

## (12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织  
国际局

(43) 国际公布日  
2017 年 2 月 16 日 (16.02.2017)



(10) 国际公布号  
WO 2017/024618 A1

- (51) 国际专利分类号:  
G01R 31/08 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2015/087966
- (22) 国际申请日: 2015 年 8 月 24 日 (24.08.2015)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:  
201510498332.1 2015 年 8 月 13 日 (13.08.2015) CN
- (71) 申请人: 国家电网公司 (STATE GRID CORPORATION OF CHINA) [CN/CN]; 中国北京市西城区西长安街 86 号 100031, Beijing 100031 (CN)。 国网安徽省电力公司淮南供电公司 (HUAINAN POWER SUPPLY COMPANY OF STATE GRID ANHUI ELECTRIC POWER CORPORATION) [CN/CN]; 中国安徽省淮南市田家庵区淮舜南路 139 号, Anhui 232007 (CN)。 南京南瑞集团公司 (NANJING NARI GROUP CORPORATION) [CN/CN]; 中国江苏省南京市鼓楼区南瑞路 8 号, Jiangsu 210003 (CN)。
- (72) 发明人: 许明 (XU, Ming); 中国安徽省淮南市田家庵区淮舜南路 139 号, Anhui 232007 (CN)。 程晋明 (CHENG, Jinming); 中国安徽省 Huainan 田家庵区淮

舜南路 139 号, Anhui 232007 (CN)。 李配配 (LI, Peipei); 中国安徽省淮南市田家庵区淮舜南路 139 号, Anhui 232007 (CN)。 郭宁明 (GUO, Ningming); 中国安徽省淮南市田家庵区淮舜南路 139 号, Anhui 232007 (CN)。

(74) 代理人: 合肥市上嘉专利代理事务所(普通合伙) (HEFEI SHANGJIA PATENT AGENCY); 中国安徽省合肥市包河区马鞍山南路 429 号创智广场 6B-1909, Anhui 230051 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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,

[见续页]

(54) Title: HYBRID LINE FAULT POINT POSITIONING METHOD BASED ON SINGLE-END ELECTRICAL QUANTITY AND COMPREHENSIVE TRANSIENT TRAVELLING WAVE CHARACTERISTIC ANALYSIS

(54) 发明名称: 一种基于单端电气量及暂态行波综合特征分析的混合线路故障点定位方法

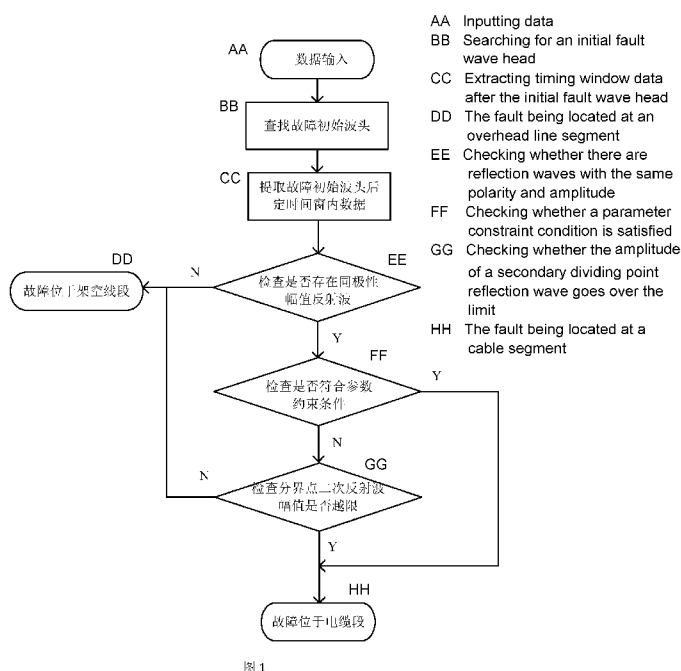


图 1

(57) Abstract: A hybrid line fault point positioning method based on a single-end electrical quantity and a comprehensive transient travelling wave characteristic analysis. The method mainly comprises: step 1, performing phase-mode transformation; step 2, searching for an initial fault time; step 3, extracting timing window data after the initial time; step 4, searching for a fault point reflection wave and a dividing point reflection wave in a timing window; and step 5, determining the property of the reflection waves. When a fault occurs in a cable-overhead hybrid line, the case where a fault point is located at an overhead line segment or a cable segment is quickly determined by identifying and comparing the comprehensive characteristics of a single-end transient voltage, a fault point reflection wave of a current travelling wave and primary and secondary dividing point reflection waves. The method is used for assisting with a line reclosing switching decision.

(57) 摘要: 一种基于单端电气量及暂态行波综合特征分析的混合线路故障点定位方法, 主要包括: 步骤 1, 相模变换; 步骤 2, 查找故障初始时刻; 步骤 3, 提取初始时刻后定时窗数据; 步骤 4, 在定时窗内搜索故障点反射波及分界点反射波; 步骤 5, 判断反射波性质。当电缆-架空线混合线路故障后, 通过单端暂态电压、电流行波的故障点反射波、分界点一次、二次反射波的综合特征识别及对

