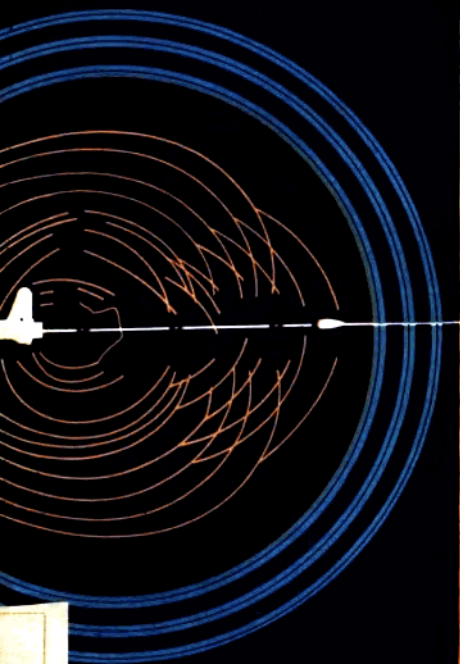


兵器噪声的危害与防治

王东生
编著



国防工业出版社

前 言

近年来,工业噪声污染环境的问题,已引起国内外科学家们的关注。有的国家已把噪声污染列为三大公害(空气、水源和噪声)之一。一些工业发达的国家,由于他们加强了治理,情况有所改善。1979年8月31日,我国颁布了《工业企业噪声卫生标准》(试行草案)。1981年,中国人民解放军总后勤部司令部又颁发了中华人民共和国国家军用标准:《常规兵器发射或爆炸时压力波对人体作用的安全标准》。都把噪声列为公害,要求有关部门采取措施,减小噪声,保护人民身心健康。这是党和政府对在噪声污染环境下工作、劳动和学习的人们的关怀和爱护。为了使这项工作 in 兵器工业生产、科研和教学系统中广泛的开展起来,迅速取得成果,对保护人民身心健康做一些有益工作,特编写此书,以供读者参考。

本书第一、二部分由华东工程学院李鸿志同志审阅,第二部分还请中国科学院声学研究所程明昆同志审阅,北京市耳鼻喉科学研究所孟昭辉同志对第三部分提供许多宝贵资料和意见,第四部分由兵器工业部第五设计研究院李友三同志审阅。本书附录一引用了北京八十二中学校办工厂编写的《国外耳塞情况》(一)资料。初稿在编写过程中得到第五设计研究院陈伯谋、魏春树同志的大力帮助。南京工学院建筑系柳孝图同志提供许多可贵资料和意见。兵器工业部李雁华同志,国营向阳机械厂任玉彬同志,国营和平机器厂张树平同志,兵器工业部第六设计研究院李宪富同志以及原五机部机电噪声调查组的左德禄、王存林、经霜和张争等许多同志和单位都提供了不少宝贵资料,谨向他们表示衷心的感谢。

由于本人业务水平不高,书中错误和不足之处一定很多,敬请读者给予指正。

编 者

1985年4月

目 录

一、兵器噪声的产生	1
(一) 什么是兵器噪声	1
(二) 兵器噪声的产生	1
(三) 兵器噪声波形	21
(四) 兵器噪声的表现形式	24
二、兵器噪声的强度	26
(一) 声强、声强级、声压级	26
(二) 噪声的测量	31
(三) 分贝与压强的换算关系	33
(四) 兵器噪声强度的表示方法	39
(五) 炸药装药爆炸冲击波超压和持续时间的计算	40
(六) 烟火剂冲击波的强度	51
(七) 炮口冲击波超压的计算	53
(八) 反射冲击波超压的计算	57
(九) 稳态噪声标准	59
(十) 脉冲噪声允许标准	68
三、兵器噪声的危害	73
(一) 什么是噪声性耳聋	73
(二) 噪声传入人耳的途径	74
(三) 噪声性耳聋的评定标准	75
(四) 兵器噪声对听力的危害	76
(五) 兵器噪声性听力损失与作业工龄关系	83
(六) 噪声强度与听力损伤的关系	88
(七) 兵器噪声对神经系统的危害	89
(八) 噪声强度与神衰症候群的关系	92
(九) 兵器脉冲噪声等声压线	93
(十) 对人体有危害的兵器噪声参量	97

