

MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE,
PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE,
SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

一种可控传输电力交流线路及其控制方法

技术领域

本发明涉及一种可控传输电力线路及其控制方法，特别是一种可控传输电力交流线路及其控制方法。

背景技术

在国际社会共同致力于“碳达峰、碳中和”，中国提出了构建以新能源为主体的新型电力系统，推动全球能源互联网建设的形势下，电力交流电网存在的经济性和安全性问题，已经成为制约电网发展的重要问题。

经济性方面，现有电网起步于 18 世纪美国爱迪生和英国开尔文与美国的乔治·威斯丁豪斯和英国的费朗蒂两派之间的交直流输电之争，由于交流输电变压容易、组网简单、经济等特点，电网选择了交流输电，不断发展形成了现代电网。电网的不断扩大过程，走出了一条电压不断攀升的技术路线，从 400v 到 10kv、35kv、110kv、220kv，一直到超高压 330~750kv 和特高压 1000kv。由于交流线路感抗很大，受动稳定极限限制，交流线路的输送容量与输电距离成反比，即使特高压线路也无法实现远距离、大容量的传输。就目前中国的特高压 1000kv 线路而言，80km 以内可以达到热稳定运行，输送能力可达 12000 MW 左右，与同等电压水平的直流±1100kv 线路输送能力相当。而输电距离为 600km 时输电容量约为 4000MW，当输送距离达到 1000km 时，只有不到 1000MW 的输送能力。目前，大多特高压交流线路的输电长度大多在 600km 左右，其传输容量只有其热稳定容量的 1/3 左右。中国全国政协曾进行过两次特高压论证会，由于特高压交流线路的存在经济性问题进行过激烈的争论。2018 年中国国家能源局委托中国工程院对特高交流线路的论证，由于经济性问题几乎全面否定了特高压交流线路的发展。在远距离大容量输送方面，目前主要依靠直流线路，但直流线路造价高，中短距离输电不经济。只能点对点输电。还需要很大容量的无功补偿和强大交流电网的支撑。目前，中国特高压已经建成 16 条直流线路和 14 条交流线路，初步形成了“强直强交”的局面下，交流电网故障时直流线路仍然容易发生换相失败和直流闭锁，引发交流电网低周减载事故在局部地区时常发生。建设以新能源为主体的新型电力系统和国际能源互联网的形势下，解决交流线路大容量、远距离输送问题意义重大。

电网的安全性方面，交流电网是一个自由流动的电网，潮流按阻抗自然分布，潮流控制直接关系到电网的安全运行，据国际大电网委员会统计，21 世纪前 20 年间，全球 13 次大停电事故中有 12 次由潮流失控引起，美加大停电、俄罗斯大停电等事故使人们对大电网的安全性非常担忧，中国国务院曾经召开的“三华”同步电网论证会，就安全性问题引发过激烈的辩论。目前，区域电网之间的连接主要依靠直流“背靠背”方式进行故障隔离，以防止大面积停电，但直流“背靠背”不仅价格昂贵，且只能阻止故障电流向非故障一侧传递，在发生故障的一侧仍然会引发很大的短路电流。自由流动的交流电网，同一潮流断面多条线路，较短线路过负荷，较长的线路还未满载，潮流分布不均衡现象是现代电网的一个普遍特征，局部潮流重载在电网中形成短板效应，限制了整体供电能力的发挥。短路电流超标问题

也影响着电网安全，电网容量越大，短路电流超标问题越突出。

自由流动的交流电网，遵循电势差的驱动，电流从高电位向低电位自由流动，与自然界的流水一样具有向低处流动的特性。电力交流电网的传输，是否可以开发一种“电泵”对交流电网的传输进行调节和控制呢。电力科技工作者已经做出了积极探索，以电压源换流器 VSC 为核心的统一潮流控制器 UPFC，以及静止同步串联补偿器 SSSC 作为最先进的 FACTS，可以用于对交流线路的阻抗、相角、电压、潮流等进行灵活控制调节，理论上可以使电力交流线路达到热稳定，解决经济性问题，对线路传输进行控制。但由于其核心元件需采用 IGBT、IGCT 等全控电力电子器件，采用脉冲宽度调节技术 SPMW，频率高，功耗大，造价高，电网短路电流超标问题突出。目前，中国只投运了三套小容量的南京 220kVUPFC、上海 220kVUPFC、苏州 500kVUPFC 和天津石各庄 220kVSSSC 用于阻止潮流断面上短线路的过负荷，提高整个潮流断面输送能力。受经济性和短路电流超标等问题的制约，目前还不具备将统一潮流控制器 UPFC 和静止同步串联补偿器 SSSC 实际应用于提升交流线路输送容量至热稳定的条件，也没有实际应用的案例。

将自由流动的交流线路转变为可控传输的交流线路，使交流线路最大可以运行在热稳定且不受输电距离和无功平衡问题的制约，实现大容量远距离输送，使电网潮流断面各条线路在可控状态下实现潮流的最佳分配，在线路发生故障时不产生故障电流从根本上消除电网大面积停电风险，在线路空载时使线路无压备用以减小无功过剩和电压攀升以及无功产生的损耗，同时解决交流线路的经济性和安全性等问题，促进全球电网依靠交流线路实现互联，是本发明的主旨。

发明内容

针对上述现有的电力交流线路组成的交流电网存在的技术问题，本发明的目的在于，提供一种可控传输的交流线路及其控制方法。

本发明针对的电力交流线路，分为两种类型：双侧电源交流线路，如超高压和特高压交流线路，连接各个区域电网，线路两侧都有电源；单侧电源交流线路，如向负荷供电的高压、中压、低压交流线路，线路末端只有负载，没有电源。

为了实现上述任务，本发明采取如下的技术方案得以实现：

一种可控传输的双侧电源交流线路，其特征是：在双侧电源交流线路两端开关的线路侧各串联接入一台变压器，两个串联变压器的二次侧绕组各接入一套电流源型调节器，在两个串联变压器一次绕组的线路侧各装设一组快速接地开关，两个电流源型调节器由两台控制器分别控制，两台控制器之间通过通讯通道通信。

一种上述的可控传输的双侧电源交流线路递升加压控制方法，其特征是：线路两侧电网已经处于同步联结，在线路两端串联接入的变压器二次侧电流源型调节器未工作，且线路侧快速接地开关断开前提下，合上线路两侧开关，通过串联变压器二次侧的电流源型调节器同时或任意一个电流源型调节器向线路注入部分充电电流并逐渐加大充电电流，如若线路有故障，加压过程异常，则停止充电电流输出，将线路退出运行，若线路无故障，加压过程正常，则使充电电流加大到额定充电电流，使线路电压逐渐升高到额定电压。

一种上述的可控传输的双侧电源交流线路负荷传输控制方法，其特征是：线路两侧电网已经处于同步联结，

当需要使线路传输负荷时，在线路两侧快速接地开关断开及线路两侧出口串联变压器二次侧的电流源型调节器未工作的前提下，合上线路两侧开关，通过在线路两侧出口串联变压器二次侧的电流源型调节器同时注入额定充电电流和负荷电流，使线路处于负荷传输工作状态；或

当需要可控传输的双侧电源交流线路停止负荷传输时，停止线路两侧电流源型调节器所输出的负荷电流，仅输出额定充电电流，使线路处于带压空载状态，或停止两侧电流源型调节器所输出的负荷电流和充电电流，使线路处于无压备用状态。

一种上述的可控传输的双侧电源交流线路实现快速同期并列的方法，其特征是：线路联结的两侧电网处于异步状态，在线路两端串联接入变压器二次侧的电流源型调节器未工作，且线路两侧快速接地开关断开的情况下，合上两侧线路开关，待线路连接的两侧电网之间的滑差小于规定值并当滑差过零点时，启动两组电流源型调节器向线路同时注入额定充电电流和负荷电流，将两侧电网拉入同步运行。

一种上述的可控传输的双侧电源交流线路的故障处置方法：其特征是：线路处于传输负荷或带压备用状态下，

当线路发生单相故障时，维持未故障相的正常运行，停止故障相电流源型调节器的输出，同时合上故障相线路两侧的快速接地开关，间隔一段时间使线路分布电容的电压放电完毕后，断开故障相线路两侧的快速接地开关，再通过串联变压器二次侧的电流源型调节器向线路故障相注入部分充电电流递升加压，判断线路永久故障或瞬时故障，若为永久故障，则停止电流源型调节器的三相输出，三相线路退出运行，若为瞬时故障且故障已经消失，升至额定电压后，则通过电流源型调节器向线路故障相注入额定充电电流和负荷电流，恢复三相线路的正常运行；或

当线路发生两相或三相故障时，停止三相电流源型调节器的输出，同时合上三相线路两侧的快速接地开关，间隔一段时间使线路分布电容的电压放电完毕后，再断开三相线路两侧的快速接地开关，通过线路两端串联变压器二次侧的电流源型调节器向三相线路注入部分充电电流递升加压，判断线路永久故障或瞬时故障，若为永久故障，则停止三相电流源型调节器的输出将三相线路退出运行，若为瞬时故障且故障已经消失，升压额定后，则通过两组电流源型调节器向三相线路注入额定充电电流和负荷电流，恢复三相线路的正常运行。