比, 快速判断故障点位于架空线段或电缆段, 用于辅助线路重合闸投切决策。



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))。

# 一种基于单端电气量及暂态行波综合特征分析的混合 线路故障点定位方法

## 技术领域

本发明属于电力系统继电保护领域，具体涉及一种基于单端电气量及暂态行波综合特征分析的混合线路故障点定位方法。

## 背景技术

电缆-架空线混合线路在城市电网中得到了广泛应用，但对继电保护和重合闸配置比单一架空线路提出了更高的要求。由于架空线故障多为瞬时故障，绝缘可恢复，而电缆故障多为永久故障，重合闸的投入会导致故障后的二次冲击。为保证电缆安全，相当数量的电缆-架空线混合线路重合闸未投入，因此瞬时性故障也将造成整条线路长时间停电，这就降低了供电可靠性。

为提高混合线路供电可靠性及安全性，混合线路重合闸应具备自适应功能，即：故障点位于架空线段时自动投入重合闸，电缆线路故障则闭锁重合闸，而混合线路区间定位则是自适应重合闸的基础。

国内外多个研究单位在混合线路区间定位领域开展了相关研究工作，提出的方案主要包括以下三个：行波测距、距离元件以及加装互感器及保护装置，其原理如下：

(1) 基于行波测距的区间定位：在线路两侧安装行波测距装置，通过双端行波测距判断故障点位置，结合线路结构实现区间定位。

(2) 基于距离元件的重合闸配合：在线路保护上设两段距离保护元件，其中一段距离整定为母线至分界点的电缆段，另一段则整定为母线至分界点的架空线段，通过不同的阻抗段的配合来识别故障区段。

(3) 加装互感器及保护装置的区间定位：在电缆-架空线路分界点处加装电流互感器及光纤电流差动保护，故障发生时，差动保护可以精确判断故障区段，从而实现电缆段故障闭锁重合闸，架空线段故障起动重合闸的要求。

目前，上述混合线路区间定位方法受技术、成本限制均未取得广泛应用。基于距离元件的混合线路区间定位技术实现简单，但技术上难以克服互感器、线路参数导致的误差，且受过渡电阻影响较大。基于行波原理及加装互感器的混合线路区间定位方法优点在于算法理论精度较高，但需要双端装置配合以及GPS和光纤通信的支持，一方面成本较高，另

一方面对于数量众多的中低电压等级混合线路而言，基本上不具备现场实施条件。同时，依靠通讯配合的区间定位方法也很难满足与重合闸配合的时间要求。

因此，本发明提出了一种基于单端电气量及暂态行波综合特征分析的混合线路故障点定位方法。

## 发明内容

本发明的目的是提供一种基于单端电气量及暂态行波综合特征分析的混合线路故障点定位方法，当电缆-架空线混合线路故障后，通过单端暂态电压、电流行波的故障点反射波、分界点一次、二次反射波的综合特征识别及对比，快速判断故障点位于架空线段或电缆段，用于辅助线路重合闸投切决策。

本发明提供了一种基于单端电气量及暂态行波综合特征分析的混合线路故障点定位方法，主要包括如下步骤：

步骤 1，基于单端电气量应进行相模变换，减少暂态行波相间耦合对区间定位的影响；

步骤 2，利用小波变换检测暂态电压、电流行波信号突变点，作为故障初始时刻；

步骤 3，提取电压、电流行波故障初始时刻后定时窗数据，时间窗的大小由电缆长度确定；

步骤 4，在定时窗内搜索所有电压/电流同极性、幅值接近的反射波头，以电压/电流行波初始波头为基准，计算各反射与初始波头相对值  $u_{xf}$  和  $i_{xf}$ ；

步骤 5，判断反射波性质。

进一步地，在步骤 1 中：以 *Clark* 变换作为相模变换矩阵，获得式 (1) 中对应的  $\alpha$  模量

$$i_{\alpha}(k) = \frac{1}{3}(2 * i_A(k) - i_B(k) - i_C(k)) \quad (1),$$

$i_A(k)$ 、 $i_B(k)$ 、 $i_C(k)$  分别为故障线路 A、B、C 三相电流， $i_{\alpha}(k)$  为变换后的  $\alpha$  模量， $k=1,2,3,4 \dots N$ ， $N$  为自然数表示的采样序列长度，电压变换矩阵与式 (1) 类似。

进一步地，在步骤 3 中，当电缆长度不确定或波速不易判断时，选择分界点二次反射波辅助计算定时窗大小。

进一步地，在步骤 4 中，故障点反射波、分界点反射波均应满足式 (2)：

$$u_{xf} / i_{xf} < \delta \quad (2),$$

$\delta$  为与互感器暂态响应相关的定值，在 0.5~2 之间取值。

进一步地，在步骤 5 中，设故障初始波时刻为  $T_0$ ，故障点反射波时刻为  $T_1$ ，分界点反射波时刻为  $T_2$ ，电缆长度为  $L_1$ ，电缆波速为  $v_1$ ；

当故障点位于架空线段，符合以下式 (3) 条件：

$$T_1 - T_0 = T_2 - T_0 \quad (3);$$

当故障点位于电缆段，符合以下式 (4) 条件：

$$(T_1 + T_2 - 2 T_0) * v_1 = L_1 \quad (4)。$$

进一步地，在步骤 5 中，存在以下两种情况时，需要执行步骤 6：

1) 故障点距离母线或分界点较近，故障点反射波或分界点反射波有可能与初始故障行波或分界点二次反射波叠加；

2) 故障为高阻故障或金属性故障，仅能识别到故障点反射波或分界点反射波其中一种；

步骤 6：判别分界点二次反射波幅值是否越限。

进一步地，步骤 6 中，以电压/电流分界点二次反射波幅值的差值越限作为区间识别判据，设分界点二次反射波幅值为  $C_u$ 、 $C_i$ ，分界点二次反射波幅值差值整定值为  $\delta_u$ 、 $\delta_i$ ，符合以下式 (5) 条件：

$$u_{xf2} - C_u > \delta_u \quad , \quad i_{xf2} - C_i > \delta_i \quad (5)。$$

与现有混合线路区间定位方法相比较，本发明所提供的基于单端电气量及暂态行波综合特征分析的混合线路故障点定位方法具有以下优点：

(1) 成本较低、可行性较高。本发明所述的方法基于单端电气量的检测、对比，对硬件条件要求较低，信号采样直接利用现有互感器，无需 GPS、通讯通道支持，具备较好工程可行性