(十一) 中耳损伤的类型	114
四、兵器噪声的防治	117
(一) 合理布置靶场	117
(二) 绿化靶场	119
(三) 利用自然屏障建设靶场	121
(四) 地下靶场	121
(五) 封闭靶场	122
(六) 消声器	123
(七) 消声射击间	135
(八) 兵器噪声频谱	144
(九) 国产吸声材料	154
(十) 吸声材料的选择	152
(十一) 隔声观察间	161
(十二) 炮位的布置	162
五、人体防护措施	164
(一) 个人防护用具	164
(二) 集体防护设施	193
附录	204
附录一、国外部分耳塞简表	204
附录二、国外10组耳塞和耳罩或头盔并用的平均真耳隔声值和标准差值(分贝)	214
附录三、卫生部、国家劳动总局关于颁发《工业企业噪声卫生标准》(试行草案)的通知	215
附录四、《工业企业噪声检测规范》(草案)	217
附录五、中华人民共和国国家军用标准——《常规兵器发射或爆炸时压力波对人体作用的安全标准》	219
附录六、压力波的测试规程(补充件)	221
参考文献	226

一、 兵器噪声的产生

(一) 什么是兵器噪声

兵器试验时，用听声音的方法，可以判断出某些兵器机构的工作情况。在这种情况下枪声、炮声、弹药的爆炸声对战斗和试验是有用的因素。

但从另外一个方面来看，情况就不同了。震耳欲聋的枪炮及爆炸的巨响声，不仅会影响工作效率和日常生活的安宁，而且损害人的听觉器官。对兵器试验人员来说，长期在强枪炮声或爆炸声的震动下工作，会产生噪声性耳聋、神经衰弱等症状。如果在近声源处工作，噪声峰压值又很高时，试验的第一发响声就可能使中耳损伤，甚至使人体的内脏受伤。

以上这种不需要的使人听了不快的声音，我们就叫它为兵器噪声。

(二) 兵器噪声的产生

兵器在发射时伴随着强烈的脉冲噪声，这是兵器固有的特性。它的产生主要是由于火药气体和弹丸激波对空气的扰动，其次是由于兵器各机构的振动和冲击。前者是空气动力性质的噪声源，后者是机械性质的噪声源。

为了说明兵器噪声的产生过程，我们看一看发射时膛内的物理现象。当药筒底火将火药点燃后，枪炮膛内将形成几千度的高温和每平方厘米几千公斤的压强，例如：56式7.62毫米半自动步枪，发射普通弹时，最大膛压为每平方厘米2800公斤；130毫米加农炮，最大膛压为每平方厘米3150公斤；而德国M68型105毫米坦克炮最大膛压则高达每平方厘米5060~5270公斤。弹

丸在这样高的压力推动下，获得每秒几百至一千余米的速度。在弹丸离开枪炮口的瞬间，火药气体的温度仍有 $1200 \sim 2000^\circ \text{K}$ ，压强仍有每平方厘米 $300 \sim 1200$ 公斤之高，所以，当弹丸飞出枪炮口以后，火药气体仍然对弹丸和火炮起推动作用，在一个相当长的时期内才告结束，人们称这一段时期为后效期。

图 1-1 是射击过程中膛压随时间变化的曲线。

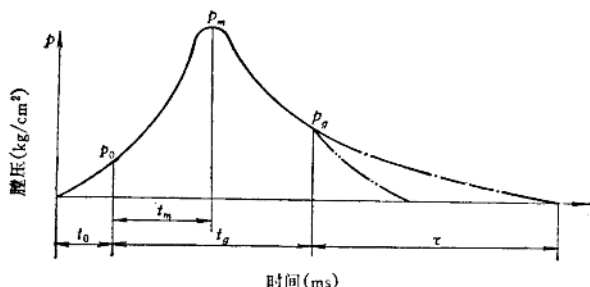


图1-1 射击过程各时期膛压随时间变化曲线

--- 火药气体对火炮的压强曲线； - · - - 火药气体对弹丸的压强曲线。

图中 t_0 是开始点火、弹丸嵌入膛线并开始起动的时刻，其起动压力为 p_0 。 p_m 是最大膛压，相应的时间为 t_m 。弹丸运动到炮口时，火药气体仍具有相当大的炮口压力 p_g ，相应的时间 t_g 。从 p_g 降至外界大气压强时，这一段时间就是火药气体后效期作用时间，记为 τ 。

