

一种新方法在监视线保护中的应用

陈奎, 孙常青, 张丽, 唐轶

(中国矿业大学信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘要: 分析了现有煤矿高压防爆开关中监视线保护方法受到杂散干扰信号的影响而容易产生误动和拒动的原因。推导了能实现滤除衰减直流分量的改进全波傅氏算法, 在此基础上提出了终端加电阻的分时变幅交流监视线保护原理, 并对其进行了详细证明。经理论分析、实验和运行证明, 该方法可以很好地滤除直流、衰减直流信号以及分频、工频和高频杂散电流; 尤其对与附加交流频率相同的干扰信号能完全地滤除。所提方法为提高监视线保护的准确性提供了新思路。

关键词: 监视线保护; 干扰信号; 分时变幅; 衰减直流分量

Application of a new method in the cable monitor wire protection

CHEN Kui, SUN Chang-qing, ZHANG Li, TANG Yi

(China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: The reason that existing mine HV explosion-proof switches fail to operate or operate incorrectly which are influenced by stray interference signal is analyzed in this paper. Then improved Fourier algorithm which can realize filtering decaying DC component is derived. It puts forward time-sharing amplitude AC cable monitor wire protection principle with the terminal connected to a resistor based on this algorithm. It's proved by theoretical analysis, experiment and operation that this method is preferable to filter DC and decaying DC signal and stray current of frequency division, power frequency and high-frequency, especially can absolutely filter interference signal of the same frequency with additional AC. This method supplies new thoughts to improve the precision of monitor wire protection.

Key words: cable monitor wire protection; interference signal; time-sharing amplitude; decaying DC components

中图分类号: TD611.5 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)06-0076-04

0 引言

我国现有的大中型煤矿由于综采工作面负荷的负荷功率很大, 为减少供电损耗、电压损失和提高供电的可靠性, 要求将 6 kV 的高压电能送到采区工作面附近的移动变电站。由于井下供电环境的特殊性, 要求变电站向工作面供电采用特殊结构的 6 kV 双屏蔽电缆。实践证明, 采用同时装有漏电保护和监视线保护的高压双屏蔽电缆向综采工作面供电, 可以极大地提高井下供电的可靠性, 减少故障的发生。所谓监视线保护, 就是监视双屏蔽电缆的监视线和接地线之间有无短路或监视线和接地线有无断线故障的一种保护。对 6 kV 双屏蔽电缆进行监视线保护可以起到预先切除故障的作用, 即通过监视线保护, 在漏电等故障以前预先报告故障的发生, 并将故障切除, 减少真正故障的发生率; 同时监视线保护可以减少因发生电缆损坏, 造成主芯线外露

而发生的人身触电事故。因此, 国家对煤矿高压防爆开关中保护的设置中要求对双屏蔽电缆装设监视线保护。同时高压双屏蔽电缆又是如今煤矿上鼓励推广的主要电气设备。

现有的监视线保护主要有以下四种保护原理^[1-3]: ①终端加整流二极管的直流监视线保护原理; ②终端加电阻的附加直流电源的监视线保护原理; ③终端加整流二极管的二次谐波监视线保护原理; ④终端加电阻的交流监视线保护原理。其中第四种保护原理是在前三种保护原理的基础上改进而成的, 并且在考虑消除杂散电流干扰方面也提出了不同的抗干扰算法, 在一定程度上克服了上述三种方法存在的缺点^[2-3]。但是该方法无论是在原理上还是在实践上都无法消除与附加频率相同或非常接近的杂散电流的干扰。当杂散电流中有与附加频率相同或非常接近的杂散电流时, 监视线保护同样会出现误动或拒动现象。因此, 研究具有高可靠性和高

准确性的监视线保护对保证煤矿安全生产具有重大的理论意义和应用价值。

1 杂散电流对交流监视线保护的影响

在煤矿井下供电系统中, 有供动力、照明用的交流供电系统, 也有供电机车用的直流供电系统。在这两个供电系统中, 凡是不经过规定的回路导线而分散地流经水管、电缆外皮、瓦斯管、岩石、煤层、水沟及接地同等的电流被称为杂散电流。杂散电流分直流杂散电流和交流杂散电流两种。其中交流杂散电流除工频杂散电流外还有低频、高频和分频以及其它各种频率的杂散电流。这些杂散电流与整流电路、电力电子设备、非线性负载等多种因素有关, 根本无法确定杂散电流的具体特征。因此, 在设计监视线保护时必须考虑到任何频率杂散电流的干扰情况。

