

本文引用格式：黄灿英,杨堉金,宁珍.基于暂态信号的配电网单相接地故障区段自动定位方法[J].自动化与信息工程,2023,44(6):22-28.

HUANG Canying, YANG Yongjin, NING Zhen. Automatic positioning method of single-phase ground fault section of distribution network based on transient signal[J]. Automation & Information Engineering, 2023,44(6): 22-28.

基于暂态信号的配电网单相接地故障区段自动定位方法*

黄灿英 杨堉金 宁珍

(江西建设职业技术学院, 江西 南昌, 330200)

摘要: 现有的配电网单相接地故障定位方法易受扰动因素和定位线路距离限制的影响,在实际应用中定位结果与实际故障位置偏差较大,且定位时间较长,影响配电网故障排除效率。为此,提出基于暂态信号的配电网单相接地故障区段自动定位方法。首先,对配电网单相接地故障暂态信号进行分析,获得故障区段的暂态信号;然后,获取故障区段暂态信号对应的时域特征;最后,对故障进行定位计算。仿真对比实验表明,该文提出的方法有效提升了故障位置的定位精度,缩短了故障位置的定位时间,具有较好的稳定性。

关键词: 单相接地故障; 暂态信号; 配电网; 自动定位

中图分类号: TM773

文献标志码: A

文章编号: 1674-2605(2023)06-0004-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-2605.2023.06.004

Automatic Positioning Method of Single-phase Ground Fault Section of Distribution Network Based on Transient Signal

HUANG Canying YANG Yongjin NING Zhen

(Jiangxi College of Construction, Nanchang 330200, China)

Abstract: The existing methods for locating single-phase grounding faults in distribution networks are highly susceptible to the combined influence of disturbance factors and distance limitations of the positioning lines. In practical applications, the positioning results obtained deviate significantly from the actual fault location, and the positioning time cost is too high, seriously affecting the overall efficiency of normal fault removal and maintenance in distribution networks. In order to solve the problem of positioning deviation and shorten the fault location time, the transient signal of single-phase grounding fault in the distribution network is analyzed to obtain the transient signal of the fault area; Obtain the corresponding time-domain characteristics of transient signals in the fault section; Perform localization calculations on its faults. The data obtained through simulation and comparative experiments indicate that the proposed method can quickly and accurately locate the fault location, effectively improve the accuracy of fault location, and shorten the positioning time of fault location under the same length and distance. It has good stability and has the value of large-scale promotion and in-depth research.

Keywords: single-phase ground fault; transient signal; distribution network; automatic positioning

0 引言

配电网单相接地故障占配电网总故障的 80% 以上。配电网结构比较复杂,一旦发生单相接地故障,现有方法难以快速、准确地判断故障区段,影响供电的安全性和可靠性。

目前,配电网单相接地故障的定位方法主要有基于智能电阻接地成套装置和节点零序电流幅值比较模型的故障处理与定位方法^[1]、基于注意力机制-卷积神经网络的故障选线方法^[2]、基于曼哈顿平均距离和余弦相似度的定位方法^[3]、基于模型预测控制的故障

有源消弧处理方法^[4]、以暂态量法为主的故障连续检测过程^[5]、基于零序分量的故障定位方法^[6]等。但在实际应用中发现,在线路较长的情况下,上述方法需要多次采集数据才能实现精确定位,且定位过程受线路两端电压互感器(potential transformer, PT)的影响,抗干扰性较差。

为此,本文提出基于暂态信号的配电网单相接地故障区段自动定位方法。首先,分析配电网单相接地故障区段的暂态信号,并获取该暂态信号的时域特征;然后,对故障区段暂态信号的时域特征进行故障关联,从而实现故障区段的精准定位。

1 暂态信号

1.1 利用暂态信号表示配电网单相接地故障

一般情况下,当配电网出现单相接地故障时,故障区段各线路的电流特征符合零序电流特征,电流暂态信号属于暂态零序电流,其构成参量主要包括容错指标和电感指标。单相接地故障等效电路下的暂态电路如图1所示。

