

# 基于阻抗法和行波法组合的复线牵引网故障测距研究

马欣,程伟

(同济大学电气工程系,上海 200092)

**摘要:** 由于牵引网故障测距常用的两大算法阻抗分析法和行波分析法在不同的情况下各有优缺点,因此很难用一种算法取得理想的测距结果。经过仿真对比阻抗算法和行波算法,发现二者具有优缺点互补的特性。由此提出将两种算法结合应用,取其优点,舍其缺点来提高现有故障测距算法的精确度。分别采用改进的阻抗分析法和行波分析法对 30 km 长的复线直供带机车牵引网模型进行仿真和误差分析。对仿真结果进行综合分析后提出组合算法,结合阻抗算法和行波算法的优点得出改进精度的仿真数据,误差分析表明结果令人满意。研究提示阻抗法和行波法组合的故障测距算法在牵引网实际应用中可能具有良好的应用前景。

**关键词:** 故障测距; 牵引网; 行波分析法; 阻抗分析法; 小波分析

**中图分类号:** TN832 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)20-0047-06

## 0 引言

随着 625 km 的渝怀线电气化铁路的建成,到 2005 年底,我国共建成开通 43 条电气化铁路,总里程达到 20 132 km,成为继俄罗斯、德国之后,第三个电气化铁道总里程数超过两万公里的国家。牵引网属一级负荷,因此发生故障后快速准确地查找出故障位置至关重要。复线牵引网较单线牵引网一个最大的优点是安全可靠,一旦一条线路出现故障可以切换到另一条非故障线路,从而避免大面积停电,保障线路安全可靠地运行,因此研究复线牵引网意义重大。

目前最常用的两种故障测距算法为阻抗分析法和行波分析法,两者分别利用故障的稳态和暂态信息进行故障定位,各有优缺点,相互间有互补关系。最近国外研究运用阻抗法补充行波法近端测距失败的弊端,使行波法近端测距的可靠性显著提高<sup>[1]</sup>。本文针对牵引网复线直接供电模型,在充分利用冗余故障信息的基础上,提出了一种将阻抗法和行波法组合运用的故障测距方法,希望能够合并二者的优点,弱化二者的缺点,使测距算法不仅在近端并且在远端的精度和可靠性显著提高。

## 1 测距算法原理

### 1.1 阻抗法

阻抗法是指在系统运行方式确定和线路参数已知的条件下,根据故障时测距装置安装处测量到的电压、电流量计算出故障回路的阻抗,然后依据线路

长度与阻抗成正比的原理,求出装置安装处到故障点的距离。

在我国复线区段电气化铁道牵引供电系统正常运行时,上、下行牵引网在末端的分区亭内通过隔离开关实行并联运行,以提高牵引网电压水平。因此故障发生后,可通过非故障的牵引网推导出分区亭的电压和电流,从而形成双端数据故障测距原理,消除过渡电阻对测量精度的影响。

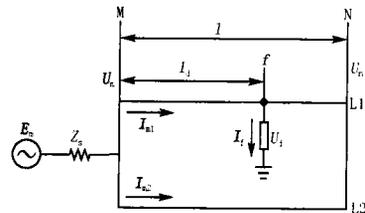


图 1 复线牵引网故障示意图

Fig 1 Double-line traction network fault

如图 1 所示,其中  $E_m$  为变电所,  $Z_s$  为系统阻抗,  $M$  为线路的首端、 $N$  为线路的末端,  $f$  为故障点,线路全长  $l$ ,故障点至始端的距离为  $l_d$ ,  $I_{n1}$ 、 $I_{n2}$  为上下行线路电流,  $U_m$ 、 $U_n$  为始端电压和末端的电压,  $U_d$  为故障点对地电压,  $I_f$  为故障点电流。假定上、下行牵引网单位自阻抗分别为  $Z_1$ 、 $Z_2$ , 单位互阻抗为  $Z_m$ , 忽略分布电容的影响,则有<sup>[2]</sup>

$$l_d = \frac{(Z_1 l + Z_2 l - 2Z_m l) I_{n2}}{(I_{n1} + I_{n2})(Z_1 - Z_m)} \quad (1)$$