(2) 数据要求低，算法逻辑简单，快速性较好。本发明所述方法基于混合线路单端电气量数据，无需两端数据支持，且仅需要故障初始时刻后较短数据（1ms 以内）即可完成区间定位，算法逻辑较为简单，相对于现有依靠线路两端数据或工频量的算法，完全可满足与重合闸配合时间要求。

(3) 适用范围广，可靠性好。由于仅检查定时窗内反射波幅值、极性，这些特征与分支线路、电缆位置均无关；同时，暂态电压、电流行波在分支线路末端及相邻线路末端

反射波呈现较大差异，分支线路等干扰因素均不影响本发明所述方法的计算。

为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作一简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动性的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

## 附图说明

图 1：本发明的算法整体流程图。

图 2：混合线路故障点处于不同位置时反射波对比示意图，其中（a）故障点位于电缆段，（b）故障点位于架空线段。

## 具体实施方式

为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

本发明所述方法适用于仅有单段电缆的电缆-架空线混合线路。

本发明中采用相对值分析，便于电压、电流的行波幅值对比，下文所述幅值均为相对值。

参见附图 1，本发明提供了一种基于单端电气量及暂态行波综合特征分析的混合线路故障点定位方法，主要包括如下步骤：

步骤 1：相模变换。

由于暂态行波在传输过程中存在耦合，基于单端电气量应进行相模变换，减少相间耦合对区间定位的影响。本发明中以 *Clark* 变换作为相模变换矩阵，获得式（1）中对应的  $\alpha$  模量

$$i_{\alpha}(k) = \frac{1}{3}(2 * i_A(k) - i_B(k) - i_C(k)) \quad (1),$$

式（1）中， $i_A(k)$ 、 $i_B(k)$ 、 $i_C(k)$  分别为故障线路 A、B、C 三相电流， $i_{\alpha}(k)$  为变换后的  $\alpha$  模量， $k=1,2,3,4 \cdots N$ ， $N$  为自然数表示的采样序列长度，电压变换矩阵与式（1）类似。

步骤 2：查找故障初始时刻。

利用小波变换检测暂态电压、电流行波信号突变点，作为故障初始时刻。

步骤 3：提取初始时刻后定时窗数据。

提取电压、电流行波故障初始时刻后定时窗数据，时间窗的大小由电缆长度确定（即使以较长的海底电缆计，绝大多数情况下时间窗也少于 1ms），当电缆长度不确定或波速不易判断时，选择分界点二次反射波辅助计算定时窗大小。

步骤 4：在定时窗内搜索故障点反射波及分界点反射波。

在定时窗内搜索所有电压/电流同极性、幅值接近的反射波头，以电压/电流行波初始波头为基准，计算各反射与初始波头相对值（分别是  $u_{xf}$  和  $i_{xf}$ ），故障点反射波、分界点反射波均应满足：

$$u_{xf} / i_{xf} < \delta \quad (2),$$

$\delta$  为与互感器暂态响应相关的定值，大致在 0.5~2 之间取值，可根据试验或历史值得到。

步骤 5：判断反射波性质。

当故障点位于架空线段，且距离分界点较远时，在定时窗内仅存在分界点二次反射波，但故障点距离电缆-架空线分界点较近时（即距离短于电缆长度 1.9 倍），在定时窗内可能存在分界点-故障点一次/二次反射波，假设故障初始波时刻为  $T_0$ ，故障点一次反射波时刻为  $T_1$ ，分界点一次反射波时刻为  $T_2$ ，符合以下式（3）条件：

$$T_1 - T_0 = T_2 - T_0 \quad (3),$$

且多数情况下存在三次反射波。

当故障点位于电缆段，且距离母线或分界点距离较远时，多数情况下，定时窗内能搜索到故障点反射波和分界点反射波，故障点反射波及分界点反射波符合电缆长度约束。假设故障初始波时刻为  $T_0$ ，故障点反射波时刻为  $T_1$ ，分界点反射波时刻为  $T_2$ ，电缆长度为  $L_1$ ，电缆波速为  $v_1$ ，符合以下式（4）条件：

$$(T_1 + T_2 - 2 T_0) * v_1 = L_1 \quad (4)。$$

但在以下两种情况，需要通过步骤 6 进一步识别，

1) 故障点距离母线或分界点较近，故障点反射波或分界点反射波有可能与初始故障行波或分界点二次反射波叠加。

2) 故障过渡电阻偏大（高阻故障）或偏小（金属性故障），仅能识别到故障点反射波或分界点反射波其中一种。

步骤 6：判别分界点二次反射波幅值是否越限。

在多数架空线故障情况下，分界点二次反射波幅值接近于定值，该定值可由历史数据或基于特征阻抗获得，假设为  $C_u$ 、 $C_i$ 。在步骤 5 所述的两种情况中，当故障点距离母线或分界点较近时，由于近端故障的来回折反射将明显改变分界点二次反射波幅值；当故障过渡电阻偏大或偏小时，由于受过渡电阻的影响同样会明显改变分界点二次反射波幅值。令分界点二次反射波幅值差值整定值为  $\delta_u$ 、 $\delta_i$ ，符合以下式 (5) 条件：