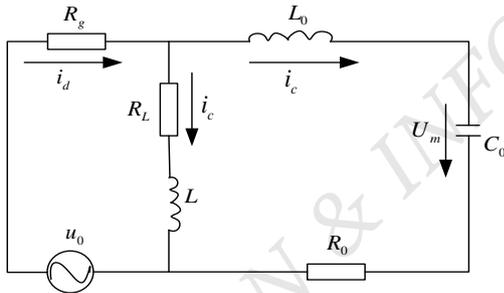


图1 单相接地故障等效电路下的暂态电路图

图1中: L_0 、 R_0 分别为配电网单相接地电路中,支回路对地端的零序即时电感与即时电阻; C_0 为配电网对地线路对应的零序电容总值; L 与 R_L 分别为配电网单相接地时,支路消弧线圈电感与部分电阻转化的热损耗; R_g 为故障位置的超标阻值系数。

由图1可知,配电网单相接地故障区段的等效电路可表达为

$$R_0 i_c + L_0 \frac{di_c}{dt} + \frac{1}{C_0} \int_0^t i_c dt = u_0 \quad (1)$$

式中: $u_0(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi)$ 为配电网单相接地故障区段的零序电源, ω 为故障区段任意一点的角频率, φ 为故障位置点的初始相位角。

通过求解公式(1),得到配电网单相接地故障区段的瞬时暂态容错电流 i_c 为

$$i_c = I_{Cm} \left(\frac{\omega_f}{\omega} \sin \phi \sin \omega_f t - \cos \phi \cos \omega_f t \right) e^{-\frac{t}{\tau_c}} + I_{Cm} \cos(\omega t + \phi) \quad (2)$$

式中: I_{Cm} 为配电网单相接地故障区段线路的容错电流幅值, ω_f 为短路状态下故障区段暂态信号的自由振荡角频率^[7-8], τ_c 为单相支路接地位置点的电流时间, t 为故障时间窗口, ϕ 为单相接地故障信号的矢量角度, e 为故障信号的权重。

根据回路方程可知,配电网单相接地故障区段纳入消弧线圈的暂态电感电流 i_L 为

$$i_L = I_{Lm} \cos \phi e^{-\frac{t}{\tau_L}} \quad (3)$$

式中: I_{Lm} 、 τ_L 分别为配电网单相接地故障区段消弧线圈的实际电感系数对应的电流幅值、电流时间。

配电网单相接地故障暂态信号对应的故障电流 i_d 为

$$i_d = (I_{Cm} - I_{Lm}) \cos(\omega t + \phi) + I_{Lm} \cos \phi e^{-\frac{t}{\tau_L}} + I_{Cm} \left(\frac{\omega_f}{\omega} \sin \phi \sin \omega_f t - \cos \phi \cos \omega_f t \right) e^{-\frac{t}{\tau_c}} \quad (4)$$

1.2 故障暂态信号时域特征计算

一般情况下,配电网单相接地故障区段的电流幅值应为正常运行状态下电路状态幅值的2倍,且在叠加作用下,电流方向呈反向特征。由此,可通过暂态阶跃电压波下宽频带对应的暂态分量,计算得到故障区段线路的电阻值与热损耗衰减系数。根据暂态分量频率越高,传播速度越快的特性^[9-10],暂态信号的故障特征主要包括故障区段原始暂态信号指标量、单相接地线路阻值、暂态分量热损耗与故障区段的传输函

