

NQR 方法中平面型天线探测爆炸物研究

李康宁, 李 兴, 张向阳, 田利军, 俞 硕

(中国原子能科学研究院 核技术应用研究所, 北京 102413)

摘要: 为增加基于核四极矩共振 (NQR) 技术探测爆炸物的手段, 对爆炸物探测系统中的天线进行了研究, 并确定了平面型天线的形状、尺寸以及探测方法。实际测试表明, 探测结果准确, 试验结果也将对研究便携式爆炸物探测装置以及军事探雷等实际应用具有指导意义。

关键词: 核四极矩共振; 爆炸物探测; 平面天线; 氮-14

中图分类号: TL99 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-6931 (2010) S0-0483-03

Research in Planar Coil of Explosives Detection Based on NQR Technology

LI Kang-ning, LI Xing, ZHANG Xiang-yang, TIAN Li-jun, YU Shuo

(China Institute of Atomic Energy, P.O.Box 275-36, Beijing 102413, China)

Abstract: In order to increase means to detect explosives based on nuclear quadrupole resonance (NQR), the antenna was studied in this paper. This research determined planar coil's shape and size, as well as explosives detection methods, so it is very important for further study of portable detection devices and military purposes, such as to detect landmines.

Key words: nuclear quadrupole resonance; explosives detection; planar coil; nitrogen-14

进行爆炸恐怖活动具有隐蔽性好、影响面广、便于实施等特点, 已成为恐怖分子首选作案手段。由于恐怖分子使用的炸药一般都进行严密的伪装, 使得某些探测方法, 如炸药气味及痕迹跟踪探测失去作用。而核四极矩共振 (NQR), 由于其无损、非接触式的探测方式和准确率高、误报率低的特点, 已受到世界多个国家重视^[1], 取得了一些重要研究进展^[2]。

传统的 NQR 方法探测爆炸物探测天线往往使用通道式 (内腔式), 即探测时将待测物质放置于天线体内, 这种方式受外界干扰影响较小。然而, 随着反恐形式的发展, 需研究一种平面型天线的 NQR 爆炸物探测装置, 以

满足某些公共安全及军事需要, 例如, 探测墙体、地板中是否隐藏爆炸危险品等。由于探测天线是平面的, 这种探测方式是将待测物质放置于天线的一侧, 与通道式探测方式相比, 受外界干扰大, 天线激励和接收信号的能力也有所减弱, 探测难度也随之增大。

本文首先介绍了平面型天线的设计和试验方案的建立, 其次进行了炸药与平面型天线探测距离关系的试验, 最后进行了总结和展望。

1 基本工作原理

爆炸物中普遍含有自旋量子数 I 为 1 的氮-14 元素, 由于其原子核电荷不成球对称分布, 具

有电四极矩特性。当外加RF射频时,电荷间跃迁过程中,原子核吸收外部电磁场的能量,辐射出相应频率的电磁波,不同的原子核有不同的NQR跃迁频率,即使同一种原子核,处在不同的物质中其跃迁频率也不相同。利用NQR现象可对不同物质进行探测与判别。NQR方法探测爆炸物的具体原理可查阅参考文献[3]。

2 系统组成及其试验设计

2.1 系统组成

NQR探测系统组成如图1所示,主要包括数据处理机、配套电子学系统及功率放大器部分。数据处理机完成脉冲激励信号的输出、NQR信号接收处理及流程控制;功率放大器主要是将处理机产生的脉冲控制信号放大,输出到探测天线端;配套电子学系统完成逻辑控制、设备器件保护及NQR信号前期处理。

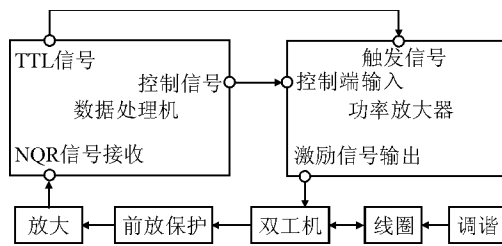


图1 探测系统结构图

Fig. 1 Structure of detection system

2.2 试验设计

与传统NQR物质探测一样,器件的安全需要重点考虑,特别是脉冲激励时,为避免高压信号对接收回路造成损坏,由双工机^[4]电路将激励端打开的同时关闭NQR信号接收端,反之,在接收信号时将激励端关闭打开接收端。