$$u_{xf2} - C_u > \delta_u, \quad i_{xf2} - C_i > \delta_i \quad (5),$$

如式 (5) 所示，本发明中以电压/电流分界点二次反射波幅值的差值越限作为区间识别判据。

本发明通过对故障后定时间窗内电压、电流反射波极性、幅值、时刻对比进行快速区间定位。下面结合附图 2，对本发明的原理进行详细说明。

如图 2 (a)、(b) 所示，故障点位于不同线路段时，本发明的定位方法基本原理如下：

(1) 故障点位于电缆段。

若故障点位于电缆段，设定电缆长度为  $L_1$ ，电缆波速为  $v_1$ ，则在故障初始波头后定时窗 ( $2 \times L_1 / v_1$ ) 内应存在三类反射波：

- 1) 初始故障行波到达分界点后产生的反射波，简称为分界点反射波；
- 2) 初始故障行波到达母线端反射，反射波返回故障点再次反射行波，简称为故障点反射波；
- 3) 初始故障行波达到母线端反射，反射波通过故障点折射，到达分界点再次反射行波，简称为分界点二次反射波。

(2) 故障点位于架空线段。

若故障点位于架空线段，则在故障初始波头后定时窗内应只有分界点二次反射波，当故障点距离分界点较近时（即小于电缆段长度 1.9 倍），有可能存在分界点-故障点一次、二次反射波。

若以初始电压/电流行波为基准值， $\theta_{u0}$ 、 $\theta_{u1}$ 、 $\theta_{u2}$  分别为变电站母线端、故障点以及分界点电压反射系数； $\theta_{i0}$ 、 $\theta_{i1}$ 、 $\theta_{i2}$  分别为变电站母线端、故障点以及分界点电流反射系数； $\alpha_{i0}$ 、 $\alpha_{u1}$  分别为故障点电压、电流折射系数。由于电压、电流反射系数幅值相等、极性相反，折射系数相同。

当以初始电压、电流行波为基准值时，各类型反射波基本特征如下：

(1) 故障点位于电缆段时。

1) 故障点电压/电流反射波相对值：

$$u_{xf0} = \beta_{u0}\beta_{u1} \quad , \quad i_{xf0} = \beta_{i0}\beta_{i1} \quad (6)。$$

故障点电压、电流反射波极性相同，均为正极性反射，幅值相近且位置基本一致，反射波幅值与过渡电阻相关。本发明中采用相对值分析，便于电压、电流的行波幅值对比，下文所述幅值均为相对值。

2) 分界点电压/电流反射波相对值：

$$u_{xf1} = -\alpha_{u1}\beta_{u2} \quad , \quad i_{xf1} = -\alpha_{i1}\beta_{i2} \quad (7)。$$

由于初始电压、电流行波反向，分界点电压、电流反射波极性相同，均为正极性反射，幅值相近位置基本一致，反射波幅值与过渡电阻及特征阻抗（架空线在 260-500 欧姆之间，电缆约在 100-160 欧姆之间）相关。

3) 分界点二次电压/电流反射波相对值：

$$u_{xf2} = \alpha_{u1}\alpha_{u1}\beta_{u0}\beta_{u2} \quad , \quad i_{xf2} = \alpha_{i1}\alpha_{i1}\beta_{i0}\beta_{i2} \quad (8)。$$

分界点电压、电流二次反射波两者极性相同，均为负极性反射，出现时刻基本一致与电缆长度相关，幅值上与过渡电阻及特征阻抗均关联，由于分界点二次反射波两次穿过故障点，因此幅度受过渡电阻影响较大。

(2) 故障点位于架空线段时。

1) 故障点-分界点电压/电流一次反射波相对值：

$$u_{xf1} = \beta_{u1}\beta_{u2} \quad , \quad i_{xf0} = \beta_{i1}\beta_{i2} \quad (9)。$$

即故障点电压、电流一次反射波两者极性相同，均为正极性反射，幅值相近且出现时刻基本一致，反射波幅值与过渡电阻及特征阻抗相关，二次反射波与一次反射波特征类似。

2) 分界点二次电压/电流反射波相对值：

$$u_{xf2} = \beta_{u0}\beta_{u1} \quad , \quad i_{xf2} = \beta_{i0}\beta_{i1} \quad (10)。$$

即分界点电压电流二次反射波两者极性相同，幅值相近且出现时刻基本一致与电缆长度相关，反射波幅值仅与特征阻抗相关，故障点位于架空线段时，分界点二次反射波基本为一定值。理论上，电压、电流的分界点二次反射波幅值应接近，但在实际计算中，分界点二次反射波往往与入射波叠加，因此，往往存在一定差异。

实施例。

下面以几个典型案例说明算法应用。数据来源于 EMTDC/PSCAD 电磁仿真软件，系统模型基于国网安徽省电力公司淮南供电公司 220kV 洛河变电站搭建，为便于说明问题，对电缆长度做了适当修改，电缆长度为 2.2km，架空线长度为 23km，采样频率为 1MHz，仿真线路采用频率相关模型，仿真过程中考虑了电流/电压互感器暂态响应特性。