下面我们把某些兵器的初速 v_0 ，枪炮口压力 p_g 的数据列在表 1-1 内。

图 1-1 中点划线和双点划线，分别代表在后效时期内火药气体分别对火炮和弹丸作用的压强曲线。对弹丸的后效作用，是在弹丸穿出火药气流区结束；对炮身的后效作用，是在膛内火药气体压强下降到接近外界大气压强时结束。一般，对炮身的后效作用时期远大于对弹丸的后效作用时期。后效期膛压随时间的变化关系，可以近似的用以下指数函数表示：

$$p = p_g e^{-\tau/b} \quad (1-1)$$

式中 p ——后效期内火药气体的平均压强;
 p_g ——弹丸飞出膛口时膛内平均压强;
 e ——自然对数底数;
 b ——膛内压强按指数变化的时间常数;
 τ ——由后效期开始计算的时间。

表1-1 各种兵器 v_0 和 p_g 数据

兵 器 名 称	v_0 (米/秒)	p_g (公斤/厘米 ²)
56式7.62毫米冲锋枪	710	500
56式7.62毫米弹道枪	737	360
53式7.62毫米步枪	868	750
23毫米航空机关炮	680	320
1954年式76.2毫米加农炮	680	600
1956年式85毫米加农炮	793	753
苏1944年式85毫米反坦克炮	1040	1140
1959年式 100毫米高射炮	900	960
1960年式 122毫米榴弹炮	612	553
苏Л-74型 122毫米加农炮	885	1065
苏М-30型 122毫米榴弹炮	515	432
苏М-46型 130毫米加农炮	930	1020
苏Л-20型 152毫米加农榴弹炮	655	816
苏Л-1型 152毫米榴弹炮	508	340
苏М-47型 152毫米加农炮	770	662

现在我们举一个 53 式 7.62 毫米步枪的例子。枪弹在出枪口以后，按上述公式进行计算，得出后效期内平均压强随时间变化的数据，其结果列在表 1-2 内。

表1-2 53式7.62毫米步枪后效期平均压强与时间的关系^[1]

时间 τ (毫秒)	0	0.2	0.5	1	1.5	2	3	4	4.5
平均压强 p (公斤/厘米 ²)	750	556	358	170	90	40	9	2	1

图 1-2 画出了该枪后效期火药气体对弹丸作用的平均压强随

时间变化的曲线。

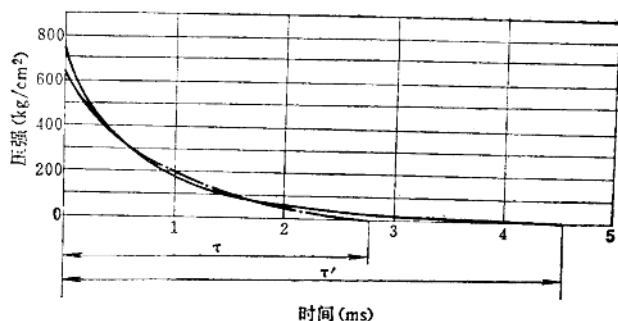


图1-2 53式7.62毫米步枪后效期平均压强随时间变化曲线
—— 计算结果；--- 试验结果。

从图 1-1、图 1-2 的曲线上和表 1-2 的数值上可以看出，兵器发射时，在弹丸飞出膛口瞬间，弹丸具有很大的速度，火药气体仍具有很高的膛口压强和速度，而且，从膛口喷出的火药气体射流速度比弹丸的速度还高得多。火药气体以这样高的温度、压强和喷射速度从膛口冲出以后，急剧地膨胀，猛烈地压缩膛口周围的空气，将激起空气剧烈地搅动，因而在膛口产生了空气密度和压力的突变，形成了膛口冲击波，此外，还伴随产生冲击噪声，它们在空气介质中向外传播出去，至极远的空间。兵器产生的冲击波及冲击噪声统称兵器压力波，因其是脉冲性的，通常又称兵器脉冲噪声。

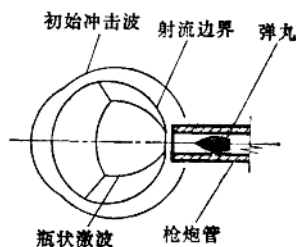


图1-3 初始冲击波

实际上，兵器每次射击时，在枪炮口处先后产生两个膛口冲击波，第一个称初始冲击波，是由于弹丸在膛内强制地推动其前方的空气柱形成的。它在膛口外膨胀后接近于球面波形状。如图 1-3 所示。