终端加电阻的交流监视线保护的原理如图 1 所示。其中 \dot{U}_j 为附加交流电源; R_z 为终端所加电阻; R_r 为监视线与地线之间的绝缘电阻; R_j 为监视线的电阻; R_d 为地线电阻; C_r 为监视线与地线之间的分布电容; R_l 为限流电阻。

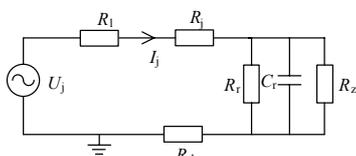


图 1 交流监视线保护原理图

Fig.1 Schematic diagram of AC cable monitor wire protection

由图 1 可知, 当不考虑 C_r 的影响时, 回路所示电流为:

$$I_j = \frac{\dot{U}_j}{R_1 + R_j + R_d + (R_r \cdot R_z) / R_r + R_z} \quad (1)$$

当回路接触电阻 R_j 或 R_d 增大时, 由式 (1) 可知回路电流减小。当监视线与地线之间的绝缘电阻 R_r 减小时回路电流增大。因此, 通过检测附加交流信号的大小就可以检测到监视线回路是否正常。图 2 为监视线保护的正常与故障区间的划分。

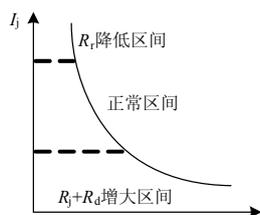


图 2 监视线故障区间的划分

Fig.2 Division of cable monitor wire fault section

但是, 当地线中存在杂散干扰电流时, 假设干扰信号为 \dot{U}_x 时, 上述电流便为:

$$\dot{I}_j = \frac{\dot{U}_j + \dot{U}_x}{R_1 + R_j + R_d + (R_r \cdot R_z) / R_r + R_z} \quad (2)$$

由于 \dot{U}_x 的存在, 使得电流 \dot{I}_j 发生了改变, 如果 \dot{U}_x 与 \dot{U}_j 同方向, 则使 \dot{I}_j 增大, 监视线保护则可认为是绝缘电阻 R_r 的降低, 而造成保护误跳闸; 或者此时正好接触电阻 R_j 或 R_d 增大, 而造成监视线保护拒绝跳闸。当 \dot{U}_x 与 \dot{U}_j 反向时, 则使 \dot{I}_j 减小, 监视线保护就会认为是接触电阻 R_j 或 R_d 增大, 而造成监视线保护的误动; 或者此时正好绝缘电阻 R_r 降低, 而造成监视线保护拒绝跳闸。因此, 采用终端加电阻的交流监视线保护必须考虑到杂散干扰信号的影响。为此文献[1-2]提出了正交变换的滤波算法和增强型傅氏滤波算法。但是上述两种算法只能较好地滤除直流干扰、与附加电源频率成整数倍的倍频干扰。而对衰减直流干扰和非整数倍频的干扰信号只有一定的滤除作用。尤其是当干扰信号频率与附加电源频率完全相同时则无任何滤除作用; 与附加电源频率非常接近信号的干扰也基本无法消除。因此当上述信号存在时也必然会造成监视线保护的拒动或误动。为此本文在上述方法的基础上提出了基于分时变幅法的交流监视线保护原理。

2 具有滤除衰减直流分量影响的傅式算法^[4-12]

假设被采样的信号为:

$$x(t) = X_0 e^{-t/\tau} + \sum_{n=0}^M X_n \sin(n\omega t + \varphi_n) \quad (3)$$