例 1：故障点位于电缆段，距离分界点约 500m，金属性短路，过渡电阻 1 欧姆。

表 1 暂态行波波头列表

|       |      |            |            |              |              |          |
|-------|------|------------|------------|--------------|--------------|----------|
| 波头时刻  | 1014 | 1021       | 1037       | 1045         | 1059         | 1075     |
| 电流相对值 | 1    | 0.647339   | 0.24412    | 0.115603     | 0.214174977  | 0.22698  |
| 波头性质  | 初始波头 | 分界点<br>反射波 | 故障点<br>反射波 | 分界点二次<br>反射波 |              |          |
| 波头时刻  | 1014 | 1021       | 1028       | 1037         | 1043         | 1052     |
| 电压相对值 | 1    | 0.669007   | 0.08241    | 0.1737559    | 0.2008121    | 0.716757 |
| 波头性质  | 初始波头 | 分界点<br>反射波 |            | 故障点<br>反射波   | 分界点二次<br>反射波 |          |

表 1 中故障初始波头时刻为 1014，由电缆长度可知，分界点二次反射波与初始波头相差约 30us，因此定时窗大小也为 30us 左右。由表 1 可知，当故障点位于电缆段时，在定时窗内可识别出分界点反射波及故障点反射波，两者均呈现极性相同，幅值接近的特征，且符合步骤 5 所述约束条件，可认定为故障位于电缆段。

例 2：故障点位于架空线段，距离分界点约 5km。

表 2 暂态行波波头时刻及幅值列表

|       |      |          |              |                  |                  |          |
|-------|------|----------|--------------|------------------|------------------|----------|
| 波头时刻  | 1035 | 1052     | 1064         | 1068             | 1099             | 1108     |
| 电流相对值 | 1    | -0.14201 | -0.42156     | 0.43983937       | -0.20023161      | -0.13729 |
| 波头性质  | 初始波头 |          | 分界点二次<br>反射波 | 分界点-故障点<br>一次反射波 | 分界点-故障<br>点二次反射波 |          |
| 波头时刻  | 1035 | 1056     | 1064         | 1069             | 1084             | 1102     |
| 电压相对值 | 1    | 0.045256 | -0.23936     | 0.52618835       | 0.555502993      | 1.400781 |
| 波头性质  | 初始波头 |          | 分界点二次<br>反射波 | 分界点-故障点<br>一次反射波 | 分界点-故障<br>点二次反射波 |          |

由表 2 可知，当故障点位于架空线段时，在定时窗内未发现同极性、幅值接近的反射波头，可认定故障位于架空线段；但时间窗之后可清晰识别出分界点-故障点一次、二次反射波。与表 1 相比，分界点二次反射波明显增强，如前所述，分界点二次反射波幅值在多数情况下接近于一定值，该值即作为常量。

例 3：故障点位于电缆段，距离分界点 200m。

表 3 暂态行波波头时刻及幅值列表

|       |      |          |          |            |             |          |
|-------|------|----------|----------|------------|-------------|----------|
| 波头时刻  | 1017 | 1029     | 1040     | 1045       | 1085        | 1096     |
| 电流相对值 | 1    | -0.16025 | 0.101191 | 0.12095932 | -0.20238753 | 0.137179 |
| 波头性质  | 初始波头 |          |          |            |             |          |
| 波头时刻  | 1017 | 1029     | 1040     | 1045       | 1050        | 1063     |
| 电压相对值 | 1    | -0.17202 | 0.074338 | 0.0918639  | -0.12697323 | 0.391388 |
| 波头性质  | 初始波头 |          |          |            |             |          |

由表 3 可知，当故障点位于电缆段时，由于故障点距离分界点较近，导致入射波与反射波叠加降低了分界点二次反射波幅值，在故障初始波头后 30us 未发现本应出现分界点二次反射波。

例 4：故障点位于电缆段，距离分界点 500m，过渡电阻 100 欧姆。

表 3 暂态行波波头时刻及幅值列表

|       |      |            |          |            |              |          |
|-------|------|------------|----------|------------|--------------|----------|
| 波头时刻  | 1014 | 1021       | 1028     | 1037       | 1045         | 1058     |
| 电流相对值 | 1    | 0.574772   | -0.09819 | 0.13813954 | -0.17518611  | 0.092815 |
| 波头性质  | 初始波头 | 分界点<br>反射波 |          | 故障点<br>反射波 | 分界点二次反<br>射波 |          |
| 波头时刻  | 1014 | 1021       | 1028     | 1037       | 1044         | 1052     |
| 电压相对值 | 1    | 0.613742   | -0.09147 | 0.14097836 | -0.18771316  | 0.474296 |
| 波头性质  | 初始波头 | 分界点<br>反射波 |          | 故障点<br>反射波 | 分界点二次反<br>射波 |          |

由表 4 可知，当故障点位于电缆段时，由于受过渡电阻的影响，在故障初始波头后 30us 出现的分界点二次反射波幅值明显降低。

综合以上的叙述，现有的混合线路区间定位基本思路为利用距离元件或双端测距方式进行区间定位，但受成本、现场条件、算法原理本身缺陷等原因限制未获得普遍应用。由于混合线路快速区间定位主要目的是快速确定故障点位于架空线段还是电缆段，因此，本发明的快速区间定位方法并不需要精确定位故障点位置，只需对故障点位于架空线段和电缆段故障特征进行比较即可。

