

弱冲击波对人员内脏损伤的 危险性估计

杨志焕 王正国 唐承功 刘大维
(第三军医大学野战外科研究所, 重庆630042)

姚德胜 刘正邦 陈 田
(总参炮兵装备技术研究所)

摘要 本文通过对绵羊 TNT 化爆试验, 生物激波管试验和火炮现场试验资料的分析 and 数据处理, 探讨了冲击波物理参数与人员内脏损伤的关系, 制定了弱冲击波对人员内脏损伤的安全限值。该限值可作为部队作战、训练的依据, 也可作为武器研究、论证、设计、试验和弱冲击波防护的依据, 对判定各种爆炸物爆炸引起的人员内脏损伤情况亦有参考价值。

关键词 弱冲击波 内脏损伤 安全限值

1. 引言

大口径火炮, 反坦克火箭和导弹等现代重武器发射时, 产生的冲击波强度较低, 正压持续时间较短, 炮口冲击波有上升前沿较缓的特点, 属于弱冲击波或低强度冲击波的范畴。弱冲击波除可以引起听器损伤外, 近年的研究表明长期或短时间内连续多次受弱冲击波作用, 还可引起内脏损伤^[1,2]。本文通过对弱冲击波生物实验数据的处理和实验资料的分析, 以阐明弱冲击波的物理参数与人员内脏损伤程度和安全限值之间的关系, 作为弱冲击波对人员内脏损伤的危险性估计, 从而为部队的训练, 作战和弱冲击波的防护提供依据。

2. 材料和方法

(1) 资料来源 供本研究分析处理的资料来源于以下三组生物实验的数据: TNT 化爆试验组, 绵羊117只, 体重15.2—42.4kg, 布放于离爆心4.5m—23m的圆周线上, 用10kg TNT 药柱进行单次, 连续20次和60次爆炸致伤; 生物激波管试验组, 绵羊21只, 体重16.5—33kg, 用BST-I型生物激波管致伤; 火炮现场试验组, 绵羊7只, 体重19.0—28.0kg, 布放于相应的炮手位上, 用152mm加榴炮全装药于1h内连续发射60发, 实验过程中, 均用美国 ENDEVCO 公司生产的8507型压阻式压力传感器测量冲击波有关的物理参数。致伤后4—13小时静脉注射3%戊巴比妥钠麻醉后股动脉放血处死动物, 作大体解剖, 重点观察上呼吸道、肺和胃肠道的变化。

(2) 数据处理 数据处理的方法和步骤如下:

[1] 统一内脏损伤程度的评定, 制定冲击波致内脏损伤的等级, 并将内脏损伤程度量

· 参加该工作的还有冷华光、李晓炎、马孝华、尹友国、陈遗爱、李敬魁等同志。

1991年5月21日收到原稿, 9月3日收到修改稿。

化,用 Y 值表征, $Y=0-1$,其中轻度伤 $Y=0.2-0.4$,中度伤 $Y=0.4-0.6$,重度伤 $Y=0.6-0.8$,极重度伤 $Y=0.8-1.0$ 。损伤等级判定标准见表 1。

