讯，实现送端侧站1和送端侧站2间保护功能的协调配合。

[0063] 又例如，在受端侧站2配置的2套保护主机，其中1套实现受端侧站2换流器层保护功能、受端侧站1和受端侧站2间直流联络线保护功能，如图3或图4中的CPR_S2，另1套保护主机实现受端侧站2双极层保护功能、受端侧站2区域内的极层保护功能、整流侧与逆变侧间直流极线路保护功能，如图3或图4中的PPR。这种配置方式下，在受端侧站1的保护主机CPR_S1与受端侧站2中实现受端侧站1和受端侧站2间直流联络线保护功能的保护主机CPR_S2间配置站间通讯，实现受端侧站1和受端侧站2间保护功能的协调配合。

[0064] 在此需要说明的是，在送端侧站2和受端侧站2配置的2套保护主机为2套不同的保护主机，其中1套统称为站2第一保护主机，另外一套统称为站2第二保护主机。同样，在送端

侧站1和受端侧站1配置的保护主机为不同的控制主机，只是将配置在送端侧站1和受端侧站1的保护主机统称为站1保护主机。

[0065] 根据一些实施例，实现站1换流器层控制和双极层控制功能的控制主机CCP_S1，也即站1控制主机包括换流器触发控制、控制脉冲发生单元、开关顺序控制、模式顺序控制、准备顺序控制、换流变压器分接头控制、解闭锁顺序控制、站间通讯和/或站1无功控制；

[0066] 根据一些实施例，实现站2换流器层控制功能的控制主机CCP_S2，也即站2第一控制主机包括换流器触发控制、控制脉冲发生单元、开关顺序控制、模式顺序控制、准备顺序控制、换流变压器分接头控制和/或解闭锁顺序控制；

[0067] 根据一些实施例，实现站2双极层控制、站1和站2两站相关的极层控制功能的控制主机PCP，也即站2第二控制主机包括极功率/电流控制、过负荷限制、直流功率调制、开关顺序控制、模式顺序控制、准备顺序控制、电压角度参考值计算、开路试验控制、站间通讯和/或站2无功控制。

[0068] 根据一些实施例，换流器层保护功能包括阀短路保护、换相失败保护、换流器差动保护。极层保护功能包括：极母线差动保护、极中性母线差动保护、极差动保护、直流谐波保护、直流过电压保护、直流低电压保护、接地极引线开路保护；双极层保护功能包括双极母线差动保护、接地极引线不平衡保护、金属回线接地保护；直流联络线保护功能和直流极线路保护功能分别包括直流线路行波保护、直流线路电压突变量保护、直流线路低电压保护、直流线路差动保护。

[0069] 根据另一些实施例，站1控制主机还包括后备极功率/电流控制、后备过负荷限制、后备直流功率调制，以实现站1和站2两站相关的极层后备控制功能。当在站2中实现站1和站2两站相关的极层控制功能的控制主机PCP失效后，站1控制主机CCP_S1中的后备极功率/电流控制、后备过负荷限制、后备直流功率调制功能起效。

[0070] 在此需要说明的是，站A、站B、站C和站D分布在串联四端直流输电系统的极1侧，对于串联四端直流输电系统的极2侧中的换流站需要保持和站A、站B、站C和站D同样配置，在此不再赘述。

[0071] 根据本申请的一些实施例，通过较少的站间通讯通道实现了串联多端直流控制保护系统整体运行控制。

[0072] 根据本申请的另外一些实施例，较少的站间通讯通道实现了串联多端直流控制保护系统整体保护控制。

[0073] 根据一些实施例，通过在串联多端直流控制保护系统中布置较少的站间通讯通道，实现了串联换流器分站布置结构下的多端直流输电系统的各种运行控制方式及保护功能，且串联多端直流控制保护系统整体具有较高的可靠性。