以上内容在具体应用中，技术人员有可能需要根据具体情况作个别调整和改变。以上对本发明的说明仅是优选范例，并不能被理解为对本发明内容的限制。

1. 一种基于单端电气量及暂态行波综合特征分析的混合线路故障点定位方法，其特征在于，主要包括如下步骤：

步骤 1，基于单端电气量应进行相模变换，减少暂态行波相间耦合对区间定位的影响；

步骤 2，利用小波变换检测暂态电压、电流行波信号突变点，作为故障初始时刻；

步骤 3，提取电压、电流行波故障初始时刻后定时窗数据，时间窗的大小由电缆长度确定；

步骤 4，在定时窗内搜索所有电压/电流同极性、幅值接近的反射波头，以电压/电流行波初始波头为基准，计算各反射与初始波头相对值  $u_{xf}$  和  $i_{xf}$ ；

步骤 5，判断反射波性质。

2. 根据权利要求 1 所述的一种基于单端电气量及暂态行波综合特征分析的混合线路故障点定位方法，其特征在于，

在步骤 1 中：以 Clark 变换作为相模变换矩阵，获得式 (1) 中对应的  $\alpha$  模量

$$i_{\alpha}(k) = \frac{1}{3}(2 * i_A(k) - i_B(k) - i_C(k)) \quad (1),$$

式 (1) 中， $i_A(k)$ 、 $i_B(k)$ 、 $i_C(k)$  分别为故障线路 A、B、C 三相电流， $i_{\alpha}(k)$  为变换后的  $\alpha$  模量， $k=1,2,3,4 \dots N$ ， $N$  为自然数表示的采样序列长度，电压变换矩阵与式 (1) 类似。

3. 根据权利要求 1 所述的一种基于单端电气量及暂态行波综合特征分析的混合线路故障点定位方法，其特征在于，

在步骤 3 中，当电缆长度不确定或波速不易判断时，选择分界点二次反射波辅助计算定时窗大小。

4. 根据权利要求 1 所述的一种基于单端电气量及暂态行波综合特征分析的混合线路故障点定位方法，其特征在于，

在步骤 4 中，故障点反射波、分界点反射波均应满足式 (2)：

$$u_{xf} / i_{xf} < \delta \quad (2),$$

$\delta$  为与互感器暂态响应相关的定值，在 0.5~2 之间取值。

5. 根据权利要求 1 所述的一种基于单端电气量及暂态行波综合特征分析的混合线路故障点定位方法，其特征在于，

在步骤 5 中，设故障初始波时刻为  $T_0$ ，故障点反射波时刻为  $T_1$ ，分界点反射波时刻为  $T_2$ ，电缆长度为  $L_1$ ，电缆波速为  $v_1$ ；

当故障点位于架空线段，符合以下式（3）条件：

$$T_1 - T_0 = T_2 - T_0 \quad (3);$$

当故障点位于电缆段，符合以下式（4）条件：

$$(T_1 + T_2 - 2 T_0) * v_1 = L_1 \quad (4)。$$

6. 根据权利要求 5 所述的一种基于单端电气量及暂态行波综合特征分析的混合线路故障点定位方法，其特征在于，

在步骤 5 中，存在以下两种情况时，需要执行步骤 6：

1) 故障点距离母线或分界点较近，故障点反射波或分界点反射波有可能与初始故障行波或分界点二次反射波叠加；

2) 故障过渡电阻为高阻故障或金属性故障，仅能识别到故障点反射波或分界点反射波其中一种；

步骤 6：判别分界点二次反射波幅值是否越限。

7. 根据权利要求 6 所述的一种基于单端电气量及暂态行波综合特征分析的混合线路故障点定位方法，其特征在于，

步骤 6 中，以电压/电流分界点二次反射波幅值的差值越限作为区间识别判据，设分界点二次反射波幅值为  $C_u$ 、 $C_i$ ，分界点二次反射波幅值差值整定值为  $\delta_u$ 、 $\delta_i$ ，符合以下式（5）条件：