表 1 动物冲击伤等级的判定

Table 1 Judgement of blast injury degree for animal

损伤部位	损伤程度	编号	加权值	损伤等级 Y				
				无伤	轻度	中度	重度	极重度
				0	0.2	0.4	0.6	0.8
上呼吸道	± 散在针头至米粒大或个别绿豆大出血	1-1						
	+ 散在斑点状或条索状出血	1-2	1.0					
	++ 粘膜破裂或血肿	1-3	1.2					
肺	± 散在针头至米粒大或个别绿豆大出血	2-1						
	+ 一叶或数叶密集点灶状或个别斑块状出血	2-2	1.2					
	++ 一叶或数叶散在斑块状或个别小片状出血,轻度水肿	2-3	1.4					
	+++ 一叶或数叶多个小片状或个别大片状出血,中度水肿	2-4	1.6					
	++++ 4叶以上弥漫性大片状出血,肺破裂,重度水肿	2-5	1.8					
胃肠道	± 散在针头至米粒大出血或个别黄豆大血肿	3-1						
	+ 密集点灶状至斑块状出血,或个别黄豆大血肿	3-2	1.0					
	++ 多处小片状或个别大片状出血,或多个黄豆大以上血肿	3-3	1.4					
	+++ 穿孔或多处大片状出血	3-4	1.7					
心脏	+ 散在斑点状出血	4-1	1.2					
	++ 散在小片状出血	4-2	1.4					
	+++ 大片状出血或内膜损伤	4-3	1.7					
肝脾	+ 散在斑点状或个别小片状出血,个别黄豆大血肿	5-1	1.2					
	++ 多处小片状或大片状出血,或多个黄豆大以上血肿	5-2	1.4					
	+++ 浅层撕裂或破裂	5-3	1.7					
肾脏	+ 散在斑点状或小片状出血	6-1	1.0					
	++ 浅层撕裂	6-2	1.4					
膀胱	+ 散在斑点状或条索状出血	7-1	0.8					
	++ 多处斑块状或片状出血	7-2	1.2					
	+++ 破裂	7-3	1.7					

注:±、+、++、+++、++++分别代表轻微、轻度、中度、重度和极重度伤; Y 值:根据损伤等级所得的计分。

[2]采用经实验验证的符合实际的经验公式算出每只动物的综合内脏损伤程度。

[3]采用 Kokinakis 等^[3]报导的方法,用体重修正,换算成人员的综合内脏损伤程度。

[4]利用数理统计方法,求出冲击波物理参数(超压峰值,作用次数和正压持续时间)与人员内脏损伤程度之间的关系。

[5]在给出保护率(本研究为不低于 90%)和致伤概率分布函数后,计算出弱冲击波对人员内脏损伤的安全限值。

有关数据处理的具体方法和计算过程详见冲击波对人员内脏损伤的数据处理。

3. 结果

(1)冲击波超压峰值与人员内脏损伤程度的关系:人员单次作用(冲击)时,发生概率为 50%的内脏损伤程度与冲击波超压峰值的关系见图 1。结果表明引起人员发生 50%轻度、中度和重度冲击伤的超压峰值分别为 65kPa、114kPa 和 182kPa。

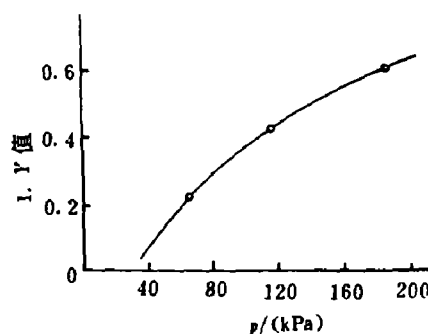


图 1 单次作用时冲击波超压与人员内脏损伤的关系

Fig. 1 Relationship between overpressure of blast wave and internal organ injury of personnel at single exposure
I, Y value

(2)冲击波重复作用次数与人员内脏损伤程度的关系:结果见表 2,由表 2 可见,随着冲击波的作用次数增加,引起同样程度冲击伤所需的超压峰值逐渐下降。在单次,连续 20 次和连续 60 次作用时,引起人员内脏轻度冲击伤发生概率为 50%的超压峰值分别为 65.0 kPa、44.82 kPa 和 39.46 kPa。

表 2 冲击波作用次数与人员内脏损伤的关系
Table 2 Relationship between exposure times of blast wave and internal organ injury of personnel

作用次数	1	20	60
超压峰值/(kPa)*	65.0	44.82	39.46

* 引起人员内脏轻度冲击伤发生概率为 50%的超压峰值,下同。

表 3 冲击波正压持续时间与人员内脏损伤的关系
Table 3 Relationship between positive duration of blast wave and internal organ injury of personnel

