

50安培低电压脉冲电源及其在 强动载荷试验中的应用

王诚洪 马法成

我们已经研制成了可供压阻量计使用的PR—3型50A低电压脉冲电源。最大电流可达55A。并且，成功地把这种电源应用于测量惰性介质中的冲击波压力剖面和凝聚炸药的爆炸波压力剖面。

前 言

强动载荷作用下的各种惰性介质的行为，以及凝聚炸药的爆轰特性，是理论和实验研究的一个活跃的领域。为了从实验上获得有用的数据，必须采用可靠的测试手段。目前，为了测量冲击波的压力—时间剖面，广泛采用的是压阻量计。在一定的范围内，这些量计也可用来研究有反应流体的流动，例如，炸药的起爆和爆轰波的传播，由于压阻量计是无源量计，需要用脉冲电源向其供电。

通常的串接式脉冲电源向量计提供的电流一般不大于5A。另一方面，量计封装材料的绝缘电阻是随着冲击感应引起的导电性的程度而变化的。在类似于凝聚炸药爆轰时所遇到的压力范围内，测量封装材料聚四氟乙稀（PTFE）的导电性表明，此时，贯穿0.25mm（量计绝缘层厚度）的聚四氟乙稀的导电路径具有的电阻为几十欧姆^[1]。因此，为了减少由于封装材料的绝缘电阻下降而引起的分流效应，量计的电阻应该比这个值小几个数量级，也就是说，量计电阻的阻值应为几十毫欧。对于阻值如此小的量计，如通过的电流为几安培，此时得到的压力信号就很小。这样，干扰信号就会与被测的压力信号相比拟，从而使测试精度明显降低。因此，为了减少量计在高爆压条件下由于绝缘层的绝缘电阻的减少而引起的分流效应，提高测量结果的信噪比，必须设计大电流脉冲电源。

习惯上使用的是量计与供电电路相串联的脉冲电源。在这种情况下，如果需要大的电流，那末，电源的电压就要相应地增加，这给开关、量计间的绝缘、安全等带来一系列的问题。

我们参照文献〔2〕设计了PR—3型50A低电压脉冲电源。这种电源的显著特点是，工作电压低（90V），输出电流大（最大电流可达55A），输出电流平稳，对焦耳热的影响及外电场干扰有抑制作用，从而可显著地提高测试精度和抗干扰能力。

