

文章编号: 1001-4322(2005)07-1047-04

强电磁场对某型无线电引信安全性的影响*

陈亚洲, 魏光辉, 刘尚合

(军械工程学院 静电与电磁防护研究所, 河北 石家庄 050003)

摘要: 为了研究强雷电电磁场(LEMP)对没有保护状态下无线电引信性能的影响,对 LEMP 进行了模拟。利用 MARX 发生器向宽带横电磁波(GTEM)室注入雷电电压波,在 GTEM 室内产生模拟的 LEMP 电场;利用浪涌发生器向亥姆霍兹线圈注入雷电电流波,在线圈内产生模拟的 LEMP 磁场。根据某型无线电引信可能遭遇的雷电电磁环境,对处于勤务处理状态的该型无线电引信进行了辐照效应实验,测试辐照前后引信的性能指标,对其差异进行比较,分析了 LEMP 对该型无线电引信性能指标的影响。结果表明,在强的雷电电磁场环境下 LEMP 电场会损坏该型无线电引信的高频组件,使其不能产生探测信号,导致引信不能正常发火;LEMP 电场还会损坏检波电路,使检波直流电压不能达到正常指标,从而导致引信也不能正常发火;LEMP 磁场对该型引信性能基本没有影响。

关键词: 无线电引信; 宽带横电磁波室; 强雷电电磁脉冲; 电磁辐照效应

中图分类号: TJ430.6 **文献标识码:** A

随着微电子技术的发展,各种集成电路尤其是引信专用集成电路(ASIC)已在现代引信中获得广泛应用^[1],如美国 MPF35 自适应引信含线性电路和数字电路各一块,德国 DM64 智能引信电路由 4 块专用的 LSI 芯片和几个分立元件组成,英国 L116A1、荷兰 NINA 和瑞典 40 mm4p 弹用程控近炸引信等,也都由 ASIC 等电路组成。随着引信电子化程度不断提高,其命中率也相应提高,但这也导致了现代引信的一个弱点,就是易于受到电磁干扰^[2]。

雷电是一种典型的强电磁干扰源,发生频率很高,据统计全球平均每秒发生 100 次雷电。在发生闪击时,雷电通道中会有高达数 MV 的脉冲电压、数 10 kA 的脉冲电流,电流上升率会达到数十 kA/ μ s,所以在通道周围的空间会产生强烈的雷电电磁脉冲(LEMP)^[3]。本文以某型无线电引信为研究对象,模拟其勤务处理时可能遭遇的 LEMP 环境,对其进行 LEMP 辐照效应实验。

1 某型引信的工作原理及检测装置

该型无线电引信在正常工作状态下会发射高频正弦振荡信号,当遇到目标时会产生发射波,回波信号被引信的接收机接收。由于引信与目标之间存在相对运动,这样引信接收到的回波与发射信号之间就存在一个差频信号,也就是多普勒信号,无线电引信就是根据这个信号来探测目标并适时起爆的^[4]。该型引信有 4 个重要的性能指标,包括振荡频率、检波直流电压、工作电流和灵敏度。灵敏度是指引信探测到目标后触发时与目标之间的距离。根据该产品出厂时的检验标准,该产品的振荡频率有一定的范围,工作电流的区间为(30 \pm 5) mA,检波直流电压的范围为 2~9 V,灵敏度的偏差不超过 \pm 8 cm。但是由于该引信是一种新改进的型号,还没有制定相应的国家和军队标准以及研制检测装置,所以上述参数的分布范围只能作为一个参考。我们根据该型引信的工作原理和出厂时的检测方法制作了一套引信性能检测装置,对引信受 LEMP 辐照前后两种状态的这 4 种信号进行检测,检测原理如图 1、图 2 所示。

2 LEMP 对引信的辐照实验

2.1 LEMP 电场的辐照实验

根据 IEC1312 标准和对 LEMP 场的理论计算^[5,6],利用 MARX 发生器和 GTEM 室配合模拟 LEMP 电磁环境^[7],通过调整 MARX 发生器的电路参数和输出电压分别模拟该型引信在勤务处理时可能遭遇的首次回击和后续回击产生的电场环境,对无屏蔽、不加电的该型引信进行辐照实验。GTEM 室中模拟的 LEMP 电

* 收稿日期:2004-03-25; 修订日期:2005-05-15

基金项目:全国优秀博士学位论文作者专项资金资助课题(200455)

