

文章编号: 1671- 251X(2010) 08- 0061- 04

煤矿高压电网对地电容电流实用计算方法的研究

赵让民¹, 高庆华², 孙 方³, 刘 冲³

(1. 焦作煤业(集团)有限责任公司演马庄矿, 2. 河南理工大学电气工程与自动化学院, 河南 焦作 454003;
3. 义马煤业集团股份有限公司机电部, 河南 义马 472300)

摘要: 介绍了一种煤矿高压电网对地电容电流的计算方法, 给出了实例计算。运用该方法对多个煤矿的电网进行了计算分析, 计算值与测量结果大致吻合, 验证了该计算方法基本符合实际, 且简单、准确, 是一种较好的实用精确计算方法。

关键词: 煤矿; 高压电网; 单相接地故障; 接地电容电流; 计算

中图分类号: TD611. 5; TM771 **文献标识码:** A

Research of a Practical Calculation Method of Grounding Capacity Current of High-voltage Power Network in Coal Mine

ZHAO Rang-min¹, GAO Qing-hua², SUN Fang³, LIU Chong³

(1. Yanmazhuang Mine of Jiaozuo Mining (Group) Co., Ltd., Jiaozuo 454003, China.

2. School of Electrical Engineering and Automation of Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China.

3. Mechanical and Electrical Department of Yima Coal Group Co., Ltd., Yima 472300, China)

Abstract: The paper introduced a calculation method of grounding capacity current of high-voltage power network in coal mine, and gave a calculation of actual example. Using the method to calculate and analyze several coal mine power networks, the calculation results fit in measured results, which proved the calculation method is factual, simple, accurate, and is an accurate and valuable method.

收稿日期: 2010- 04- 29

作者简介: 赵让民(1966-), 男, 河南延津人, 助理工程师, 现任焦作煤业(集团)有限责任公司演马庄矿安监科科长, 长期从事采矿专业的研究管理工作。E-mail: wujun@hpu.edu.cn

- [4] 张举, 王兴国, 李志雷. 小波包能量熵神经网络在电力系统故障诊断中的应用[J]. 电网技术, 2006, 30(5): 84-87, 92.
- [5] 汪蔚, 王荣杰, 胡清. 基于 PCA 和神经网络的故障诊断技术[J]. 计算机工程, 2008, 34(7): 184-188.
- [6] 占勇, 程浩忠, 丁屹峰, 等. 基于 S 变换的电能质量扰动支持向量机分类识别[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(4): 51-56.
- [7] 胡昌华. 基于 Matlab 的系统分析与设计——小波分析[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999.
- [8] 陈小勤, 何正友. 基于小波熵和小波熵权的电能质量扰动识别[J]. 电力科学与工程, 2006(1): 1-5.
- [9] 王承. 基于神经网络的模拟电路故障诊断方法研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2005.
- [10] 李艳梅. 面料性能对服装造型的影响[J]. 中国电机工程学报, 2007, 21(2): 180-183.
- [11] 唐求, 王耀男, 郭斯羽, 等. 基于 S 变换与 PNN 的电能质量多扰动检测[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(8): 1668-1673.
- [12] 姬东朝, 宋笔锋, 易华辉. 基于概率神经网络的设备故障诊断及仿真分析[J]. 火力与指挥控制, 2009, 34(8): 82-85.
- [13] YOUSSEF A M, ABDEL-GALIL T K, ELSAADANY E F, et al. Disturbance Classification Utilizing Dynamic Time Warping Classifier[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 2004, 19(1): 272-278.

Key words: coal mine, high voltage power network, single phase grounding fault, grounding capacity current, calculation

0 引言

单相接地故障是影响煤矿高压电网安全供电的主要因素之一,随着煤矿供电网络的扩大,当煤矿井下高压电网发生单相接地故障时,接地电容电流也会增大,给煤矿安全运行带来很大的危害。《煤矿安全规程》2009 年版第 457 条规定:矿井高压电网必须采取措施限制单相接地电容电流不超过 20 A。因此,准确地计算出电网的单相接地电容电流,为电网的安全运行提供可靠的数据是很有必要的^[1-2]。