[0074] 图2示出一种串联三端直流输电系统的示意图。如图2所示的串联三端直流输电系统的极1侧包括3个换流站，其中有2个送端侧换流站和1个受端侧换流站，且送端侧的每个换流站各包括一个换流器，受端侧的换流站包括两个换流器；站A是送端直流的末端站，定义为送端侧站1；站B的中性母线区和极母线区作为站A、站B、站C三站的汇流母线，定义站B为送端侧站2；受端侧仅有一个换流站，即站C，其站内主接线和直流控制保护系统可沿用两端特高压直流系统单侧换流站的设计。

[0075] 下面以图2中的极1侧的送端侧为例，对单侧直流控制保护系统每极配置进行说

明。对于受端侧的配置与送端侧相同，在此不再赘述。同样，对极2侧的配置和极1侧相同，在此也不在赘述。

[0076] 如图2所示，在站1，也即站A-送端侧站1，配置1套控制主机，即图3或图4中CCP_S1，实现站1换流器层控制功能、站1双极层控制功能；在站2，也即站B-送端侧站2，配置2套控制主机，其中1套实现站2换流器层控制功能，即图3或图4中CCP_S2，另1套控制主机实现站2双极层控制功能、站1和站2两站相关的极层控制功能，即图3或图4中PCP；

[0077] 在站1配置1套保护主机，即图3或图4中CPR_S1，实现站1换流器层保护功能、站1区域内的极层保护功能、站1双极层保护功能、站1和站2间直流联络线保护功能；在站2配置2套保护主机，其中1套实现站2换流器层保护功能，即图3或图4中CPR_S2，另1套保护主机实现站2双极层保护功能、站2区域内的极层保护功能、站1和站2间直流联络线保护功能、整流侧与逆变侧间直流极线路，即图1中的极1直流线路和极2直流线路保护功能，即图3或图4中PPR。

[0078] 在站1的控制主机CCP_S1与站2中实现站1和站2两站相关的极层控制功能的控制主机PCP间配置站间通讯，实现站1和站2两站控制功能的协调配合。

[0079] 在站1的保护主机CPR_S1与站2中实现站1和站2间直流联络线保护功能的保护主机PPR间配置站间通讯，实现站1和站2间保护功能的协调配合。

[0080] 在站2配置的2套保护主机，也可采用如下功能配置方式：其中1套实现站2换流器层保护功能、站1和站2间直流联络线保护功能，即图3或图4中CPR_S2，另1套保护主机实现站2双极层保护功能、站2区域内的极层保护功能、整流侧与逆变侧间直流极线路保护功能，即图3或图4中PPR。这种配置方式下，在站1的保护主机CPR_S1与站2中实现站1和站2间直流联络线保护功能的保护主机CPR_S2间配置站间通讯，实现站1和站2间保护功能的协调配合。

[0081] 实现站1换流器层控制和双极层控制功能的控制主机CCP_S1包括功能模块换流器触发控制、控制脉冲发生单元、开关顺序控制、模式顺序控制、准备顺序控制、换流变压器分接头控制、解闭锁顺序控制、站间通讯和/或站1无功控制。

[0082] 实现站2换流器层控制功能的控制主机CCP_S2包括功能模块换流器触发控制、控制脉冲发生单元、开关顺序控制、模式顺序控制、准备顺序控制、换流变压器分接头控制和/或解闭锁顺序控制；

[0083] 实现站2双极层控制、站1和站2两站相关的极层控制功能的控制主机PCP包括功能模块极功率/电流控制、过负荷限制、直流功率调制、开关顺序控制、模式顺序控制、准备顺序控制、电压角度参考值计算、开路试验控制、站间通讯和/或站2无功控制。

[0084] 换流器层保护功能包括阀短路保护、换相失败保护和/或换流器差动保护；极层保护功能包括极母线差动保护、极中性母线差动保护、极差动保护、直流谐波保护、直流过电压保护、直流低电压保护和/或接地极引线开路保护；双极层保护功能包括双极母线差动保护、接地极引线不平衡保护和/或金属回线接地保护；直流联络线保护功能和直流极线路保护功能分别包括直流线路行波保护、直流线路电压突变量保护、直流线路低电压保护和/或直流线路差动保护。

