

文章编号:1001-1609(2007)06-0471-03

关于复合外套 MOA 机械强度计算问题的研究

马春华

(中国电力投资集团巴公发电厂, 山西 晋城 048002)

Calculation of Mechanical Strength for Polymeric Metal Oxide Arresters

MA Chun-hua

(Bagong Power Plant of China Power Investment Corporation, Jincheng 048002, China)

摘要: 针对电力系统应用广泛的复合外套金属氧化物避雷器(PMOA)机械强度的计算问题,进行了分析研究,并提出了定量分析公式,即采用 PMOA 顶端的转角 θ 和挠度 f 来衡量载荷对避雷器变形量的大小。分析计算结果表明:在载荷一定的情况下,减少 PMOA 的长度可以明显减小外部载荷对其产生的变形量,从而提高其机械性能。

关键词: 复合外套金属氧化物避雷器; 机械强度计算;
定量分析公式

中图分类号: TM862

文献标志码: A

Abstract: This paper analyzes the strength of the polymeric metal oxide arrester extensively used in electric power system, and puts forward a formula for quantitative analysis adopting PMOA top angle θ and deflection f to measure the deformation. The calculation results show that within a certain load range, shortening the length of PMOA obviously reduces its deformation due to external load and hence enhances its strength.

Key words: polymeric metal oxide arrester(PMOA);
strength calculation; analysis formula

0 引言

复合外套产品的应用已有近 40 多年的历史。早期复合材料主要包括环氧树脂、乙丙橡胶、室温硫化硅橡胶等,直至 20 世纪 70 年代高温硫化硅橡胶作为外绝缘的产品首先在德国问世。国外使用其主要用来防止枪击、方便运输等,而在国内主要用来提高输变电设备的耐污秽能力。

传统的碳化硅(SiC)避雷器在技术上几乎已发展到了极限,要想进一步降低其保护水平和提高其保护性能也已相当困难。于是,20 世纪 90 年代出现了复合外套金属氧化物避雷器(PMOA),它具有极其优异的非线性特性,在正常工作电压的作用下,其阻值很大(电阻值高达 $10^{10} \sim 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$),通过的漏

电流很小($< 1 \text{ mA}$),而在过电压的作用下,阻值会急剧变小。它将金属氧化物避雷器和有机硅橡胶材料的优异特性聚为一体,成为原瓷质外套避雷器的更新换代产品。在配电和变电系统中,用于限制系统中可能出现的各种过电压以保证输变电设备的安全运行。

复合外套氧化物避雷器采用伏安特性优异、通流能力好的氧化锌电阻片作为芯体,外套采用耐电蚀抗老化、弹性好、机械强度高、一次整体模压成型的硅橡胶作为绝缘外套,集中了有机复合绝缘和氧化锌电阻片两者的优点。

与传统的碳化硅 SiC 避雷器相比,PMOA 具有以下优点:①体积小、重量轻,避雷器安装可以悬挂,又可立柱式安装;②密封性能好,防潮防爆性能好,无炸裂危险;③具有优良的外绝缘性能,憎水性好,耐污能力强;④耐电蚀,抗老化,耐高低温性能好;⑤两端金具采用不锈钢材料,外表美观,防腐性能好;⑥机械强度高,不宜破损,便于运输;⑦性能稳定,减少运行维护,3~5 年免维护。

PMOA 使用环境的条件:①环境温度不高于 $+40^\circ\text{C}$,不低于 -40°C ;②太阳光辐射;③海拔高度不超过 2000 m;④电源频率不小于 48 Hz,不超过 62 Hz;⑤长期施加在避雷器上间的工频电压不超过避雷器持续运行电压;⑥最大风速不超过 35 m/s;⑦地震烈度 8 度及以下地区。

正是由于具有以上非线性性能优异、抗污能力强、重量轻等特点,因而得到了日益广泛的应用。环氧管是 PMOA 的主要承力部件,其性能尺寸决定了 PMOA 的机械强度,直接影响到 PMOA 的长期安全运行。因此很有必要对其机械强度进行研究。

1 分析计算

PMOA 一般是由硅橡胶复合外套、环氧管、电

收稿日期:2007-09-17; 修回日期:2007-11-03

作者简介:马春华(1974-),男,山西省晋城市人,工程师,从事电气工程及其自动化的研究。

阻、内腔填充物、连接金具等组件构成的复杂综合体,考虑到除环氧管以外的组件对其机械强度影响较小,可将PMOA视为仅由环氧管决定其机械强度的弹性体,并假定环氧管材料均匀连续、各向同性,在外力的作用下,PMOA的几何形状及尺寸的改变与其总尺寸比较起来很小,即不考虑外力作用点在物体变形时所产生的位移。