$$u_{xf2} - C_u > \delta_u \quad , \quad i_{xf2} - C_i > \delta_i \quad (5)。$$

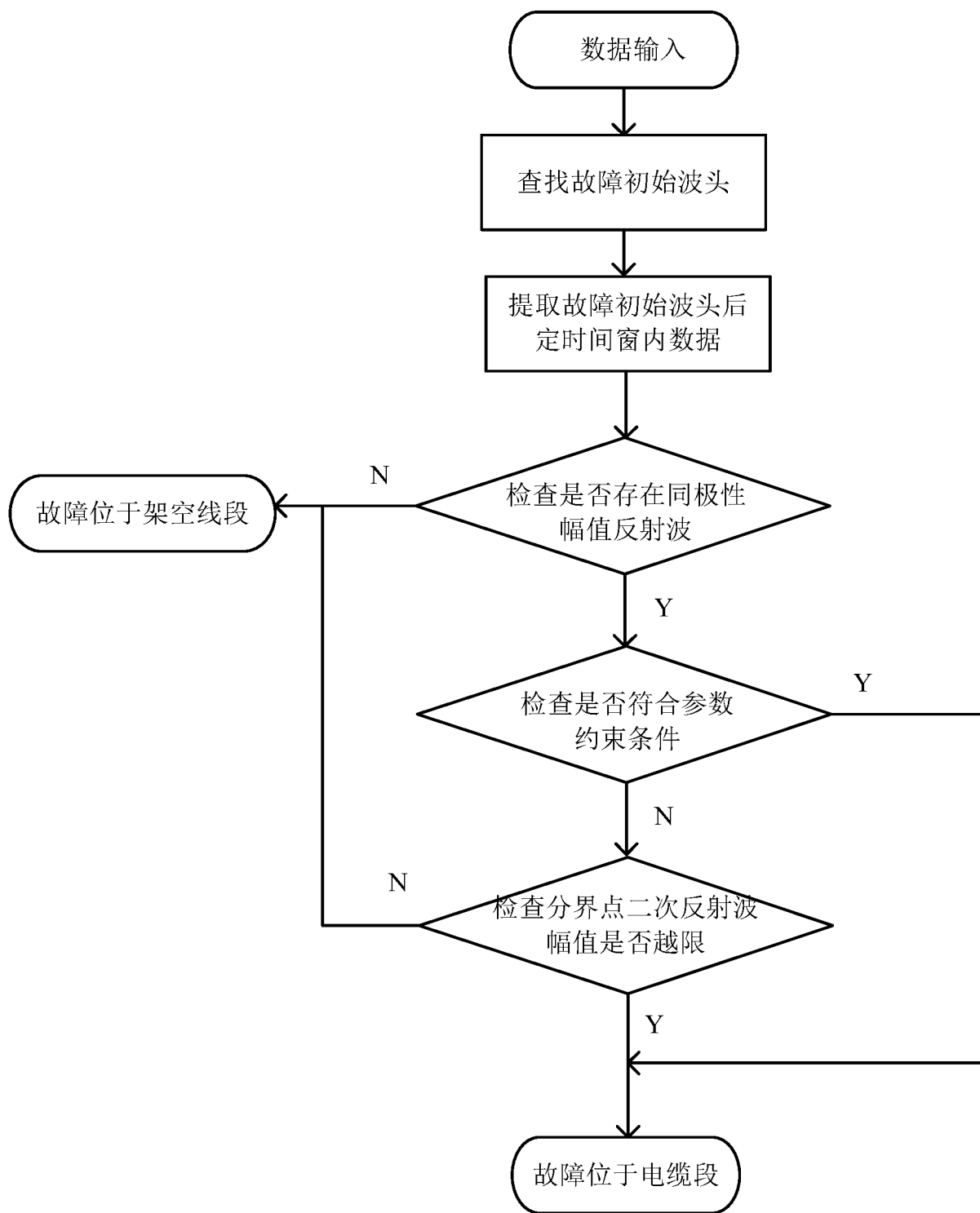
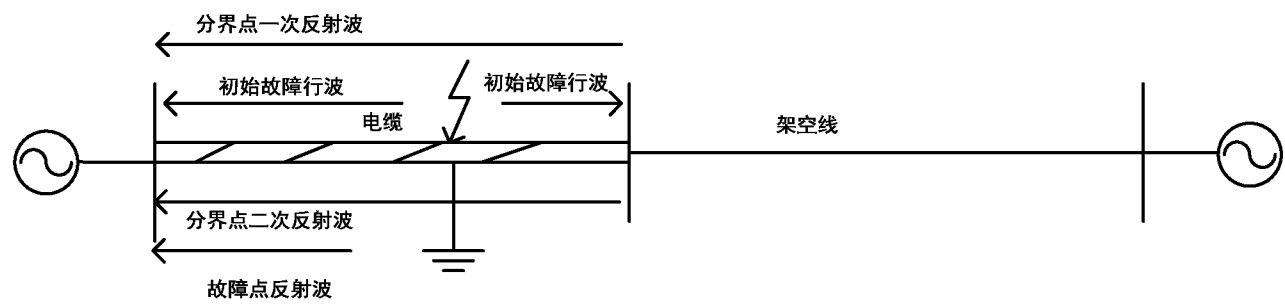
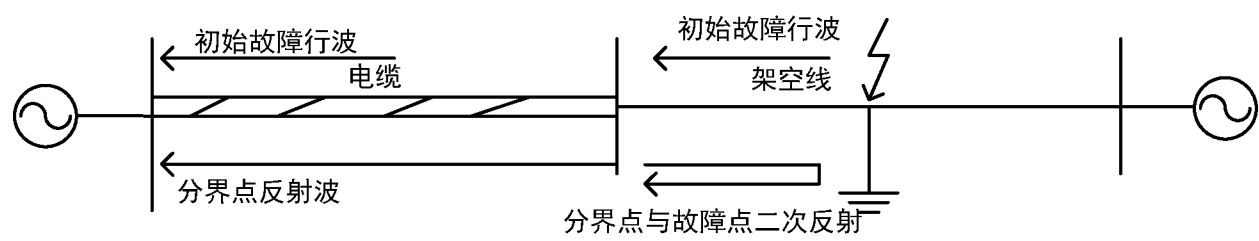


图 1



(a)



(b)

图 2

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/CN2015/087966**

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 31/08 (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)

G01R

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)

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI: STATE GRID CORPORATION OF CHINA; HUAINAN POWER SUPPLY COMPANY; NARI GROUP CORPORATION; GUO, Ningming; XU, Ming; CHENG, Jinming; LI, Peipei; KUNMING UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY; mixed, time window, travelling wave, reflected wave, wavelet, phase-model, single-end, clark, fault, cable, overhead, locat+, single, power, wave, reflect+