作者简介:陈亚洲(1975—),男,江苏滨海人,博士,从事电磁防护理论与技术研究;E-mail:chen_yazhou@sina.com。

场波形(0.25 μs/100 μs)如图 3 所示。

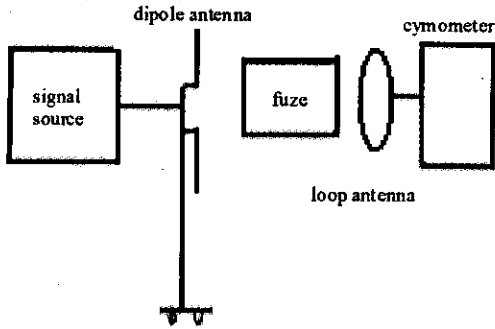


Fig. 1 Schematic device to test frequency and sensitivity of fuze

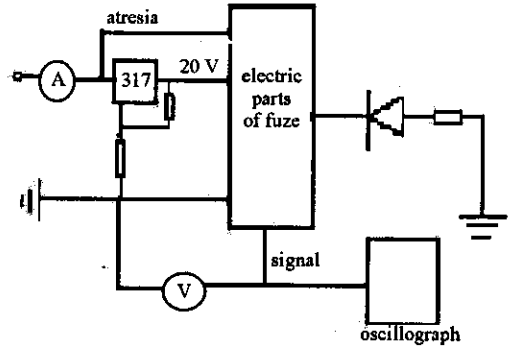


Fig. 2 Schematic circuit to test current and voltage of fuze

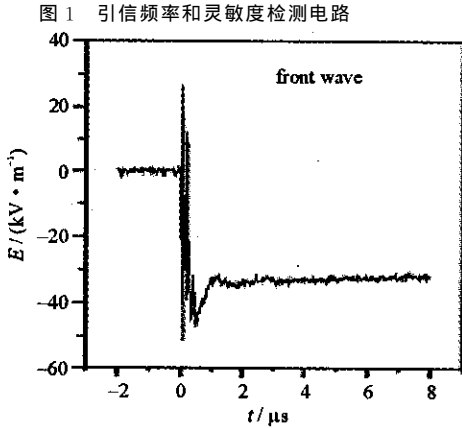


图 1 引信频率和灵敏度检测电路

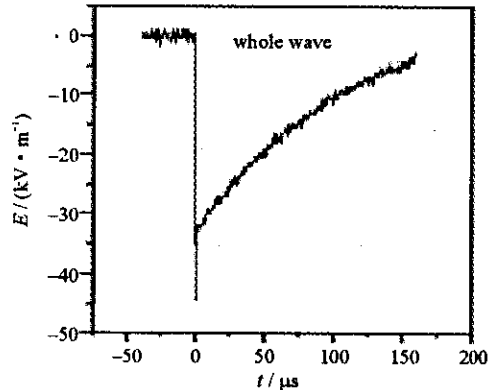


图 2 引信工作电流和检波电压检测电路

Fig. 3 Front wave and whole wave(0.25 μs/100 μs) simulated in the GTEM cell

图 3 GTEM 室内模拟的 LEMP 电场波形的波头和全波(0.25 μs/100 μs)

实验采用了 20 发样本,把样品依次安装于其配用的弹体上,放置于 GTEM 室中的实验台上,弹体取向分别平行和垂直于 GTEM 室的极化方向。模拟首次回击和后续回击所产生的 LEMP 电场环境,电场强度由 120 kV/m 逐渐提高到 300 kV/m,用该检测装置测试辐照实验前后引信的性能参数,结果分别如表 1 和表 2 所示。在辐照实验中有 3 发引信出现电路故障(不能发火),实验条件见表 3,其中一发是由于 LEMP 已经损坏引信的高频组件,引信检测不到其发射的高频振荡波,从而导致不能正常发火;另外两发则由于强电磁场损坏了检波电路,使检波直流电压不能达到正常指标,从而导致引信不能正常发火。

表 1 模拟的首次回击电场对不加电情况下某型引信的辐照结果

Table 1 Radiation effect of simulated first lightning E-field on radio fuze in storage state

experimental condition	current/mA		demodulation voltage/V		frequency/GHz		explosion condition/cm	
	before	after	before	after	before	after	before	after
120 kV/m parallel	30.6±2.2	30.5±2.0	2.8±1.3	2.8±1.3	normal	normal	35.0±13.2	35.3±12.8
120 kV/m upright	30.8±1.7	30.5±2.4	2.8±1.3	2.8±1.8	normal	normal	34.9±12.9	35.0±13.2
240 kV/m parallel	30.6±2.2	30.9±2.2	2.8±1.3	3.1±1.0	normal	normal	35.0±13.1	37.4±10.6
240 kV/m upright	30.7±2.5	30.5±2.1	3.2±1.0	3.1±1.0	normal	normal	36.2±10.9	35.8±10.6
300 kV/m parallel	30.5±2.1	30.6±1.9	3.1±1.0	3.1±1.0	normal	normal	35.8±10.6	35.8±10.1
300 kV/m upright	30.6±1.9	31.2±2.0	3.2±0.9	3.2±0.9	normal	normal	35.8±10.1	35.9±10.3