一种可控传输的单侧电源交流线路，其特征是：在单侧电源交流线路的电源侧开关出口串联接入一台变压器，在变压器的二次侧接入一套电流源型调节器，电流源型调节器由一组控制器控制，在串联变压器一次绕组的线路侧装设一组快速接地开关。

一种上述的可控传输的单侧电源交流线路递升加压控制方法，其特征是：断开线路末端开关，断开线路侧快速接地开关，合上线路首端开关，通过串联变压器二次侧的电流源型调节器向线路注入部分充电电流并逐渐加大充电电流，若线路有故障，升压过程异常，则停止充电电流的输出，将线路退出运行，若线路无故障，升压过程正常，则加大充电电流到额定充电电流，使线路电压逐渐升高到额

定电压。

一种上述的可控传输的单侧电源交流线路的负荷控制方法：其特征是：线路侧的快速接地开关处于断开状态，合上线路的首端开关和末端开关，通过串联变压器二次侧的电流源型调节器向线路同时注入额定充电电流和负荷电流。

一种上述的可控传输的单侧电源交流线路故障处置方法：其特征是：线路处于传输负荷状态下，当线路发生单相故障时，维持未故障相的正常运行，停止电流源型调节器故障相的电流输出，断开故障相线路末端开关，同时合上故障相线路侧的快速接地开关，间隔一段时间使线路分布电容的电压放电完毕后，断开故障相线路侧的快速接地开关，再通过串联变压器二次侧的电流源型调节器向故障相线路注入部分充电电流递升加压，判断线路永久故障或瞬时故障，若为永久故障，则停止三相电流源型调节器输出，线路退出运行，若为瞬时故障且故障已经消失，升压额定后，合上故障相线路末端开关，通过电流源型调节器向线路注入额定充电电流和负荷电流，恢复线路运行；或

当线路发生两相或三相故障时，停止电流源型调节器三相的电流输出，断开三相线路末端开关，同时合上三相线路侧的快速接地开关，间隔一段时间使线路分布电容电压放电完毕后，断开三相线路侧的快速接地开关，再通过串联变压器二次侧的电流源型调节器向三相线路注入部分充电电流递升加压，判断线路永久故障或瞬时故障，若为永久故障，则停止电流源型调节器的三相电流输出，线路退出运行，若为瞬时故障且故障已经消失，升压额定后，合上线路末端开关，通过电流源型调节器向线路注入额定充电电流和负荷电流，恢复线路运行。

一种双侧电源交流线路两端分别接入功能合一变压器组的可控传输系统，其特征是：在双侧电源交流线路的两端分别接入一套功能合一的变压器组，所述功能合一变压器组由两台变压器组成，两台所述变压器的一次绕组同极性串联后一端接交流线路，并在线路端接入快速接地开关，串联后一次绕组的另一端接地，一次绕组的中间串接点通过开关接于电网母线，两台所述变压器的二次绕组反极性串联后两端各接入一组电流源型调节器，两组电流源型调节器由两组控制器分别控制，两组控制器之间通过遥讯通道通信。

一种上述的双侧电源交流线路两端分别接入功能合一变压器组的可控传输系统对线路进行递升加压的控制方法，其特征是：线路两侧电网已经处于同步联结，在线路两侧功能合一变压器组二次侧的电流源型调节器未工作，且线路两侧出口快速接地开关断开的情况下，先合上两组功能合一变压器组与电网母线之间开关，再使系统两侧两组功能合一变压器组的二次绕组中电流源型调节器同时或任一侧向线路注入部分充电电流并逐渐加大充电电流，若线路有故障，加压过程异常，则停止电流源型调节器的输出，将线路退出运行，若线路无故障，加压过程正常，则使电流源型调节器输出额定充电电流，使线路电压递升到额定电压。

一种上述的双侧电源交流线路两端分别接入功能合一变压器组的可控传输系统进行负荷传输控制方法，其特征是：线路两侧电网已经处于同步联结，

当需要线路传输负荷时，在线路两侧的电流源型调节器不工作，且线路两侧出口快速接地开关断开的情况下，先合上线路两侧功能合一变压器组的电网侧开关，再使两侧电流源型调节器同时向线路

注入额定充电电流和负荷电流，使线路工作于负荷传输工作状态；或

当需要使线路停止负荷传输时，停止线路两侧电流源型调节器所输出的负荷电流，仅输出额定充电电流，使线路处于全压空载状态，或全部停止线路两侧的电流源型调节器所输出的负荷电流和充电电流，使线路处于无压备用状态。

一种双侧电源交流线路一端采用功能合一变压器组，另一端采用串联变压器构成的可控传输系统，其特征是：在双侧电源交流线路的一端接入一套功能合一的变压器组，功能合一变压器组由两台变压器组成，两台变压器的一次绕组同极性串联，串联后一次绕组的一端接交流线路，并在线路端接入快速接地开关，串联后一次绕组的另一端接地，一次绕组的中间串接点通过开关接于一侧电网，两台变压器的二次绕组反极性串联，串联后的二次绕组两端接入一组电流源型调节器；在双侧电源交流线路的另一端的线路开关与线路之间串联接入一台变压器，在变压器一次绕组的线路侧接入另一组快速接地开关，变压器的二次绕组接入另一组电流源型调节器，两组电流源型调节器由两组控制器分别控制，两组控制器之间通过遥讯通道通信，线路另一端的线路开关连接于另一侧电网。

本发明带来的有益效果是，在电力交流线路中串联接入了电流源型调节器，变现有自由流动的交流传输为可控传输，线路可以运行在热稳定，可以实现大容量远距离的传输。可控传输可以使交流线路从现有依靠断路器切开故障电流，转变为依靠串联变压器的大感抗阻止故障电流发生，可控传输的交流线路上发生故障，只是中断本线路的负荷传输，无论单相接地、两相短路、三相短路，线路上不会产生故障电流，依靠线路出口快速接地开关快速释放分布电容上的电压，同时抑制过电压，从根本上消除了现有交流线路故障后，故障电流大，对系统冲击大，处置不当会引发大面积停电事故的问题。本发明解决现有交流电网存在的经济性和安全性问题的同时，可控交流线路可以运行于热稳定，可以融化线路覆冰，无需停电融冰。可控传输的双侧电源交流线路可以对两个异步电网实现异步连接，平稳过度到同期并列。可控传输的交流线路可以对线路进行递升加压，可以避免现有技术在线路投运时全电压充电以及重合闸动作时向线路全电压充电操作对系统的冲击，避免现有技术依靠全电压充电和重合闸动作于永久故障时的故障冲击。可控传输的双侧电源交流线路还可在空载情况下，选择无压备用状态，以限制电网负荷低谷时的线路分布电容产生的过多无功充电功率以及所引起的系统电压升高、发电机进相运行，降低空载线路上无功电流的线损、高电压空载时的电晕损耗和故障几率。

附图说明

图 1 是一条可控传输的双侧电源交流线路单线原理图；

图 2 是一条可控传输的单侧电源交流线路单线原理图；

图 3 是一条双侧电源交流线路两端接入功能合一变压器组构成的可控传输系统单线原理接线图；

图 4 是一条可控传输的双侧电源交流线路右侧串联接入调节器左侧接入升压和调节器功能合一变压器组的单线原理接线图。

以下结合附图和实施例对本发明做进一步的详细说明。

具体实施方式

现有交流线路，是分布参数的线路，线路的感抗远远大于线路电阻，研究中省去电阻，由线路感

抗 X 和分布电容 C 搭建成 T 型线路或[]型线路进行研究。本发明将电力交流线路分为两类进行叙述：可控传输的双侧电源交流线路、可控传输的单电源交流线路。

按照本发明的技术方案，可控传输的双侧电源交流线路，是在现有双侧电源交流线路两端开关 DL1、DL2 的线路侧各串联接入一台变压器 B，串联变压器 B 的二次侧绕组各接入一套电流源型调节器 TJQ1、TJQ2，在串联变压器 B 一次绕组的线路侧各装设一组快速接地开关 JDL1、JDL2，两个电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 由两台控制器 KZQ1、KZQ2 分别控制，两台控制器 KZQ1、KZQ2 之间通过遥讯通道 channel 通信，实现协同控制。

图 1 是一条可控传输的双侧电源交流线路单线原理图，图中电抗 X 和电容 C 表示一条现有超高压或特高压交流线路的感抗和分布电容，DK 为现有线路两端的电抗器，DL1、DL2 为现有双侧电源交流线路两侧开关，F1、F2 代表线路所连接的两侧电网，在两端线路开关 DL1、DL2 和线路之间，分别串联接入一台变压器 B，两个变压器 B 一次绕组的线路侧分别加设快速接地开关 JDL1、JDL2，两个变压器 B 二次侧绕组分别接入 AC-DC-AC 型的电流源型调节器 TJQ1、TJQ2，构成可控传输的双侧电源交流线路，控制器 KZQ1、KZQ2 分别为两套电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 的控制器，两台控制器 KZQ1、KZQ2 之间通过遥讯通道 channel 统一协同控制，其中 I1、I2 为两侧线路的电流信号，U1、U2 为装置取自两侧母线的电压信号，V1、V2 为两端线路侧的电压信号。