### 1.2 行波法

如图 2 所示,牵引网在非零电压时发生故障,馈电线负荷快速放电将产生很严重的浪涌,会像波一

样传播。这些波会以近似光速从故障点向传输线两侧传播,在不均匀介质处发生反射和透射。行波法就是利用波头之间的时间差和波速来完成故障定位的。本文主要研究基于 A 型测距装置的行波法。

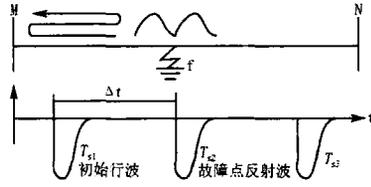


图 2 A 型行波测距原理示意图

Fig 2 Type A wavelet method fault location

M 为线路的首端、N 为线路的末端, f 为故障点, 线路全长  $l$ , 波速度为  $v$ , 故障初始行波与故障反射波到达母线的时刻分别为  $T_{S1}$ ,  $T_{S2}$ , 则故障距离为:

$$l_d = \frac{1}{2} v \quad t = \frac{1}{2} v (T_{S2} - T_{S1}) \quad (2)$$

复线直供模型如图 1 所示, 在高压远距离交流电力线路或高频信号电信线路中, 同一瞬间沿线的电压、电流都不相同, 必须将线路作为分布参数处理。由于上下行牵引网存在一定的互感, 因此要进行模相变换, 并根据复线牵引网边界条件, 将故障后牵引网分解成 0 序网络和 1 序网络, 如图 3 所示。然后利用已知的边界条件进行平衡方程的求解。

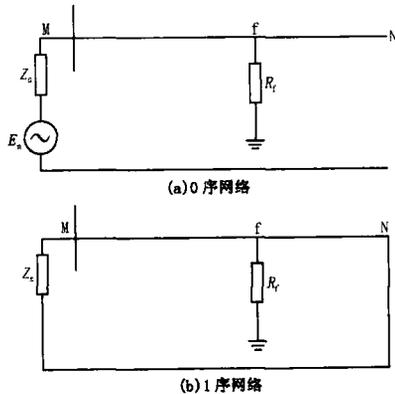


图 3 复线牵引网故障分解图

Fig 3 Double-line traction network fault disassembled

考虑自感  $L_s$  (H/km)、互感  $L_m$  (H/km) 和对地电容  $C_0$  (F/km)、相间互电容  $C_m$  (F/km)、1 序和 0 序参数间的关系, 线路各参数如下所示:

$$L_1 = L_s - L_m, L_0 = L_s + L_m, C_1 = C_0 + 2C_m。$$

复线线路可分解为 0 序和 1 序两个独立的模分量, 0 序和 1 序波速为:

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}, \quad v_1 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}$$

0 序波速受频率影响波动较大, 不适合测距, 所以利用 1 序波速求解故障距离<sup>[3]</sup>:

$$l_d = \frac{1}{2} v_1 \quad t = \frac{1}{2} v_1 (T_{S2} - T_{S1}) \quad (3)$$

### 1.3 行波的小波分析

小波变换在时域和频域同时具有良好的局部化特性, 它不仅能检测信号奇异性的强弱, 而且能表示奇异点的分布情况及奇异点的位置。因此用小波变换进行信号的奇异性检测比传统的傅里叶变换更具完备性。在小波变换下, 暂态奇异信号的性态和噪声的性态随尺度变化具有截然不同的性质, 暂态奇异成分的模极大值随着尺度的增加而增大, 噪声的极大值随着尺度的增加而减小。行波的小波变换能够刻画故障行波信号到达时刻, 解决了电流行波测距由于无方向性带来的检测制约。利用电流行波小波变换模极大值随尺度的传播特性, 精确定位故障暂态行波两次到达观测点的时刻和时间间隔, 实现故障测距<sup>[4]</sup>。利用神经网络小波包, 将提取的故障电压电流信号进行多尺度一维小波分解, 由参考文献 [5], 本文小波基选用 10 系数 Daubechies 小波, 它具有正交、紧支以及高阶消失矩, 滤波效果较好。提取入射行波及反射行波波头对应的行波中的奇变点的位置, 即对应的  $T_{S1}$  和  $T_{S2}$ , 进而利用式 (3) 计算出故障距离。