第二个称为膛口冲击波,是由于弹丸离开枪炮口时,膛内火药气体向外喷射,压缩周围的空气介质而产生的。它也是一个接近于球面的冲击波,其形成的过程见图 1-4^[2]。

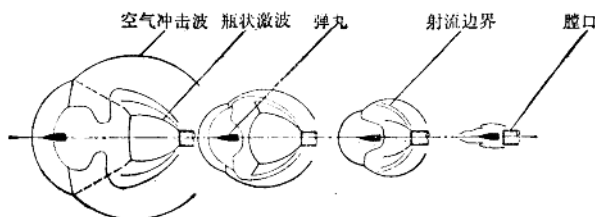


图1-4 膛口冲击波形成过程

两个气流流场结构很相似,但是两个冲击波的强度差别很大,后者远远地大于前者。以美制 M16 式 5.56 毫米自动步枪为例,当弹丸初速为每秒 945 米时,激波速度到达膛口时为每秒 1240 米,波后压强约为 15 个大气压;而当弹丸离开枪口时,火药气体的出口速度为每秒 1295 米,压强可达 600 个大气压。它形成的冲击波压强远远的大于初始冲击波。

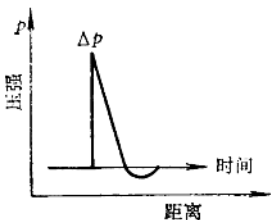
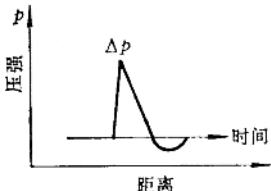
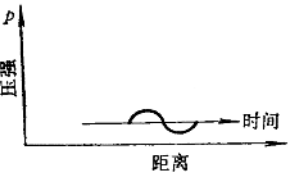
膛口冲击波形成后,其强度随着传播距离的增加而衰减。射手们的工作位置距膛口都有一定的距离,例如枪手一般距枪口约 50 厘米,火箭筒射手一般距膛口约 30 厘米,后膛火炮的炮手一般距炮口在 5 米以外。在这个距离上,冲击波的压强已经降的比较低了。所以,射手们一般都位于膛口冲击波强度较低而持续时间不长的地方,亦即处于空气弱冲击波的地域。因此,在研究听觉损伤为目的的工作中,可以把这个区域的冲击波统称作兵器脉冲噪声。

根据兵器在发射时,介质参数随传播距离的不同而变化的特点,我们把压力波在空气中的传播过程分成三个区域。这三个区域即是:近场区;中场区;远场区。现在,让我们看看这三个区超压 Δp 是怎样随传播距离的不同而变化的。

在膛口附近,冲击波的强度较大,其超压 Δp 大于每平方厘米 1 公斤时,我们称此波区为近场区。近场区的冲击波压强很大,

它足以使人内脏受重伤甚至死亡。近场区超压的波形如表 1-3 的波形图所示。

表1-3 兵器冲击波、噪声随距离与时间
变化过程图表及其条件

场区	波 形	条 件
近 场 区		强冲击波， $\Delta p > 1 \text{ 公斤/厘米}^2$ ， 波速 $D > 461 \text{ 米/秒}$
中 场 区		弱冲击波， $1.0 \text{ 公斤/厘米}^2 \geq \Delta p \gtrsim 0$ ， $461 \text{ 米/秒} \geq D \gtrsim 340 \text{ 米/秒}$
远 场 区		声波 $\Delta p \approx 0$ (即 $p_0 = 1 \text{ 个大气压}$)， $c_0 \approx 340 \text{ 米/秒}$ ， $T_0 \approx 288 \text{ K}$ ， $\rho_0 \approx 1.25 \times 10^{-3} \text{ 克/厘米}^3$

随着冲击波的传播，其超压继续下降。当其超压 Δp 衰减到介于每平方厘米 1 公斤与每平方厘米零公斤（即为 p_0 等于 1 个大气压）之间时，就成为弱冲击波了，我们称此区为中场区。中场区波阵面上的超压又减小了许多，其超压波形如表 1-3 的波形图所示。它对人的听觉器官作用仍属于冲击性的脉冲噪声，所以一般

