



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119906079 A

(43) 申请公布日 2025. 04. 29

(21) 申请号 202510003825.7

(22) 申请日 2025.01.02

(71) 申请人 中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司

地址 410014 湖南省长沙市雨花区香樟东路16号

(72) 发明人 陈鹏 胡隽璇 刘瑛蕊 曾智楨 胡科

(74) 专利代理机构 长沙正奇专利事务所有限责任公司 43113

专利代理师 张珉瑞

(51) Int. Cl.

H02J 3/36 (2006.01)

H02H 7/26 (2006.01)

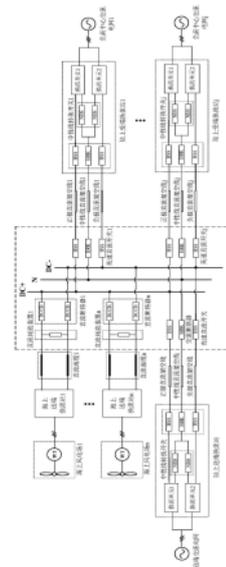
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种海上风电直流输电系统及其故障清除方法

(57) 摘要

本发明公开了一种海上风电直流输电系统及其故障清除方法,包括海上风电场、海上送端换流站、送端交流电网、陆上送端换流站、陆上直流汇集站、陆上受端换流站和负荷中心交流电网;所述海上送端换流站采用对称单极接线形式,所述陆上送端换流站和陆上受端换流站均采用对称双极接线形式;所述海上送端换流站的直流侧分别与汇流母线的正极和负极电连接;所述陆上送端换流站的直流侧分别与汇流母线的正极、负极和中性线连接;所述陆上受端换流站的直流侧分别与汇流母线的正极、负极和中性线连接。与现有技术相比,本发明不仅兼顾了海上风电直流输电系统的输电稳定性和经济性,还实现了海上风电柔性直流输电系统的故障穿越。



CN 119906079 A

1. 一种海上风电直流输电系统,其特征在于,包括海上风电场、海上送端换流站、送端交流电网、陆上送端换流站、陆上直流汇集站、陆上受端换流站和负荷中心交流电网;

所述陆上直流汇集站配置有汇流母线,所述汇流母线具有正极、负极和中性线;

所述海上送端换流站采用对称单极接线形式,所述陆上送端换流站和陆上受端换流站均采用对称双极接线形式;

所述海上送端换流站的交流侧与海上风电场电连接,直流侧分别与汇流母线的正极和负极电连接;

所述陆上送端换流站的交流侧与送端交流电网电连接,直流侧分别与汇流母线的正极、负极和中性线电连接;

所述陆上受端换流站的直流侧分别与汇流母线的正极、负极和中性线电连接,交流侧与负荷中心交流电网电连接。

2. 根据权利要求1所述的海上风电直流输电系统,其特征在于:所述海上送端换流站采用半桥MMC拓扑结构,所述陆上送端换流站和陆上受端换流站均采用全桥半桥混合MMC拓扑结构。

3. 根据权利要求1或2所述的海上风电直流输电系统,其特征在于:所述陆上送端换流站和陆上受端换流站的正极通过正极直流架空线与汇流母线的正极电连接,所述陆上送端换流站和陆上受端换流站的负极通过负极直流架空线与汇流母线的负极电连接,所述陆上送端换流站和陆上受端换流站的中性线通过中性线直流架空线与汇流母线的中性线电连接;所述正极直流架空线和负极直流架空线的两端均配置有高速直流开关,所述中性线直流架空线的两端均配置有交流断路器。

4. 根据权利要求3所述的海上风电直流输电系统,其特征在于:所述陆上送端换流站和陆上受端换流站的中性线上配置有中性线转换开关。

5. 根据权利要求1或2所述的海上风电直流输电系统,其特征在于:所述海上送端换流站的正极、负极通过直流海缆分别与汇流母线的正极、负极电连接;直流海缆上配置有直流断路器;两根直流海缆之间配置有直流耗能装置。