### 2 阻抗法和行波法的优缺点分析

阻抗法的优点是测距简单可靠, 通常技术上比较成熟, 有丰富的现场运行经验; 不受故障发生时刻、系统阻抗的影响, 无测距死区; 由于利用工频稳态相量测距, 因此对电压、电流传感器和信号采集系统的要求较低; 基于该算法的装置结构简单, 易于实现, 并且成本较低; 抗干扰能力强, 故障发生时可以可靠启动。但是阻抗法难以消除过渡电阻的影响, 并且由于采用集中参数, 忽略了分布电容的影响, 必将导致原理性的误差。另外, 机车作为移动负荷, 在故障发生后并不会立即退出运行, 所以在发生故障时, 只要线路有机车运行, 即为有分支负荷的短路, 而阻抗法是基于网络空载情况下推导出来的, 算法本身无法消除机车负载的影响。另外, 一个比较关键的问题是对于富含整次及非整次谐波的电气化铁道牵引网, 傅里叶算法在处理大量非整次谐波及非周期衰减分量时比较困难, 准确获得工频电压、电流值也将是困难的。因此阻抗法的应用有明显的局限性。

随着行波理论研究的深入、数字信号处理芯片(DSP)的快速发展、小波变换理论、GPS技术及光电互感器的引入,特别是行波法在电力系统输电线路中已有较为成功的应用,行波法在牵引网故障测距中的应用已成为研究者所关注的一个热点。行波法是根据行波传输理论实现对输电线路故障测距的方法。由于行波在线路中有比较稳定的传播速度,且测量到的时间差不受线路类型、故障电阻及系统运行参数等影响,行波信号可直接通过电压互感器、电流互感器获得,其测距精度和稳定性不受过渡电阻及上述牵引负荷特点造成的影响。这将有可能会消除牵引网测距中的多种偶然误差,真正得到牵引网故障定位稳定而精确的结论。但是行波法在现阶段的应用也有其难以消除的缺点:在测近端故障时存在10左右故障初相角的死区会导致测距失败;行波信号易受对端母线反射行波的影响而导致误测距。出现上述情况的原因主要是:故障点离测距装置越近,瞬态信号中高频信号就越多,由于受到采样频率的限制,难以在很短的时间内从大量的高频信号中分析出有用的行波信息,因此导致了测距的失败;当故障点发生在线路前半段时故障点的反射波先到达测距装置,但故障点发生在线路后半段时对端母线的反射波先到达,此时往往难以区分来自故障点的反射行波和对端母线的反射行波,导致测距失败。

### 3 基于阻抗法和行波法组合的复线牵引网故障测距方法的创新性和实现方案

#### 3.1 组合算法的创新性

现有文献讨论的阻抗法一般可以分为两类:单端法和双端法。单端法由于所获得的数据少,为消除过渡电阻的影响,就必然要做某种假设或近似处理,从而带来了原理性误差;双端法从根本上消除了原理性误差,但同步采样及由此产生的迭代问题仍然需要进一步研究。现有文献对于行波法在理论方面的研究日趋完善,但在实际装置应用时由于受到采样精度的影响,近端测距目前实现还有一定的困难。在消除对端母线的反射影响方面很多文献也提出自己独特的见解。文献[6]专门对行波法A型装置对端母线的反射影响进行了探讨,但并没有给出广泛适用的分辨对端母线反射波的方法,因此实际应用意义不大。也有文献提出通过识别第二个到达母线的行波脉冲的性质,解决线路中点以后故障定位问题,但这又增加了行波法的复杂度。通过阅读参考文献和进行大量的仿真实验对比发现,故障发生在行波法