也把它算为兵器脉冲噪声。兵器脉冲噪声及其防治是我们这本书要研究的主要内容。

弱冲击波继续传播到远处，就衰减为声波了，它仍然是脉冲噪声，其超压 Δp 已接近于零个大气压，我们称此区为远场区。这时冲击波的强度已经很弱了，波速已经变为常数，即声速。声波是周期性的，是介质压缩与膨胀交替的波动。其振动的波形如表 1-3 的波形图所示。

近场区和中场区的冲击波间没有本质上的区别，只是超压的大小不同。而远场区的声波就不同了，它不属于冲击波的范围，而是属于声波界限，也可以叫做冲击声波。冲击波与冲击声波是有本质的不同，其不同之点有以下几条：

① 冲击波是一种非线性的大振幅的 N 型脉冲波，是由于对空气的强扰动而产生的；而声波的振幅则很小，是由于对空气的弱扰动而产生的；

② 冲击波的传播速度比声波大，传播速度的大小取决于自己的强度，并且是逐渐衰减的；而声波的传播速度则是一个固定不变的常数，与其强度无关；

③ 冲击波波阵面上空气介质状态的参数（压强、密度和温度）发生突跃式地变化；而声波的空气介质状态参数只有微量地连续地变化；

④ 冲击波没有周期性，以一次突跃式地形成传播，其介质运动方向与波的传播方向相同；而声波有周期性（压缩与膨胀交替），介质质点只是振动，其运动方向与波的传播方向无关；

⑤ 冲击波波阵面通过时，整个过程系统与外界有热量交换，介质的熵增加；而声波传播过程变化是极其缓慢的，无热量交换的等熵过程，其熵为常数。

冲击波与声波传播的情况，如图 1-5 所示。

下面再把这两种波的参数值介绍一下：

弱扰动的空气声波参数值：

压力 $p_0 = 1$ 大气压；

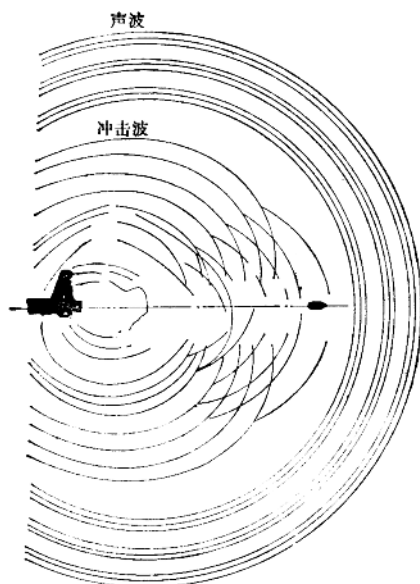


图1-5 腔口冲击波与声波传播示意图

密度 $\rho_0 = 1.25 \times 10^{-8}$ 克/厘米³;

温度 $T_0 = 15^\circ\text{C} = 288\text{K}$;

声速 $c_0 = 340$ 米/秒;

介质移动速度 $u = 0$ 。

强扰动的空气冲击波的参数值:

压力 $p_1 = p_0 + \Delta p$;

密度 $\rho_1 = \rho_0 + \Delta \rho$;

温度 $T_1 > T_0$;

声速 $c_1 > c_0$;

波速 $D > c_0$;

介质移动速度 $u_1 > 0$ 。

它们具体的数值可以由理论公式计算出来。其超压由每平方

厘米 0~5 公斤波阵面上的各参数值，列在表 1-4 内。

表 1-4 膛口冲击波波阵面上的介质参数

Δp_+ (公斤/厘米 ²)	D (米/秒)	u_1 (米/秒)	c_1 (米/秒)	$\frac{\rho_1}{\rho_0}$	$\frac{T_1}{T_0}$
0.00		0	340	1.000	1.000
0.05	347	11.5	342	1.034	1.014
0.10	354	22.6	345	1.068	1.028
0.15	361	33.3	347	1.101	1.040
0.20	367	43.6	349	1.134	1.053
0.25	374	53.5	351	1.167	1.064
0.30	379	63.4	353	1.200	1.076
0.40	393	81.4	357	1.262	1.100
0.50	405	98.7	360	1.324	1.121
0.70	428	131	367	1.442	1.164
1.00	461	174	377	1.606	1.226
1.40	501	223	388	1.811	1.301
2.00	560	288	408	2.083	1.409
3.00	636	357	428	2.470	1.580
4.00	707	453	450	2.785	1.750
5.00	773	514	469	3.060	1.910