本发明所述的电流源型调节器 TJQ，可以是现有技术使用电力可控硅、IGBT、IGCT、GTO 等电力电子器件构成的交—直—交同频整流逆变装置，装置的整流侧可以由变电站的高压母线提供电源，整流后再通过逆变器输出向可控传输的交流线路注入一个与其输入端同频的充电电流和负荷电流，逆变器必须是内阻很大的电流源型逆变器。电压源型逆变器（如统一潮流控制器 UPFC、静止同步串联补偿器 SSSC 等）内阻很小，无法达到本发明所述的技术效果。电流源型调节器 TJQ、控制器 KZQ 以及遥讯通道 channel，可根据本发明所述的控制方法，运用现有技术容易实现，本发明不作为叙述重点（下同）。

超高压和特高压线路的容性充电功率很大，现有线路的高抗 DK 用于对线路分布电容的容性无功进行补偿，一般欠补偿设置，最大补偿度一般小于 90%。对于可控传输的超高压、特高压线路，高抗 DK 的设置不再用于对线路分布电容容性无功的补偿，仅用于抑制线路的低频振荡和次同步谐振(SSR)，故高抗可以采用更低的补偿度，具体补偿度应根据线路长度以使可控交流线路能够抑制低频振荡和次同步谐振（SSR）为设置原则确定（下同）。

快速接地开关 JDL1、JDL2 处于常开状态，只在线路故障，保护动作时投入，用于释放线路分布电容上的电压，以限制串联变压器绕组和线路的过电压（下同）。

可控传输的双侧电源交流线路递升加压控制方法（参见图 1），其特征是：线路两侧电网 F1、F2 已经处于同步联结，在线路两端串联接入的变压器 B 二次侧电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 未工作，且线路侧快速接地开关 JDL1、JDL2 断开前提下，合上线路两侧开关 DL1、DL2，通过串联变压器 B 二次侧的电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 同时或任意一个电流源型调节器向线路注入部分充电电流并逐渐加大充电电流，如若线路有故障，加压过程异常，则停止充电电流输出，将线路退出运行，若线路无

故障，加压过程正常，则使充电电流加大到额定充电电流，使线路电压逐渐递升到额定电压。其中，所述向线路注入部分充电电流可从额定充电电流的 10%起步。所述逐渐加大充电电流的速度应在保护设置时考虑，以使保护能够及时反应加压过程是否正常并能对加压异常及时作出停止加压的保护动作。

递升加压，主要用于新建线路初次投运和线路检修完毕投运前检查线路的完好性，或用于线路故障退出后检查故障性质时替代现有技术重合闸，其控制方法为：在线路侧快速接地开关 JDL1、JDL2 断开、电源型调节器 TJQ1、TJQ2 未工作的情况下，先合上线路两侧的出口开关 DL1、DL2，此时由于电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 的内阻很大，串联变压器 B 的二次绕组相当于开路状态，变压器 B 的一次绕组相当于一个电抗器串联在线路出口，变压器 B 的一次绕组和线路电抗 X 及分布电容 C 与地之间只能流过一个很小的变压器一次绕组的激磁电流，变压器一次绕组几乎承受全部电源的电势，线路上的电压很低接近于零，此时启动电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 通过变压器 B 向线路注入一个较小的充电电流并逐渐加大到额定充电电流即可对线路进行递升加压使线路电压逐步达到额定电压，如若线路有故障，注入的充电电流增加而线路电压不升高，可判断为加压过程异常，即可停止递升加压将线路退出运行；如若线路正常，随着所注入的充电电流升至额定充电电流，变压器 B 一次绕组上的压降减小为零，线路电压递升到额定。

线路的充电电流，现有技术状况下，是线路两侧电源电势在线路分布电容上产生的容性电流，超前于电源电压 90° ，额定充电电流是线路在额定电压下对应的充电电流。可控传输交流线路，若电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 给线路注入的充电电流小于额定充电电流时，线路上建立的电压也小于额定电压。故此，可控传输的交流线路可以通过串联变压器 B 和电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 对线路注入一个较小的充电电流并逐步加大到额定充电电流，进行平滑的递升加压操作，可避免现有技术向线路进行全电压充电时系统无功的较大波动以及全电压充电到故障线路时对系统的故障冲击。现有技术中，只能对发电厂的出口线路，采用单台机组带一条线路进行递升加压操作，电网之间的联络线路，由于没有升压设备而无法进行递升加压，给联络线路的充电及重合闸操作都采用全电压充电方式，冲击很大。

递升加压可以只使用线路任一侧的电流源型调节器 TJQ1 或 TJQ2 进行，也可使用线路双侧的电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 同时进行（下同）。

可控传输的双侧电源交流线路负荷传输控制方法（参见图 1），其特征是：线路两侧电网已经处于同步联结，当需要使线路传输负荷时，在线路两侧快速接地开关 JDL1、JDL2 断开及线路两侧出口串联变压器 B 二次侧的电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 未工作的前提下，合上线路两侧开关 DL1、DL2，通过在线路两侧出口串联变压器 B 二次侧的电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 同时注入额定充电电流和同样大小的负荷电流，使线路处于负荷传输工作状态；或

当需要可控传输的双侧电源交流线路停止负荷传输时，停止线路两侧电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 所输出的负荷电流，仅输出额定充电电流，使线路处于带压空载状态，或停止两侧电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 所输出的负荷电流和充电电流，使线路处于无压备用状态。

负荷传输控制方法，是在可控传输的交流线路无需递升加压时，在线路侧快速接地开关 JDL1、JDL2

断开、调节器 TJQ1、TJQ2 未工作的情况下，先合上线路两侧的出口开关 DL1、DL2，再通过电流源调节器 TJQ1、TJQ2 向线路同时注入额定充电电流和同样大小的负荷电流，线路建立电压和负荷传输同时进行。

线路的负荷传输，现有技术的交流线路连接起两个交流电网之后，两侧电网之间的功角差是驱动负荷电流流动的唯一驱动力。可控传输的交流线路，由于电流源型调节器 TJQ 的内阻很大，两侧电网之间的功角差无法驱动可控传输的交流线路的负荷流动，两侧电网之间的功角差所产生的压差将表现为串联变压器 B 一次绕组上的一个压降，电流源型调节器 TJQ 可根据两侧电网功角差在串联变压器 B 一次绕组上产生的压降大小，向线路再注入一个相应大小的负荷电流，负荷电流的传输原则上从相角超前的一侧电网向相角迟后的一侧电网传输，负荷电流的大小以保持两侧电网电源之间的相角差在规定值（一般规定 44° 左右）以内，负荷电流的相位，应在两侧电网电源电势形成的功角差的角平分线附近。两侧电源之间的功角差和负荷电流的相位、大小相互配合的原则，是使线路两端的功率因数运行在 1 附近为宜（即使线路两端电压之间的功角差接近于零）。由于电流源型调节器 TJQ 向线路注入负荷电流时，电流源型调节器 TJQ 主要输出无功功率，与负荷电流产生的线损功率以及分布电容的充电功率相平衡，线路两侧均不须向可控传输线路提供无功功率，两侧电网发电机 F1、F2 的运行效率得以提高，故可控传输交流线路也不受无功平衡因素的限制，可以控制线路运行于热稳定极限。由于可控传输线路的负荷大小可控，也克服了现有自由流动交流电网在负荷高峰时多条线路构成的潮流断面上短线路过负荷的问题。

当线路空载时，可控传输的双侧电源交流线路可以带压空载，也可处于无压备用状态。电网的一个潮流断面上往往有多条线路，多条线路均采用可控传输控制技术时，负荷低谷时可以只让部分线路带负荷运行，另一部分线路无压备用，以减少交流电网在负荷低谷时无功过剩、系统电压过高、发电机无功进相、以及空载线路上无功电流产生的线路损耗和高电压产生的电晕损耗及电力线路空载时的故障几率。可控传输交流线路处于无压备用状态时，一旦系统需要启动功率传输，无压备用线路可以秒级快速启动线路加压和负荷传输。

在负荷传输控制时，两侧电流源调节器 TJQ1、TJQ2 为“与门”关系，两侧控制器 KZQ1、KZQ2 之间必须通过遥讯通道 channel，统一协同控制使两侧的电流源调节器 TJQ1、TJQ2 同时输出额定充电电流和输出同样大小和同相位的负荷电流（下同）。

当可控传输的双侧电源交流线路所连接的两侧电网已经通过其它线路相连，处于同步运行状态时，可以对可控传输的双侧电源交流线路进行递升加压或直接加压后，再启动负荷传输，也可对可控线路同时注入额定充电电流和负荷电流，控制加压和负荷传输同时进行。若当其两侧电网之间还没有其它线路相连接，两侧电网之间处于异步运行状态时，采用以下同期并列的控制方法。

