



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111769581 B

(45) 授权公告日 2021.08.27

(21) 申请号 202010518612.5

(22) 申请日 2020.06.09

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111769581 A

(43) 申请公布日 2020.10.13

(73) 专利权人 中国南方电网有限责任公司超高压输电公司检修试验中心

地址 510663 广东省广州市萝岗区科学城科学大道223号2号楼

(72) 发明人 郑伟 张楠 严喜林 孙豪

李道豫 曹军 王荣超

(74) 专利代理机构 广州科粤专利商标代理有限公司 44001

代理人 周友元 黄培智

(51) Int.Cl.

H02J 3/36 (2006.01)

H02H 7/26 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 107039993 A, 2017.08.11

CN 107994561 A, 2018.05.04

CN 110365037 A, 2019.10.22

US 2013229739 A1, 2013.09.05

彭忠等. 并联型多端直流输电系统运行方式研究.《电力系统保护与控制》.2019,第47卷(第16期),第180-187页.

审查员 严开沁

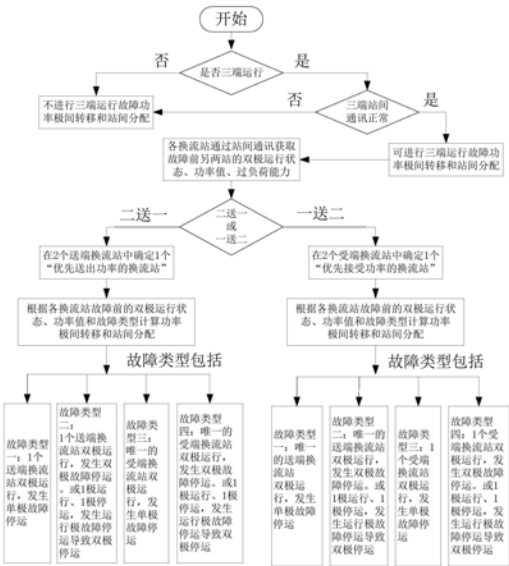
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

三端直流输电工程故障功率协调控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种三端直流输电工程故障功率协调控制方法及系统,针对三端直流输电工程三端运行时二送一或一送二的运行方式,提出送端或受端换流站单极、双极故障停运情形下的直流功率转移方法,对直流功率进行合理的极间转移和站间分配,有利于保持功率输送的稳定和多端直流输电系统的稳定。



1. 一种三端直流输电工程故障功率协调控制方法, 三端直流输电工程包含3个换流站, 三端运行包括二送一和一送二两种方式, 其特征在于: 所述方法包括:

步骤1、判断三端直流输电工程是否在三端运行, 如三端运行则进行步骤2;

步骤2、判断三端换流站站间通讯是否正常, 如正常则进行步骤3;

步骤3、各换流站通过站间通讯获取故障前另两站的双极运行状态、功率值、过负荷能力;

步骤4、判断三端直流输电工程三端运行是二送一方式还是一送二方式:

A. 若是二送一方式运行, 则进入步骤5;

B. 若是一送二方式运行, 则进入步骤6;

步骤5、在2个送端换流站中确定1个“优先送出功率的换流站”, 根据直流输电工程各换流站故障前的双极运行状态、功率值和故障类型计算功率极间转移和站间分配:

故障类型一: 1个送端换流站双极运行, 发生单极故障停运, 则:

(1) 非故障送端换流站的双极功率保持不变;

(2) 故障送端换流站故障极的功率转移至对极, 转移量取下列的最小值:

a、故障极原有功率的大小;

b、对极过负荷能力与原有功率的差值;

c、受端换流站的对极过负荷能力与原有功率的差值;

故障类型二: 1个送端换流站双极运行, 发生双极故障停运, 或1极运行、1极停运, 发生运行极故障停运导致双极停运, 则:

(1) 非故障送端换流站的双极功率保持不变;

(2) 受端换流站的双极功率相应减少;

故障类型三: 唯一的受端换流站双极运行, 发生单极故障停运, 则:

(1) 3个换流站的相应极停运;

(2) 受端换流站故障极的功率转移至对极, 转移量取下列的最小值:

a、故障极原有功率的大小;

b、对极过负荷能力与原有功率的差值;

c、“送端换流站1的对极过负荷能力与原有功率的差值”和“送端换流站2的对极过负荷能力与原有功率的差值”之和;