[0085] 可选的，站1控制主机还包括后备极功率/电流控制、后备过负荷限制和/或后备直流功率调制，以实现站1和站2两站相关的极层后备控制功能。。当在站2中实现站1和站2两

站相关的极层控制功能的控制主机PCP失效后，站1控制主机CCP_S1中的后备极功率/电流控制、后备过负荷限制、后备直流功率调制功能起效。

[0086] 根据以图2为例所述的串联多端直流输电控制保护系统，只需配置极少的控制保护主机和站间通讯通道，即可实现串联换流器分站结构下的多端直流输电系统的各种运行控制方式及保护功能，还可以灵活处理各种一、二次设备故障，适应单站或单换流器设备检修需求。

[0087] 在此需要说明的是，图3、图4是根据本申请的技术方案实现的串联多端直流输电控制保护系统功能的最简配置实例，实际工程应用中，可采取主机双重化或多重化冗余配置，即增加冗余、备用通讯通道等方法，进一步增加串联多端直流输电控制保护系统的可靠性。例如，在图3的最简配置基础上，图5给出了增加备用通讯通道的一个实例，增加了PCP与CPR_S1的站间通讯及PCP与CPR_S2的站内主机通讯，并增加了PPR与CCP_S1的站间通讯及PPR与CCP_S2的站内主机通讯。

[0088] 下面通过三个工况实施例，对本申请的串联多端直流输电控制保护系统工作情况进行说明。

[0089] 工况实施例一：当所述站1与站2的某个极站间通讯失效，或者站1内部某个极直流一次系统发生接地故障，或者站1某个极的换流器控制主机CCP_S1失效等，可以将站1该极退出运行，断开该极站1与站2间的直流一次系统电气联系，对端侧本极也同时也退出一个换流器；利用站2配置的直流控制保护系统与对端侧进行协调，可以实现站2与对端侧剩余换流器继续运行，且站1此时进行本极一、二次设备检修完全不影响站2与对端侧剩余换流器的正常运行。

[0090] 工况实施例二：当站2中某个极的换流器控制主机CCP_S2失效，或者该换流器区内部发生直流一次系统故障等，可将站2中该极的换流器退出运行，对端侧本极也同时也退出一个换流器；站2配置的PCP、PPR主机可以对站2内的三站汇流母线进行可靠的控制和监视，并与站1配置的直流控制保护系统一起，确保本侧剩余系统继续可靠运行，且站2此时可以安全地检修本极故障的换流器区设备。

[0091] 工况实施例三：接上述工况实施例二，某个极的站2换流器处于退出状态，站1换流器处于运行状态，此时若站2中该极的控制主机PCP失效，可使该极站1控制主机CCP_S1中的后备极功率/电流控制、后备过负荷限制、后备直流功率调制功能起效，维持该极继续运行，且直流功率/电流仍具备基本调节能力。

[0092] 根据本申请的一些实施例，只需配置极少的控制保护主机和站间通讯通道，即可实现串联换流器分站结构下的多端直流输电系统的各种运行控制方式及保护功能，还可以灵活处理各种一、二次设备故障，适应单站或单换流器设备检修需求。

[0093] 以上对本申请实施例进行了详细介绍，本文中应用了具体个例对本申请的原理及实施方式进行了阐述，以上实施例的说明仅用于帮助理解本申请的方法及其核心思想。同时，本领域技术人员依据本申请的思想，基于本申请的具体实施方式及应用范围上做出的改变或变形之处，都属于本申请保护的范围。综上所述，本说明书内容不应理解为对本申请的限制。