近端的测距死区时,过渡电阻较小时阻抗法的精度比较高;故障发生在线路中间区段时,与阻抗法相比行波法不受过渡电阻的影响,均有较高的测距精度;当故障发生在线路远端时,阻抗法误差与近端故障相比明显增大,而行波法的测距结果完全不可信。经过分析发现远端故障时行波法测得的实为对端母线到故障点的距离,用线路总长度减去测得的距离进行修正才是实际的故障距离,修正后行波法的精度比较高。因此,何时引入修正值就成为测距方案成败的关键。阻抗法在远端虽然误差较大但仍可将故障定位在一定的区段内,所以本文提出以阻抗法测得的结果为参考修正行波法的测距结果。用阻抗法的测距结果检验行波法的测距结果:当行波法测距失败时引入阻抗法的测量结果;当两者偏差不大时以行波法的测距结果为准;当两者偏差较大时,对行波法的结果进行修正后作为最终的测距结果。显然,两种算法分别利用故障稳态和暂态信息,从不同的角度进行测距,其优势互补,适合将两种算法的测距结果进行综合处理,进而提高故障测距的精度和鲁棒性。

#### 3.2 实现方案

基于组合算法的复线牵引网故障测距方案的总体思路如下:

1)利用阻抗法进行初步测距,得出近似的故障距离,进而根据行波法精确测距。

当行波法与阻抗法的偏差不大时,引用行波法测得的数据;当行波法与阻抗法的测量结果比较出现严重偏差时,断定故障点出现在后半段母线上,行波法没有分辨出对端母线反射波的影响,测出的距离是故障点到对端母线的距离,那么用线路总长减去测得的距离才是故障点到测距装置的距离。

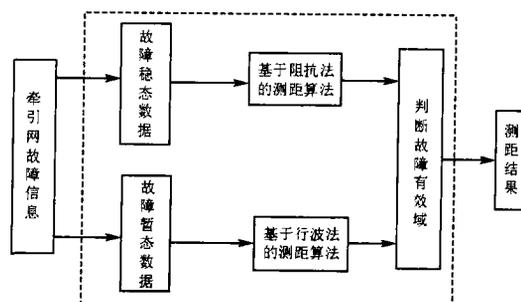


图4 基于组合算法的牵引网故障测距原理框图

Fig 4 Block diagram of traction network fault location based on multi-algorithm

2)故障发生在行波法的测距死区时,利用阻抗法测距,从而提高测距的可靠性。

对于电压跃变较小的故障(电压过零附近时刻的接地故障),暂态电压的高频分量很小,甚至为零,导致行波法失效;另外,线路近端故障时行波法难以识别。此时可采用阻抗法来实现故障测距。

其具体原理如图 4 所示。

#### 4 数字仿真结果

本文选择复线直供带机车线路作为研究模型,如图 5 所示。

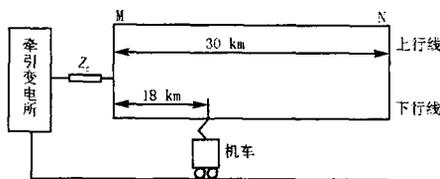


图 5 复线直供仿真模型示意图

Fig 5 Double-line simulation

各部分含义如下:

变电所:采用三相变压器,将电力系统传送的 110 kV 的三相电转换成牵引网额定电压 27.5 kV 工频单相交流电,然后向铁路沿线架设的牵引网供电。

机车:以参考文献 [7, 8] 讲述的 SS4 型电力机车为模型。

采用复线末端并联,线路总长为 30 km,机车负荷位于 10 km,故障发生角为 30°;线路参数分别为: $f = 50 \text{ Hz}$ ,分布电阻  $R_0 = 0.288 \text{ } \Omega/\text{km}$ ,互电阻  $R_1 = 0.05 \text{ } \Omega/\text{km}$ ,自电感值  $L_s = 2.18 \text{ mH/km}$ ,互电感  $L_m = 1.044 \text{ mH/km}$ ,对地电容  $C_0 = 7.1 \text{ nF/km}$ ,互电容  $C_1 = 3.5 \text{ nF/km}$ 。

选用如下的测距公式进行误差分析:

$$\text{测距误差 \%} = \frac{|\text{测距距离} - \text{实际距离}|}{\text{线路总长度}} \times 100\% \quad (4)$$

阻抗法:用 PSCAD 工具构建仿真模型,采集故障时两端的电压、电流,采样频率 2 kHz,利用差分傅里叶算法对故障后第二周期采样数据进行基波分量计算,根据式 (1) 求解出故障距离。