(3) 受端换流站故障极向对极转移的功率量, 优先向“优先送出功率的换流站”进行转移, 转移量取下列的最小值:

a、受端换流站故障极转移至对极的功率;

b、停运极原有功率的大小;

c、对极过负荷能力与原有功率的差值;

(4) 受端换流站剩余的功率转移量, 向另一个送端换流站进行转移, 转移量取下列的最小值:

a、受端换流站剩余的功率转移量;

b、停运极原有功率的大小;

c、对极过负荷能力与原功率值的差值;

故障类型四: 唯一的受端换流站双极运行, 发生双极故障停运, 或1极运行、1极停运, 发

生运行极故障停运导致双极停运,则:

3个换流站均双极停运;

步骤6、在2个受端换流站中确定1个“优先接受功率的换流站”,根据直流输电工程各换流站故障前的双极运行状态、功率值和故障类型计算功率极间转移和站间分配:

故障类型一:唯一的送端换流站双极运行,发生单极故障停运,则:

(1) 3个换流站的相应极停运,

(2) 送端换流站故障极的功率转移至对极,转移量取下列的最小值:

a、故障极原有功率的大小;

b、对极过负荷能力与原有功率的差值;

c、“受端换流站1的对极过负荷能力与原有功率的差值”和“受端换流站2的对极过负荷能力与原有功率的差值”之和;

(3) 送端换流站故障极向对极转移的功率量,优先向“优先接受功率的换流站”进行转移,转移量取下列的最小值:

a、送端换流站故障极转移至对极的功率;

b、停运极原有功率的大小;

c、对极过负荷能力与原有功率的差值;

(4) 送端换流站剩余的功率转移量,向另一个受端换流站进行转移,转移量取下列的最小值:

a、送端换流站剩余的功率转移量;

b、停运极原有功率的大小;

c、对极过负荷能力与原有功率的差值;

故障类型二:唯一的送端换流站双极运行,发生双极故障停运,或1极运行、1极停运,发生运行极故障停运导致双极停运,则:

3个换流站均双极停运;

故障类型三:1个受端换流站双极运行,发生单极故障停运,则:

(1) 非故障受端换流站的双极功率保持不变;

(2) 故障受端换流站故障极的功率转移至对极,转移量取下列的最小值:

a、故障极原有功率的大小;

b、对极过负荷能力与原有功率的差值;

c、送端换流站的对极过负荷能力与原有功率的差值;

故障类型四:1个受端换流站双极运行,发生双极故障停运;或1极运行、1极停运,发生运行极故障停运导致双极停运;则:

(1) 非故障受端换流站的双极功率保持不变;

(2) 送端换流站的双极功率相应减少。

2. 根据权利要求1所述的三端直流输电工程故障功率协调控制方法,其特征在于:各个换流站故障转移后的功率水平尽量维持故障前的功率水平,但不超过换流站原有双极功率水平,并在极过负荷能力范围内。

## 三端直流输电工程故障功率协调控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及三端直流输电工程领域,具体涉及一种三端直流输电工程故障功率协调控制方法。

### 背景技术

[0002] 传统的两端直流输电系统仅能实现两点之间的功率传送,随着经济发展和电网的建设,由3个或3个以上换流站及相互之间输电线路组成的多端直流输电系统,运行灵活、可靠性高、可以多电源供电、多落点受电,是可再生能源并网、无源网络供电、实现能源互联网最有效的方案之一。因此在两端直流输电系统基础上发展而来的多端直流输电系统受到了越来越多的关注并有越来越多的工程投入使用。

[0003] 相对于传统的两端直流输电系统,多端直流输电系统的控制更为复杂,其中稳定直流电压与合理分配功率是多端直流输电系统控制策略需要考虑的核心问题。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种三端直流输电工程故障功率协调控制方法,针对三端直流输电工程三端运行时二送一或一送二的运行方式,提出送端或受端换流站单极、双极故障停运情形下的直流功率极间转移和站间分配方法。

[0005] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案是:

[0006] 一种三端直流输电工程故障功率协调控制方法,所述的三端直流输电工程包含3个换流站,三端运行包括二送一(和一送二两种方式,其特征在于:所述方法包括:

[0007] 步骤1、判断三端直流输电工程是否在三端运行,如三端运行则进行步骤2;

[0008] 步骤2、判断三端换流站站间通讯是否正常,如正常则进行步骤3;