煤矿高压 6 kV 电网中单相接地电容电流由电力线路(电缆和架空线路)和电力设备 2 个部分的电容电流组成。架空线路的电容电流比同样长度下的电缆电容电流小得多,电缆线路电容电流在同样的电压等级下,如采用油浸纸电力电缆,则每千米的电容电流为架空线电流的 25 倍(三芯电缆),或者为架空线电容电流的 50 倍(单芯电缆)。根据经验,架空线路接地电容电流可以取为电缆对地电容电流的 4%;而电气设备的电容电流比电力线路小得更多,根据经验,由电气设备所引起的电容电流可以取为电缆及架空线对地电容电流总和的 18%。所以通常情况下只需计算电缆和架空线路的电容电流,再加上电气设备的对地电容电流,即为整个电网总的单相接地电容电流。本文给出了一种实用的煤矿高压电网对地电容电流计算方法,该方法简单、准确,具有较好的参考价值。

1 煤矿高压电网对地电容电流计算方法

1.1 查表法计算 6 kV 线路单相接地电容电流

架空线单相接地电容电流较小,如表 1 所示^[3]。

表 1 架空线单位长度的电容电流值

电压等级	单回路/(A·km ⁻¹)		双回路/(A·km ⁻¹)	
	无地线	有地线	无地线	有地线
6 kV	0.020		0.028	

电缆的型号、截面不同时,其分布电容值也有所不同。生产厂家根据理论设计和出厂测试的数据,将不同电压等级、型号、截面电缆的单位长度每相对地电容值与单相接地电容电流值列表示出,供用户参考,如表 2 所示。

表 2 常用 6 kV 电缆单位长度的电容电流值与每相对地电容值

横截面积/mm ²	电容电流值 I/(A·km ⁻¹) 及每相对地电容值 C/(μF·km ⁻¹)					
	纸绝缘		交联聚乙烯 (天津产)		交联聚乙烯 (上海产)	
	I	C	I	C	I	C
	25	0.450 0.141	0.633 0.181	0.609 0.188		
35	0.520 0.160	0.695 0.208	0.702 0.216			
50	0.590 0.181	0.766 0.228	0.795 0.244			
70	0.710 0.218	0.832 0.255	0.888 0.272			
95	0.820 0.252	0.923 0.283	0.985 0.302			
120	0.890 0.273	1.087 0.333	1.160 0.356			
150	1.100 0.337	1.178 0.361	1.260 0.386			
185	1.200 0.368	1.243 0.381	1.340 0.411			
240	1.300 0.399					

1.2 6 kV 电网单相对地电容电流实用计算方法

1.2.1 电缆对地电容电流计算方法

根据电力系统设计手册的计算方法,6 kV 电缆单相接地电容电流可由如下较精确的经验计算公式计算:

$$I_{c,d} = K \cdot U \cdot L \tag{1}$$

式中:经验系数 $K = (95 + h_i S)/(2\,200 + 6S)$; U 为电缆线路的额定电压, kV; L 为电缆的长度, km; S 为电缆芯线横截面积, mm²; h_i 为截面系数。截面系数 h_i 与电缆芯线横截面 S 之间的关系如表 3 所示。表 3 中, $h_{35} = 5.3$, $h_{120} = 3.3$ 等。

表 3 截面系数 h_i 与电缆芯线横截面积 S 之间的关系

	S/mm ²						
	35	50	70	95	120	150	185
h_i	5.3	4.5	4.0	3.7	3.3	3.3	3.3

1.2.2 架空线路对地电容电流计算方法

架空线路的对地电容电流远小于电缆线路,而且煤矿 6 kV 架空线路均无架空地线。根据电力系统设计手册的计算方法,6 kV 架空线路单相接地电容电流可由如下经验公式计算:

$$I_{l,d} = 1.1 \times 4.2U \times L \times 10^{-3} \tag{2}$$

式中:1.1 为经验系数,因水泥杆、塔线路增 10%。

1.2.3 电气设备对地电容电流计算方法

根据经验,6 kV 电气设备对地电容所引起的单相接地电容电流约为电缆及架空线对地电容电流总和的18%(10 kV 为16%,35 kV 为13%)。

据此可较精确地计算在分列运行状态下,以各段6 kV 母线为电源的相对独立的煤矿高压电网单相接地电容电流,公式如下:

$$I_{d.6} = K_1 K_2 (\Sigma I_{L.d} + \Sigma I_{c.d}) \quad (3)$$

式中: $I_{d.6}$ 为相对独立的6 kV 电网单相接地电容电流,A; K_1 为天气系数,晴朗干燥天气时 $K_1=1$,阴雨天气时 $K_1=1.05$; K_2 为电网中所接高压电气设备增值系数,6 kV 电网 $K_2=1.18$; $\Sigma I_{L.d}$ 为该6 kV 电网所有有电联系的架空线路单相接地电容电流之和,A; $\Sigma I_{c.d}$ 为该6 kV 电网所有有电联系的电缆路单相接地电容电流之和,A。