脉冲电源及量计供电电路

图1是PR—3型脉冲电源的电原理图。其工作原理为，BG6和BG7并联组成动态跟随特性好、输出阻抗低的射极输出器，向量计供电。BG1和BG2组成的差分对管把串

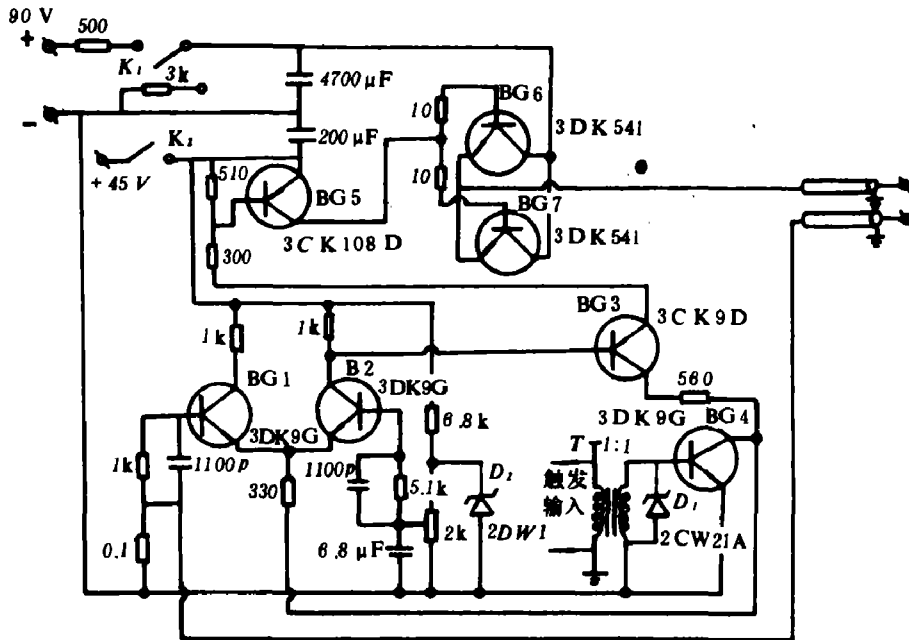


图1 脉冲供电源原理图

接在供电回路中的 0.1Ω 电阻上的电压与 $2k\Omega$ 电位器的下半段的电位相比较，经 BG 3 和 BG 5 放大后输出一脉冲，使 BG 6 和 BG 7 开通，向量计供电。供电时间则由外触发脉冲的持续时间决定，它主要是通过在外触发脉冲作用下，BG 4 的通断决定 BG 3 是否开启来实现的。

外触发脉冲应为一单次平顶脉冲。其主要指标应满足下述条件：前沿陡峭，开通时间不大于 $2\mu s$ ，平顶特性好，持续时间在 $50\sim 500\mu s$ 范围内连续可调，输出阻抗不大于 50Ω 。输出幅值为 $15\sim 20V$ 。考虑到上述要求，结合我们具体条件，参照文献〔3〕设计了外触发脉冲源。

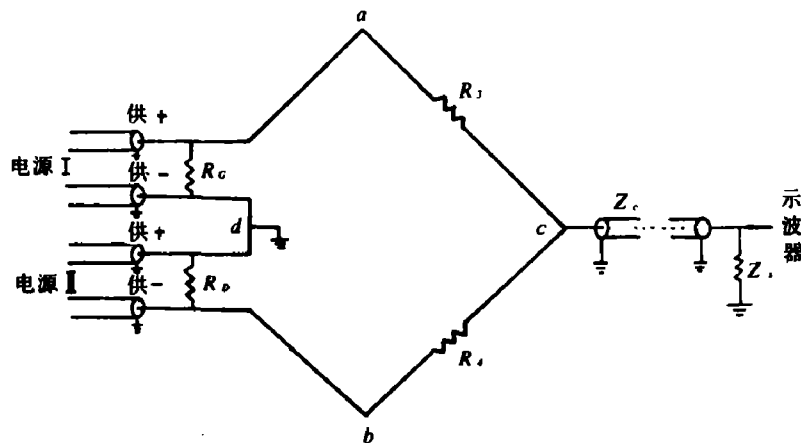


图3 供电桥路简图

图 2 给出了量计的供电桥路，其主要参量为： R_G ：受压量计初始阻值 ($0.05\sim 0.4\Omega$)； ΔR_G ：压力脉冲引起的 R_G 的绝对变化值； R_D ：不受压的参考量计， $R_D/R_G = 1\sim 1.05$ ；

R_3, R_4 : 匹配桥臂, $R_3 = R_4 = 100\Omega$ (标称值); Z_c : 桥路测量对角线传输电缆特性阻抗; $Z_c = 50\Omega$; Z_s : 示波器输入阻抗。根据直流不平衡对称单电桥的模型, 对图 2 所示的桥路进行分析与计算得到

$$\frac{\Delta R_G(t)}{R_{G0}} = 2u_{cd}(t) \cdot R_{40} \frac{1}{Z_c u_{ad} - R_{40} \cdot u_{cd}(t)}$$

式中: $u_{cd}(t)$: 动态条件下, 示波器从 c, d 两点间测得的电压—时间波形; u_{ad} : 静态(放炮前)条件下, 示波器测得的 a, d 两点间的电压—时间波形; $R_{G0} = (R_c + R_d)/2$; $R_{40} = (R_3 + R_4)/2$ 。放炮前, 首先调节电源 I, 使受压量计获得预定电流, 然后再调节电源 II, 使桥路平衡($u_{cd} \approx 0$), 并记录 u_{ad} 波形。放炮后, 得到 $u_{cd}(t)$ 波形, 代入上式中求得 $\Delta R_G(t)/R_{G0}$ 。