表 1-4 中符号的意义为：

Δp_+ ——膛口冲击波正超压峰值；

p_+ ——膛口冲击波波阵面上的正压强；

D ——膛口冲击波波阵面上介质的移动速度；

c_1 ——膛口冲击波波阵面上介质中的音速；

ρ_1 ——膛口冲击波波阵面上介质的密度；

T_1 ——膛口冲击波波阵面上介质的温度。

从以上参数值也可以看出，膛口冲击波与声波是不相同的，是有本质上的区别的。

火炮发射后，除了膛口冲击波之外，还产生其它几种脉冲噪声。

例如，炮弹的飞行速度超过了声速，则形成弹丸激波及相应的脉冲噪声。

炮弹命中目标爆炸时，又会产生爆炸冲击波及相应的脉冲

噪声。

膛口冲击波、弹头激波及爆炸冲击波，是兵器三种主要噪声源。下面我们分别把这兵器三种脉冲噪声的波形及性质介绍如下。

1. 膛口脉冲噪声

在距枪口一定距离处的空间某点测量之脉冲噪声波形，如图1-6所示。

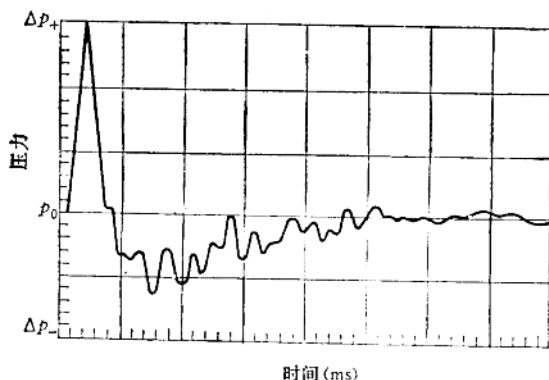


图1-6 轻兵器典型脉冲噪声波形

图1-6是兵器膛口脉冲噪声的全波形，它由两部分组成：第一部分，是主要部分，压强很高，持续时间较长，因而对人体的危害较大。第二部分，是次要部分，持续时间虽然很长，但是压强很低，所以对人体危害很小。因此，我们要研究的是其主要部分。

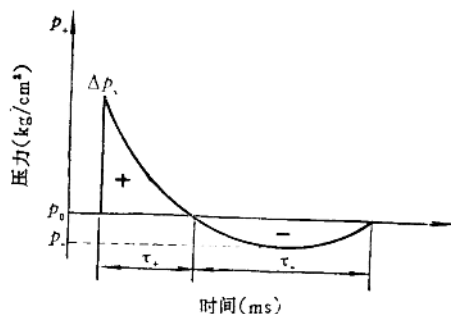


图1-7 典型膛口主要部分波形

典型的膛口主要部分波形曲线如图1-7。

图中各符号的意义:

+——称正压区。在正压区内, 空气压缩层内的压强超过腔口附近静止状态的空气压强;

——称负压区。在空气压缩层的后面出现一空气稀疏层, 稀疏层内的压强低于腔口附近静止状态的空气压强;

τ_+ ——正压区持续的时间;

τ_- ——负压区持续的时间;

p_+ ——波阵面上正压强;

p_- ——负压强;

p_0 ——静止状态的空气压强;

$\Delta p = p_+ - p_0$, 为最大正超压或称超压峰值;

$\Delta p_- = p_- - p_0$, 为最大负超压。

现在, 我们就来研究一下波形性质。可以看出, 正压区或称正相区的曲线前沿很陡, 其上升时间约在 1 微秒以下, 上升段可以看作是线性的, 其峰压值比负压区高很多。

通常, 我们关心的是正压区的超压, 因为它的压强较高, 对人的危害较大。

波形的后沿曲线可以用指数函数来描述, 下降比较平缓, 直至 1 个大气压时, 形成了正压区。曲线继续下降, 又回升到大气压, 形成了一个负压区或负相区, 波形曲线接近于正弦波。

正压区内超压 Δp 随时间 τ 变化的规律, 可以用以下指数函数式表示, 由资料[1]可知:

$$\Delta p = p_+ \left(1 - \frac{\tau}{\tau_+} \right) e^{\frac{b\tau}{\tau_+}} \quad (1-2)$$

式中 p_+ ——正压区超压峰值;