[0009] 步骤3、各换流站通过站间通讯获取故障前另两站的双极运行状态、功率值、过负荷能力;

[0010] 步骤4、判断三端直流输电工程三端运行是二送一方式还是一送二方式:

[0011] A.若是二送一方式运行,则进入步骤5;

[0012] B.若是一送二方式运行,则进入步骤6;

[0013] 步骤5、在2个送端换流站中确定1个“优先送出功率的换流站”,根据直流输电工程各换流站故障前的双极运行状态、功率值和故障类型计算功率极间转移和站间分配:

[0014] 故障类型一:1个送端换流站双极运行,发生单极故障停运,则:

[0015] (1) 非故障送端换流站的双极功率保持不变;

[0016] (2) 故障送端换流站故障极的功率转移至对极,转移量取下列的最小值:

[0017] a、故障极原有功率的大小;

[0018] b、对极过负荷能力与原有功率的差值;

[0019] c、受端换流站的对极过负荷能力与原有功率的差值;

[0020] 故障类型二:1个送端换流站双极运行,发生双极故障停运,或1极运行、1极停运,

发生运行极故障停运导致双极停运,则:

[0021] (1) 非故障送端换流站的双极功率保持不变;

[0022] (2) 受端换流站的双极功率相应减少;

[0023] 故障类型三:唯一的受端换流站双极运行,发生单极故障停运,则:

[0024] (1) 3个换流站的相应极停运;

[0025] (2) 受端换流站故障极的功率转移至对极,转移量取下列的最小值:

[0026] a、故障极原有功率的大小;

[0027] b、对极过负荷能力与原有功率的差值;

[0028] c、“送端换流站1的对极过负荷能力与原有功率的差值”和“送端换流站2的对极过负荷能力与原有功率的差值”之和;

[0029] (3) 受端换流站故障极向对极转移的功率量,优先在“优先送出功率的换流站”进行转移,转移量取下列的最小值:

[0030] a、受端换流站故障极转移至对极的功率;

[0031] b、停运极原有功率的大小;

[0032] c、对极过负荷能力与原有功率的差值;

[0033] (4) 受端换流站剩余的功率转移量,在另一个送端换流站进行转移,转移量取下列的最小值:

[0034] a、受端换流站剩余的功率转移量;

[0035] b、停运极原有功率的大小;

[0036] c、对极过负荷能力与原功率值的差值;

[0037] 故障类型四:唯一的受端换流站双极运行,发生双极故障停运,或1极运行、1极停运,发生运行极故障停运导致双极停运,则:

[0038] 3个换流站均双极停运;

[0039] 步骤6、在2个受端换流站中确定1个“优先接受功率的换流站”,根据直流输电工程各换流站故障前的双极运行状态、功率值和故障类型计算功率极间转移和站间分配:

[0040] 故障类型一:唯一的送端换流站双极运行,发生单极故障停运,则:

[0041] (1) 3个换流站的相应极停运;

[0042] (2) 送端换流站故障极的功率转移至对极,转移量取下列的最小值:

[0043] a、故障极原有功率的大小;

[0044] b、对极过负荷能力与原有功率的差值;

[0045] c、“受端换流站1的对极过负荷能力与原有功率的差值”和“受端换流站2的对极过负荷能力与原有功率的差值”之和;

[0046] (3) 送端换流站故障极向对极转移的功率量,优先在“优先接受功率的换流站”进行转移,转移量取下列的最小值:

[0047] a、送端换流站故障极转移至对极的功率;

[0048] b、停运极原有功率的大小;

[0049] c、对极过负荷能力与原有功率的差值;

[0050] (4) 送端换流站剩余的功率转移量,在另一个受端换流站进行转移,转移量取下列的最小值:

- [0051] a、送端换流站剩余的功率转移量；
- [0052] b、停运极原有功率的大小；
- [0053] c、对极过负荷能力与原有功率的差值；
- [0054] 故障类型二：唯一的送端换流站双极运行，发生双极故障停运，或1极运行、1极停运，发生运行极故障停运导致双极停运，则：
- [0055] 3个换流站均双极停运；
- [0056] 故障类型三：1个受端换流站双极运行，发生单极故障停运，则：
- [0057] (1) 非故障受端换流站的双极功率保持不变；
- [0058] (2) 故障受端换流站故障极的功率转移至对极，转移量取下列的最小值：
- [0059] a、故障极原有功率的大小；
- [0060] b、对极过负荷能力与原有功率的差值；
- [0061] c、送端换流站的对极过负荷能力与原有功率的差值；
- [0062] 故障类型四：1个受端换流站双极运行，发生双极故障停运，或1极运行、1极停运，发生运行极故障停运导致双极停运，则：
- [0063] (1) 非故障受端换流站的双极功率保持不变；
- [0064] (2) 送端换流站的双极功率相应减少。
- [0065] 进一步地，各个换流站故障转移后的功率水平尽量维持故障前的功率水平，但不超过换流站原有双极功率水平，并在极过负荷能力范围内。
- [0066] 与现有技术相比，本发明的有益效果是：
- [0067] 在三端直流输电工程三端运行二送一或一送二的运行方式下，送端或受端换流站发生单极、双极故障停运时，对直流功率进行合理的极间转移和站间分配，有利于保持功率输送的稳定和多端直流输电系统的稳定。

## 附图说明

- [0068] 图1为本发明三端直流输电工程故障功率协调控制方法的流程图。

## 具体实施方式

- [0069] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步详细的说明。
- [0070] 如图1所示，本发明的一种三端直流输电工程故障功率协调控制方法，适用于三端直流输电工程三端运行时二送一（2个送端换流站、1个受端换流站）或一送二（1个送端换流站、2个受端换流站）的运行方式下，送端或受端换流站发生单极、双极故障停运时，对直流功率进行合理的极间转移和站间分配，具体步骤包括：
- [0071] 步骤1、判断三端直流输电工程是否在三端运行，如三端运行则进行步骤2；
- [0072] 步骤2、判断三端换流站站间通讯是否正常，如正常则可进行三端运行故障功率极间转移和站间分配，进行步骤3；
- [0073] 步骤3、各换流站通过站间通讯获取故障前另两站的双极运行状态、功率值、过负荷能力；
- [0074] 步骤4、判断三端直流输电工程三端运行时是二送一方式还是一送二方式：

- [0075] A.若是二送一方式运行,则进入步骤5;
- [0076] B.若是一送二方式运行,则进入步骤6;
- [0077] 步骤5、在2个送端换流站中确定1个“优先送出功率的换流站”,一般是考虑两个送端换流站所在地区发电量送出的迫切情况,比较迫切送出的就指定为优先送出的换流站,根据直流输电工程各换流站故障前的双极运行状态、功率值和故障类型计算功率极间转移和站间分配:
- [0078] 故障类型一:1个送端换流站双极运行,发生单极故障停运,则:
- [0079] (1) 非故障送端换流站的双极功率保持不变;
- [0080] (2) 故障送端换流站故障极的功率转移至对极,转移量取下列的最小值:
- [0081] a、故障极原有功率的大小;
- [0082] b、对极过负荷能力与原有功率的差值;
- [0083] c、受端换流站的对极过负荷能力与原有功率的差值;
- [0084] 故障类型二:1个送端换流站双极运行,发生双极故障停运,或1极运行、1极停运,发生运行极故障停运导致双极停运,则:
- [0085] (1) 非故障送端换流站的双极功率保持不变;
- [0086] (2) 受端换流站的双极功率相应减少;
- [0087] 故障类型三:唯一的受端换流站双极运行,发生单极故障停运,则:
- [0088] (1) 3个换流站的相应极停运;
- [0089] (2) 受端换流站故障极的功率转移至对极,转移量取下列的最小值:
- [0090] a、故障极原有功率的大小;
- [0091] b、对极过负荷能力与原有功率的差值;
- [0092] c、“送端换流站1的对极过负荷能力与原有功率的差值”和“送端换流站2的对极过负荷能力与原有功率的差值”之和;
- [0093] (3) 受端换流站故障极向对极转移的功率量,优先在“优先送出功率的换流站”进行转移,转移量取下列的最小值:
- [0094] a、根据第(2)点计算得到的“受端换流站故障极转移至对极的功率”;
- [0095] b、停运极原有功率的大小;
- [0096] c、对极过负荷能力与原有功率的差值;
- [0097] (4) 受端换流站剩余的功率转移量,在另一个送端换流站进行转移,转移量取下列的最小值:
- [0098] a、受端换流站剩余的功率转移量;
- [0099] b、停运极原有功率的大小;
- [0100] c、对极过负荷能力与原功率值的差值;
- [0101] 故障类型四:唯一的受端换流站双极运行,发生双极故障停运,或1极运行、1极停运,发生运行极故障停运导致双极停运,则:
- [0102] 3个换流站均双极停运;
- [0103] 步骤6、在2个受端换流站中确定1个“优先接受功率的换流站”,一般是考虑两个受端换流站所在地区电力需求的迫切情况,电力需求比较迫切的就指定为优先接受的换流站,根据直流输电工程各换流站故障前的双极运行状态、功率值和故障类型计算功率极间