6. 根据权利要求5所述的海上风电直流输电系统,其特征在于:所述直流耗能装置设置在海上换流站内或者陆上直流汇集站内。

7. 根据权利要求1或2所述的海上风电直流输电系统,其特征在于:所述陆上送端换流站设置陆上直流汇集站内。

8. 根据权利要求1或2所述的海上风电直流输电系统,其特征在于:所述送端交流电网包括火电站或核电站。

9. 一种如权利要求1-5任一项所述的海上风电直流输电系统的故障清除方法,其特征在于,包括如下步骤:

S1、当检测到陆上受端换流站的直流架空线出现接地故障时,断开所有直流断路器,投入直流耗能装置,海上换流站不闭锁,陆上送端换流站或陆上受端换流站中发生故障的换流单元转入零功率控制模式;

S2、当检测到直流架空线故障点去游离后,将所有发生故障的换流单元的直流电压提升至额定值;

S3、若检测到发生接地故障的直流架空线的直流电压恢复正常,直流断路器合闸,直流

耗能装置退出；

若检测到发生接地故障的直流架空线建立直流电压失败,则返回步骤S2;若失败次数超过设定值,则将仍存在故障的换流单元转入零功率控制模式,断开对应故障线路两侧的直流高速开关;与故障线路连接的陆上换流站对应的发生故障的换流单元闭锁,其它故障的极换流单元提升直流电压至额定值;

S4、所有直流断路器合闸,直流耗能装置退出。

一种海上风电直流输电系统及其故障清除方法

技术领域

[0001] 本发明涉及海上风电直流输电工程领域,具体涉及一种海上风电直流输电系统及其故障清除方法。

背景技术

[0002] 随着风力发电技术的发展及应用,并且陆上风电开发已逐渐趋向饱和,海上风电具有巨大的开发潜力。海上风电对环境的负面影响较小、风速较为稳定,发电量大,海上风电是未来风电发展的一个趋势。

[0003] 公开号为CN117526394A的中国专利申请公开了一种海上风电直流系统,该系统提出了海上风电发出的电能通过海上换流站逆变成直流,经直流海缆登陆后,在陆上直流汇集站进行汇集,再通过直流架空线输送到负荷中心的技术方案。

[0004] 但是该专利申请存在以下技术问题:海上换流站与陆上换流站采用了相同的接线形式:对称单极或对称双极。对于海上换流站与陆上换流站都采用对称单极的接线方案,若直流架空线出现故障,系统将损失100%的功率,严重影响受端电网的稳定性,对于网架较弱的受端电网该方案将不适用。对于海上换流站与陆上换流站都采用对称双极的接线方案,对称双极接线的海上换流站联接变压器阀侧存在直流偏置电压,造成海上换流站平台布置设计复杂,且中性线直流海缆造价昂贵,导致整体造价较高,经济性较差。其次,未考虑到海上风电场的出力间歇性和波动性,由于海上风电场利用小时数不高,若无法统筹沿海火电、核电等调节性电源与海上风电打捆送出,将造成海上风电柔性直流输电系统的可利用率较低,综合投资成本高。

发明内容

[0005] 本发明通过提供一种海上风电直流输电系统及其故障清除方法,以解决现有海上风电直流输电系统无法兼顾输电稳定性和经济性的技术问题。

[0006] 为达到上述目的,本发明采用如下技术方案。

[0007] 一方面,提供一种海上风电直流输电系统,包括海上风电场、海上送端换流站、送端交流电网、陆上送端换流站、陆上直流汇集站、陆上受端换流站和负荷中心交流电网;

[0008] 所述陆上直流汇集站配置有汇流母线,所述汇流母线具有正极、负极和中性线;

[0009] 所述海上送端换流站采用对称单极接线形式,所述陆上送端换流站和陆上受端换流站均采用对称双极接线形式;

[0010] 所述海上送端换流站的交流侧与海上风电场电连接,直流侧分别与汇流母线的正极和负极电连接;

[0011] 所述陆上送端换流站的交流侧与送端交流电网电连接,直流侧分别与汇流母线的正极、负极和中性线电连接;