数，其对应的数学关系式为

$$A(\omega) = e^{-\gamma x} \quad (5)$$

$$\gamma(\omega) = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0)(G_0 + j\omega F_0)} \quad (6)$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z_0(\omega)}{Y_0(\omega)}} = \sqrt{\frac{R_0(\omega) + j\omega L_0(\omega)}{G_0(\omega) + j\omega F_0(\omega)}} \quad (7)$$

$$\beta(\omega) = \frac{2Z_{c2}}{Z_{c1} + Z_{c2}} \quad (8)$$

$$\alpha(\omega) = \frac{Z_{c2} - Z_{c1}}{Z_{c1} + Z_{c2}} \quad (9)$$

$$\nu(\omega) = \frac{\omega}{\lim[\gamma(\omega)]} \quad (10)$$

公式(5)~(7)中： $A(\omega)$ 为故障区段的传输函数， x 为暂态信号的传输次数， γ 为暂态信号的强度， $\gamma(\omega)$ 为故障区段暂态信号的状态函数， Z_c 为故障区段暂态信号分量的阻抗总值， Z_0 、 Y_0 分别为故障区段暂态信号及其分量的初始系数， G_0 、 F_0 分别为配电网单相接地故障区段的导电系数及容错指标，且各项指标量均与故障区段暂态信号的频率函数相关联。

公式(8)~(10)中： $\beta(\omega)$ 为原始暂态信号的指标量， $\alpha(\omega)$ 为单相接地线路阻值， $\nu(\omega)$ 为暂态分量热损耗， Z_{c1} 、 Z_{c2} 分别对应不同故障区段的信号分量阻抗值。

如图2所示，假设配电网单相接地故障区段的输电线路长度为180 km，在故障检测距离为100 km位置产生的故障暂态信号的时域浪涌变化^[11-12]可通过特征函数表达为

$$\mu_{t_1} \Big|_{t=\tau_1} = (1 + \beta_p) \mu_f(t - \tau_1) \quad (11)$$

$$\mu_{t_2} \Big|_{t=2\tau_2+\tau_1} = \beta_Q \alpha_f (1 + \beta_p) \mu_f(t - \tau_1 - 2\tau_2) \quad (12)$$

$$\mu_{t_3} \Big|_{t=4\tau_2+\tau_1} = \alpha_f \beta_f \beta_Q^2 (1 + \beta_p) \mu_f(t - \tau_1 - 4\tau_2) \quad (13)$$

$$\mu_{t_4} \Big|_{t=3\tau_1} = \beta_p \beta_f (1 + \beta_p) \mu_f(t - 3\tau_1) \quad (14)$$

公式(11)~(13)中： $\mu_f(t)$ 为配电网单相接地故障区段原始暂态信号的指标量， τ_1 、 τ_2 分别为配电网单相接地故障区段Pf、fQ中暂态信号特征量对应的时间， β_f 为配电网单相接地故障区段在时间点f时的单相接地阻值， α_f 为配电网单相接地故障区段在时间点f时的暂态分量热损耗， β_p 为配电网单相接地故障区段内P端母线的单相接地阻值， β_Q 为配电网单相接地故障区段内Q端母线的单相接地阻值。

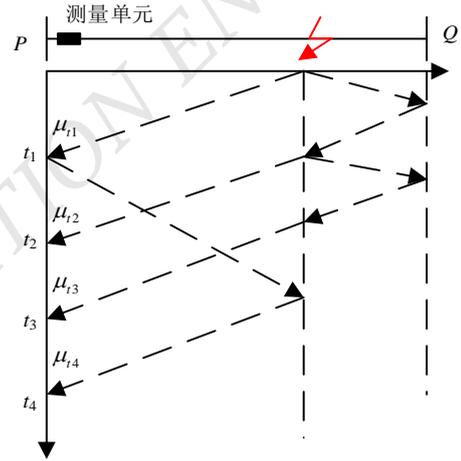


图2 故障暂态信号的时域浪涌变化方向

2 故障定位方法

通过对故障暂态信号的时域特征进行故障关联，可实现对故障区段的定位。

定义故障区段为MN，在故障区段内分布n个暂态信号测量单元 Y_1, Y_2, \dots, Y_n ，故障区段内与暂态信号测量单元相邻的另外2个测量单元之间的距离为 $L_{12}, L_{23}, \dots, L_{(n-1)n}$ 。假设故障区段位于测量单元 Y_{k-1} （前段测量单元）与 Y_k （ $k=2, 3, \dots, n$ ）（后段测量单元）之间，且距离 Y_{k-1} 处x（km）。