由仿真结果分析可知,随着过渡电阻的增加阻抗法的精确度下降,近端故障的精确度高于远端故障。

行波法:利用 A 型装置行波原理,用 PSCAD 工具构建仿真模型,提取故障电流信号,采样频率 2 MHz。利用 2.3 提到的小波变换滤去白噪声,根据模极大值提取两次信号突变的时间,如图 6 所示。之后用式 (3) 得出故障距离。

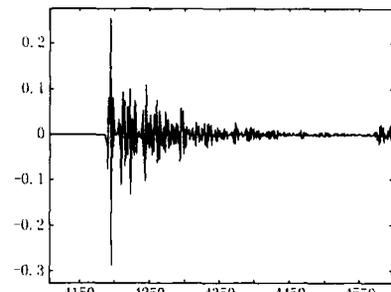


图 6 电流波形模极大值分布图

Fig 6 Maximal modular of current wave

仿真结果分析可知,行波法测近端故障时出现失败,故障距离大于一半母线长度时出现重大偏差,对比可知是由于没有分辨出对端母线的反射行波的影响。

利用上文提到的组合算法,将阻抗法和行波法测得的数据综合,先用阻抗法的数据限定测距的大致范围,当行波法测距失败时则引用阻抗法的结果,当行波法与阻抗法的测距结果存在很大偏差时,判断出行波法所测得的是故障点到对端母线的距离,用线路总长减去测距结果即为实际的故障距离。综上得出修正的测距结果。

表 1 复线直供阻抗法测距结果

Tab 1 Fault location results with double-line impedance method

| 实际距离<br>/km | $R_f = 0$ |            | $R_f = 10$ |            | $R_f = 100$ |            |
|-------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|------------|
|             | 测距距离 /km  | 测距误差 / (%) | 测距距离 /km   | 测距误差 / (%) | 测距距离 /km    | 测距误差 / (%) |
| 0.5         | 0.500 3   | 0.001 0    | 0.601 5    | 0.338 3    | 2.621 0     | 5.403 3    |
| 1           | 1.001 6   | 0.005 3    | 1.240 1    | 0.800 3    | 2.995 1     | 6.650 3    |
| 2           | 2.002 6   | 0.008 7    | 2.210 2    | 0.700 7    | 3.755 0     | 5.850 0    |
| 5           | 5.000 1   | 0.000 3    | 5.118 9    | 0.396 3    | 6.074 6     | 3.582 0    |
| 10          | 9.964 0   | 0.120 0    | 9.992 3    | 0.025 7    | 9.971 1     | 0.096 3    |
| 15          | 15.003 2  | 0.010 7    | 14.832 1   | 0.559 7    | 13.874 3    | 3.752 3    |
| 20          | 19.869 8  | 0.434 0    | 19.597 3   | 1.342 3    | 17.760 6    | 7.464 7    |
| 25          | 24.750 8  | 0.830 7    | 24.377 4   | 2.075 3    | 21.637 9    | 11.207 0   |
| 29          | 28.654 0  | 1.153 3    | 28.128 9   | 2.903 7    | 24.300 0    | 15.666 7   |

表 2 复线直供行波法测距结果

Tab 2 Fault location results with double-line wavelet method

| 实际距离<br>/km | $R_f=0$  |            | $R_f=10$ |            | $R_f=100$ |            |
|-------------|----------|------------|----------|------------|-----------|------------|
|             | 测距距离 /km | 测距误差 / (%) | 测距距离 /km | 测距误差 / (%) | 测距距离 /km  | 测距误差 / (%) |
| 0.5         | 测距失败     | 错误         | 测距失败     | 错误         | 测距失败      | 错误         |
| 1           | 1.028 3  | 0.094 3    | 1.028 3  | 0.094 3    | 1.028 3   | 0.094 3    |
| 2           | 2.057 6  | 0.192 0    | 2.057 6  | 0.192 0    | 2.057 6   | 0.192 0    |
| 5           | 4.890 4  | 0.365 3    | 4.890 4  | 0.365 3    | 4.604 7   | 0.317 7    |
| 10          | 9.924 6  | 0.251 3    | 10.068 5 | 0.228 3    | 10.160 7  | 0.535 7    |
| 15          | 14.958 8 | 0.137 3    | 14.958 8 | 0.137 3    | 14.965 4  | 0.115 3    |
| 20          | 10.032 4 | 33.225 3   | 10.068 5 | 33.105     | 10.054 3  | 33.152 3   |
| 25          | 5.082 3  | 66.392 3   | 5.116 5  | 66.278 3   | 5.105 6   | 66.314 7   |
| 29          | 1.150 7  | 99.831 0   | 1.021 8  | 93.260 7   | 1.150 7   | 99.831 0   |