正压持续时间/(ms)	1	5	40
超压峰值/(kPa)	120	110	98.9

(3)冲击波正压持续时间与人员内脏损伤程度的关系:结果见表 3。由表 3 可见,随着正压持续时间延长,引起同样程度冲击伤所需的超压峰值逐渐下降。

(4)冲击波对人员内脏损伤的安全限值:经数据处理,得到弱冲击波对人员内脏损伤安全限值的公式如下

$$P_s = \begin{cases} 37 - 3 \ln \frac{T_s \cdot N}{4} & T_s \cdot N \leq 1000 \\ 20.4 & T_s \cdot N > 1000 \end{cases} \quad (1)$$

式中 P_s 为安全压力峰值(kPa), T_s 为有效持续时间,取包络自峰顶下降 10dB 处所有时间

间隔之和(ms) N 为作用(冲击)次数。

本标准规定的安全限值 p_s 对人员内脏器官的保护率可不小于90%。安全限值 p_s 可用表格表示,详见表4。安全限值 p_s 也可用曲线表示,详见图2。

表4 弱冲击波对人员内脏损伤的安全限值

Table 4 The safety limits of weak blast waves to internal organ injury of personnel

有效 C 持续时间 /(ms)	安全限值/kPa								
	1发	5发	10发	15发	20发	30发	60发	80发	100发
1	41.2	36.3	34.3	33.0	32.2	31.0	28.9	28.0	27.3
2	39.1	34.3	32.2	31.0	31.0	28.9	26.8	25.9	25.3
3	37.9	33.0	31.0	29.7	28.9	27.7	25.6	24.7	24.0
4	37.0	32.2	30.1	28.9	28.0	26.8	24.7	23.9	23.2
5	36.3	31.5	29.4	28.2	27.3	26.1	24.0	23.2	22.5
6	35.8	31.0	28.9	27.7	26.8	25.6	23.5	22.6	22.0
7	35.3	30.5	28.4	27.2	26.3	25.1	23.0	22.2	21.5
8	34.9	30.1	28.0	26.8	25.9	24.7	22.6	21.8	21.1
9	34.6	29.7	27.7	26.4	25.6	24.4	22.3	21.4	20.8
10	34.3	29.4	27.3	26.1	25.3	24.0	22.0	21.1	20.4
12	33.7	28.9	26.8	25.6	24.7	23.5	21.4	20.6	20.4
14	33.2	28.4	26.3	25.1	24.3	23.0	21.0	20.4	20.4
16	32.8	28.0	25.9	24.7	23.9	22.6	20.6	20.4	20.4
18	32.5	27.7	25.6	24.4	23.5	22.3	20.4	20.4	20.4

4. 讨 论

现代火器,由于采用高能装药和增加武器口径(如火炮)等原因,使其攻击威力明显增强,但随之而来的是武器发射时产生的冲击波也相应增加了,这有可能引起操作人员的内脏损伤。张清华等^[4]报导了194名参战炮手的调查结果,表明在连续多次发射122mm和152mm加榴炮后,胸闷、胸痛、心慌、咳嗽等的发生率可高达40%,有的还伴有乏力,腹痛等症状^[5]。我们在调查中

发现,2名炮手在频繁的炮战后甚至诱发了溃疡病出血。本研究发现在炮手连续发射152mm加榴炮全装药60发后,10例均有咽喉部发干,4例有胸闷,其中2例伴有胸痛,与文献报导的发生率相近。这些研究结果提示武器发射时的弱冲击波对操作员的身体健康存在着威胁,因此,为确保操作员的安全和健康,有必要加强弱冲击波对员内脏损伤的研究。

弱冲击波对人员内脏损伤的程度,主要与冲击波的超压峰值,正压持续时间和作用次数有关。由于弱冲击波的正压持续时间较短,一般为数毫秒。因此,影响内脏损伤的主要因素是冲击波超压峰值和作用次数。压力峰值越高,内脏损伤的程度就越重;作用(冲击)的次数越多,内脏损伤所需的压力值就越低。本研究的结果表明单次作用时,发生概率为