可控传输的双侧电源交流线路实现快速同期并列的方法（参见图 1），其特征是：线路连接的两侧电网处于异步运行状态，在线路两端串联接入变压器 B 二次侧的电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 未工作，且线路两侧快速接地开关 JDL1、JDL2 断开的情况下，合上两侧线路开关 DL1、DL2，待线路连接的两侧电网之间的滑差小于常规线路并列时的规定值并当滑差过零点时，启动两组电流源型调节器

TJQ1、TJQ2 向线路同时注入额定充电电流和负荷电流，将两侧电网拉入同步运行。

可控传输的双侧电源交流线路与现有交流线路的同期并列，都需要线路两侧具备同期并列条件时进行，所不同的是，现有交流线路的同期并列是先通过一侧线路开关向线路充电，等待满足同期条件时合上另一侧线路开关，操作过程有冲击；而可控线路可以先合上线路两侧开关，线路在无压状态下将两侧电网进行异步连接，此时的线路两侧的串联变压器 B 的一次绕组相当于串接在线路出口的电抗器，两侧电网的电势几乎全部由线路出口的变压器 B 的一次绕组所承受，线路电压很低几乎为零，两侧电网尽管处于异步状态，但两侧电网之间几乎没有功率传输，变压器一次绕组阻抗很大，阻止了两侧电网之间异步状态下的功率振荡的发生，待两侧电网之间滑差速度较小并当滑差过零点具备同步条件时，两侧电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 快速平滑的同时输出额定充电电流和负荷电流，同时对线路建压和启动负荷传输，将两侧电网拉入同步，对电网没有冲击。

可控传输的双侧电源交流线路的故障处置方法（参见图 1），其特征是：线路处于传输负荷或带压备用状态下；

当线路发生单相故障时，维持未故障相的正常运行，停止故障相电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 的输出，同时合上故障相线路两侧的快速接地开关 JDL1、JDL2，间隔一段时间使线路分布电容上电压放电完毕后，断开故障相线路两侧的快速接地开关 JDL1、JDL2，再通过串联变压器 B 二次侧的电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 向线路故障相注入部分充电电流递升加压，判断线路永久故障或瞬时故障，若为永久故障，则停止电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 的三相输出，三相线路退出运行，若为瞬时故障且故障已经消失，升压至额定电压后，则通过电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 向线路故障相注入额定充电电流和负荷电流，恢复三相线路的正常运行（即恢复到正常负荷传输控制状态）；或

当线路发生两相或三相故障时，停止三相电流源调节器 TJQ1、TJQ2 的输出，同时合上三相线路两侧的快速接地开关 JDL1、JDL2，间隔一段时间使线路分布电容上电压放电完毕后，再断开三相线路两侧的快速接地开关 JDL1、JDL2，通过线路两端串联变压器二次侧的电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 向三相线路注入部分充电电流递升加压，判断线路永久故障或瞬时故障，若为永久故障，则停止三相电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 的输出将三相线路退出运行，若为瞬时故障且故障已经消失，升压额定后，则通过两组电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 向三相线路注入额定充电电流和负荷电流，恢复三相线路的正常运行。

现有交流线路故障时，会产生很大的故障电流，电网连接越紧密，短路电流越大，短路电流超标（50KA）是引发交流电网大面积停电事故的主要原因。现有技术中，交流线路发生故障后，单相故障只采用单相重合闸，两相和三相故障时不使用重合闸，采用三相直跳线路后再次强送的方法判断故障性质，一旦重合或强送于永久故障，会对系统造成二次故障冲击，使故障点的破坏更为严重甚至使事故扩大。可控传输的交流线路故障时，线路两侧电源电势由串联在线路出口的变压器的一次绕组承担，线路无法形成故障电流，可控传输的交流线路可以阻止故障电流的发生。但与现有交流线路一样，可控传输的交流线路故障后，线路分布电容会通过故障点和线路两端的高抗形成放电通道，放电电流为高次波，在线路上产生高次波的压降，与变压器一次绕组的工频压降叠加后会引引起过电压。可控传输

交流线路故障后，除停止电流源型调节器的输出之外，需要投入快速接地开关，避免过电压，且可快速释放分布电容的电压。根据线路长度、电压等级不同，分布电容释放电压的时间不同，以此决定快速接地开关投入的时间长度。电容电压释放完之后，再次断开故障相的快速接地开关，对故障线路进行递升加压判断线路故障性质和状况，比现有技术通过重合闸判断故障性质安全稳妥。可控交流线路故障后本身不会出现故障电流，递升加压也不会对线路造成冲击和破坏，安全平稳，可控传输的交流线路具有柔性可控的特点。

现有交流线路与可控传输交流线路的区别：现有交流线路的电压建立通过合上线路开关直接建立，对电网冲击大，负荷传输由两侧电源的功角差形成的压差驱动，线路故障后会形成巨大的短路电流。而可控传输的交流线路的建压和负荷传输均需电流源型调节器 TJQ 输出相应的充电电流和负荷电流才可建压和传输功率，两侧电源无法给线路加压，两侧电源之间的功角差所形成的压差也无法驱动线路电流的流动。在线路发生故障时也无法产生故障电流，电流源型调节器 TJQ 检测到线路故障后，还会停止电流输出。

图 2 是一条可控传输的单侧电源的交流线路单线原理图，电抗 X 和电容 C 表示一条现有的高压电力交流线路，DL1 为线路出口开关，DL2 为线路末端开关，F 代表电网，在线路开关 DL1 出口串联接入一台变压器 B，在变压器 B 的线路侧设置快速接地开关 JDL，在变压器 B 的二次绕组上接入 AC-DC-AC 型的电流源型调节器 TJQ，构成可控传输的单侧电源交流线路，调节器 TJQ 由控制器 KZQ 控制，I 为装置取自线路的电流信号，U 为母线侧的电压信号，V 为线路侧电压信号，控制方法详细叙述如下。

一种可控传输的单侧电源交流线路（参见图 2），其特征是：在现有单侧电源交流线路的电源侧开关 DL1 出口串联接入一台变压器 B，在变压器 B 的二次侧接入一套电流源型调节器 TJQ，电流源型调节器 TJQ 由一组控制器 KZQ 控制，在串联变压器 B 一次绕组的线路侧装设一组快速接地开关 JDL。

上述可控传输的单侧电源交流线路递升加压控制方法（参见图 2），其特征是：断开线路末端开关 DL2，断开线路侧快速接地开关 JDL，合上线路首端开关 DL1，通过串联变压器 B 二次侧的电流源型调节器 TJQ 向线路注入部分充电电流并逐渐加大充电电流，若线路有故障，升压过程异常，则停止充电电流的输出，将线路退出运行，若线路无故障，升压过程正常，则加大充电电流到额定充电电流，使线路电压逐渐升高到额定电压。其中，注入部分充电电流以及逐渐加大的控制方式同图 1 所指的线路的控制方式。

单侧电源交流线路的负荷控制方法（参见图 2）：线路侧的快速接地开关 JDL 处于断开状态，合上线路的首端开关 DL 和末端开关 DL，通过串联变压器 B 二次侧的电流源型调节器 TJQ 向线路同时注入额定充电电流和负荷电流。

可控传输的单侧电源交流线路故障处置方法（参见图 2）：其特征是：线路处于传输负荷状态下，当线路发生单相故障时，维持未故障相的正常运行，停止电流源型调节器 TJQ 故障相的电流输出，断开故障相线路末端开关 DL2，同时合上故障相线路侧的快速接地开关 JDL，间隔一段时间使线路分布电容上电压放电完毕后，断开故障相线路侧的快速接地开关 JDL，再通过串联变压器 B 二次侧的电

流源型调节器 TJQ 向故障相线路注入部分充电电流递升加压，判断线路永久故障或瞬时故障，若为永久故障，则停止三相电流源型调节器 TJQ 输出，线路退出运行，若为瞬时故障且故障已经消失，升压额定后，合上故障相线路末端开关 DL2，通过电流源型调节器 TJQ 向线路注入额定充电电流和负荷电流，恢复线路运行；或

当线路发生两相或三相故障时，停止电流源型调节器 TJQ 三相的电流输出，断开三相线路末端开关 DL2，同时合上三相线路侧的快速接地开关 JDL，间隔一段时间使线路分布电容上电压放电完毕后，断开三相线路侧的快速接地开关 JDL，再通过串联变压器 B 二次侧的电流源型调节器 TJQ 向三相线路注入部分充电电流递升加压，判断线路永久故障或瞬时故障，若为永久故障，则停止电流源型调节器 TJQ 的三相电流输出，线路退出运行，若为瞬时故障且故障已经消失，升压额定后，合上线路末端开关 DL2，通过电流源型调节器 TJQ 向线路注入额定充电电流和负荷电流，恢复线路运行。