表 2 模拟的后续回击电场对不加电情况下某型引信的辐照结果(样本量 20)

Table 2 Radiation effect of simulated subsequent lightning E-field on radio fuze in storage state

experimental condition	current/mA		demodulation voltage/V		frequency/GHz		explosion condition/cm	
	before	after	before	after	before	after	before	after
120 kV/m parallel	29.3±1.9	29.6±2.0	3.1±1.2	3.2±1.1	normal	normal	37.7±15.0	37.7±14.4
120 kV/m upright	29.9±1.6	30.1±2.6	3.2±1.1	3.2±1.1	normal	normal	37.7±14.4	37.7±14.3
200 kV/m parallel	30.1±1.6	30.2±1.7	3.1±1.2	3.2±1.0	normal	normal	37.9±14.3	37.7±14.5
200 kV/m upright	30.3±1.7	30.8±1.6	3.2±1.0	3.2±1.0	normal	normal	37.9±14.2	38.3±14.1

表 3 不加电辐照下引信损坏的实验条件

Table 3 Experimental condition of three disabled radio fuses after E-field radiation

experimental condition	current/mA		demodulation voltage/V		frequency/GHz		explosion condition/cm	
	before	after	before	after	before	after	before	after
first lightning 240 kV/m, parallel	27.0	25.0	0.1	0.1	normal	normal	5	disable
subsequent lightning 200 kV/m, parallel	32.0	32.0	0.1	0.1	normal	normal	18	disable
	28.6	13.9	2.8	14.8	normal	0	45	disable

首次回击电场强度 240 kV/m、波形 10 μs/350 μs 的辐照条件,模拟了距离电流峰值 200 kA 的回击通道约 100 m 处的首次回击电场环境;后续回击电场强度 200 kV/m、波形 0.25 μs/100 μs 的辐照条件,模拟了距离峰值电流为 50 kA 的回击通道约 40 m 处的后续回击电场环境。

2.2 LEMP 磁场的辐照实验

利用雷击浪涌发生器配合亥姆霍兹线圈(1 m×1 m)模拟 LEMP 磁场^[8]。采用浸入法进行实验:将某型引信安装于弹体上,放置于亥姆霍兹线圈中央,弹体平行于线圈法线方向,脉冲磁场波形上升时间约 8 μs,磁场强度从 100 A/m 逐步提高至 3 kA/m。模拟勤务处理状态的某型引信受到 LEMP 磁场辐照效应。用固定线圈法来测量脉冲磁场,用单层圆柱形探测小线圈对脉冲线圈产生的磁场进行测量。图 4 是探测线圈上感应的电动势的波形,也就是磁场导数与线圈常数乘积的波形。图 5 是对图 4 进行积分并除以探测线圈的线圈常数得到的模拟的 LEMP 磁场波形(8 μs/36 μs)。表 4 是勤务处理状态的某型引信磁场辐照前后 4 个参数的平均值。

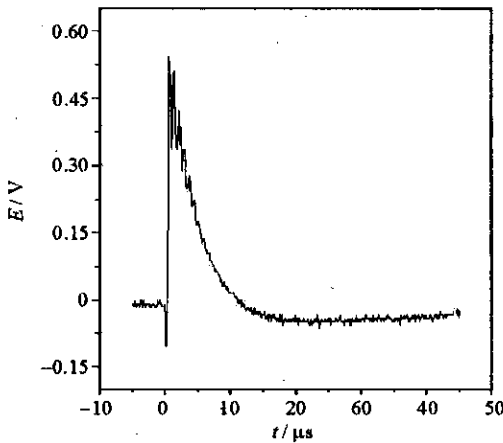


Fig. 4 Voltage waveform in the detecting loop

图 4 探测线圈上的感应电压波形

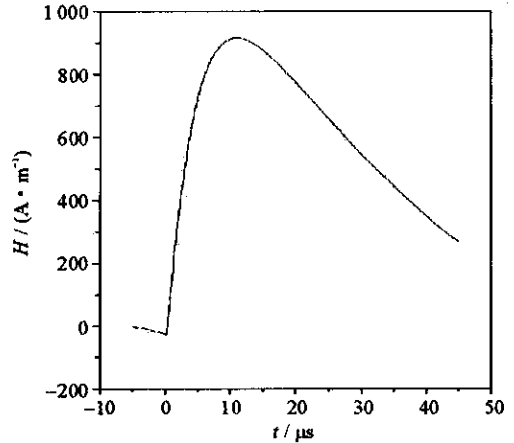


Fig. 5 Simulated lightning magnetic field waveform

图 5 由电压积分得到磁场波形

表 4 某型引信在不加电条件下的磁场辐照实验结果

Table 4 Radiation effect of simulated lightning M-field on radio fuse in storage state