由公式(10)可知，当故障区段内前段测量单元对应的暂态信号频率为 ω_i ，分量幅值为 $f_{i_{Yp}}$ （ $p=1, 2, \dots, k-1$ ）时，故障特征点为

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_{k-1} : f_{i_{-}Y_{k-1}} = A_{1_{-}i} e^{-\alpha_i x} = \frac{A}{\omega_i} e^{-\alpha_i x} \\ Y_{k-2} : f_{i_{-}Y_{k-2}} = A_{1_{-}i} e^{-\alpha_i(L_{(k-2)(k-1)+x})} = \frac{A}{\omega_i} e^{-\alpha_i(L_{(k-2)(k-1)+x})} \\ \vdots \\ Y_1 : f_{i_{-}Y_1} = A_{1_{-}i} e^{-\alpha_i(L_{12+\dots+L_{(k-2)(k-1)+x})} = \frac{A}{\omega_i} e^{-\alpha_i(L_{12+\dots+L_{(k-2)(k-1)+x})} \end{array} \right. \quad (15)$$

当故障区段内后段测量单元对应的暂态信号频率为 ω_i' 且分量幅值为 $f_{i_{-}Y_q}$ ($q=k, k+1, \dots, n-1, n$) 时^[13], 故障特征点为

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_k : f_{i_{-}Y_k} = A_{1_{-}i} e^{-\alpha_i(L_{(k-1)k-x})} = \frac{A}{\omega_i} e^{-\alpha_i(L_{(k-1)k-x})} \\ Y_{k+1} : f_{i_{-}Y_{k+1}} = A_{1_{-}i} e^{-\alpha_i(L_{(k-1)k+L_{k(k+1)k-x})} = \frac{A}{\omega_i} e^{-\alpha_i(L_{(k-1)k+L_{k(k+1)k-x})} \\ \vdots \\ Y_n : f_{i_{-}Y_n} = A_{1_{-}i} e^{-\alpha_i(L_{(k-1)k+\dots+L_{(n-1)n-x})} = \frac{A}{\omega_i} e^{-\alpha_i(L_{(k-1)k+\dots+L_{(n-1)n-x})} \end{array} \right. \quad (16)$$

式中： A 为故障特征点的集合， $A_{1_{-}i}$ 为 i 时间窗口所对应的支路故障点状态， e 为暂态信号的权重。

定义故障区段任意位置处 $Y_j Y_{j+1}$ ($j=1, 2, \dots, n$) 对应信号频率为 ω_i 时的暂态信号分量幅值比为

$$R_{Y_j Y_{j+1}} = \frac{f_{i_{-}Y_j}}{f_{i_{-}Y_{j+1}}} \quad (17)$$

考虑到检测过程中部分暂态信号特征指向检测区域之外的部分^[14], 这部分的分量幅值比计算公式为

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{Y_p Y_{p+1}} = e^{-\alpha_i L_{p(p+1)}} \\ R_{Y_q Y_{q+1}} = e^{\alpha_i L_{q(q+1)}} \end{array} \right. \quad (18)$$

去除公式(18)的指向特征区域, 可获得准确的故障位置, 完成自动定位。因此在定位暂态信号特征位置的过程中, 需满足 $Y_{k-1} Y_k$ 、 $R_{Y_{k-1} Y_k}$ 区间下对应的约束为

$$e^{-\alpha_i L_{(k-1)k}} < R_{Y_{k-1} Y_k} = \frac{f_{i_{-}Y_{k-1}}}{f_{i_{-}Y_k}} = e^{\alpha_i(L_{(k-1)k-2x})} < e^{\alpha_i L_{(k-1)k}}, \quad 0 < x < L_{(k-1)k} \quad (19)$$