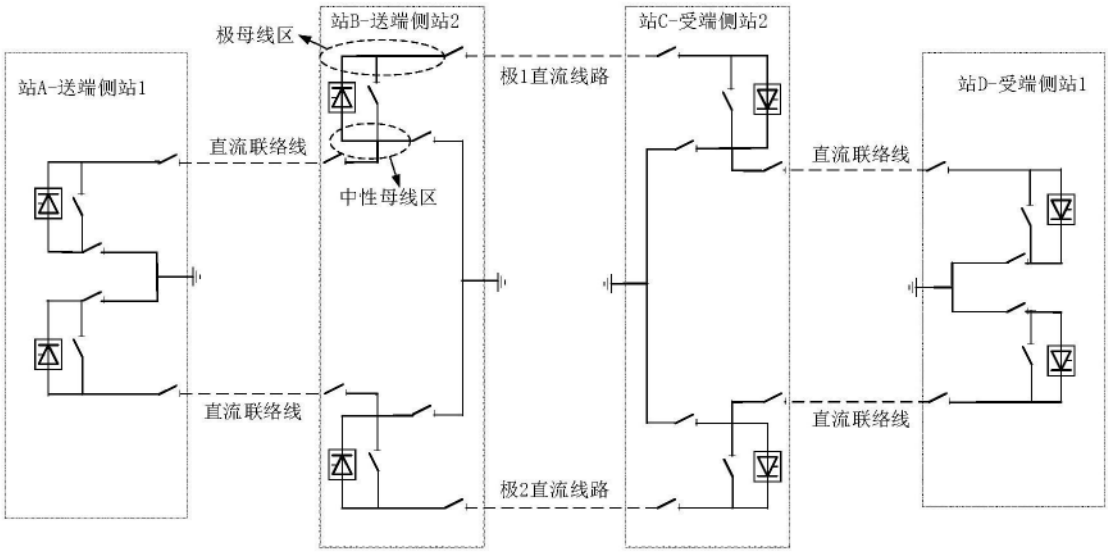

站A-送端侧站1
极母线区
站B-送端侧站2
站C-受端侧站2
站D-受端侧站1
极1直流线路
直流联络线
中性母线区
直流联络线
直流联络线
直流联络线
极2直流线路