1.1 PMOA长期承受的机械力

PMOA长期承受的机械力^[1,2],主要包括:①PMOA顶端承受导线的最大允许水平拉力 F_1 ,其数值见表1;②作用于PMOA上的风压力 $F_2 = \frac{v_0^2}{16} \alpha S \times 9.8$,式中 v_0 为最大风速,m/s; S 为考虑表面覆冰厚度2cm后的迎风面积,m²; α 为空气动力系数,依风速而定,当 $v_0 \leq 35$ m/s时, $\alpha = 0.8$ ^[3-5]。

表1 允许导线的最大水平拉力

PMOA 额定电压有效值/kV	允许导线的最大水平拉力/N
2.3~20	147
42~90	294
96~216	490,980
288~468	980,1470

1.2 PMOA承受的地震力

地震强度达8度的地区,地面水平加速度按0.25g计算(g 为重力加速度),考虑到要有一定的裕度,计算时取0.30g,则PMOA承受的水平地震力 F_3 为0.3mg。式中 m 为PMOA的质量,kg^[4,5]。

1.3 PMOA的机械强度计算

载荷对PMOA的影响采用PMOA顶端的转角 θ 和挠度 f 来表示。两者的概念分别是:PMOA顶端的转角 θ 是指该横截面在载荷的作用下的角位移,挠度 f 是指该横截面在载荷的作用下,其形心沿着垂直于变形前PMOA轴线方向的位移。

假设PMOA表面覆冰,同时有大风并发生地震,则导线水平拉力 F_1 、风压力 F_2 和水平地震力 F_3 同时作用于PMOA,视风压力 F_2 和水平地震力 F_3 为均匀分布载荷,考虑最严重的情况, F_1 、 F_2 和 F_3 方向一致,PMOA在这些载荷的作用下,其顶端的转角 θ 和挠度 f 分别为^[3-6]

$$\theta = \frac{F_1 l^2}{2EJ} + \frac{F_2 + F_3}{l} \frac{l^3}{6EJ} \quad (1)$$

$$f = \frac{F_1 l^3}{3EJ} + \frac{F_2 + F_3}{l} \frac{l^4}{8EJ} \quad (2)$$

式(1)、(2)中 l 为PMOA的长度,m; θ 为PMOA的纵弹性模量,Pa,用环氧管的纵弹性模量代替,其可用实验方法求出; J 为惯矩, $J = (D^4 - d^4)/64$,m⁴,其中 D 为环氧管的外径; d 为环氧管的内径。

将 J 的表达式代入式(1)、(2)中得到

$$\theta = \frac{32(3F_1 + F_2 + F_3)l^2}{3\pi E(D^4 - d^4)} \quad (3)$$

$$f = \frac{8(8F_1 + 3F_2 + 3F_3)l^3}{3\pi E(D^4 - d^4)} \quad (4)$$

2 举例说明

笔者以纵弹性模量 E 的测量计算为例说明以上计算公式的应用。

相关资料中都没有给出 E 的指标,而 E 值是决定PMOA机械强度的主要参数,此参数可以通过实验的方法得出。

下面以9363型号的环氧管为例进行说明。其尺寸分别是 $\phi 80/\phi 100 \times 1\,060$ (即内径是80mm,外径是100mm,长是1060mm)和 $\phi 80/\phi 104 \times 1\,070$ (即内径是80mm,外径是104mm,长是1070mm),将其端部加工成螺纹并与法兰固定在一起,为了使法兰与环氧管连接牢固,需要在这两者之间和螺纹之间填充粘接剂。

试品水平放置,在端部施加重物,测量其变形量。试品在相对方向上测量两次(相对方向的概念是:在第1次实验后,将环氧管沿轴向旋转180°),实验示意图见图1。

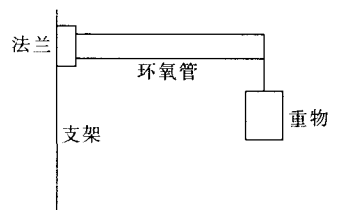


图1 用实验方法测量 E 的示意图

实验过程中,每施加1500N的负荷,应保持1min,然后测量端部的变形量,直到负荷增加到6000N时停止,此时当卸掉负荷后试品应恢复原状,没有观测到永久变形,可将其看作弹性变形。

在式(4)中,若令 F_2 和 F_3 为零,可得到式(5)

$$E = \frac{64F_1 l^3}{3\pi f(D^4 - d^4)} \quad (5)$$

利用式(5)计算的实验结果见表2。由表2可求出 E 的平均值是11.98、10.95GPa,对两者求平均值可得到11.5GPa,从而可得到 E 的相近数值。

3 结论

(1)由式(3)、(4)可得出:在载荷一定的情况下,PMOA顶端的转角 θ 与其长度 l 的平方成正比,挠度 f 与其长度 l 的立方成正比,即减少PMOA的长度可以明显减小外部载荷对其产生的变形量,从而提高其机械性能。

(2)通过上述对9363型环氧管值的实例计算,

表 2 尺寸为 $\phi 80/\phi 100 \times 1\,060$ 与 $\phi 80/\phi 104 \times 1\,070$ 的环氧管试品的变形量和 E 值