根据上述约束条件, 可得到故障区段暂态信号分量系数最大值所在的位置区域。为了更加精准地定位故障位置, 将暂态信号特征分量的识别尺度阈值 ε 设定为0.3^[15]。

基于上述计算参量, 配电网单相接地故障区段自动定位步骤如下:

1) 将故障区段已知的暂态信号分量频率的衰减系数设为 α_s , 并代入公式(19), 得到不同区段位置上对应的约束 $M_{\text{sum}_{-}Y_{k-1}Y_k}$ 和 $N_{\text{sum}_{-}Y_{k-1}Y_k}$;

2) 通过对故障区段内 n 个测量单元中的暂态信号回波进行变换解耦处理, 使 $k=1$;

3) 计算不同待测量单元所在线路的暂态信号回波幅值, 以此获得 $R_{\text{sum}_{-}Y_{k-1}Y_k}$ 的对应量;

4) 将 $Y_{k-1} Y_k$ 对应的暂态信号回波幅值叠加后, 查看故障区段的暂态信号回波是否满足约束区间, 若满足约束区间, 说明区间 $Y_{k-1} Y_k$ 为配电网单相接地故障区间; 若不满足, 则进入下一区间计算, 直至定位到具体的故障位置。

3 实验测试

利用本文提出方法(测试方法0)、基于智能电阻接地成套装置和节点零序电流幅值比较模型的故障处理与定位方法(比方法1)、基于零序分量的故障定位方法(比方法2)3种不同的故障定位方法, 在相同的测试环境及条件下进行对比实验测试。

3.1 测试条件

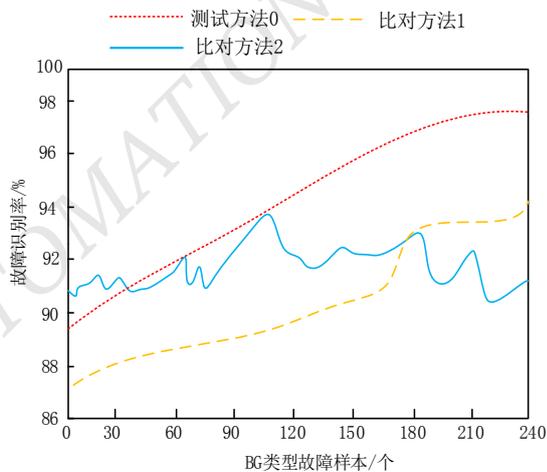
利用PSCAD/EMTDC测试工具搭建500 kV仿真输电线路模型作为测试场景, 并在测试场景中配置暂态信号采集装置。每个线路模拟故障点的采集频率为0.8 MHz, 每个故障采集的时间窗为3 ms。仿真故障数据库中样本参量的配置如表1所示。

表 1 仿真故障数据库中样本参量配置

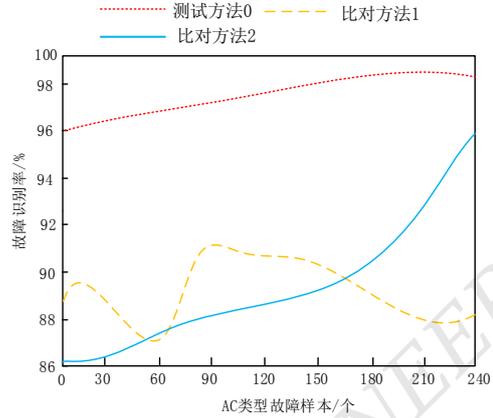
故障类型	相位角 $\varphi / (^{\circ})$	故障过渡电阻 R_f / Ω
地线接地故障 (earth-ground fault, EG)	1.8	0.03
相间短路故障 (between-phase short-circuit ground fault, BG)	18.0	60.00
接地故障 (ground fault, CG)	36.0	90.00
单相接地故障 (earth-break fault, EB)	54.0	120.00
两相短路故障 (between-phase short-circuit fault, BC)	72.0	150.00
两相接地故障 (between-phase ground fault, AC)	90.0	180.00
A 相与 B 相及地线接地故障 (A-phase, B-phase and ground fault, ABG)	120.0	240.00
C 相与 B 相及地线接地故障 (C-phase, B-phase and ground fault, CBG)	-	-
三相及地线接地故障 (three-phase and ground fault, ABCG)	-	-