其中: X_0 为直流分量; τ 为衰减时间常数; X_n 、 φ_n 为 n 次谐波的幅值和初相角。

对式 (3) 进行傅式变换可分别得到其实部和虚部:

$$\begin{cases} a_1 = \int_0^T x(t) \cos n\omega t dt = X \sin \varphi_n + \frac{2}{T} \int_0^T X_0 e^{-t/\tau} \cos n\omega t dt = A + \delta_a \\ b_1 = \int_0^T x(t) \sin n\omega t dt = X \cos \varphi_n + \frac{2}{T} \int_0^T X_0 e^{-t/\tau} \sin n\omega t dt = B + \delta_b \end{cases} \quad (4)$$

当经过 ΔT 延时后再进行傅式计算可得:

$$\begin{cases} a_2 = A + (K_{a2} \delta_a - K_{b2} \delta_b) e^{-\Delta T/\tau} \\ b_2 = B + (K_{b2} \delta_a + K_{a2} \delta_b) e^{-\Delta T/\tau} \end{cases} \quad (5)$$

其中:

$$\begin{cases} K_{a2} = \cos n\omega\Delta T \\ K_{b2} = \sin n\omega\Delta T \end{cases} \quad (6)$$

同理经 $2\Delta T$ 延时后可得:

$$\begin{cases} a_3 = A + (K_{a3}\delta_a - K_{b3}\delta_b)e^{-2\Delta T/\tau} \\ b_3 = B + (K_{b3}\delta_a + K_{a3}\delta_b)e^{-2\Delta T/\tau} \end{cases} \quad (7)$$

其中:

$$\begin{cases} K_{a3} = \cos 2n\omega\Delta T \\ K_{b3} = \sin 2n\omega\Delta T \end{cases} \quad (8)$$

对式 (4) ~ (7) 进行化简推导可得:

$$\begin{cases} \delta_a = -\frac{K_{b2}\Delta a_1 - K_{a2}\Delta b_1 + K(K_{a2}\Delta a_1 - K_{b2}\Delta b_1)}{K_{b2} + K^2K_{b2}} \\ \delta_b = K\delta_a \end{cases} \quad (9)$$

其中:

$$\begin{cases} K = \frac{K_{b3}\Delta a_1 + K_{a3}\Delta b_2 - K_c\Delta b_1 - K_{a2}\Delta a_2}{K_c\Delta a_1 + K_{b3}\Delta b_1 - K_{a3}\Delta a_2 - K_{b3}\Delta b_2} \\ K_c = \frac{K_{a2}K_{b3}}{K_{b2}} \end{cases} \quad (10)$$

所以, 将式 (9)、(10) 代入式 (4) 就可得出:

$$\begin{cases} A = a_1 - \delta_a \\ B = b_1 - \delta_b \\ X = \sqrt{A^2 + B^2} \end{cases} \quad (11)$$

3 分时变幅法交流监视线保护原理

基于上述变换后的傅式算法可以消除各种的直流分量、衰减直流分量和高次谐波分量影响。但是当干扰信号中含有与附加交流信号频率相同的分量时, 上述算法则无法消除。基于监视线保护的的特殊性, 本文提出了利用分时变幅法来解决上述问题。由图 1 可见当附加电源幅值发生变化时, 回路电流随之改变。通过利用微机装置自动在这两个电阻之间不断轮流切换; 并利用上述改进后的傅式算法检测不同时刻的电流值, 然后通过数学计算将同频率的干扰信号滤除。假设 $U_{j1} > U_{j2}$, 时刻 1 时的电源为 U_{j1} 。此时, 由图 1 可知检测到的电流为:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{j1} &= \frac{\dot{U}_{j1} + \dot{U}_x}{R_1 + R_j + R_d + (R_r \cdot R_z) / R_r + R_z} = \\ &\frac{\dot{U}_{j1} + \dot{U}_x}{R_2} \end{aligned} \quad (12)$$

其中:

$$R_2 = R_1 + R_j + R_d + (R_r \cdot R_z) / R_r + R_z$$

当附加交流电源变为 U_{j2} , 则此时测量到的电流为:

$$\dot{I}_{j2} = \frac{\dot{U}_{j2} + \dot{U}_x}{R_1 + R_j + R_d + (R_r \cdot R_z) / R_r + R_z} = \quad (13)$$

$$\frac{\dot{U}_{j2} + \dot{U}_x}{R_2}$$

对式 (12) 和式 (13) 分别由式 (11) 求出幅值, 然后相减取绝对值则可得:

$$\Delta U_j = \left| \dot{I}_{j1} \right| - \left| \dot{I}_{j2} \right| = \left| \frac{\dot{U}_{j1}}{R_2} \right| - \left| \frac{\dot{U}_{j2}}{R_2} \right| = \frac{\Delta U_j}{R_2} \quad (14)$$