PR—3 型脉冲电源的主要电特性为: 1. 量计供电电流: 20~55A 连续可调; 2. 量计供电时间: 50~500 μ s 连续可调; 3. 动态响应时间: 采用锰铜量计时, 不低于 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ S; 4. 压力脉冲测量范围: 采用锰铜量计时, 为 1—40G Pa; 5. 动态电压跟随范围, 不低于 25V; 6. 当量计供电电流保持 50A, 量计电阻变化范围为 0.05~0.35 Ω 时, 量计供电电流波动小于 $\pm 3\%$ 。

U_{ad} 波形及 U_{cd} (静态) 波形如图 3 和图 4 所示。

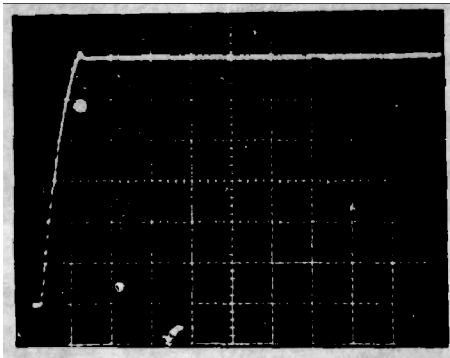


图 3. U_{ad} 波形 (10 μ s/div, 2V/div)

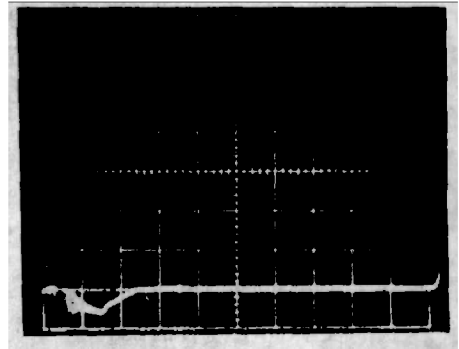


图 4. U_{cd} (静态) 波形 (20 μ s/div, 0.5V/div)

强动载荷试验

在强动载荷试验中, 我们利用研制成的脉冲电源为锰铜压力量计供电, 前后共进行了五十多次试验, 测得了有机玻璃、聚四氟乙烯、铜、钢等惰性材料中的冲击波压力剖面和 TNT、8321 等凝聚炸药的爆轰波压力剖面。在测量惰性材料中的压力剖面时, 用凝聚炸药(直接与试件接触)的爆轰作为加载手段。所用量计的有效部分的电阻值为 0.05—0.4 Ω , 量计每侧绝缘层的厚度为 0.1—0.2mm, 绝缘材料为聚四氟乙烯, 量计组件的总厚度为 0.25—0.5mm。量计采用四端结构的形式。

根据试验中所获得的示波记录 $u_{cd}(t)$, 利用上述公式就可以求得 $\Delta R_G(t)/R_{G0}$, 进而求得量计有效部分电阻的相对变化 $\Delta R_G(t)/R_G$, 然后利用量计的压阻系数的标定公式, 即可求出相应的压力剖面。

惰性材料试验中所获得的典型示波记录如图 5—7 中所示。图 5 中的压力脉冲的前沿很

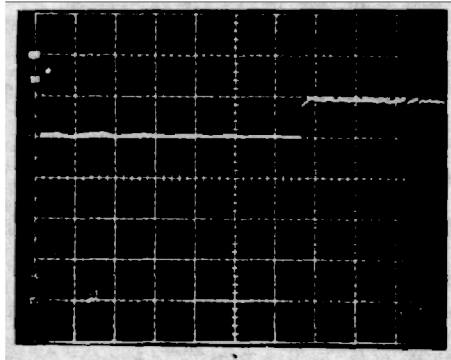


图5. 聚四氟乙烯中的压力剖面
($1\mu\text{s}/\text{div}$, 峰压9GPa)

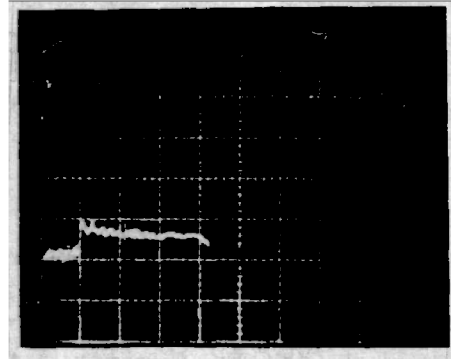


图6. 有机玻璃中的压力剖面
($1\mu\text{s}/\text{div}$, $0.5\text{V}/\text{div}$, 峰压12.5GPa)