图1

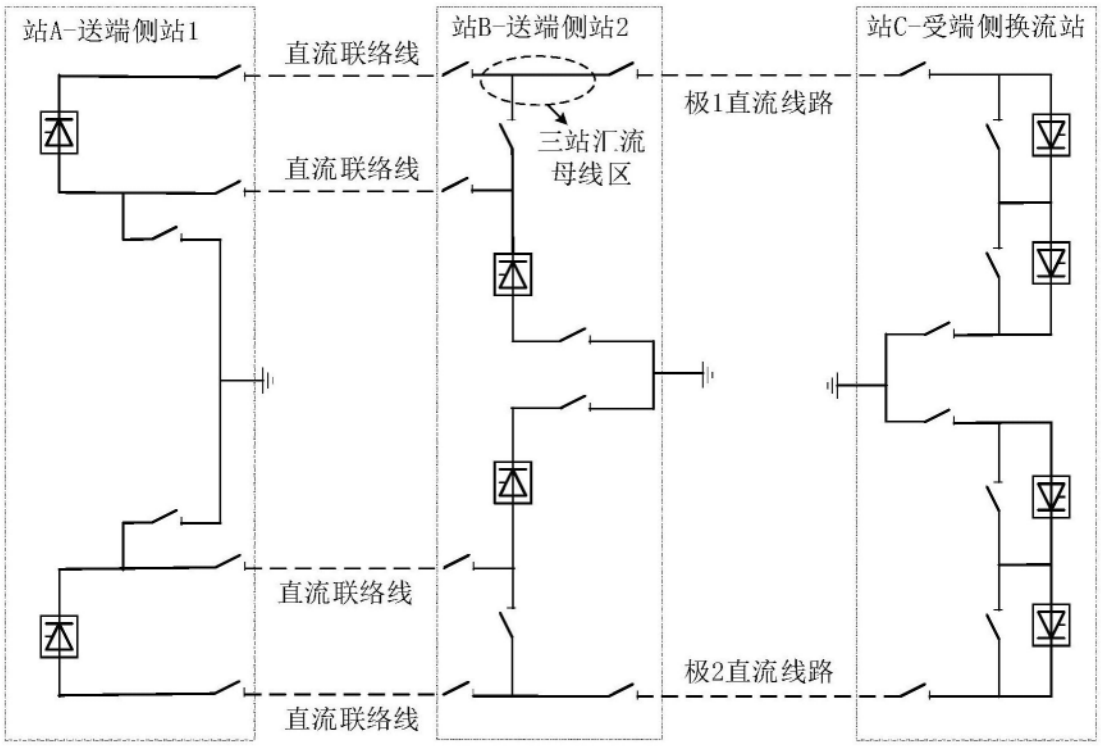

站A-送端侧站1
直流联络线
站B-送端侧站2
站C-受端侧换流站
极1直流线路
三站汇流
母线区
直流联络线
直流联络线
极2直流线路
直流联络线

图2

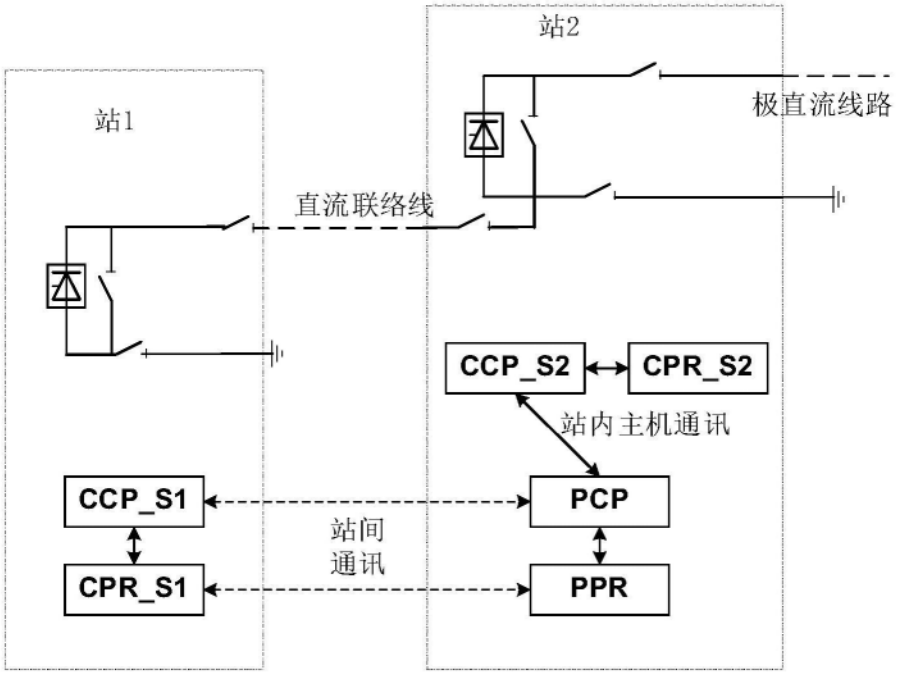

站2
站1
极直流线路
直流联络线
CCP_S2
CPR_S2
站内主机通讯
CCP_S1
PCP
站间
通讯
CPR_S1
PPR