其中: $\Delta U_j = U_{j1} - U_{j2}$ 。

再将附加电源切换到 U_{j1} , 则可得式 (12), 再与式 (13) 相减又可得 ΔU_j , 如此不断切换检测下去。由式 (14) 可见, 该电流的大小仍然满足监视线保护的功能, 并且消除了 \dot{U}_x 的影响。因此, 检测 ΔU_j 的大小就可以判断出是否发生故障。

4 实验与结论

利用分时变幅交流监视线保护原理设计的微机式综合保护装置, 对监视线保护进行了抗干扰实验。其中微机保护的 A/D 转换器采用 16 位的 AD7656, CPU 为 DSP2812M 芯片。如图 3 所示, 用两根长导线 (约 2 km) 来代替监视线和接地线, 可调电阻 R_r 代替绝缘电阻, 可调电阻 $R_j + R_d$ 代替监视线和地线电阻, 通过改变 R_r 和 $R_j + R_d$ 来模拟监视线回路的各种故障情况。采用信号发生器来模拟各种干扰信号, 附加交流电源的频率为 25 Hz, 每工频周期采样 24 点。图中使用霍尔传感器的目的是使监视线保护的信号经隔离后再进行 A/D 转换, 以防止地线中的干扰信号直接对微机保护装置本身造成影响。信号发生器是由 dSPACE (DS1104) 半实物仿真系统和计算机 Matlab 仿真系统构成^[13-15]。实验中切换时间间隔为 30 ms。附加交流电源采用宽输入范围的

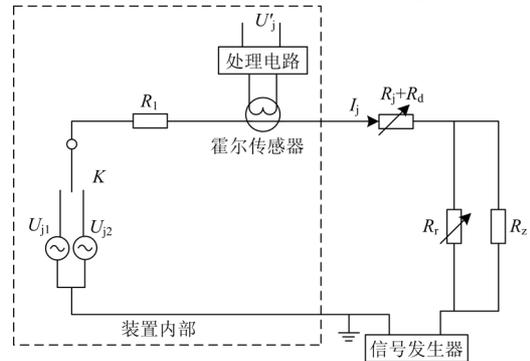


图 3 抗干扰实验原理图

Fig.3 Schematic diagram of anti-interference experiment

稳压输出模块, 当供电电源 $\geq 15\text{ V}$ 时, 该附加交流电源的输出都能保持不变。

利用上述基于改进全波傅氏算法的分时变幅监视线保护进行实验分析。表中的理论和计算值均为等效到A/D输入端的电压信号数据。计算值为同样干扰经10次实验后取误差最大的一次的实验数据结果。干扰信号的幅值与附加电源的最大幅值相等。

当增加表1中各干扰信号的幅值时, 如输入到A/D端的信号还未满幅, 计算误差基本不变。如继

续增大干扰信号当输入到A/D端的信号饱和时则测量误差会加大。为此, 在本设计中对理论值只选择了A/D量程的三分之一, 这样就可以保证干扰信号为最大附加电源信号两倍时测量无误差。变换表2中各干扰信号所占的比例时, 实验所取得的数据基本无变换。通过上述实验可见采用本方法构成的监视线保护其最大测量误差也不会超过2.0%。且与附加电源同频率的干扰信号对该保护不会造成影响。

表1 干扰信号为频率单一时的实验数据

Tab.1 Experimental data of interference signal with single frequency

干扰频率/Hz	0	25	50	75	100	125	150	$\tau = 0.01\text{ s}$	$\tau = 0.02\text{ s}$
理论值/V	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
计算值/V	3.03	2.98	3.01	3.06	3.02	2.99	3.02	2.97	2.99
相对误差	1.0%	0.7%	0.3%	2.0%	0.6%	0.3%	0.7%	1.0%	0.3%

表2 干扰信号同时含表1中的直流和交流信号且 τ 不同取值时的实验数据(各干扰信号幅值相同)