[0012] 所述陆上受端换流站的直流侧分别与汇流母线的正极、负极和中性线电连接,交流侧与负荷中心交流电网电连接。

[0013] 本申请通过采用海上换流站采用单极接线、陆上换流站采用对称双极接线的技术方案,兼顾了海上风电直流输电系统的输电稳定性和经济性。

[0014] 在一些实施例中,所述海上送端换流站采用半桥MMC拓扑结构,所述陆上送端换流站和陆上受端换流站均采用全桥半桥混合MMC拓扑结构。

[0015] 在一些实施例中,所述陆上送端换流站和陆上受端换流站的正极通过正极直流架空线与汇流母线的正极电连接,所述陆上送端换流站和陆上受端换流站的负极通过负极直流架空线与汇流母线的负极电连接,所述陆上送端换流站和陆上受端换流站的中性线通过中性线直流架空线与汇流母线的中性线电连接;所述正极直流架空线和负极直流架空线的两端均配置有高速直流开关,所述中性线直流架空线的两端均配置有交流断路器。

[0016] 在一些实施例中,所述陆上送端换流站和陆上受端换流站的中性线上配置有中性线转换开关。

[0017] 在一些实施例中,所述海上送端换流站的正极、负极通过直流海缆分别与汇流母线的正极、负极电连接;直流海缆上配置有直流断路器;两根直流海缆之间配置有直流耗能装置。

[0018] 在一些实施例中,所述直流耗能装置设置在海上换流站内或者陆上直流汇集站内。

[0019] 在一些实施例中,所述陆上送端换流站设置陆上直流汇集站内。

[0020] 在一些实施例中,所述送端交流电网可连接火电站或核电站。

[0021] 由于对称单极接线的海上换流站无中性线回路,在直流架空线发生单极接地故障情况下,对称双极接线的陆上换流站的中性线无法形成回路,无法实现海上风电柔性直流输电系统的故障穿越。因此,为实现海上风电柔性直流输电系统的故障穿越,本发明还提供一种上述海上风电直流输电系统的故障清除方法,包括如下步骤:

[0022] S1、当检测到陆上受端换流站的直流架空线出现接地故障时,断开所有直流断路器,投入直流耗能装置,海上换流站不闭锁,陆上送端换流站或陆上受端换流站中发生故障的换流单元转入零功率控制模式;

[0023] S2、当检测到直流架空线故障点去游离后,将所有发生故障的换流单元的直流电压提升至额定值;

[0024] S3、若检测到发生接地故障的直流架空线的直流电压恢复正常,直流断路器合闸,直流耗能装置退出;

[0025] 若检测到发生接地故障的直流架空线建立直流电压失败,则返回步骤S2;若失败次数超过设定值,则将仍存在故障的换流单元转入零功率控制模式,断开对应故障线路两侧的直流高速开关;与故障线路连接的陆上换流站对应的发生故障的换流单元闭锁,其它故障的极换流单元提升直流电压至额定值;

[0026] S4、所有直流断路器合闸,直流耗能装置退出。

[0027] 本发明至少具有如下技术效果或优点:

[0028] 1、本发明可使得海上换流站具有平台紧凑化、轻量化,无需中性线直流海缆等优点,显著降低海上风电送出的投资;陆上换流站可实现单极故障下仅损失50%传输功率,可靠性高,对于网架较弱的受端电网友好。

[0029] 2、在海上换流站采用单极接线和陆上换流站采用对称双极接线下,发生直流架空

线故障时,可实现海上风电柔性直流输电系统故障穿越,使海上换流站和陆上换流站采用不同接线形式的系统能够安全稳定运行。

[0030] 3、可实现沿海火电、核电等调节性电源与海上风电经直流汇集,通过直流架空线打捆送出至负荷中心受端电网,有利于平滑不稳定的海上风电场出力,提高海上风电柔性直流输电系统的可利用率,降低综合投资成本。

附图说明

[0031] 图1为本发明一实施例中海上风电直流输电系统的拓扑图;

[0032] 图2为本发明一实施例中故障清除方法的流程示意图。

具体实施方式

[0033] 为了更好的理解上述技术方案,下面将结合说明书附图以及具体的实施方式对上述技术方案进行详细的说明。

[0034] 实施例一

[0035] 参见图1,一种海上风电直流输电系统,包括海上风电场、海上送端换流站、送端交流电网、陆上送端换流站、陆上直流汇集站、陆上受端换流站和负荷中心交流电网。陆上直流汇集站配置有汇流母线,汇流母线具有正极、负极和中性线。