τ_+ ——正压区持续时间;

e ——自然对数的底数;

b ——时间常数。

由曲线图形可以看出, 腔口冲击波的正超压由 $p_+(p_0 =$

10^4kg/m^2) 大气压达到峰压值的时间是很短促的, 只需要 10^{-6} 秒 (属微秒级)。负压区作用的时间较长, 相当于正压区作用时间的几倍。

下面根据国内外一些资料记载, 经过我们绘制以后, 把某些有代表性的兵器膛口脉冲噪声波形介绍几个例子:

(1) 手枪射击空包弹时枪口脉冲噪声波形见图 1-8⁽³⁾。测点在射手的左耳处, 峰压约为 150 分贝。

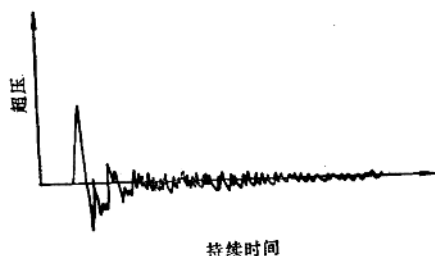


图1-8 手枪膛口脉冲噪声波形

(2) 图 1-9 是 85 毫米加农炮膛口脉冲噪声波形。是在火炮左右方测得。其峰压值为 180 分贝。这一峰值已经超过了允许标

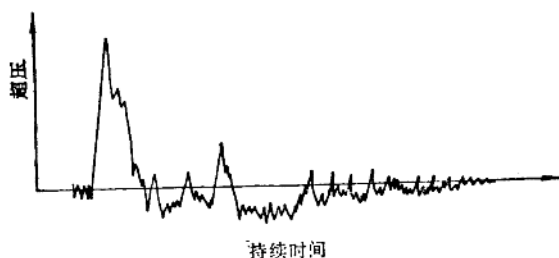


图1-9 85毫米加农炮膛口脉冲噪声波形

准, 试验人员在这个区域内工作, 必须有防护措施, 否则即使发射 1 发炮弹, 也可能造成中耳损伤。

由图上看到, 出现两个突出的炮口冲击波波形峰值。第一个峰值很高, 是炮口波直接产生的。第二个峰值是由于地面反射而产生的。

(3) 由资料[3]可知, M109G 型 152 毫米自行榴弹炮炮口

脉冲噪声波形见图 1-10。

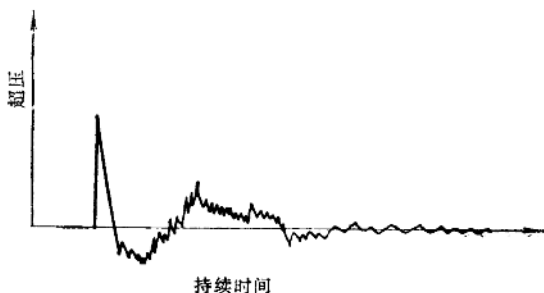
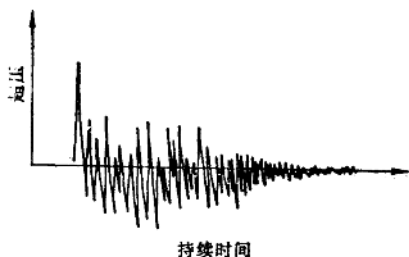


图1-10 M109G 155毫米自行榴弹炮脉冲噪声波形

测点在火炮后方20米处，测得的峰压级为 172.5 分贝。它比上述的 85 毫米加农炮的峰压级虽然低，但因测点较远，因此在炮手工作区域内工作人员也必须要有防护，以保证安全。



(4) 图 1-11 是美国 M20A1 火箭筒脉冲噪声波形。测点距火箭筒 4 米，测得的峰压级为 159.3 分贝，持续时间为 34.1 毫秒。

(5) 图 1-12 为 62 毫米单兵火箭的脉冲噪声波形，测点在其左后方。(a) 图测点距膛口约 8 米，与火箭筒轴线夹角为 30° ，测点高 1.57 米，峰压值为 166.1 分贝；(b) 图测点距膛口约 9 米，与火箭筒轴线夹角为 50° ，测点高 1.1 米，峰压值为 169.3 分贝。

从图 1-11 和图 1-12 上可以看出，这种压力波的压力-时间曲线比较复杂。其原因是，火箭筒不仅在膛口处由于高压火药气体冲击大气形成压力波，而且在筒尾部由于高压火药气体向后连