Tab.2 Data of interference signal containing DC and AC signal in Tab.1 with different values (with the same amplitude)

干扰频率/Hz	$\tau = 0.005\text{ s}$	$\tau = 0.01\text{ s}$	$\tau = 0.02\text{ s}$	$\tau = 0.03\text{ s}$	$\tau = 0.1\text{ s}$
理论值/V	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
计算值/V	3.03	2.99	3.05	3.02	2.96
相对误差	1.0%	0.3%	1.7%	0.7%	1.3%

分时变幅交流监视线保护由于采用了改进的傅氏算法和变幅相减的方法, 因此, 可以消除衰减直流分量、各种谐波的影响。尤其是在消除与附加电源同频率信号方面具有其他方法所不具有的特殊优点。高精度A/D转换器的采用也极大地提高了测量精度。整个装置的实验和运行表明, 终端加电阻的分时变幅交流监视线保护原理, 可以很好地滤除各种杂散干扰信号。通过合理选择附加电源和终端电阻的大小, 可使装置的动作值符合现场应用的要求。

参考文献

- [1] 梁睿, 王崇林, 孟庆海, 等. 增强型傅氏算法在监视线保护中的应用[J]. 煤炭学报, 2007, 32(10): 1108-1111. LIANG Rui, WANG Chong-lin, MENG Qing-hai, et al. Application of Improved Fourier Algorithm in the Cable Monitor Wire Protection[J]. Journal of Coal Science & Engineering, 2007, 32(10): 1108-1111.
- [2] 陈奎, 唐轶. 双屏蔽电缆监视线保护原理的研究[J]. 华北电力大学学报, 2000, 27 (3): 50-54. CHEN Kui, TANG Yi. Study on the Protection Principle of the Phase Screened Cable Monitor Wire[J]. Journal of North China Electric Power University, 2000, 27 (3): 50-54.
- [3] 王崇林. 采取6 kV双屏蔽电缆监视线保护原理的探讨[J]. 煤炭科学技术, 1997, 25(1): 19-21.

- WANG Chong-lin. Study on the Protection Principle of Taking the Phase Screened Cable Monitor Wire of 6 kV[J]. Coal Science and Technology, 1997, 25(1): 19-21.
- [4] 黄恺, 孙冬生. 继电保护傅氏算法中滤除直流分量的一种简便算法[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(4): 50-52. HUANG Kai, SUN Ling-sheng. A Compact Algorithm for Filtering Decaying DC Component in Relay Protection Fourier Algorithm[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(4): 50-52.
- [5] 齐先军, 丁明, 温阳东. 一种完全滤除衰减直流分量的短数据窗改进全波傅氏算法[J]. 继电器, 2005, 33 (17): 14-17. QI Xian-jun, DING Ming, WEN Yang-dong. An Improved Short Data Window Full-wave Fourier Algorithm for Completely Filtering Decaying DC Component[J]. Relay, 2005, 33 (17): 14-17.
- [6] 苏文辉, 李钢. 一种能滤去衰减直流分量的改进全波傅氏算法[J]. 电力系统自动化, 2002, 26 (23): 42-44. SU Wen-hui, LI Gang. An Improved Full-wave Fourier Algorithm for Filtering Decaying DC Component[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26 (23): 42-44.
- [7] 覃佳奎, 黄珊. 对两种改进傅氏算法的比较分析[J]. 广东电力, 2008, 21 (4): 15-19.

(下转第83页 continued on page 83)

其中: K_{zq} 为负荷自启动系数, 取 1.6; K_k 为可靠性系数, 取 1.3; K_{fh} 为保护返回系数, 取 0.85。

(2) 进线速断延时闭锁保护定值

$I'_{dz}=4471$ A, 闭锁时延取 50 ms

过流定值:

$$I_{dz} = \frac{K_{zq} K_k}{K_{fh}} I_{fmax} =$$

$$1.2 \times 1.3 \times 350 / 0.85 = 642 \text{ A}$$

动作时限 t_2 取 0.6 s。

6 结语

按照提出的开闭所速断延时闭锁原理, 进行开闭所进、出线电流保护整定, 有效地解决了开闭所进、出线保护的选择性问题, 保证了保护可靠的动作。在设备厂家配合下实现了以上原理的装置, 并应用到实际工程中, 应用表明, 方法是有效的。