[0036] 其中,由于海上平台的承重能力和制造水平受限,采用对称双极接线形式会显著提高成本和建造难度,因此,海上换流站采用对称单极接线形式。由于全桥MMC拓扑结构复杂,尺寸和重量较大,增加柔直换流阀成本,故海上换流站的换流单元采用半桥MMC拓扑结构。

[0037] 陆上送端换流站和陆上受端换流站采用对称双极接线形式,可以显著提高系统的可靠性,当发生单极故障时,另一极仍能传输50%的功率,保证系统的正常运行。陆上送端换流站和陆上受端的换流单元采用全桥半桥混合MMC拓扑结构,全半桥混合MMC拓扑结构不仅具备全桥子模块的故障清除能力,还具备半桥子模块成本较低损耗较小的优点。

[0038] 在陆上采用架空线可以进一步节省输电走廊,降低系统成本。因此,海上送端换流站的交流侧与海上风电场电连接,直流侧通过直流架空线分别与汇流母线的正极和负极电连接。陆上送端换流站的交流侧通过交流架空线与送端交流电网电连接,直流侧通过直流架空线分别与汇流母线的正极、负极和中性线电连接。陆上受端换流站的直流侧通过直流架空线分别与汇流母线的正极、负极和中性线电连接,交流侧通过交流架空线与负荷中心交流电网电连接。

[0039] 其中,陆上送端换流站和陆上受端换流站的正极通过正极直流架空线与汇流母线的正极电连接,陆上送端换流站和陆上受端换流站的负极通过负极直流架空线与汇流母线的负极电连接,陆上送端换流站和陆上受端换流站的中性线通过中性线直流架空线与汇流母线的中性线电连接;正极直流架空线和负极直流架空线的两端均配置有高速直流开关HSS,中性线直流架空线的两端均配置有交流断路器BRK。陆上送端换流站和陆上受端换流站的中性线上配置有中性线转换开关NBS。

[0040] 海上送端换流站的正极、负极通过直流海缆分别与汇流母线的正极、负极电连接。直流海缆上配置有直流断路器DCCB;两根直流海缆之间配置有直流耗能装置。

[0041] 优选地,直流耗能装置设置在海上换流站内或者陆上直流汇集站内。陆上送端换流站设置陆上直流汇集站内。送端交流电网可连接火电站或核电站。

[0042] 实施例二

[0043] 参见图2,一种上述海上风电直流输电系统的故障清除方法,包括如下步骤:

[0044] S1、当检测到陆上受端换流站的直流架空线出现接地故障时,断开所有直流断路器,从而切除直流电缆馈入故障点的电流;投入直流耗能装置,海上换流站不闭锁,海上风电机组发出的电能通过直流电缆后,在直流耗能装置内进行消耗。陆上送端换流站或陆上受端换流站中发生故障的换流单元转入零功率控制模式,由于对称双极接线的陆上换流站采用全半桥混合MMC结构,可实现直流架空线去能和去游离。

[0045] S2、当检测到直流架空线故障点去游离后,将所有发生故障的换流单元的直流电压提升至额定值;

[0046] S3、若检测到发生接地故障的直流架空线的直流电压恢复正常,意味着故障为瞬时性故障,直流架空线具备正常输电条件,直流断路器合闸,直流耗能装置退出;此时海上风电机组发出的电能重新通过对称单极接线的海上换流站逆变成直流,在陆上直流汇集站进行汇集,再通过直流架空线输送到负荷中心柔性直流输电系统送入负荷中心交流受端电网。

[0047] 若检测到发生接地故障的直流架空线建立直流电压失败,意味着故障仍然存在,则返回步骤S2;若失败次数超过设定值(比如一次),则判定故障为永久性故障。将仍存在故障的换流单元转入零功率控制模式,断开对应故障线路两侧的直流高速开关以隔离故障线路,与故障线路连接的陆上换流站对应的发生故障的换流单元闭锁,其它故障的极换流单元提升直流电压至额定值