图 3 是一条双侧电源交流线路两端接入功能合一变压器组构成的可控传输系统单线原理接线图，图中电抗 X、电容 C、电抗器 DK 构成了一条双侧电源的特高压或超高压电力交流线路，线路两端均串入了一套功能合一的变压器组，两套功能合一的变压器组均由两台变压器 B1、B2 组成，两台变压器 B1、B2 的一次侧绕组同极性串联后，一端接地，另一端接线路并在线路端接入一组快速接地开关 JDL1、JDL2，两台变压器 B1、B2 的二次侧绕组反极性串联后分别接入一组 AC-DC-AC 型电流源型调节器 TJQ1、TJQ2，两组电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 由两组控制器 KZQ1、KZQ2 分别控制，两组控制器 KZQ1、KZQ2 之间通过遥讯通道 channel 连接通信，两组电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 的交流输入端由变电站母线供电。

一种双侧电源交流线路两端分别接入功能合一变压器组构成的可控传输系统，其特征是：在双侧电源交流线路的两端分别接入一套功能合一的变压器组，两套功能合一变压器组均由两台变压器 B1、B2 组成，两台变压器 B1、B2 的一次绕组同极性串联后一端接交流线路，并在线路端接入快速接地开关 JDL1、JDL2，串联后一次绕组的另一端接地，一次绕组的中间串接点通过两台开关 DL1、DL2 接于两侧电网母线，两台变压器 B1、B2 的二次绕组反极性串联后两端各接入一组 AC-DC-AC 型的电流源型调节器 TJQ1、TJQ2，两组电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 由两组控制器 KZQ1、KZQ2 分别控制，两组控制器 KZQ1、KZQ2 之间通过遥讯通道 channel 通信。

上述功能合一的变压器组，当其二次绕组回路中的电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 未工作时，二次绕组相当于开路状态，其一次绕组中间串接点与电网的开关 DL1、DL2 一旦合上，功能合一变压器组的一次绕组呈现大阻抗，一次绕组与接地点以及与线路之间，均只流过一个很小的激磁电流，一次绕组承受电源的电势电压，线路侧的电压很低接近于零。只有当其二次绕组回路中电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 投入加压或负荷传输控制状态时，线路才可建立电压或传输负荷，具体叙述如下。

上述双侧电源交流线路两端分别接入功能合一变压器组构成的可控传输系统对线路进行递升加压的控制方法，其特征在于：线路两侧电网已经处于同步联结，在线路两侧功能合一变压器组 B1、B2 二次侧的电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 未工作，且线路两侧出口快速接地开关 JDL1、JDL2 断开的情况下，先合上两组功能合一变压器组与两侧电网母线之间开关 DL1、DL2，再使系统两侧两组功能合

一变压器组二次绕组中电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 同时或任一侧向线路注入部分充电电流并逐渐加大充电电流，若线路有故障，加压过程异常，则停止电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 的输出，将线路退出运行，若线路无故障，加压过程正常，则使电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 输出额定充电电流，使线路电压递升到额定电压。

上述双侧电源交流线路两端分别接入功能合一变压器组的可控传输系统进行负荷传输控制方法，其特征在于：线路两侧电网已经处于同步联结，

当需要线路传输负荷时，在线路两侧的电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 不工作，且线路两侧出口快速接地开关 JDL1、JDL2 断开的情况下，先合上线路两侧功能合一变压器组的电网侧开关 DL1、DL2，再使两侧电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 同时向线路注入额定充电电流和负荷电流，使线路工作于负荷传输工作状态；或

当需要使线路停止负荷传输时，停止线路两侧电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 所输出的负荷电流，仅输出额定充电电流，使线路处于全压空载状态，或全部停止线路两侧的电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 所输出的负荷电流和充电电流，使线路处于无压备用状态。

本发明还保护一种采用功能合一变压器的可控传输的双侧电源交流线路（参见图 4），由电抗 X、分布电容 C 及电抗器 DK 构成的特高压或超高压交流线路和该线路两侧开关 DL1、DL2 之间，一端串联接入一台调节器，另一端接入一台功能合一变压器组。

图 4 是一条可控传输的双侧电源交流线路右侧串联接入调节器左侧接入功能合一变压器组的单线原理接线图（可控传输的双侧电源交流线路左侧串联接入调节器右侧接入功能合一变压器的可控传输的双侧电源交流线路设计同理），电抗 X、分布电容 C 及电抗器 DK 构成一条特高压或超高压交流线路，左侧两个变压器 B1、B2 与 AC-DC-AC 型的电流源型调节器 TJQ1 及其控制器 KZQ1 和快速接地开关 JDL1 构成了升压和调节器功能合一的变压器组，两个变压器 B1、B2 的一次侧绕组同极性串联后，一端接地，另一端与线路左侧连接并接入快速接地开关 JDL1，两个一侧绕组的串接点再通过开关 DL1 与电网 F1 相连，变压器 B1、B2 的二次绕组反极性串联后接入电流源型调节器 TJQ1 及其控制器 KZQ1；线路右侧开关 DL2 和线路右侧之间串联接入一台变压器 B，变压器 B 的二次侧接入一套 AC-DC-AC 型的电流源型调节器 TJQ2 及其控制器 KZQ2，变压器 B 一次绕组的线路侧接入快速接地开关 JDL2，两组控制器 KZQ1、KZQ2 之间通过遥讯通道 channel 统一协同控制，I1、I2 为两侧线路的电流信号，U1、U2 为装置取自两侧母线的电压信号，V1、V2 为两端线路侧的电压信号，F1 代表一个电压较低的电网、F2 代表一个电压较高的电网。

一种双侧电源交流线路一端采用功能合一变压器组，另一端采用串联变压器构成的可控传输系统，其特征是：在双侧电源交流线路的一端接入一套功能合一的变压器组，功能合一变压器组由两台变压器 B1、B2 组成，两台变压器 B1、B2 的一次绕组同极性串联，串联后一次绕组的一端接交流线路，并在线路端接入快速接地开关 JDL1，串联后一次绕组的另一端接地，一次绕组的中间串接点通过开关 DL1 接于一侧电网 F1 侧，两台变压器 B1、B2 的二次绕组反极性串联，串联后的二次绕组两端接入一组 AC-DC-AC 型的电流源型调节器 TJQ1，在双侧电源交流线路的另一端的线路开关 DL2 与线路之间

串联接入一台变压器 B，在变压器 B 一次绕组的线路侧接入另一组快速接地开关 JDL2，变压器 B 的二次绕组接入另一组 AC-DC-AC 型的电流源型调节器 TJQ2，两组电流源型调节器 TJQ1、TJQ2 分别由控制器 KZQ1、KZQ2 控制，两组控制器 KZQ1、KZQ2 之间通过遥讯通道 channel 通信，线路另一端的线路开关 DL2 连接于另一侧电网 F2。

上述双侧电源交流线路一侧串入功能合一变压器组，另一侧串联接入变压器构成的可控传输系统，其对线路进行递升加压，对线路进行负荷传输控制，对线路故障的控制方法与上述线路两端均串入功能合一变压器组的可控传输系统相同，故不再赘述。

功能合一的变压器组所连接的交流线路，可以任意连接两个电压不同的电网，如图 4 中，左侧可以是 330kv 或 750kv 电网，线路及右侧电网可以是 1000kv。或线路两侧均使用功能合一的变压器组时，如图 3，一侧电网可以为 330kv 或 750kv，另一侧可以为 500kv，而连接所用的线路可以是 1000kv 线路，可以根据不同需要进行组合，连接不同电压等级的电网，功能合一变压器 B1、B2 的变比也根据所要变压的大小具体确定。

可控传输的交流线路均可以运行在热稳定，线路在热稳定运行时可以融化线路覆冰，实现线路的不停电融冰。现有交流线路发生覆冰时，大多依靠将线路停电后线路末端人工短接，首端加直流或交流进行短路升流融冰。

以上，通过附图叙述了中性点直接接地方式的电力交流线路可控传输的控制方法，对于中性点不接地、或中性点经消弧线圈接地的小电流接地系统的电力交流线路的可控传输控制方法相同，故不再赘述。

本发明所提供的可控传输的电力交流线路中，可控传输的双侧电源交流线路，提供了在线路两侧各串入一台串联变压器及其电流源型调节器的控制方法，通过对现有交流 1000kv 线路的仿真，其控制线路的长度可达 700km。目前大多数 1000kv 交流线路的长度都在 600km 左右，在线路两侧串入电流源型调节器即可满足要求。对建设更长距离的交流线路，可以在线路两侧串联接入变压器和电流源型调节器的同时，再在线路中部串联接入一个或多个变压器及其电流源型调节器，输电距离可以随串联接入变压器及其电流源型控制器的个数而增加，故可控传输的交流线路也可不受输电距离的限制。实际应用中，由于交流线路组网容易，一般情况下没有必要追求更远的输电距离。

本发明的可控传输交流线路控制技术，适用于所有电压等级的交流线路。对于可控传输的单电源交流线路，以 110kv 高压线路而言，仅在线路出口串联接入变压器及其电流源型调节器的控制方案，其运行在热稳定情况下的输电距离可达 200km 以上，远远大于目前现有 110kv 线路供电半径的限制，如若需要提高其输电距离，也可在其线路中部增加电流源型调节器的串联个数。