表 3 基于组合算法的测距结果

Tab 3 Multi-algorithm-based fault location results

| 实际距离<br>/km | $R_f=0$  |            | $R_f=10$ |            | $R_f=100$ |            |
|-------------|----------|------------|----------|------------|-----------|------------|
|             | 测距距离 /km | 测距误差 / (%) | 测距距离 /km | 测距误差 / (%) | 测距距离 /km  | 测距误差 / (%) |
| 0.5         | 0.500 3  | 0.001 0    | 0.601 5  | 0.338 3    | 2.621 0   | 5.403 3    |
| 1           | 1.028 3  | 0.094 3    | 1.028 3  | 0.094 3    | 1.028 3   | 0.094 3    |
| 2           | 2.057 6  | 0.192 0    | 2.057 6  | 0.192 0    | 2.057 6   | 0.192 0    |
| 5           | 4.890 4  | 0.365 3    | 4.890 4  | 0.365 3    | 4.604 7   | 1.317 7    |
| 10          | 9.924 6  | 0.251 3    | 10.068 5 | 0.228 3    | 10.160 7  | 0.535 7    |
| 15          | 14.958 8 | 0.137 3    | 14.958 8 | 0.137 3    | 14.965 4  | 0.115 3    |
| 20          | 19.967 6 | 0.108 0    | 19.931 5 | 0.228 3    | 19.945 7  | 0.181 0    |
| 25          | 24.917 7 | 0.274 3    | 24.883 5 | 0.388 3    | 24.894 4  | 0.352 0    |
| 29          | 28.849 3 | 0.502 3    | 28.978 2 | 0.072 7    | 28.849 3  | 0.502 3    |

分析可知,与表 1和表 2的结果相比,表 3综合了阻抗法和行波法的优势,将二者误差较大的部分予以纠正。利用阻抗法近端测距精度较高的优点弥补了行波法的失败,并用行波法消除了过渡电阻对测距的影响,同时利用阻抗法修正了行波法在测量大于一半母线距离的故障时出现的重大误差,提高了远端测距的准确性。

## 5 结论

由上述的分析可知,阻抗法和行波法相组合的算法可以使行波法和阻抗法在优缺点方面相互补充,利用二者的优点,弱化二者的缺点。在实际应用时先分别采用行波法和阻抗法进行测距,得到数据之后运用组合算法的原理得出综合结果。EMTDC仿真结果表明精度提高,可实现更精确的定位,从而达到更良好的故障测距效果。本文研究提示阻抗法和行波法组合的复线牵引网测距具有良好的应用前景。

## 参考文献:

- [1] Pathirana V, Dirks E, McLaren P G Using Impedance Measurement to Improve the Reliability of Traveling-wave Distance Protection[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2003: 1874-18793.
- [2] 刘家军,李春举,李文玲.在故障测距中应用故障分量电流的阻抗法研究[J].电气化铁道,2003,(5):1-4.  
L U Jia-jun, L I Chun-ju, L I Wen-ling Applying Fault Current Impedance Method in the Fault location[J]. Electrical Railway, 2003, (5): 1-4.
- [3] 马文琪,郎燕生,马昭彦.分布参数输电线路故障模拟及测距[J].电力系统自动化,1996,20(3):7-16.  
MA Wen-qi, LANG Yan-sheng, MA Zhao-yan Distributed Parameters Traction Line Fault Simulation and Location[J]. Automation of Electric Power Systems, 1996, 20(3): 7-16.
- [4] 何正友,钱清泉.电力系统暂态信号的小波分析方法及其应用(一)小波变换在电力系统暂态信号分析中的应用综述[M].电力系统及其自动化学报,2002,14(4):1-6.  
HE Zheng-you, QIAN Qing-quan The Electric Power System Transient Signal Wavelet Analysis Method and Its Application (I): the Application of Wavelet Transform in Electric Power System Transient Signal Analysis Summarizing[J]. Proceedings of the EPSA, 2002, 14(4): 1-6.
- [5] 何正友,钱清泉,刘志刚.一种基于优化小波基的电力系统故障暂态数据压缩方法[EB/OL].中国科技论文在线.  
HE Zheng-you, QIAN Qing-quan, WANG Xiao-nu An