2 实例分析

2.1 概述

某矿35 kV 地面变电站由2路1.8 km、150 mm²的架空线路供电,35 kV 侧采用全桥接线,2台主变压器为SZ11-16000 kVA,35/6.6 kV 型,变压器低压侧中性点不接地,地面6 kV 为单母线由断路器分为2段,正常时2回电源线路、2台主变压器和2段6 kV 母线均并列运行,有利于线路降损、负荷分配和提高供电可靠性。

由地面35 kV 变电所2段6 kV 母线上共引出4回下井电缆,到井下中央变电所,截面为185 mm²、长度为1.4 km,井下中央变电所6 kV 亦采用单母线分2段运行。由地面西瓦斯抽放站6 kV 变电所引出2回95 mm²电缆至井下4号变电所,长度为1.65 km,供14161综采工作面用电;由地面15区6 kV 变电所引出2回185 mm²电缆至井下12号变电所,长度为1.2 km,供15091综采工作面用电。井下共有9座6 kV 变电所,全部采用2回路供电、母线分段运行的方式。

2.2 6 kV 电网单相接地电容电流的计算

2.2.1 地面35 kV 变电所6 kV 母线I段

这里计算该段母线上的线路或设备当发生单相接地故障时,在接地点产生的单相接地电容电流,计算公式采用公式(1)、(2)和(3)。首先根据该矿供电系统简图列出所有线路的类型、截面和长度,然后分类型和截面规格计算出各部分的总长度,接着按照式(1)、(2)计算各部分的单相接地电容电流,最后利用式(3)计算出该6 kV 母线I、II段的单相接地电

容电流。

(1) 各类线路的基本参数(6 kV 母线I段所属)

① 架空线路

240 mm²/6 km; 185 mm²/1.8 km; 120 mm²/3.5 km; 120 mm²/1.8 km; 50 mm²/1.2 km; 50 mm²/0.6 km。

② 电缆线路

地面6 kV 母线I段直属:

185 mm²/2 × 1.4 km; 70 mm²/0.4 km; 50 mm²/0.56 km; 50 mm²/0.4 km; 50 mm²/0.26 km; 50 mm²/0.2 km; 35 mm²/0.52 km; 35 mm²/0.5 km。

地面15区变I段:185 mm²/1.2 km; 50 mm²/0.5 km。

井下12号变I段:35 mm²/0.78 km; 35 mm²/0.65 km; 35 mm²/0.5 km。

地面11区变I段:50 mm²/0.2 km。

地面东瓦斯抽放I段:50 mm²/0.5 km。

地面14区变I段:95 mm²/1.65 km; 35 mm²/0.3 km。

井下4号变I段:70 mm²/1 km; 70 mm²/0.75 km。

井下中央变电所I段:70 mm²/2.65 km; 70 mm²/1.26 km; 70 mm²/0.8 km。

井下5号变I段:70 mm²/0.76 km。

井下9号变I段:35 mm²/0.36 km。

(2) I段所连各类线路总长度及单相接地电容电流

① 架空线路

总长度 $L_{L.km} = 6 + 1.8 + 3.5 + 1.8 + 1.2 + 0.6 = 14.9$

按式(2)计算

$$I_{L.d|A} = 1.1 \times 4.2U \times L \times 10^{-3} =$$

$$1.1 \times 4.2 \times 6 \times 14.9 \times 10^{-3} = 0.413$$

② 电缆线路

185 mm² 电缆:

总长度 $L_{L.km} = 2 \times 1.4 + 1.2 = 4$

按式(1)计算:

$$K = (95 + h_{185}S)/(2200 + 6S) =$$

$$(95 + 3.3 \times 185)/(2200 + 6 \times 185) =$$

$$0.2131$$

$$I_{c.d|A} = K \cdot U \cdot L = 0.2131 \times 6 \times 4 =$$

$$5.1144$$

95 mm² 电缆:

$$K = (95 + h_{95}S) / (2 \ 200 + 6S) = \\ (95 + 3.7 \times 95) / (2 \ 200 + 6 \times 95) = \\ 0.161 \ 2$$

所以有

$$I_{c.d|A} = K \cdot U \cdot L = 0.161 \ 2 \times 6 \times 1.65 = \\ 1.595 \ 9$$

70 mm² 电缆:

$$\text{总长度 } L|_{km} = 0.4 + 1 + 0.75 + 2.65 + 1.26 + \\ 0.8 + 0.76 = 7.62$$

$$K = (95 + h_{70}S) / (2 \ 200 + 6S) = \\ (95 + 4 \times 70) / (2 \ 200 + 6 \times 70) = 0.143 \ 1$$