[0048] S4、所有直流断路器合闸,直流耗能装置退出。此时,海上风电机组发出的电能仍然通过对称单极接线的海上换流站逆变成直流,在陆上直流汇集站进行汇集,再通过直流架空线输送到负荷中心受端电网。与故障线路连接的对称双极接线的陆上换流站转为单极中性线回路运行,送端对称双极换流站转为双极功率不对称运行方式。

[0049] 在此处所提供的说明书中,说明了大量具体细节。然而,能够理解,本发明的实施例可以在没有这些具体细节的情况下被实践。在一些实例中,并未详细示出公知的方法、结构和技术,以便不模糊对本说明书的理解。

[0050] 类似地,应当理解,为了精简本公开并帮助理解各个发明方面中的一个或多个,在上面对本发明的示例性实施例的描述中,本发明的各个特征有时被一起分组到单个实施例、图、或者对其的描述中。然而,并不应将该公开的方法解释成反映如下意图:即所要求保护的本发明要求比在每个权利要求中所明确记载的特征更多特征。更确切地说,如权利要求书所反映的那样,发明方面在于少于前面公开的单个实施例的所有特征。因此,遵循具体实施方式的权利要求书由此明确地并入该具体实施方式,其中每个权利要求本身都作为本发明的单独实施例。

[0051] 本领域技术人员应当理解在本文所公开的示例中的设备的模块或单元或组间可以布置在如该实施例中所描述的设备中,或者可替换地可以定位在与该示例中的设备不同的一个或多个设备中。前述示例中的模块可以组合为一个模块或者此外可以分成多个子模块。

[0052] 本领域技术人员可以理解,可以对实施例中的设备中的模块进行自适应性地改变并且把它们设置在与该实施例不同的一个或多个设备中。可以把实施例中的模块或单元或组间组合成一个模块或单元或组间,以及此外可以把它分成多个子模块或子单元或子组间。除了这样的特征和/或过程或者单元中的至少一些是相互排斥之外,可以采用任何组合对本说明书(包括伴随的权利要求、摘要和附图)中公开的所有特征以及如此公开的任何方法或者设备的所有过程或单元进行组合。除非另外明确陈述,本说明书(包括伴随的权利要求、摘要和附图)中公开的每个特征可以由提供相同、等同或相似目的的替代特征来代替。

[0053] 此外,本领域的技术人员能够理解,尽管在此所述的一些实施例包括其它实施例中所包括的某些特征而不是其它特征,但是不同实施例的特征的组合意味着处于本发明的范围之内并且形成不同的实施例。

[0054] 此外,所述实施例中的一些在此被描述成可以由计算机系统的处理器或者由执行所述功能的其它装置实施的方法或方法元素的组合。因此,具有用于实施所述方法或方法元素的必要指令的处理器形成用于实施该方法或方法元素的装置。此外,装置实施例的在此所述的元素是如下装置的例子:该装置用于实施由为了实施该发明的目的的元素所执行的功能。

[0055] 这里描述的各种技术可结合硬件或软件,或者它们的组合一起实现。从而,本发明的方法和设备,或者本发明的方法和设备的某些方面或部分可采取嵌入有形媒介,例如软盘、CD-ROM、硬盘驱动器或其它任意机器可读的存储介质中的程序代码(即指令)的形式,其中当程序被载入诸如计算机之类的机器,并被所述机器执行时,所述机器变成实践本发明的设备。

[0056] 在程序代码在可编程计算机上执行的情况下,计算设备一般包括处理器、处理器可读的存储介质(包括易失性和非易失性存储器和/或存储元件),至少一个输入装置,和至少一个输出装置。其中,存储器被配置用于存储程序代码;处理器被配置用于根据该存储器中存储的所述程序代码中的指令,执行本发明的方法。

[0057] 以示例而非限制的方式,计算机可读介质包括计算机存储介质和通信介质。计算机可读介质包括计算机存储介质和通信介质。计算机存储介质存储诸如计算机可读指令、数据结构、程序模块或其它数据等信息。通信介质一般以诸如载波或其它传输机制等已调制数据信号来体现计算机可读指令、数据结构、程序模块或其它数据,并且包括任何信息传递介质。以上的任一种的组合也包括在计算机可读介质的范围之内。