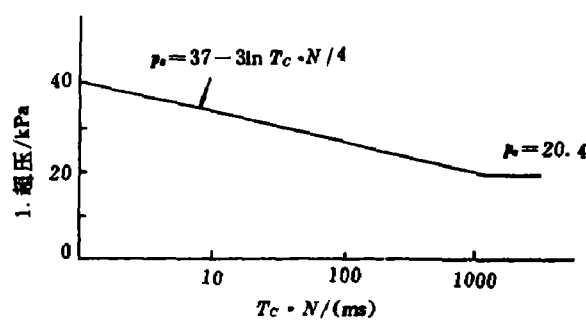


图2 弱冲击波对人员内脏损伤的安全限值曲线

Fig. 2 The safety limiting curve of weak blast waves to internal organ injury of personnel

1. Overpressure

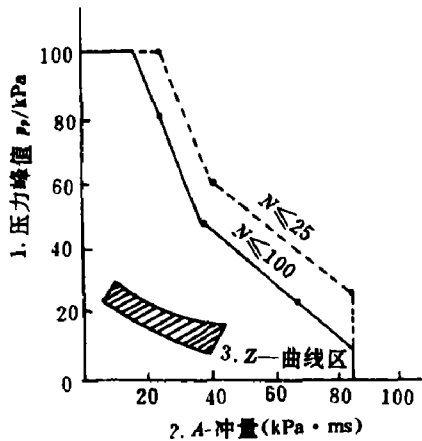


图 3 从非听器损伤的危险性判定
暴露于自由场超压的限值曲线

Fig. 3 The limiting curves for free-field
overpressure exposure based on risk of
nonauditory injury

1. Pressure peak, 2. A-impulse,
3. Z-Curve regime

50%的轻度冲击伤所需的压力值为 65kPa,但当超压值上升到 114kPa 和 182kPa 时,就分别可引起中度和重度冲击伤。Richmond 等报导单次作用时,引起人员喉和胃肠道轻度伤发生率为 50%的超压值分别为 69kPa 和 83kPa,而连续 5 次作用后,则分别降为 34kPa 和 55kPa。本研究单次作用时,引起人员发生概率为 50%轻度冲击伤的压力值为 65kPa,而连续 20 次和 60 次作用后,则分别降为 44.82kPa 和 39.46kPa,同文献报导的结果大致相近。但我们也发现,在弱冲击波致伤时,当作用次数达到一定限度时(如连续作用 60 次后),作用次数对损伤程度的叠加效应就逐渐减少了。

弱冲击波对人员内脏损伤的危险性估计,目前各国主要根据大量大动物试验的资料推算到人的。这种危险性估计包括引起人员不同程度内脏损伤所需的超压峰值和对人员内脏损伤的安全限值两方面。Bowen、Richmend 和 Anders 等报导在短作用时间下(正压持续时间为 2ms—3ms)轻度肺损伤的压力值分别为 103.4kPa,138kPa—207kPa 和 207kPa—276kPa。Yeverton 等报导了炮口冲击波在正压持续时间为 8ms 条件下,单

次作用时,引起上呼吸道,胃肠道和肺轻度损伤的压力值分别为 40kPa,80kPa 和 107kPa;连续 20 次作用后,肺损伤的压力值未见明显改变,但上呼吸道和胃肠道损伤的压力值则分别降为 35kPa 和 65kPa,但随作用次数增加,引起损伤的压力值降低了。Савенко 等^[5]报导引起人员轻度损伤的超压值为 19.61kPa—39.23kPa,王正国等^[6]根据炸药爆炸事故调查结果,推算引起人员轻度冲击伤的压力值为 13.72kPa—33.32kPa。本研究的结果表明引起人员轻度冲击伤发生概率为 10%的超压值为 37kPa,同文献报导的结果相近。