3.2 故障识别率测试

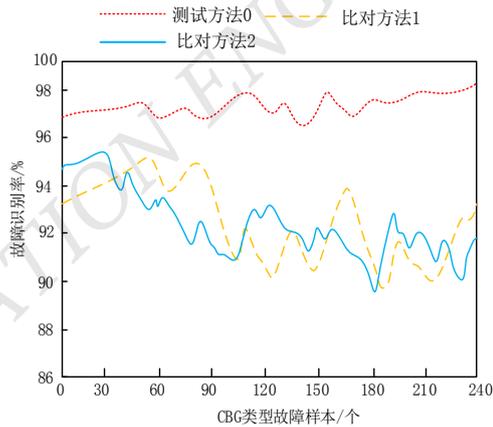
随机抽取故障类型 BG、AC、CBG 各 240 组，组成故障识别率测试样本。分别利用测试方法 0、比对方方法 1、比对方方法 2 进行故障识别率测试，测试时间为 300 s，测试结果如图 3 所示。



(a) 不同方法获得的 BG 类型故障识别率曲线



(b) 不同方法获得的 AC 类型故障识别率曲线



(c) 不同方法获得的 CBG 类型故障识别率曲线

图 3 BG、AC、CBG 故障类型下不同故障定位方法所得的识别率曲线

由图 3(a)可知：3 种定位方法初始故障识别率差异不大，比对方方法 2 的初始故障识别率为 90.8%，测试方法 0 的初始故障识别率为 89.8%，比对方方法 1 的初始故障识别率为 87.2%；但随着样本数量与测试时间的增加，比对方方法 2 变化最为剧烈，曲线抖动严重，整体波动区间变化不大，终止时故障识别率为 90.6%；比对方方法 1 与测试方法 0 曲线均呈快速增长趋势，终止时，比对方方法 1 的故障识别率为 94.2%，测试方法 0 的故障识别率为 97.6%；由此可以看出，在 BG 类型故障识别中，测试方法 0 取得的效果更好。

由图 3(b)可知：比对方方法 2 的初始故障识别率仅为 86.3%，下滑程度最大，测试方法 0 的初始故障识别率为 96%，提升最大，比对方方法 1 的初始故障识别

率为 88.6%，相较 BG 类型故障识别效果略有提升；但是随着样本数量与测试时间的增加，比方法 1 整体抖动的次数较多，且幅值较大，曲线呈下降趋势，终止时故障识别率为 88.4%；比方法 2 与测试方法 0 的曲线均呈增长趋势，比方法 2 增长趋势较快，但扰动压力较大，终止时故障识别率为 95.7%，测试方法 0 增长缓慢，但较为平稳，终止时故障识别率为 98.0%；由此可以看出，在 AC 类型故障识别中，测试方法 0 表现稳定，故障识别效果最好。

由图 3(c)可知，比方法 1 与比方法 2 的识别率曲线相似度较高，均出现较为密集的抖动现象，从抖动频率上分析二者的性能可知，比方法 1 优于比方法 2；测试方法 0 的曲线指标最大，抖动幅值最小，识别率更好。

综上分析，测试方法 0 的综合表现最好，故障识别率最高，所得结果满足测试相关要求。

3.3 故障定位误差测试

在表 1 所示的不同故障类型中，各抽取 10 组数据，分别利用测试方法 0、比方法 1、比方法 2 对其进行故障定位，由仿真测试工具 Keysight EEsol 提取不同定位方法的定位结果，并对其结果进行误差统计，结果如表 2 所示。