[0058] 如在此所使用的那样,除非另行规定,使用序数词“第一”、“第二”、“第三”等等来描述普通对象仅仅表示涉及类似对象的不同实例,并且并不意图暗示这样被描述的对象必须具有时间上、空间上、排序方面或者以任意其它方式的给定顺序。

[0059] 尽管根据有限数量的实施例描述了本发明,但是受益于上面的描述,本技术领域内的技术人员明白,在由此描述的本发明的范围内,可以设想其它实施例。此外,应当注意,本说明书中使用的语言主要是为了可读性和教导的目的而选择的,而不是为了解释或者限定本发明的主题而选择的。因此,在不偏离所附权利要求书的范围和精神的情况下,对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。对于本发明的范围,对本发明所做的公开是说明性的,而非限制性的,本发明的范围由所附权利要求书限定。

[0060] 最后说明,本发明未详细解释该领域技术人员公认常识,以上所述仅为本发明的

一个具体实施例,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

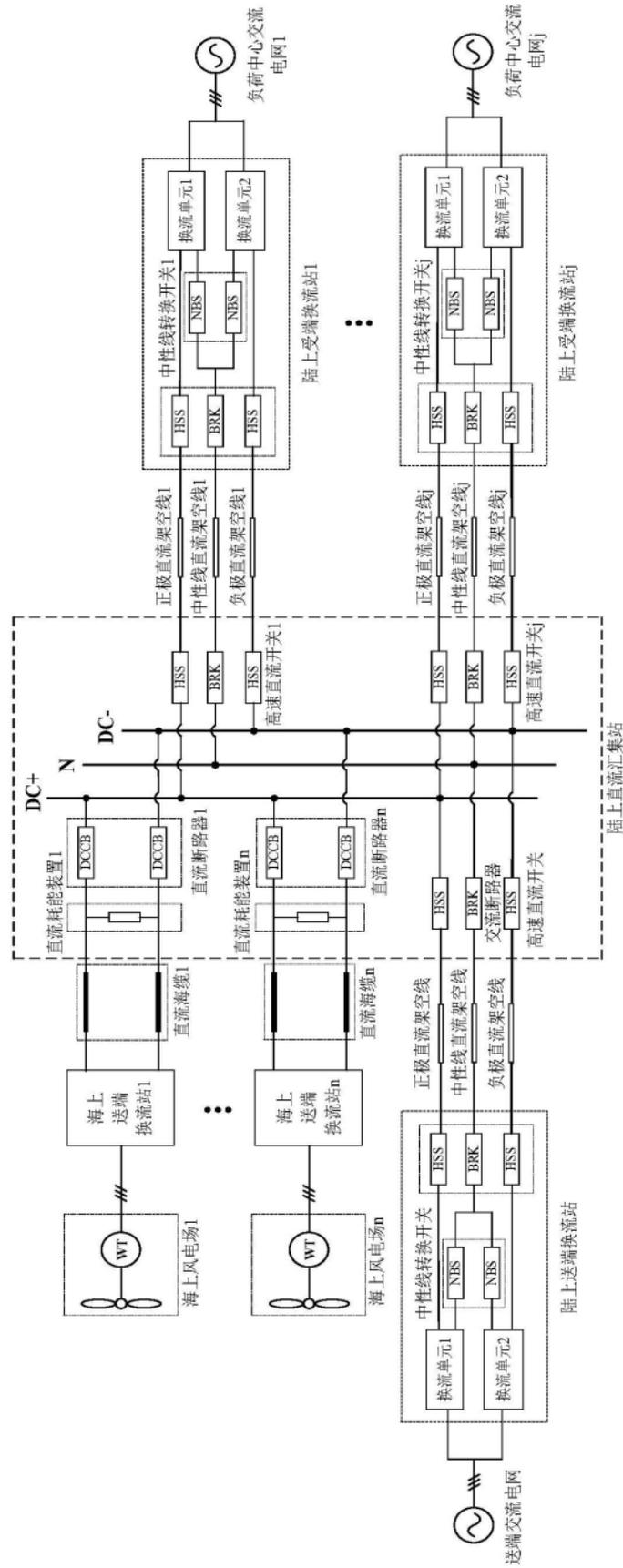


图1

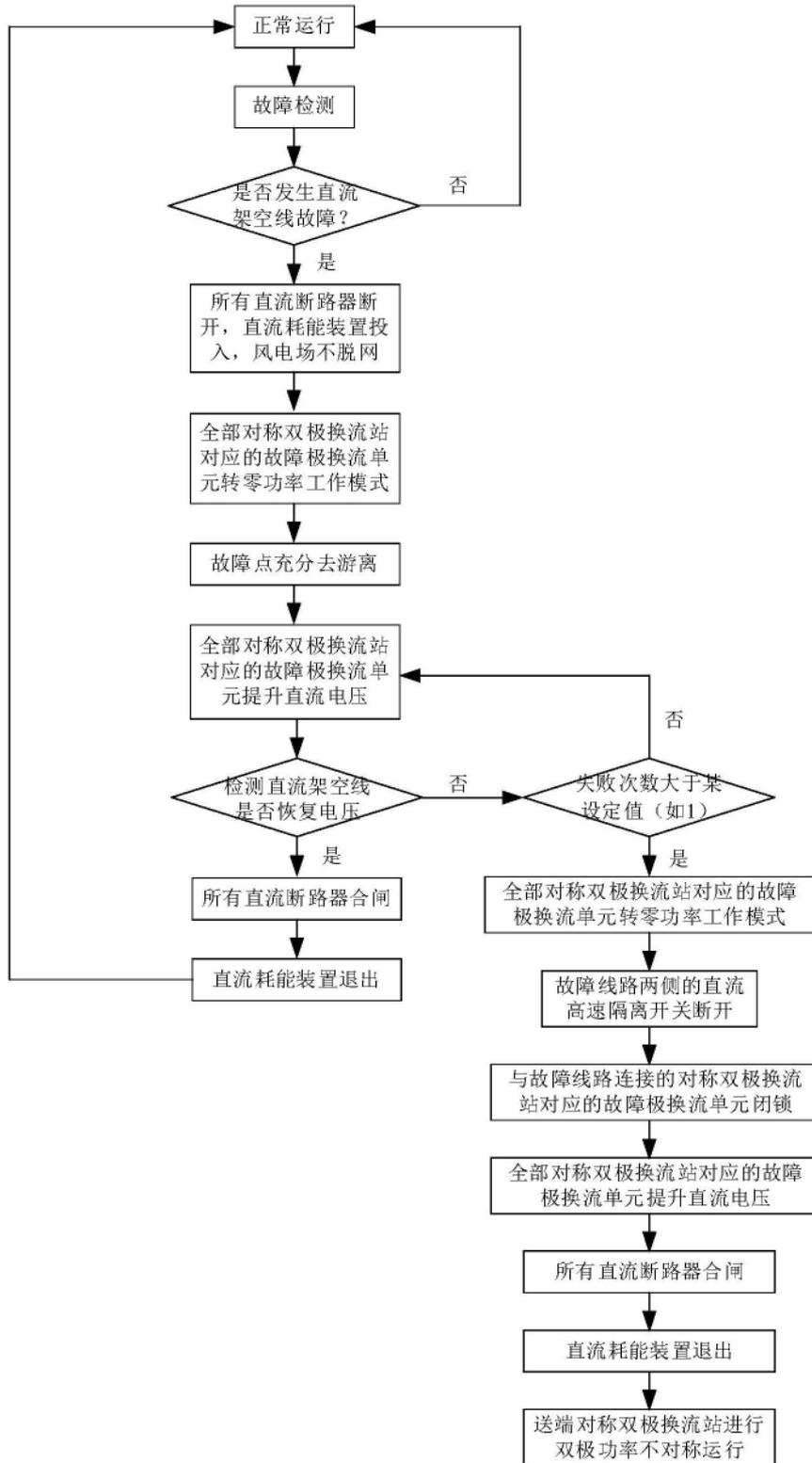


图2