- Electric Power System Fault Transient Data Compression Method Based on Optimal Wavelet [EB/OL]. www.paper.edu.cn
- [6] 陈平,葛耀中,徐丙垠,等. 现代行波故障测距原理及其在实测故障分析中的应用——A型原理 [J]. 继电器, 2004, 32(2): 13-18
- CHEN Ping, GE Yao-zhong, XU Bing-yin, et al Modern Traveling Wave Based Fault Location Principle and Its Applications to Actual Fault Analysis—Type A Principle [J]. Relay, 2004, 32(2): 13-18
- [7] 黄石柱,李建华,赵娟,等. 基于 MATLAB 的电力机车数字仿真模型 [J]. 电力系统自动化, 2002 26(4): 51-55
- HUANG Shi-zhu, LI Jian-hua, ZHAO Juan, et al Matlab Based Digital Simulation Model for Electrical Locomotive [J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(4): 51-55
- [8] 郭其一,易延. 自耦变压器供电方式的电牵引供电系统中的机车驱动谐波污染仿真研究 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15(5): 59-63
- GUO Qi-yi, YI Yan Study of the Simulation of Locomotive Drive Harmonic Pollution in the Electric Traction Power-supply System Adopted the Auto-transformer Mode [J]. Proceedings of the EPSA, 2003, 15(5): 59-63

收稿日期: 2006-04-24; 修回日期: 2006-06-21

作者简介:

马欣 (1982 - ), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力电子及电力传动; E-mail: mxjessie@sina.com.cn

程伟 (19) 男, 博士, 研究方向为电气系电力电子及电力传动。

### Combining the traveling wave method and the impedance method to study the fault location of the double-line traction network

MA Xin, CHENG Wei

(Department of Electrical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** There are two common methods applied in the traction line fault location, the traveling wave method and the impedance method. Each method has advantages and disadvantages. It is difficult to achieve optimized goal with only one method. The present studies have simulated and compared that the traveling wave method and the impedance method were mutual complementary. Therefore, this paper combines the traveling wave algorithm and the impedance algorithm to improve the accuracy of the fault location algorithm. Their advantages are utilized and their disadvantages avoided. The 30 kilometers double-line traction network with locomotive is simulated with the software PSCAD. Both the traveling wave method and the impedance method are used to calculate the fault distances and estimated the errors respectively. After synthetically analysis, the enhanced accuracy simulation results are deduced, and the integrated simulation results have been proved to be highly accurate. The combining-algorithm in the fault location has promising future in the practical application.

**Key words:** fault location; traction line; traveling wave method; impedance method; wavelet analysis

### 许继智能箱变中标陕西电力公司 7 个变电站工程

2006年9月28日,许继公司正式收到了陕西省电力公司招投标管理中心的中标通知书:许继 XGW2-126/40.5/12(Z)智能型箱式变电站中标延安地区的 7 个 35 kV 变电站工程。

XGW2-126/40.5/12(Z)系列智能型箱变是许继电气城乡电网自动化系统部的“三大”产品之一。近两年来,城乡电网部在技术创新、质量推进和客户服务工作方面做了大量卓有成效的工作,努力做到人无我有、人有我优,大家都优比服务,取得了用户的一致认可。在这次箱变招标过程中,许继公司一举囊括 7 个工程合同,充分展示了许继的整体实力和品牌优势,体现了用户对许继的信任。此次中标,也标志着许继箱变产品销售取得新的突破,从而为进一步拓展陕西市场奠定了良好基础。