在弱冲击波对人员内脏损伤的安全限值方面,美国军用标准 MIL-STD-1474B 规定超过“Z”线可能引起内脏损伤。Phillips 等根据大量大动物试验的资料制定的弱冲击波对人员内脏损伤的限值曲线(图 3),可作为重武器发射时操作人员是否安全的依据。国内梁之安^[7]和胡正元^[8]等根据大量生物试验的结果,分别制定了“常规武器发射时压力波对人体作用的安全标准”和“导弹”、火炮在舰上发射时的脉冲噪声对听觉的安全限值”。但这两个军用标准主要是针对弱冲击波对听觉的损害,并以听器安全来推论内脏安全为前提,为此,很难判定在听器得到防护或有损害的情况下,内脏器官是否会受到损伤。李铮^[9]根据生物试验的资料,提出了空气冲击波作用下人的安全距离,该标准对判定偶发爆炸性事故中不同距离人员的伤亡情况有重要价值。但对重复作用的弱冲击波对人员内脏损伤的判定也有困难,因此,还有待解决弱冲击波重复作用对人员内脏损伤的安全限值。

本研究依据大量大动物试验的资料和参战炮手调查及火炮现场试验的结果,制定了弱冲击波对人员内脏损伤的安全限值。该限值可作为部队作战、训练的依据;也可作为武器科研论证、设计、试验和弱冲击波防护的依据;对各种爆炸物爆炸所致的人员内脏损伤

情况也有参考价值。但该标准是否真正符合实际,有待部队贯彻试用过程中进一步验证和修正,使之逐步完善。

参 考 文 献

- [1] Clifford C B, Moe J B, Jaeger J J, et al. *Military Medicine*, 1984, 149(9): 491
- [2] 杨志焕,姚德胜,王正国等. *创伤杂志*, 1990, 6(1): 10
- [3] Kokinakis W, Rudolph R R. An assessment of the current state of the art of incapacitation by air blast. *Acta Chir Scand Suppl* 508: 1982, 135
- [4] 张清华,陈勇,王永刚等. *创伤杂志*, 1987, 3(4): 200
- [5] Савенко С К, Гурии А А. Ударные Воздушные Водны В Подземных Выработках. *Москва; Недра*, 1973, 15
- [6] 王正国等. 冲击波致伤和安全标准研究. *国外医学军事医学分册*, 1987, 5: 257
- [7] 梁之安等. 常规兵器发射或爆炸时压力波对人体作用的安全标准, 中华人民共和国军用标准 GJB2-82
- [8] 胡正元等. 导弹火炮在舰上发射时的脉冲噪声对听觉的安全限值. 中华人民共和国军用标准 GJB12-84
- [9] 李 铮. *爆炸与冲击*, 1990, 10(2): 136

CRITICAL ESTIMATION OF THE INTERNAL ORGAN INJURY IN HUMAN BEING SUBJECTED TO WEAK BLAST WAVES

Yang Zhihuan, Wang Zhengguo, Tang Chengon, Liu Dawei

(*Research Institute of Surgery, Third Military Medical College, Chongqing 630042*)

Yao Desheng, Liu Zhengbang, Chen Tian

(*Artillery Equipment Technical Institute, Headquarters of the General staff*)

ABSTRACT On the basis of analyzing and processing the results from animal experiment with sheep subjected to weak blast waves conducted with TNT explosions, biological shock tube and at spot of gun firing, the relationship of the physical parameters of blast waves to human internal organ injury and the corresponding safety limits are explored in this paper. The safety limits can be used as the reference basis for the battling and training for the armed forces. It can also be used as the reference basis for the scientific demonstration, design and performance test of weapons and the protection assessment against to weak blast waves for persons. It is also of a reference value for judging the internal organ injury degree for the victims subjected to explosions.

KEY WORDS weak blast waves, internal organ injury, safety limits