1) 平面天线设计

在进行天线设计时,必须要考虑的是探测系统谐振电路的品质因数。在进行爆炸物探测时,谐振电路的品质因数越大越好。虽然品质因数还受阻抗匹配等其他因素的制约,但这是在设计硬件系统时需要折中考虑的问题之一。

$$Q = \frac{1}{R_1} \sqrt{L_1 / C_1} \quad (1)$$

其中: L_1 和 R_1 值是把线圈认为是电感与纯电阻串联的等效值; C_1 为系统总的电容值。

互作用引起能级分裂,产生能级跃迁。在能级

另外,线圈作为整个探测系统LC回路的一部分,要求阻抗匹配为 50Ω ,在设计匹配电路时,按照电路谐振条件选择器件参数,由谐振条件 $\omega C = 1 / \omega L$ 可得:

$$f = 1 / (2\pi\sqrt{LC}) \quad (2)$$

其中: L 为线圈电感; C 为LC回路中匹配电容 C_M 和调谐电容 C_T 之和。

本研究以RDX为例进行探测试验。在室温附近,RDX共振频率在3.410 MHz处受温度影响变化较小,所以选择调谐频率 $f = 3.410$ MHz进行器件选型设计。

天线形状有多种形式^[5]的报道,如上下同轴型、阿基米德螺旋型、单圆环型等。通过测试不同形状线圈的品质因数和线圈周围能否得到较强而且均匀的电磁场,决定试验采用的天线形状是“8字”型对称设计,即同一平面内左右对称的两个圆环;尺寸是内圆直径为130 mm,铜带宽度约为20 mm,设计完成后电感值约为 $3 \mu\text{H}$ 。

2) 组合脉冲序列设计

利用平面线圈进行物质探测,采用传统的单脉冲^[6]激励方法很难得到理想的NQR信号。需要采用多脉冲组合序列^[7]进行激励,试验采用的是PSL脉冲序列。

由于在激励接收过程中,环境噪声及热噪声不发生相位变化,而待测物质却由于激励信号相位的变化,引起NQR信号相位相应变化。例如,相位相差 180° 的NQR信号,其数值呈正负关系,在进行数据处理时采用相减方法,可以增强NQR信号,大幅削弱噪声等干扰信号。在具体的试验中,采用的组合脉冲序列为 $\alpha_{\phi_1} - (\tau_1 - \alpha_{\phi_2} - \tau_2 - \alpha_{\phi_3} - \tau_3)_n$,其中, τ_1 、 τ_2 、的关系为 $2\tau_1 = \tau_2 = \tau_3$, $\phi_2 = 0$ 或 π , $\phi_1 = \phi_3 = \pi$ 或 0 。

3 试验及结果

室温条件下,对50 g RDX样品置于线圈表面进行试验,采用PSL组合脉冲序列,激励频率3.410 MHz,激励时间340 μs ,采样1024点,采样时间4.096 ms,150个Scans扫描, $\phi_2 = 0$, $\phi_1 = \phi_3 = \pi$ 。图2所示为初步数据处理之后的时域信号,图3所示为经过时频域变换后的频域信号。