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                | Relevant to claim No. |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | CN 104569744 A (STATE GRID CORPORATION OF CHINA et al.), 29 April 2015 (29.04.2015), claim 1, description, paragraphs [0045]-[0072], and figure 1 | 1-7                   |
| A         | CN 101299538 A (KUNMING UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY), 05 November 2008 (05.11.2008), the whole document                                  | 1-7                   |
| A         | CN 102253315 A (CHINA EPRI SCIENCE & TECHNOLOGY CO., LTD. et al.), 23 November 2011 (23.11.2011), the whole document                              | 1-7                   |
| A         | CN 104535896 A (SHANDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 22 April 2015 (22.04.2015), the whole document                                                | 1-7                   |
| A         | CN 103293449 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY), 11 September 2013 (11.09.2013), the whole document                                    | 1-7                   |
| A         | CN 103901324 A (STATE GRID CORPORATION OF CHINA et al.), 02 July 2014 (02.07.2014), the whole document                                            | 1-7                   |
| A         | JP 2012108011 A (TOKYO ELECTRIC POWER CO. INC.), 07 June 2012 (07.06.2012), the whole document                                                    | 1-7                   |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

|                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| * Special categories of cited documents:                                                                                                                                | “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                                              |
| “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance                                                                | “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                                                                     |
| “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date                                                                               | “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 |
| “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) | “&” document member of the same patent family                                                                                                                                                                                                    |
| “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                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                  |

|                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Date of the actual completion of the international search<br>26 April 2016 (26.04.2016)                                                                                                                            | Date of mailing of the international search report<br><b>18 May 2016 (18.05.2016)</b>  |
| Name and mailing address of the ISA/CN:<br>State Intellectual Property Office of the P. R. China<br>No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao<br>Haidian District, Beijing 100088, China<br>Facsimile No.: (86-10) 62019451 | Authorized officer<br><b>QI, Shaojie</b><br>Telephone No.: (86-10) <b>010-62413087</b> |

International application No.  
**PCT/CN2015/087966**

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

| <b>A. 主题的分类</b><br>G01R 31/08 (2006.01) i<br><br>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                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                        |                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>B. 检索领域</b><br>检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)<br>G01R<br><br>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献<br><br>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))<br>CNPAT, WPI, EPDOC, CNKI: 国家电网公司, 淮南供电公司, 南京南瑞集团公司, 郭宁明, 许明, 程晋明, 李配配, 昆明理工大学, 架空, 线缆, 缆线, 混合, 故障, 时窗, 时间窗, 行波, 反射波, 小波, 相模, 克拉克, 单端, clark, fault, cable, overhead, locat+, single, power, wave, reflect+                                                        |                                                                                        |                                                  |
| <b>C. 相关文件</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                        |                                                  |
| 类 型*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 引用文件, 必要时, 指明相关段落                                                                      | 相关的权利要求                                          |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CN 104569744 A (国家电网公司 等) 2015年 4月 29日 (2015 - 04 - 29)<br>权利要求1、说明书第[0045]-[0072]段、图1 | 1-7                                              |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CN 101299538 A (昆明理工大学) 2008年 11月 5日 (2008 - 11 - 05)<br>全文                            | 1-7                                              |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CN 102253315 A (中电普瑞科技有限公司 等) 2011年 11月 23日 (2011 - 11 - 23)<br>全文                     | 1-7                                              |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CN 104535896 A (山东理工大学) 2015年 4月 22日 (2015 - 04 - 22)<br>全文                            | 1-7                                              |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CN 103293449 A (中国矿业大学) 2013年 9月 11日 (2013 - 09 - 11)<br>全文                            | 1-7                                              |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CN 103901324 A (国家电网公司 等) 2014年 7月 2日 (2014 - 07 - 02)<br>全文                           | 1-7                                              |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | JP 2012108011 A (TOKYO ELECTRIC POWER CO. INC.) 2012年 6月 7日 (2012 - 06 - 07)<br>全文     | 1-7                                              |
| <input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                        |                                                  |
| * 引用文件的具体类型:<br>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件<br>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利<br>“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)<br>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件<br>“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<br>“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<br>“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<br>“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<br>“&” 同族专利的文件 |                                                                                        |                                                  |
| 国际检索实际完成的日期<br><br>2016年 4月 26日                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                        | 国际检索报告邮寄日期<br><br>2016年 5月 18日                   |
| ISA/CN的名称和邮寄地址<br><br>中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN)<br>中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088<br>传真号 (86-10) 62019451                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                        | 授权官员<br><br>祁少杰<br><br>电话号码 (86-10) 010-62413087 |

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2015/087966

| 检索报告引用的专利文件 |            |   | 公布日<br>(年/月/日) | 同族专利          | 公布日<br>(年/月/日) |
|-------------|------------|---|----------------|---------------|----------------|
| CN          | 104569744  | A | 2015年 4月 29日   | 无             |                |
| CN          | 101299538  | A | 2008年 11月 5日   | CN 101299538  | B 2011年 1月 12日 |
| CN          | 102253315  | A | 2011年 11月 23日  | 无             |                |
| CN          | 104535896  | A | 2015年 4月 22日   | 无             |                |
| CN          | 103293449  | A | 2013年 9月 11日   | CN 103293449  | B 2015年 4月 29日 |
|             |            |   |                | WO 2014101657 | A1 2014年 7月 3日 |
| CN          | 103901324  | A | 2014年 7月 2日    | 无             |                |
| JP          | 2012108011 | A | 2012年 6月 7日    | 无             |                |