转移和站间分配：

[0104] 故障类型一：唯一的送端换流站双极运行，发生单极故障停运，则：

[0105] (1) 3个换流站的相应极停运；

[0106] (2) 送端换流站故障极的功率转移至对极，转移量取下列的最小值：

[0107] a、故障极原有功率的大小；

[0108] b、对极过负荷能力与原有功率的差值；

[0109] c、“受端换流站1的对极过负荷能力与原有功率的差值”和“受端换流站2的对极过负荷能力与原有功率的差值”之和；

[0110] (3) 送端换流站故障极向对极转移的功率量，优先在“优先接受功率的换流站”进行转移，转移量取下列的最小值：

[0111] a、根据第(2)点计算得到的“送端换流站故障极转移至对极的功率”；

[0112] b、停运极原有功率的大小；

[0113] c、对极过负荷能力与原有功率的差值；

[0114] (4) 送端换流站剩余的功率转移量，在另一个受端换流站进行转移，转移量取下列的最小值：

[0115] a、送端换流站剩余的功率转移量；

[0116] b、停运极原有功率的大小；

[0117] c、对极过负荷能力与原有功率的差值；

[0118] 故障类型二：唯一的送端换流站双极运行，发生双极故障停运，或1极运行、1极停运，发生运行极故障停运导致双极停运，则：

[0119] 3个换流站均双极停运；

[0120] 故障类型三：1个受端换流站双极运行，发生单极故障停运，则：

[0121] (1) 非故障受端换流站的双极功率保持不变；

[0122] (2) 故障受端换流站故障极的功率转移至对极，转移量取下列的最小值：

[0123] a、故障极原有功率的大小；

[0124] b、对极过负荷能力与原有功率的差值；

[0125] c、送端换流站的对极过负荷能力与原有功率的差值；

[0126] 故障类型四：1个受端换流站双极运行，发生双极故障停运，或1极运行、1极停运，发生运行极故障停运导致双极停运，则：

[0127] (1) 非故障受端换流站的双极功率保持不变；

[0128] (2) 送端换流站的双极功率相应减少。

[0129] 另外，本发明实现上述方法中的全部或部分流程，也可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成，所述的计算机程序可存储于一计算机可读存储介质中，该计算机程序在被处理器执行时，可实现上述方法的步骤。

[0130] 实施例：

[0131] 下面以某三端直流输电工程的某工况和故障为例，对本发明的内容进一步详细说明。该三端直流输电工程3个换流站的极1和极2，其单极输送功率最大值均为1500MW（即极过负荷能力为1500MW）。三端直流输电工程的运行方式为三端运行二送一，发生的故障为作为送端的换流站1极1故障停运。故障发生前各换流站的送、受功率和功率值如下所示：



- [0132] 换流站1:送端换流站,优先送出功率的换流站,极1功率值1000MW,极2功率值800MW。
- [0133] 换流站2:送端换流站,极1功率值400MW,极2功率值400MW。
- [0134] 换流站3:受端换流站,极1功率值1400MW,极2功率值1200MW。
- [0135] 步骤1、判断三端直流输电工程在三端运行,接着进行步骤2。
- [0136] 步骤2、判断三端换流站站间通讯正常,可进行三端运行故障功率极间转移和站间分配,进行步骤3。
- [0137] 步骤3、各换流站通过站间通讯获取故障前另两站的双极运行状态、功率值、过负荷能力。
- [0138] 步骤4、判断三端直流输电工程是二送一方式,进入步骤5。
- [0139] 步骤5、在换流站1和2两个送端换流站中确定换流站1为“优先送出功率的换流站”。在故障情形“换流站1极1故障停运”下,非故障的送端换流站2的双极功率保持不变,故障的换流站1极1的功率转移至极2。并根据该故障情形下极间功率转移量需同时满足的条件,开展故障功率协调控制后得到的各换流站功率值如下所示:
- [0140] 换流站1:送端换流站,极1功率值0MW,极2功率值1100MW。
- [0141] 换流站2:送端换流站,极1功率值400MW,极2功率值400MW。
- [0142] 换流站3:受端换流站,极1功率值400MW,极2功率值1500MW。
- [0143] 上述实施例只是为了说明本发明的技术构思及特点,其目的是在于让本领域内的普通技术人员能够了解本发明的内容并据以实施,并不能以此限制本发明的保护范围。凡是根据本发明内容的实质所做出的等效的变化或修饰,都应涵盖在本发明的保护范围内。