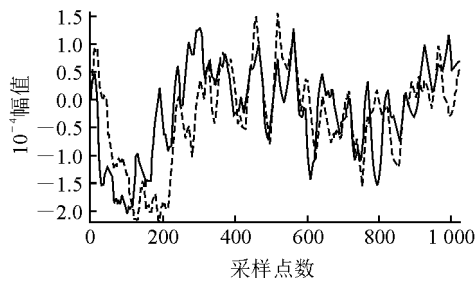


图2 经过初步处理的 NQR 信号

Fig. 2 NQR signal processed by filter, apodization

实线——NQR 信号实部；虚线——NQR 信号虚部

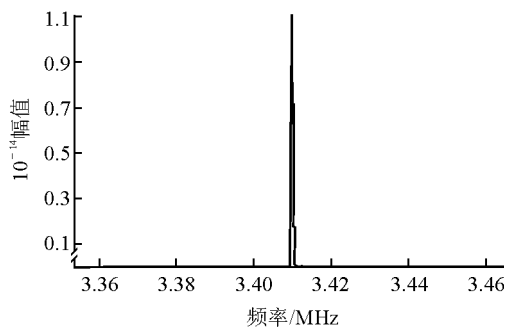


图3 频域 NQR 信号数据

Fig. 3 NQR signal processed by FFT method

通过图 2、3 可看出，RDX 的 NQR 信号信噪比明显。对于平面线圈探测爆炸物人们关心的另一方面是探测距离。由于空间中电磁波的衰减是呈指数规律的，衰减较快，直接影响着探测深度。因此，对于本研究中的平面天线也进行了相关试验，结果也明显反映了 NQR 信号幅值随探测距离的变化关系（图 4）。

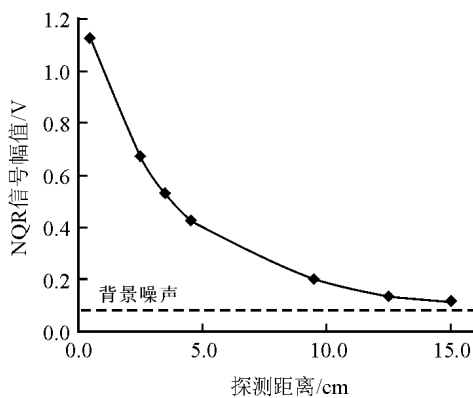


图4 NQR 信号幅值与探测距离关系

Fig. 4 Relation between amplitude of NQR signal and detection distance

4 结论

从爆炸物探测系统的硬件搭建到实验方法的实施，对平面型天线探测爆炸物进行了初步试验研究，得到了一些有价值的结果和数据。虽然基于平面型爆炸物探测装置具有广泛的应用需求，但是平面型爆炸物探测还需要在信号提取、相关设备小型化等方面进行大量的研究和实质性改进，才能满足实际应用的需要。

参考文献：

- [1] 蔡建刚, 吴腾芳. 微量炸药探测技术在反恐斗争中的应用[J]. 公安大学学报, 2005, 3: 92-95.
CAI Jiangang, WU Tengfang. Application of trace explosive detection technologies in anti-terrorism conflict[J]. Journal of Chinese People's Public Security University, 2005, 3: 92-95(in Chinese).
- [2] 李兴, 张向阳, 郭燕, 等. 车载爆炸物探测设备研制项目进展报告[M]. 中国原子能科学研究院年报, 2007: 32.
- [3] MOZZHUKHIN G V, RAMEEV B Z, DOĞAN N, et al. Secondary signals in two-frequency nuclear quadrupole resonance on ^{14}N nuclei with $I=1$ [J]. Journal of Magnetic Resonance, 2008, 193: 49-53.
- [4] FUKUSHIMA E, ROEDER S B W. Experimental pulse NMR: A nuts and bolts approach[M]. [S.l.]: [s.n.], 1986: 392-407.
- [5] OSTAFIN M, NOGAJ B. ^{14}N -NQR based device for detection of explosives in landmines[J]. Measurement, 2007, 40: 43-54.
- [6] AZIZOV E O, GRECHISHKIN V S, GAEVSKII A V, et al. Digital methods of detecting a low-frequency nuclear quadrupole resonance[J]. Russian Physics Journal, 2003, 46(2): 215-217.
- [7] RUDAKOV T N, MIKHALTSEVICH V T. Multiple NQR spin echoes in phase cycled pulse experiments [J]. Physics Letters A, 2003, 309: 465-469.