参考文献

- [1] 张大立. 城市中压配电网接线与开闭所的配置[J]. 电网技术, 2007, 31(7): 83-86.
ZHANG Da-li. Connection Modes and Switching Station Configuration of Urban Medium Voltage Distribution Network[J]. Power System Technology, 2007, 31(7): 83-86.
- [2] 岳地松. 10 kV 线路保护的整定[J]. 农村电气化,

- 2007(11): 19-20.
YUE Di-song. 10 kV Line Protection Setting[J]. Rural Electrification, 2007(11): 19-20.
- [3] 徐富琪. 电网短线保护的有关问题[J]. 华中电力, 1988 (2): 46-52.
XU Fu-qi. The Problems of Short Line Protection in Power Network[J]. Central China Electric Power, 1988 (2): 46-52.
- [4] 苑画舫. 带重要用户的 10 kV 配网保护整定[J]. 农村电气化, 2003(4): 34-35.
YUAN Hua-fang. 10 kV Power Distribution Network Protection Setting with Important Customers[J]. Rural Electrification, 2003(4): 34-35.
- [5] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理(第三版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 1994.
HE Jia-li, SONG Cong-ju. Principles of Power System Relay Protection, Third Edition[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1994.

收稿日期: 2009-04-06; 修回日期: 2009-06-29

作者简介:

董张卓(1962-), 男, 高级工程师, 博士, 主要研究方向为电力系统自动化和电力系统分析; E-mail: dongzzxa@qq.com

段新(1973-), 男, 工程师, 学士, 主要从事企业供电系统运行技术管理工作。

(上接第 79 页 continued from page 79)

- TAN Jia-kui, HUANG Shan. Comparison between Two Improved Fourier Algorithms[J]. Guangdong Electric Power, 2008, 21 (4): 15-19.
- [8] 陈德树. 计算机继电保护原理与技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992.
CHEN De-shu. Principle and Application of Computer Relay Protection[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1992.
- [9] 熊岗, 陈陈. 一种能滤除衰减直流分量的交流采样新算法[J]. 电力系统自动化, 1997, 21 (2): 24-26.
XIONG Gang, CHEN Chen. A Novel Alternating Current Sampling Algorithm for Filtering Decaying Direct Current Component[J]. Automation of Electric Power Systems, 1997, 21 (2): 24-26.
- [10] 李斌, 李永丽, 贺家李. 一种提取基波分量的高精度快速滤波算法[J]. 电力系统自动化, 2006, 30 (10): 39-43.
LI Bin, LI Yong-li, HE Jia-li. Accurate and Fast Filtering Algorithm for Fundamental Component[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30 (10): 39-43.
- [11] 吴小培, 李晓辉, 孔敏, 等. 基于独立分量分析的谐波估计和消除[J]. 电工技术学报, 2003, 18(4): 56-60.
WU Xiao-pei, LI Xiao-hui, KONG Min, et al. Harmonic Estimation and Removal Based on Independent Component Analysis[J]. Transactions of China Electro technical Society, 2003, 18 (4): 56-60.
- [12] 朱桂英, 龚乐年. 傅氏算法在微机保护应用中的探讨[J]. 电力系统及其自动化学报, 2005, 17 (4): 41-43.
ZHU Gui-ying, GONG Le-nian. Discussion on Application of Fourier Algorithm in Microcomputer Protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 17 (4): 41-43.
- [13] dSPACE GmbH. dSPACE Release New Features and Migration (for release 3.5) [Z]. 2003.
- [14] dSPACE GmbH. Real-Time Interface (RTI and RTI-MP) Implementation Guide (for release 3.5) [Z]. 2003.
- [15] dSPACE GmbH. Modular System based on Ds1005 Installation and Configuration Guide(for Release 3.5)[Z]. 2003.

收稿日期: 2009-04-07; 修回日期: 2009-05-12

作者简介:

陈奎(1973-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为电力系统继电保护和煤矿供电安全及保护。E-mail: jdbh2001@163.com