所以有

$$I_{c.d|A} = K \cdot U \cdot L = 0.143 \ 1 \times 6 \times 7.62 = \\ 6.542 \ 5$$

50 mm² 电缆:

$$\text{总长度 } L|_{km} = 0.56 + 0.4 + 0.26 + 0.2 + 0.5 + \\ 0.2 + 0.5 = 2.62$$

$$K = (95 + h_{50}S) / (2 \ 200 + 6S) = \\ (95 + 4.5 \times 50) / (2 \ 200 + 6 \times 50) = 0.128$$

所以有

$$I_{c.d|A} = K \cdot U \cdot L = 0.128 \times 6 \times 2.62 = \\ 2.012 \ 2$$

35 mm² 电缆:

$$\text{电缆总长度 } L|_{km} = 0.52 + 0.5 + 0.78 + 0.65 + \\ 0.5 + 0.3 + 0.36 = 3.61$$

$$K = (95 + h_{35}S) / (2 \ 200 + 6S) = \\ (95 + 5.3 \times 35) / (2 \ 200 + 6 \times 35) = \\ 0.116 \ 4$$

所以有

$$I_{c.d|A} = K \cdot U \cdot L = 0.116 \ 4 \times 6 \times 3.61 = 2.521$$

(3) 地面 6 kV 母线 I 段的单相接地电容电流按式(3)和考虑不利的阴雨天气, K_1 取 1.05,

K_2 取 1.18。

$$\sum I_{l.d|A} = I_{l.d} = 0.413$$

$$\sum I_{c.d|A} = 5.114 \ 4 + 1.595 \ 9 + 6.542 \ 5 + 2.012 \ 2 + \\ 2.521 = 17.483$$

故得

$$I_{d.6.I|A} = K_1 K_2 (\sum I_{l.d} + \sum I_{c.d}) = \\ 1.05 \times 1.18 (0.413 + 17.483) = \\ 22.2$$

该值已超出《煤矿安全规程》不允许超出 20 A 的规定。

2.2.2 地面 35 kV 变电所 6 kV 母线 II 段

II 段单相接地电容电流计算目的、公式、方法步

骤与 6 kV 母线 I 段相同, 经计算得出结果:

$$I_{d.6.II|A} = K_1 K_2 (\sum I_{l.d} + \sum I_{c.d}) = \\ 1.05 \times 1.18 (0.413 + 23.224) = 29.3$$

该值已超出《煤矿安全规程》规定的不允许超出的值(20 A)。

2.2.3 计算结果分析

(1) 2 段母线单相接地电容电流的计算结果是供电系统中理论上的最大值, 实际运行中若有些线路未投入或某些变电所的某段母线处于带电备用状态, 其单相接地电容电流会相应减少, 在实际测定时常遇到此情况。因此, 只有该段母线所有线路都带电运行的情况下, 理论计算值与实际测定值才有对比性。

(2) 当 35 kV 变电所因故采用一台变压器使用, 一台变压器备用的运行方式时, 地面 6 kV 母联开关必定合闸运行, 此时形成单母线不分段运行, 则所有运行线路均通过该不分段的单母线形成直接的电联系, 结果使得这种情况下的单相接地电容电流有较大的增加。

(3) 现场测量过程中, 采用河北旭辉电气股份有限公司生产的 DRY-2 型电容电流测量仪对该矿 6 kV 高压电网母线 I 段、II 段的电容电流进行了 3 次测量(I 段平均值为 22.8 A、II 段平均值为 29.7 A), 均能保持较高的准确度。通过对比分析, 计算值与测量结果大致吻合, 验证了本计算方法基本符合实际, 是一种较好的实用精确计算方法。

3 结语

(1) 煤矿高压电网对地电容电流计算方法简单、实用, 运用该方法对 20 多个煤矿进行计算分析, 计算结果均与测量值相吻合, 具有较好的参考价值。

(2) 该计算方法为电网的安全运行提供了可靠的数据, 同时为煤矿进一步治理单相接地电容电流提供了有力的参考依据, 能为煤矿带来巨大的经济效益。

参考文献:

- [1] 国家煤矿安全生产监督管理总局. 煤矿安全规程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2009.
- [2] 金兆民. 煤矿 6 kV 电网消弧线圈补偿对高压选择性接地保护装置的影响[J]. 煤炭科学技术, 1997, 25(2): 1-6.
- [3] 陈立军. 10 kV 配电网单相接地电容电流的工程计算方法探讨[J]. 继电器, 2006(15): 83-85.