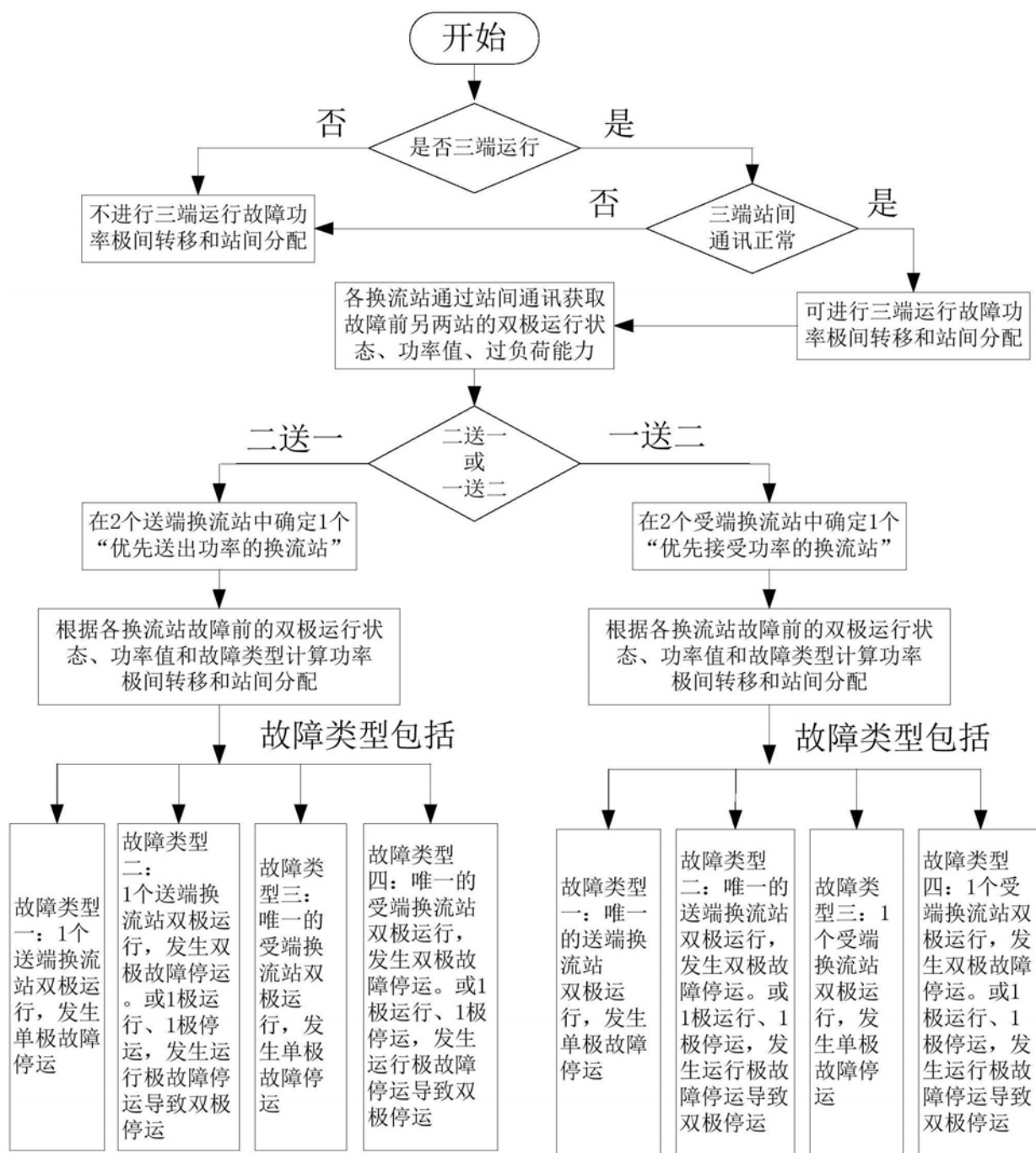


图1