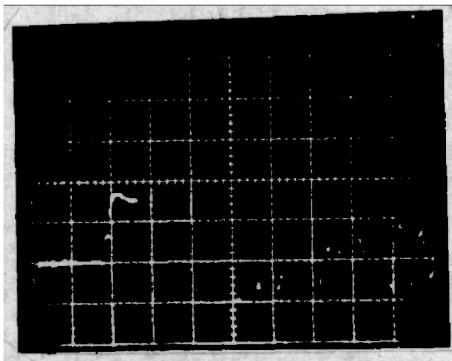


图7. 铜中的压力剖面
($1\mu\text{s}/\text{div}$, $0.5\text{V}/\text{div}$, 峰压34.5GPa)

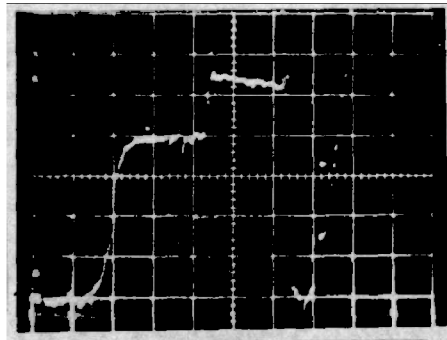


图8. 铝中的压力剖面
($1\mu\text{s}/\text{div}$, $0.5\text{V}/\text{div}$, 峰压16GPa,
串接式小电流脉冲电源)

陡, 这是由于试件与量计的绝缘层是同种材料(聚四氟乙烯), 因而阻抗完全匹配, 在试件与绝缘层的交界面上没有波的反射, 量计中的压力几乎瞬时地达到相应的冲击波压力的幅度。图7是铜试件中的冲击波压力剖面的示波记录。由于试件和量计绝缘层的阻抗严重地失配, 而在试件和绝缘层的交界面上有明显的波反射发生, 从示波图上可以看到, 前沿有台阶出现。示波扫迹的这种形状, 是与试件中动力学过程相对应的^[1]。为了比较, 图8中示出了用串接式小电流脉冲电源所获得的铝中冲击波压力剖面的示波扫迹。

图9是试验中直接测得的8321炸药的爆轰波的压力剖面。由于所用的脉冲电源能提供大的电流, 从而可以把量计有效部分的电阻大大减小。我们在试验中一般采用几十毫欧的量计, 这样就有效地减小了, 由于在恶劣的爆轰条件下, 量计绝缘层的电阻减小而引起的分流效应。为了测量CJ压力, 必须考虑量计的响应时间和CJ压力通过量计平面的持续时间。量计

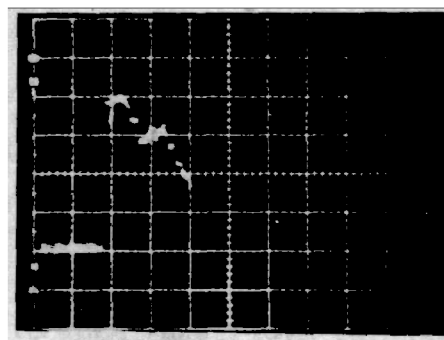


图9 爆轰波压力剖面
(炸药: 8321, 锰铜量计, $0.5\mu\text{s}/\text{div}$, $0.5\text{V}/\text{div}$)

响应时间与封装厚度和封装阻抗有关。CJ压力通过量计平面的持续时间是与爆轰波阵面的厚度除以爆速相一致的^[2]。我们曾试图用薄封装的量计来测量CJ压力,但这种量计的寿命明显缩短。这里,我们使用的是较厚(0.5mm厚)封装的量计,主要是为了增加量计的寿命,以观察脉冲电源的性能。不过,这样一来,也就难以测得真正的CJ压力,更谈不上获得反应区中的细节。