表 2 故障定位误差均值统计

故障类型	故障定位均值误差 $\varpi(0 < \varpi \leq 1)$		
	测试方法 0	比方法 1	比方法 2
EG	0.25	0.89	0.95
BG	0.96	0.96	0.34
CG	0.24	0.87	0.95
EB	0.26	0.87	0.95
BC	0.26	0.89	0.68
AC	0.26	0.89	0.72
ABG	0.31	1.23	0.84
CBG	0.35	1.14	1.65
ABCG	0.23	1.25	1.24

由表 2 可知：在配电网单相接地故障不同类型下，测试方法 0 的定位均值误差最小，最稳定；比方法 1，比方法 2 均值误差较大。

结合测试结果分析，可以看出比方法 1 与比方法 2 均存在不同程度的扰动因素。其中，比方法 2 的扰动因素具有不确定性，根据暂态信号的方向性判断，大概率由线圈耦合过程中热损耗偏差所导致。由此进一步表明，测试方法 0 对故障区段暂态信号定位的正确性。

4 结论

本文通过引入暂态信号定位策略，实现单相接地故障区段的准确定位，在提高定位精度的同时，缩短了单位故障区段故障点的定位时间。为电力故障定位深入研究与暂态信号实际应用，提供了可行的方案。

在日后的应用与研究中，尝试与发电机变压器保护(generator transformer protection, GTP)相结合，不断优化定位方法的故障感知能力、识别能力、适应能力等。通过人工智能的数据学习技术，优化故障定位环境，削弱扰动数据对定位参量的干扰等。

参考文献

- [1] 吴泽文,伊国强,匡扶正.小电阻接地系统单相接地故障的处理与区段定位[J].电力学报,2023,38(1):28-37.
- [2] 陈池瑶,苗世洪,殷浩然,等.基于注意力机制-卷积神经网络的配电网单相接地故障选线方法[J].电力建设,2023,44(4):82-93.
- [3] 陶维青,李雪婷,华玉婷,等.基于曼哈顿平均距离和余弦相似度的配网单相接地故障定位[J].电力工程技术,2023,42(2):130-138.
- [4] 常新建,邵文权,程远,等.基于模型预测控制的配电网单相接地故障有源消弧[J].电力工程技术,2023,42(2):161-169.
- [5] 刘健,张薛鸿,张小庆,等.预防电缆沟起火的小电流接地系统单相接地故障处理[J].电力系统保护与控制,2023,51(6):21-29.
- [6] 齐郑,黄朝晖,陈艳波.基于零序分量的阻抗法配电网故障定位技术[J].电力系统保护与控制,2023,51(6):54-62.
- [7] 刘富州,萨仁娜,朱永利,等.基于 FDM 孪生网络的风电场集电线单相接地故障区段定位[J].可再生能源,2023,41(3):401-410.
- [8] 贺世庚,杨理斌,喻崑,等.基于馈线功率的配电网对地参数测量与接地故障灵敏感知新方法[J].湖南电力,2023,43(1):50-57.
- [9] 李小敏.基于暂态信号分析的矿井电网单相漏电故障选线

[J].国外电子测量技术,2023,42(2):164-170.

- [10] 陈新岗,刘新宇,马志鹏,等.基于近似熵的小电流接地系统故障区段定位[J].计算机仿真,2023,40(1):112-117;409.
- [11] 杨海运.基于变分模态分解的配电网单相接地故障区段定位[J].电工技术,2023(1):103-105;108.
- [12] 陆帅,李峰,卞林林,等.基于暂态信号的接地选线方案在煤矿保护装置的应用研究[J].内蒙古科技与经济,2022(14):106-108.