现有技术形成的交流电网，经历了电压不断攀升的过程所形成的多层级电网结构，各级电压的线路又有供电半径的限制，使电力负荷潮流在多层级电网中多次来回流动。可控传输的交流线路，其输电距离没有限制，本发明为现有的多层级电网结构提供了研究其扁平化的可能。

本发明所提供的可控传输的交流线路及其控制方法，均已通过 PSCAD/EMTDC 软件的仿真实验验证。

权 利 要 求 书

1、一种可控传输的双侧电源交流线路，其特征是：在双侧电源交流线路两端开关（DL1、DL2）的线路侧各串联接入一台变压器（B），两个串联变压器（B）的二次侧绕组各接入一套电流源型调节器（TJQ1、TJQ2），在两个串联变压器（B）一次绕组的线路侧各装设一组快速接地开关（JDL1、JDL2），两个电流源型调节器（TJQ1、TJQ2）由两台控制器（KZQ1、KZQ2）分别控制，两台控制器（KZQ1、KZQ2）之间通过通讯通道(channel)通信。

2、一种权利要求1所述的可控传输的双侧电源交流线路递升加压控制方法，其特征是：线路两侧电网已经处于同步联结，在线路两端串联接入的变压器（B）二次侧电流源型调节器（TJQ1、TJQ2）未工作，且线路侧快速接地开关（JDL1、JDL2）断开前提下，合上线路两侧开关（DL1、DL2），通过串联变压器（B）二次侧的电流源型调节器（TJQ1、TJQ2）同时或任意一个电流源型调节器向线路注入部分充电电流并逐渐加大充电电流，如若线路有故障，加压过程异常，则停止充电电流输出，将线路退出运行，若线路无故障，加压过程正常，则使充电电流加大到额定充电电流，使线路电压逐渐升高到额定电压。

3、一种权利要求1所述的可控传输的双侧电源交流线路负荷传输控制方法，其特征是：线路两侧电网已经处于同步联结，

当需要使线路传输负荷时，在线路两侧快速接地开关（JDL1、JDL2）断开及线路两侧出口串联变压器（B）二次侧的电流源型调节器（TJQ1、TJQ2）未工作的前提下，合上线路两侧开关（DL1、DL2），通过在线路两侧出口串联变压器（B）二次侧的电流源型调节器（TJQ1、TJQ2）同时注入额定充电电流和负荷电流，使线路处于负荷传输工作状态；或

当需要可控传输的双侧电源交流线路停止负荷传输时，停止线路两侧电流源型调节器（TJQ1、TJQ2）所输出的负荷电流，仅输出额定充电电流，使线路处于带压空载状态，或停止两侧电流源型调节器（TJQ1、TJQ2）所输出的负荷电流和充电电流，使线路处于无压备用状态。

4、一种权利要求1所述的可控传输的双侧电源交流线路实现快速同期并列的方法，其特征是：线路联结的两侧电网处于异步状态，在线路两端串联接入变压器（B）二次侧的电流源型调节器（TJQ1、TJQ2）未工作，且线路两侧快速接地开关（JDL1、JDL2）断开的情况下，合上两侧线路开关（DL1、DL2），待线路连接的两侧电网之间的滑差小于规定值并当滑差过零点时，启动两组电流源型调节器（TJQ1、TJQ2）向线路同时注入额定充电电流和负荷电流，将两侧电网拉入同步运行。

5、一种权利要求1所述的可控传输的双侧电源交流线路的故障处置方法：其特征是：线路处于传输负荷或带压备用状态下，

当线路发生单相故障时，维持未故障相的正常运行，停止故障相电流源型调节器（TJQ1、TJQ2）的输出，同时合上故障相线路两侧的快速接地开关（JDL1、JDL2），间隔一段时间使线路分布电容的电压放电完毕后，断开故障相线路两侧的快速接地开关（JDL1、JDL2），再通过串联变压器（B）二次侧的电流源型调节器（TJQ1、TJQ2）向线路故障相注入部分充电电流递升加压，判断线路永久故障或瞬时故

障，若为永久故障，则停止电流源型调节器（TJQ1、TJQ2）的三相输出，三相线路退出运行，若为瞬时故障且故障已经消失，升至额定电压后，则通过电流源型调节器（TJQ1、TJQ2）向线路故障相注入额定充电电流和负荷电流，恢复三相线路的正常运行；或

当线路发生两相或三相故障时，停止三相电流源调节器（TJQ1、TJQ2）的输出，同时合上三相线路两侧的快速接地开关（JDL1、JDL2），间隔一段时间使线路分布电容的电压放电完毕后，再断开三相线路两侧的快速接地开关（JDL1、JDL2），通过线路两端串联变压器二次侧的电流源型调节器（TJQ1、TJQ2）向三相线路注入部分充电电流递升加压，判断线路永久故障或瞬时故障，若为永久故障，则停止三相电流源型调节器（TJQ1、TJQ2）的输出将三相线路退出运行，若为瞬时故障且故障已经消失，升压额定后，则通过两组电流源型调节器（TJQ1、TJQ2）向三相线路注入额定充电电流和负荷电流，恢复三相线路的正常运行。

6、一种可控传输的单侧电源交流线路，其特征是：在单侧电源交流线路的电源侧开关（DL1）出口串联接入一台变压器（B），在变压器（B）的二次侧接入一套电流源型调节器（TJQ），电流源型调节器（TJQ）由一组控制器（KZQ）控制，在串联变压器（B）一次绕组的线路侧装设一组快速接地开关（JDL）。

7、一种权利要求6所述的可控传输的单侧电源交流线路递升加压控制方法，其特征是：断开线路末端开关（DL2），断开线路侧快速接地开关（JDL），合上线路首端开关（DL1），通过串联变压器（B）二次侧的电流源型调节器（TJQ）向线路注入部分充电电流并逐渐加大充电电流，若线路有故障，升压过程异常，则停止充电电流的输出，将线路退出运行，若线路无故障，升压过程正常，则加大充电电流到额定充电电流，使线路电压逐渐升高到额定电压。

8、一种权利要求6所述的可控传输的单侧电源交流线路的负荷控制方法：其特征是：线路侧的快速接地开关（JDL）处于断开状态，合上线路的首端开关（DL1）和末端开关（DL2），通过串联变压器（B）二次侧的电流源型调节器（TJQ）向线路同时注入额定充电电流和负荷电流。

9、一种权利要求6所述的可控传输的单侧电源交流线路故障处置方法：其特征是：线路处于传输负荷状态下，

当线路发生单相故障时，维持未故障相的正常运行，停止电流源型调节器（TJQ）故障相的电流输出，断开故障相线路末端开关（DL2），同时合上故障相线路侧的快速接地开关（JDL），间隔一段时间使线路分布电容的电压放电完毕后，断开故障相线路侧的快速接地开关（JDL），再通过串联变压器（B）二次侧的电流源型调节器（TJQ）向故障相线路注入部分充电电流递升加压，判断线路永久故障或瞬时故障，若为永久故障，则停止三相电流源型调节器（TJQ）输出，线路退出运行，若为瞬时故障且故障已经消失，升压额定后，合上故障相线路末端开关（DL2），通过电流源型调节器（TJQ）向线路注入额定充电电流和负荷电流，恢复线路运行；或

当线路发生两相或三相故障时，停止电流源型调节器（TJQ）三相的电流输出，断开三相线路末端开关（DL2），同时合上三相线路侧的快速接地开关（JDL），间隔一段时间使线路分布电容电压放电完毕后，断开三相线路侧的快速接地开关（JDL），再通过串联变压器（B）二次侧的电流源型调节器（TJQ）向三相线路注入部分充电电流递升加压，判断线路永久故障或瞬时故障，若为永久故障，则停止电流源型调

节器 (TJQ) 的三相电流输出, 线路退出运行, 若为瞬时故障且故障已经消失, 升压额定后, 合上线路末端开关 (DL2), 通过电流源型调节器 (TJQ) 向线路注入额定充电电流和负荷电流, 恢复线路运行。

10、一种双侧电源交流线路两端分别接入功能合一变压器组的可控传输系统, 其特征是: 在双侧电源交流线路的两端分别接入一套功能合一的变压器组, 所述功能合一变压器组由两台变压器 (B1、B2) 组成, 两台所述变压器 (B1、B2) 的一次绕组同极性串联后一端接交流线路, 并在线路端接入快速接地开关 (JDL1、JDL2), 串联后一次绕组的另一端接地, 一次绕组的中间串接点通过开关 (DL1、DL2) 接于两侧电网 (F1、F2), 两台所述变压器 (B1、B2) 的二次绕组反极性串联后两端各接入一组电流源型调节器 (TJQ1、TJQ2), 两组电流源型调节器 (TJQ1、TJQ2) 由两组控制器 (KZQ1、KZQ2) 分别控制, 两组控制器 (KZQ1、KZQ2) 之间通过通讯通道 (channel) 通信。