图3

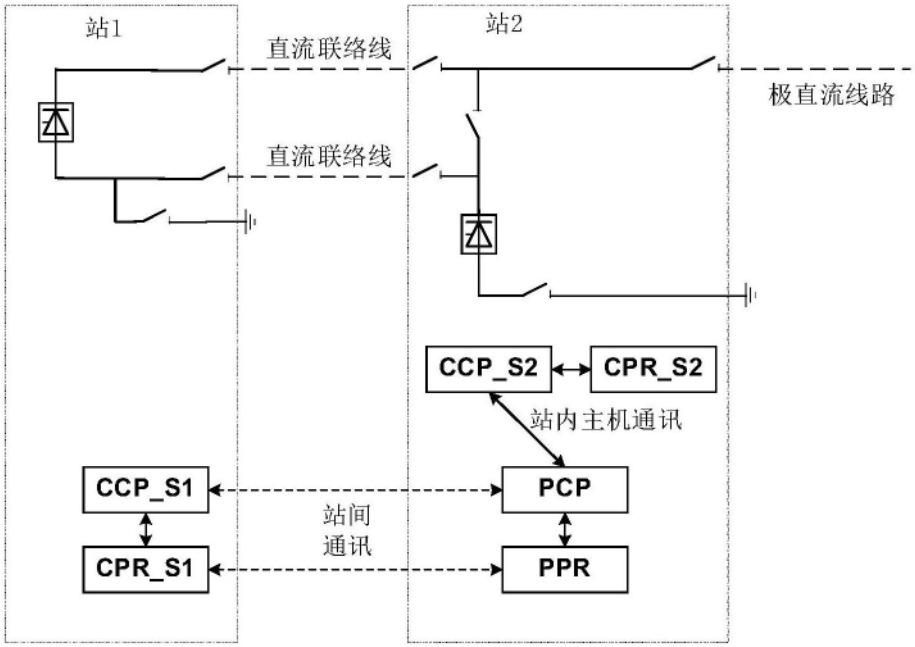

站1
直流联络线
站2
极直流线路
直流联络线
CCP_S2
CPR_S2
站内主机通讯
CCP_S1
PCP
站间
通讯
CPR_S1
PPR

图4

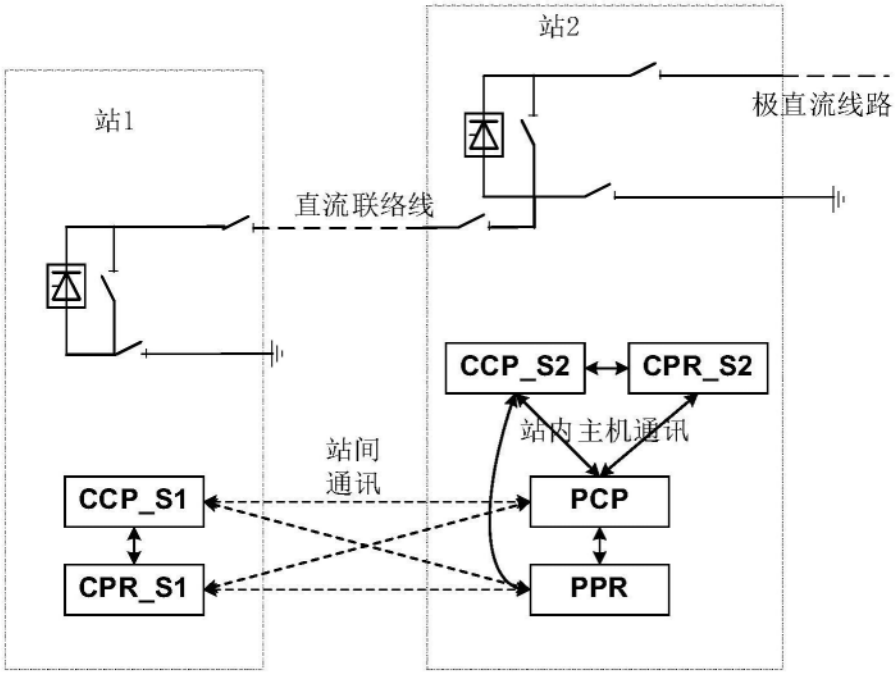

站2
站1
极直流线路
直流联络线
CCP_S2
CPR_S2
站内主机通讯
站间
通讯
CCP_S1
PCP
CPR_S1
PPR

图5