- [13] 郑伟彦,钮伟樑,吴靖,等.基于暂态介损角的配电网单相接地故障选线方法[J].天津理工大学学报,2022,38(3):8-13.
- [14] 王春明,李杰,徐正清,等.基于暂态信息融合的输电线路单端故障定位方法[J].电力科学与技术学报,2022,37(2):62-71.
- [15] 邓丰,徐帆,曾哲,等.基于多源暂态信息融合的单端故障定位方法[J].电工技术学报,2022,37(13):3201-3212.

作者简介:

黄灿英,女,1975年生,硕士研究生,副教授,主要研究方向:电力系统继电保护、工业机器人。E-mail: hcyeyes131419@163.com

杨墉金,男,1974年生,本科,讲师/工程师,主要研究方向:市政工程。E-mail: 497732321@qq.com

宁珍,女,1985年生,硕士研究生,讲师,主要研究方向:热能工程、工业机器人。E-mail: 409894226@qq.com



(上接第14页)

务平台,支撑中小企业智能技术的开发和应用,推动制造、交通、农业、医疗、教育、物流等领域形成典型场景示范应用。三是支持龙头企业加大创新投入,组建创新联合体,开展核心技术攻关和成果转化,培育一批科技领军企业。四是充分发挥公共财政引导作用,鼓励各类产业基金、资金池等融资工具来支持人工智能产业发展。

参考文献

- [1] 朱光辉,王喜文.ChatGPT的运行模式、关键技术及未来图景[J].新疆师范大学学报(哲学社会科学版),2023,44(4):113-122.
- [2] 陈永伟.超越 ChatGPT:生成式 AI 的机遇、风险与挑战[J].山东大学学报(哲学社会科学版),2023(3):127-143.
- [3] 郭洪飞,韦雨佳,任亚平,等.AI 驱动智能优化与控制文献计量分析[J].机电工程技术,2023,52(4):1-5.
- [4] 王建磊,曹卉萌.ChatGPT 的传播特质、逻辑、范式[J].深圳大学学报(人文社会科学版),2023,40(2):144-152.

- [5] 王树义,张庆薇.ChatGPT 给科研工作者带来的机遇与挑战[J].图书馆论坛,2023,43(3):109-118.
- [6] 张凌寒.深度合成治理的逻辑更新与体系迭代——ChatGPT 等生成型人工智能治理的中国路径[J].法律科学(西北政法大学学报),2023,41(3):38-51.
- [7] 张夏恒.ChatGPT 的逻辑解构、影响研判及政策建议[J].新疆师范大学学报(哲学社会科学版),2023,44(5):113-123.
- [8] 何哲,曾润喜,秦维,等.ChatGPT 等新一代人工智能技术的社会影响及其治理[J].电子政务,2023(4):2-24.
- [9] 李冬雪,朱冀涛,刘岩,等.新一代基建工地安全智能管控平台设计与规划[J].中国测试,2022,48(S2):133-138.
- [10] 钱力,刘熠,张智雄,等.ChatGPT 的技术基础分析[J].数据分析与知识发现,2023,7(3):6-15.
- [11] 赵朝阳,朱贵波,王金桥.ChatGPT 给语言大模型带来的启示和多模态大模型新的发展思路[J].数据分析与知识发现,2023,7(3):26-35.
- [12] 国金证券研究所.华为盘古大模型研究:盘古开天, AI 落地[EB/OL].<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1762938971407815759&wfr=spider&for=pc>,2023-04-12.

作者简介:

王欢,男,1988年生,博士,助理研究员,主要研究方向:科技战略与规划、科技情报、人工智能等领域产业与技术。E-mail: 306434662@qq.com

王陶冶,女,1991年生,硕士,助理研究员,主要研究方向:科技情报、科技战略、网络信息安全等。

商惠敏,女,1981年生,硕士,研究员,主要研究方向:科技战略与规划、科技情报、人工智能等领域产业与技术。

符小惠,女,1993年生,硕士,一级教师,主要研究方向:数学、信息与计算科学。