H/(A·m ⁻¹)	current/mA		demodulation voltage/V		frequency/GHz		explosion condition/cm	
	before	after	before	after	before	after	before	after
1 000	31.4±1.2	31.5±1.5	3.4±1.2	3.4±1.4	normal	normal	42.8±17.9	42.7±17.9
2 000	31.7±1.3	31.8±1.3	3.4±1.4	3.4±1.4	normal	normal	42.8±18.0	42.8±18.0
3 000	31.2±1.0	31.3±1.0	3.1±1.3	3.1±1.2	normal	normal	38.8±16.8	38.9±16.9

实验结果表明,强 LEMP 磁场不会引起某型无线电引信性能参数的改变。对于储存状态,由于某型引信使用了全封闭的金属包装罐,对电磁场具有较强的屏蔽作用,因此 LEMP 不会造成处于仓储状态的某型引信电子部件的损坏。

3 结束语

LEMP 对勤务处理状态的引信辐照实验结果表明,某型无线电引信对 LEMP 的电场比较敏感,首次回击电场强度达到 240 kV/m 或后续回击电场强度达 200 kV/m 时的雷电电磁环境能够引起个别样品性能参数的改变,损坏的引信都表现为不能正常发火;由于引信在仓储状态下有密闭的金属包装筒,对电磁场有较强的屏

蔽作用,因此 LEMP 对仓储状态引信电路可靠性不会产生影响。

参考文献:

- [1] 洪大源. 高新技术兵器引信发展研究[A]. 第十届引信学术年会论文集[C]. 北京: 北京理工大学出版社, 1997, 10. (Hong D Y. Research on the development of modern weapon and fuze. The 10th Conference on Fuze. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1997. 10)
- [2] 杜汉卿. 无线电引信抗干扰原理[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1989. (Du H Q. The anti-disturb principle of radio fuze. Beijing: Enginery Industry Press, 1989)
- [3] 吴昊, 臧庚媛, 张勋文. 现代防雷技术基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995. (Wu H, Zang G Y, Zhang X W. Modern basic technique to defend lightning. Beijing: Tsinghua University Press, 1995)
- [4] 李彦学, 智敦旺. 电引信与时间引信[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1995. (Li Y X, Zhi D W. Electric fuze and time fuze. Beijing: Enginery Industry Press, 1995)
- [5] IEC1312: Protection of lightning electromagnetic pulse[S]. 1996.
- [6] 陈亚洲, 刘尚合, 张飞舟. 基于脉冲函数对回击电磁场的计算[J]. 电波科学学报, 2002, 17(2): 119—124. (Chen Y Z, Liu S H, Zhang F Z. Calculation of lightning electromagnetic pulse fields based on pulse function current model. *Chinese Journal of Radio Science*, 2002, 17(2): 119—124)
- [7] 陈亚洲. 雷电电磁脉冲场模拟及对电引信的辐照效应实验[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2002. (Chen Y Z. Research on simulation of lightning electromagnetic pulse and its effect on radio fuze. Shijiazhuang: Ordinance Engineering College, 2002)
- [8] Chen Y Z, Wei G H, Wei M, et al. The simulation of strong electromagnetic pulse[A]. Proceedings of the 3th IEEE International Symposium on EMC[C]. Beijing: Post & Telecom Press, 2002. 107—110.

Effect of lightning electromagnetic environment on radio fuze

CHEN Ya-zhou, WEI Guang-hui, LIU Shang-he

(*Research Institute of Electrostatic and Electromagnetic Protection,
Ordinance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China*)

Abstract: Lightning electromagnetic pulse field (LEMP) was simulated to study its effect on naked radio fuze. The voltage wave from MARX generator was injected into GTEM cell to simulate the electric field of LEMP, and the pulse current wave from lightning surge generator was injected into loop to simulate the magnetic field in the loop. Some radio fuze was chosen as samples to test its deposited security in strong LEMP environment. The experimental results show that in severe condition the lightning electric field can attain the high frequency groupware and might disable the fuze to produce detecting signal. The lightning electric field can destroy the demodulation circuitry and cause the demodulation voltage out of gear. The lightning magnetic field has no evident effect on the fuze.

Key words: Radio fuze; GTEM cell; Lightning electromagnetic pulse; Electromagnetic environment effects