11、一种权利要求 10 所述的双侧电源交流线路两端分别接入功能合一变压器组的可控传输系统对线路进行递升加压的控制方法, 其特征在于: 线路两侧电网已经处于同步联结, 在线路两侧功能合一变压器组 (B1、B2) 二次侧的电流源型调节器 (TJQ1、TJQ2) 未工作, 且线路两侧出口快速接地开关 (JDL1、JDL2) 断开的情况下, 先合上两组功能合一变压器组 (B1、B2) 与两侧电网母线之间开关 (DL1、DL2), 再使系统两侧两组功能合一变压器组 (B1、B2) 的二次绕组中电流源型调节器 (TJQ1、TJQ2) 同时或任一侧向线路注入部分充电电流并逐渐加大充电电流, 若线路有故障, 加压过程异常, 则停止电流源型调节器 (TJQ1、TJQ2) 的输出, 将线路退出运行, 若线路无故障, 加压过程正常, 则使电流源型调节器 (TJQ1、TJQ2) 输出额定充电电流, 使线路电压递升到额定电压。

12、一种权利要求 10 所述的双侧电源交流线路两端分别接入功能合一变压器组的可控传输系统进行负荷传输控制方法, 其特征在于: 线路两侧电网已经处于同步联结,

当需要线路传输负荷时, 在线路两侧的电流源型调节器 (TJQ1、TJQ2) 不工作, 且线路两侧出口快速接地开关 (JDL1、JDL2) 断开的情况下, 先合上线路两侧功能合一变压器组 (B1、B2) 的电网侧开关 (DL1、DL2), 再使两侧电流源型调节器 (TJQ1、TJQ2) 同时向线路注入额定充电电流和负荷电流, 使线路工作于负荷传输工作状态; 或

当需要使线路停止负荷传输时, 停止线路两侧电流源型调节器 (TJQ1、TJQ2) 所输出的负荷电流, 仅输出额定充电电流, 使线路处于全压空载状态, 或全部停止线路两侧的电流源型调节器 (TJQ1、TJQ2) 所输出的负荷电流和充电电流, 使线路处于无压备用状态。

13、一种双侧电源交流线路一端采用功能合一变压器组, 另一端采用串联变压器构成的可控传输系统, 其特征是: 在双侧电源交流线路的一端接入一套功能合一的变压器组, 功能合一变压器组由两台变压器 (B1、B2) 组成, 两台变压器 (B1、B2) 的一次绕组同极性串联, 串联后一次绕组的一端接交流线路, 并在线路端接入快速接地开关 (JDL1), 串联后一次绕组的另一端接地, 一次绕组的中间串接点通过开关 (DL1) 接于一侧电网 (F1), 两台变压器 (B1、B2) 的二次绕组反极性串联, 串联后的二次绕组两端接入一组电流源型调节器 (TJQ1); 在双侧电源交流线路的另一端的线路开关 (DL2) 与线路之间串联接入一台变压器 (B), 在变压器 (B) 一次绕组的线路侧接入另一组快速接地开关 (JDL2), 变压器 (B) 的二次绕组接入另一组电流源型调节器 (TJQ2), 两组电流源型调节器 (TJQ1、TJQ2)

由两组控制器（KZQ1、KZQ2）分别控制，两组控制器(KZQ1、KZQ2)之间通过遥讯通道（channel）通信，线路另一端的线路开关（DL2）连接于另一侧电网（F2）。