测量 方向	负荷/ N		变形量/ mm		E/GPa		E 的平均值/ GPa	
	$\phi 80/\phi 100 \times$ 1 060	$\phi 80/\phi 104 \times$ 1 070	$\phi 80/\phi 100 \times$ 1 060	$\phi 80/\phi 104 \times$ 1 070	$\phi 80/\phi 100 \times$ 1 060	$\phi 80/\phi 104 \times$ 1 070	$\phi 80/\phi 100 \times$ 1 060	$\phi 80/\phi 104 \times$ 1 070
第 1 次 试 验	1 500	1 500	17	14	12.09	11.72		
	3 000	3 000	35	31	11.74	10.59		
	4 500	4 500	51	46	12.09	10.70	12.00	10.90
	6 000	6 000	68	62	12.09	10.59		
将环氧 管沿 轴向 旋转 180°	1 500	1 500	17	15	12.09	10.94		
	3 000	3 000	35	30	11.74	10.94		
	4 500	4 500	51	44	12.09	11.91	11.96	11.00
	6 000	6 000	69	60	11.91	10.94		

得出了 E 的近似值,即为 11.5 GPa。此方法可被应用到其它 PMOA 机械强度的计算中去。

(3) E 值的作用:主要反映了环氧管变形量,即机械强度的性能。

(4)虽然相关书籍都没有给出 E 的参数,但可以利用式(3)、(4)对 PMOA 的机械强度进行计算,从而得出相近的数值,为设计生产 PMOA 的单位提供一定的参考值。

参考文献:

- [1] IEC 60099-4. 交流系统用无间隙金属氧化物避雷器[S].
- [2] GB 11032-2000. 交流系统用无间隙金属氧化物避雷器[S].
- [3] 刘鸿文. 材料力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997.
- [4] 交流输电线路用复合外套金属氧化物避雷器 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [5] GB/T 311.1~311.6-1983. 高压输变电设备的绝缘配合高电压试验技术[S]. 北京: 中国标准出版社, 1985.
- [6] 邱毓昌. 高电压工程[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1995.

(上接第 465 页)

- [1] Surface Flashover Insulator Technology [C]// Albuquerque: 9th IEEE International Pulsed Power Conference, 1993: 257-260.
- [2] NUNNALLY W C, KROGH M. Investigation of Vacuum Insulator Surface Dielectric Strength with Nanosecond Pulses [C]// Dallas, Texas: 2003 Pulsed Power Conference, 2003: 15-18.
- [3] SAMPAYAN S E, CAPORASO G J, SANDERS D M, et al. High-performance Insulator Structures for Accelerator Applications [C]// New York: Particle Accelerator Conference, 1998: 1 308-1 310.
- [4] SAMPAYAN S E, VITELLO P A. Multilayer High Gradient Insulator Technology [J]. IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, 2000, 17(3): 334-339.
- [5] CAPORASO G. Progress in Induction Linacs [C]// Monterey, California: XX International Linac Conference, 1999: 658-662.
- [6] ANDERSON R A, BRAINARD J P. Mechanism of Pulsed Surface Flashover Involving Electron Stimulated Desorption [J]. J. Appl. Phys. 1980, 51(6): 1 414-1 421.
- [7] LEOPOLD J G, DAI U, FINKELSTEIN Y, et al. Optimizing the Performance of Flat-surface, High-gradient Vacuum Insulators[J]. IEEE Appl. & Tech. Phys., 2005: 12(3): 530-536.
- [8] 唐传林, 季承钧, 单书发. 绝缘材料工艺原理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1993.
- [9] RODNEY M J, VAUGHAN. A New Formula for Secondary Emission Yield [J]. IEEE Trans. on Electron Devices, 1989, 36(9): 1 963-1 967.

第 1 届电器装备及其智能化学术会议在西安召开

简 讯

西安交通大学电力设备电气绝缘国家重点实验室和西安高压电器研究所共同主办的第 1 届电器装备及其智能化学术会议于 11 月 8 日~10 日在西安召开。本届学术会议由中国电工技术学会电接触及电弧专业委员会、输变电设备专业委员会、电器智能化系统及应用专业委员会和中国电机工程学会变电专业委员会共同发起,会议的主题是电器领域节能、环保、智能化等技术的创新与发展和产品研发。来自国内外 110 个单位的 236 名专家学者参加了本次会议,会议共收录学术论文 106 篇,其中在会上宣读的论文有 29 篇。

西安交通大学党委书记、中国电工技术学会副理事长、电力设备电气绝缘国家重点实验室主任王建华教授担任会议主席,中国西电集团副总经理、西安高压电器研究所有限责任公司董事长裴振江教授级高工和中国电工技术学会理事、电接触及电弧专业委员会主任委员马志瀛教授担任会议副主席。会议还特别邀请了西安交通大学张杭教授和 IEC/SB1 主席池田久利博士分别作了《电器智能化新技术》、《IEC 相关动态》的专题报告。