由于现在的脉冲电源能提供大的电流,从而可使量计有效部分的电阻显著减小。但是,这样一来,量计的引线电阻就可以与之相比拟,甚至超过它。于是,在强冲击载荷作用下,引线电阻的变化情况如何?显然就成了人们关心的问题。通常,量计的引线是由镀铜的锰铜箔带或铜箔带所构成的。在文献〔5〕中,报导了由于冲击效应而引起铜、铁和镍等的电阻变化情况。我们用0.03mm厚的紫铜箔和镀锡的紫铜箔制成与锰铜压力量计的结构相同的量计,来记录其在爆轰波作用下的响应情况。在相同的加载条件下,铜量计的电阻相对变化要比锰铜量计的电阻相对变化大得多(图10),而镀锡的铜量计的电阻相对变化又要比铜量计的电阻相对变化大。由此可见,不能忽略在冲击加载条件下量计引线电阻的变化。这样就更加要求人们使用四端结构的量计,这不但是因为象人们过去所说的那样,四端结构可以使引线电阻由于拉伸而发生变化的影响减少到最低程度,而且,还因为这种结构可以使引线电阻由于冲击作用而发生变化的影响减少到最小。

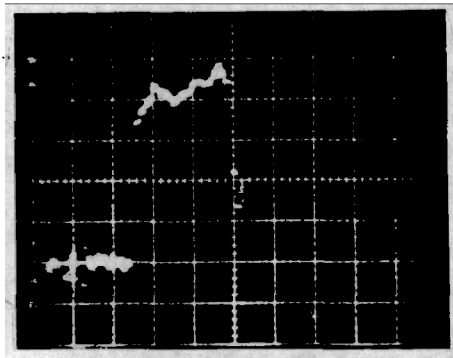


图10. 铜量计对爆轰波作用的响应
(炸药: 8321, $R_G = 0.032\Omega$, $0.5\mu s/div$,
 $0.2V/div$)

结 论

根据对五十多次试验结果的分析,可以看出,由于量计的供电电流提高了一个数量级,量计电阻可相应减小,这在测量凝聚炸药爆轰波压力剖面时,可以有效地减小由于量计封装材料的绝缘电阻下降而引起的分流效应;由于电流增大,使信噪比有所提高,加之,采用桥路输出,受压量计与参考量计为同类、同值,这对抑制外电场干扰,进行自动的温度补偿,都有良好作用,从而使电路具有较强的抗干扰能力和较好的测试精度。初步分析表明,在量计动态特性良好时,电路的测试精度不低于5%;电路有较好的动态响应特性,不会低于量计本身的动态响应指标;电路的动态测量范围宽,只要量计的动态标定范围允许,在1.0—40.0GPa范围内都可测量,如改用压阻系数较大的量计,相信测量范围还可向下延伸;由于通过量计的供电电流及其持续时间可在大范围内光滑调正,这样,对一定阻值范围内的量计都能适用,在静态调试时,不会因焦耳热而烧坏量计。

陈雪芳、张家碧参加了部分调试和试验,鲍武臣为试验制作了锰铜量计,唐森参加了部分试验工作,在此表示衷心地感谢。

参 考 文 献

- (1) Champion. A. , *J. Appl. Phys.* 43 (5)(1972). 2216.
- (2) Vantine. Harry. et al. , *Rev. Sci. Instrum.* , 51 (1)(1980).
- (3) 马法成等. 爆炸与冲击. 5 (4)(1985). 74.
- (4) Burrows. K. . et al. , *6th Symposium (International) on Detonation (1976)* , 625.
- (5) Styris. D.L. , Duvall. G. E. , *High Temp-High Press.* 2 (1970). 477.

50-A LOW VOLTAGE POWER SUPPLY AND ITS APPLICATION IN INTENSE DYNAMIC LOADING TEST

Wang Chenghong Ma Facheng

Abstract

We have developed a 50-A low voltage power suppl of PR. 3 type. Maximal drive current 55A can be reached. It was successively used for measuring pressure profile of shock waves in inert material and detonation waves in condensed explosives.