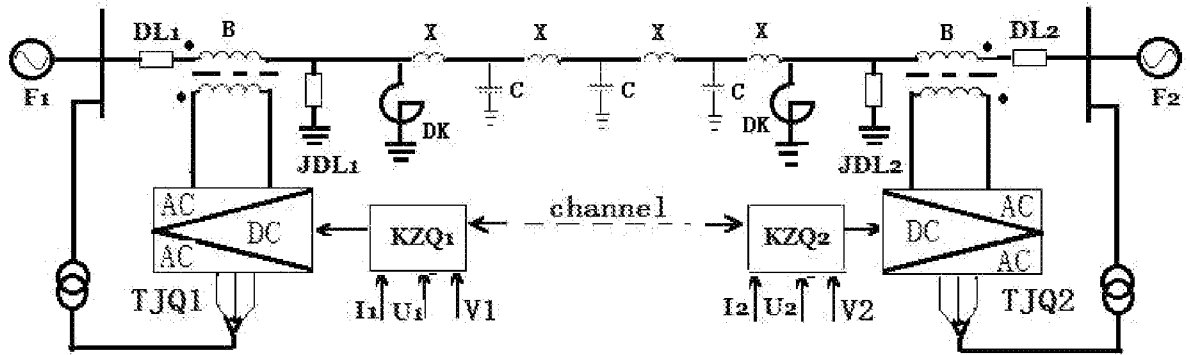


图 1

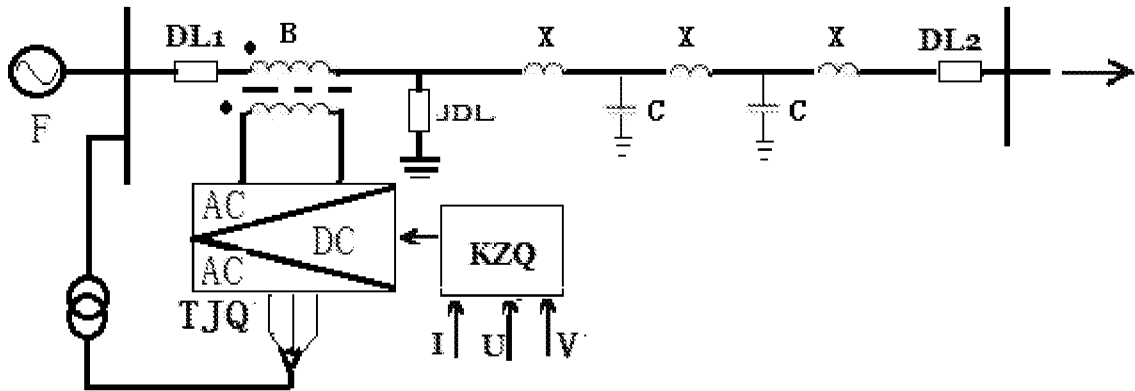


图 2

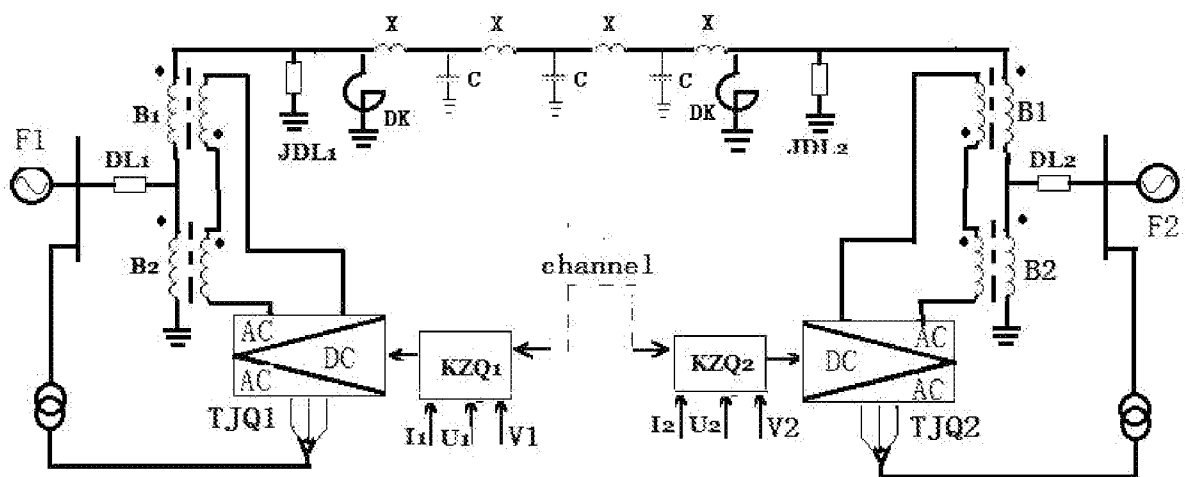


图 3

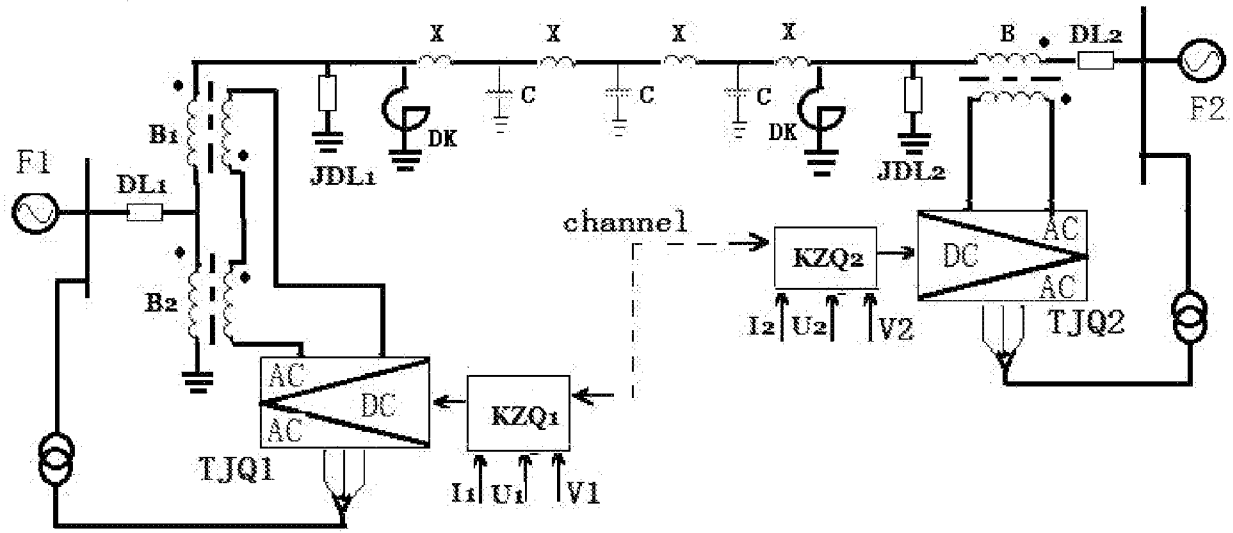


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/092946

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
H02J 3/06(2006.01)i; H02J 3/38(2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H02J 3/-		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) CNTXT, ENTXTC, ENTXT, DWPI, CNKI: 变压器, 绕组, 线圈, 串联, 开关, 故障, 升压, 电流, 控制, transformer, winding, coil, in series, switch, fault, boost, current, control+		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 107919669 A (GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 17 April 2018 (2018-04-17) description, paragraphs 73-166, and figures 2-6	1-4
Y	CN 107919669 A (GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 17 April 2018 (2018-04-17) description, paragraphs 73-166, and figures 2-6	5, 10-13
X	CN 112583018 A (GUOLUO POWER SUPPLY COMPANY OF STATE GRID QINGHAI ELECTRIC POWER COMPANY et al.) 30 March 2021 (2021-03-30) description, paragraphs 12-26, and figures 1-5	6-8
Y	CN 112583018 A (GUOLUO POWER SUPPLY COMPANY OF STATE GRID QINGHAI ELECTRIC POWER COMPANY et al.) 30 March 2021 (2021-03-30) description, paragraphs 12-26, and figures 1-5	9
Y	CN 102611310 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 25 July 2012 (2012-07-25) description, paragraphs 19-48, and figures 1-10	10-13
Y	CN 104218563 A (FUZHOU UNIVERSITY) 17 December 2014 (2014-12-17) description, paragraphs 22-37, and figures 1-4	5, 9
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 21 July 2022		Date of mailing of the international search report 28 July 2022
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10)62019451		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/092946

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102280867 A (CHONGQING UNIVERSITY) 14 December 2011 (2011-12-14) entire document	1-13
A	JP H09289703 A (OTA, Y.) 04 November 1997 (1997-11-04) entire document	1-13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2022/092946

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	107919669	A	17 April 2018	WO	2019119667	A1	27 June 2019
				US	2019190263	A1	20 June 2019
				CN	107919669	B	21 February 2020
				US	10938209	B2	02 March 2021
CN	112583018	A	30 March 2021	CN	214154020	U	07 September 2021
CN	102611310	A	25 July 2012	CN	102611310	B	16 July 2014
CN	104218563	A	17 December 2014	CN	104218563	B	12 January 2018
CN	102280867	A	14 December 2011	CN	102280867	B	06 November 2013
JP	H09289703	A	04 November 1997		None		

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/092946

<p>A. 主题的分类</p> <p>H02J 3/06(2006.01)i; H02J 3/38(2006.01)i</p> <p>按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类</p>																										
<p>B. 检索领域</p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>H02J 3/-</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))</p> <p>CNXTX, ENTXTC, ENTXT, DWPI, CNKI:变压器, 绕组, 线圈, 串联, 开关, 故障, 升压, 电流, 控制, transformer, winding, coil, in series, switch, fault, boost, current, control+</p>																										
<p>C. 相关文件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 107919669 A (广东工业大学) 2018年4月17日 (2018 - 04 - 17) 说明书第73-166段, 图2-6</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 107919669 A (广东工业大学) 2018年4月17日 (2018 - 04 - 17) 说明书第73-166段, 图2-6</td> <td>5、10-13</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 112583018 A (国网青海省电力公司果洛供电公司 等) 2021年3月30日 (2021 - 03 - 30) 说明书第12-26段, 图1-5</td> <td>6-8</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 112583018 A (国网青海省电力公司果洛供电公司 等) 2021年3月30日 (2021 - 03 - 30) 说明书第12-26段, 图1-5</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 102611310 A (南京航空航天大学) 2012年7月25日 (2012 - 07 - 25) 说明书第19-48段, 图1-10</td> <td>10-13</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 104218563 A (福州大学) 2014年12月17日 (2014 - 12 - 17) 说明书第22-37段, 图1-4</td> <td>5、9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102280867 A (重庆大学) 2011年12月14日 (2011 - 12 - 14) 全文</td> <td>1-13</td> </tr> </tbody> </table>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	CN 107919669 A (广东工业大学) 2018年4月17日 (2018 - 04 - 17) 说明书第73-166段, 图2-6	1-4	Y	CN 107919669 A (广东工业大学) 2018年4月17日 (2018 - 04 - 17) 说明书第73-166段, 图2-6	5、10-13	X	CN 112583018 A (国网青海省电力公司果洛供电公司 等) 2021年3月30日 (2021 - 03 - 30) 说明书第12-26段, 图1-5	6-8	Y	CN 112583018 A (国网青海省电力公司果洛供电公司 等) 2021年3月30日 (2021 - 03 - 30) 说明书第12-26段, 图1-5	9	Y	CN 102611310 A (南京航空航天大学) 2012年7月25日 (2012 - 07 - 25) 说明书第19-48段, 图1-10	10-13	Y	CN 104218563 A (福州大学) 2014年12月17日 (2014 - 12 - 17) 说明书第22-37段, 图1-4	5、9	A	CN 102280867 A (重庆大学) 2011年12月14日 (2011 - 12 - 14) 全文	1-13
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
X	CN 107919669 A (广东工业大学) 2018年4月17日 (2018 - 04 - 17) 说明书第73-166段, 图2-6	1-4																								
Y	CN 107919669 A (广东工业大学) 2018年4月17日 (2018 - 04 - 17) 说明书第73-166段, 图2-6	5、10-13																								
X	CN 112583018 A (国网青海省电力公司果洛供电公司 等) 2021年3月30日 (2021 - 03 - 30) 说明书第12-26段, 图1-5	6-8																								
Y	CN 112583018 A (国网青海省电力公司果洛供电公司 等) 2021年3月30日 (2021 - 03 - 30) 说明书第12-26段, 图1-5	9																								
Y	CN 102611310 A (南京航空航天大学) 2012年7月25日 (2012 - 07 - 25) 说明书第19-48段, 图1-10	10-13																								
Y	CN 104218563 A (福州大学) 2014年12月17日 (2014 - 12 - 17) 说明书第22-37段, 图1-4	5、9																								
A	CN 102280867 A (重庆大学) 2011年12月14日 (2011 - 12 - 14) 全文	1-13																								
<p><input checked="" type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p> <table border="0"> <tr> <td> <p>* 引用文件的具体类型:</p> <p>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件</p> <p>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利</p> <p>“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)</p> <p>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件</p> <p>“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件</p> </td> <td> <p>“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件</p> <p>“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性</p> <p>“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性</p> <p>“&” 同族专利的文件</p> </td> </tr> </table>			<p>* 引用文件的具体类型:</p> <p>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件</p> <p>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利</p> <p>“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)</p> <p>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件</p> <p>“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件</p>	<p>“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件</p> <p>“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性</p> <p>“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性</p> <p>“&” 同族专利的文件</p>																						
<p>* 引用文件的具体类型:</p> <p>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件</p> <p>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利</p> <p>“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)</p> <p>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件</p> <p>“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件</p>	<p>“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件</p> <p>“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性</p> <p>“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性</p> <p>“&” 同族专利的文件</p>																									
<p>国际检索实际完成的日期</p> <p>2022年7月21日</p>	<p>国际检索报告邮寄日期</p> <p>2022年7月28日</p>																									
<p>ISA/CN的名称和邮寄地址</p> <p>中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088</p> <p>传真号 (86-10)62019451</p>	<p>授权官员</p> <p>侯雪</p> <p>电话号码 (86-10)62412305</p>																									

C. 相关文件		
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	JP H09289703 A (OTA YUKIO) 1997年11月4日 (1997 - 11 - 04) 全文	1-13

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/092946

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	107919669	A	2018年4月17日	WO	2019119667	A1	2019年6月27日
				US	2019190263	A1	2019年6月20日
				CN	107919669	B	2020年2月21日
				US	10938209	B2	2021年3月2日
CN	112583018	A	2021年3月30日	CN	214154020	U	2021年9月7日
CN	102611310	A	2012年7月25日	CN	102611310	B	2014年7月16日
CN	104218563	A	2014年12月17日	CN	104218563	B	2018年1月12日
CN	102280867	A	2011年12月14日	CN	102280867	B	2013年11月6日
JP	H09289703	A	1997年11月4日	无			