

文章编号:1004-7220(2011)01-0039-04

水面舰艇舰员水下爆炸冲击防护研究

张 玮^{1,2}

(1. 海军装备研究院舰船所,北京 100161; 2. 海军航空工程学院,烟台 264001)

摘要: 目的 研究减小不同姿态水面舰艇员水下爆炸冲击响应的方法。方法 通过建立水面舰艇员水下爆炸冲击响应集中参数模型,研究水下爆炸作用下不同结构参数对坐姿、坐姿、行走状态下水面舰艇员冲击响应的影响。结果 对于坐姿舰员,增大甲板与座椅之间的阻尼比和刚度比,骨盆的冲击响应减小;对于坐姿舰员,增大甲板的阻尼系数,下肢的冲击响应减小;对于行走舰员,增大甲板的阻尼系数,下肢的冲击响应减小。结论 可通过在甲板上加装抗冲击座椅或敷设抗冲击材料,增大甲板与座椅之间的阻尼比和刚度比或甲板的阻尼系数,减小水面舰艇员的冲击响应。

关键词: 人体响应; 水下爆炸; 冲击防护; 阻尼; 刚度; 舰员

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

Research on the shock protection of surface ship crew subjected to underwater explosion

ZHANG Wei^{1,2} (1. Institute of Naval Vessels, Naval Academy of Armament, Beijing 100073, China; 2. Naval Aeronautical Engineering Institute, Yantai 264001, China)

Abstract: Objective To study the methods of reducing the shock response of surface ship crew by under water explosion. **Method** The shock response lumped parameter models were established to study the influence on surface ship crew with different structure parameters in standing, sitting and walking posture. **Results** For ship crew with sitting posture, the shock response of the pelvis could be reduced by enlarging the damping ratio and stiffness ratio between the deck and the chair. For ship crew with both standing posture and walking posture, the shock response of the limb could be reduced by enlarging the damping coefficient of the deck. **Conclusions** By adding anti-shock chairs or laying anti-shock material on the deck, the damping ratio and stiffness ratio between the deck and the chair, or the damping coefficient of the deck could be enlarged, and the shock response of the surface ship crew could be reduced.

Key words: Biodynamic response; Underwater explosions; Shock protection; Damping; Stiffness; Ship crew

对于水面舰艇来说,舰员是水面舰艇的灵魂,舰员的生命力直接影响舰艇的生命力和作战能力。当水面舰艇遭到水下爆炸的冲击,不同战位上的舰员承受的冲击载荷超过人体各部的耐受极限时,舰员就不可避免地产生肌肉与关节肿胀、骨折、内脏破损等各类冲击损伤,轻者影响作战能力,重者丧失工作能力,甚至危及生命^[1-2]。大量海战实例已充分证明

了水下非接触爆炸对舰员的冲击损伤作用。2010年3月,韩国“天安号”护卫舰遭受水下非接触性爆炸事故,造成全舰104人中46人遇难,大量人员不同程度受伤的严重后果。相对于水面舰艇结构、设备的冲击防护研究,舰员的冲击防护研究工作较为滞后^[3-6]。本文主要工作在于分析不同结构参数对水下爆炸载荷作用下坐姿、坐姿、行走状态舰员冲击

收稿日期:2010-06-09; 修回日期:2010-10-08

通讯作者:张玮,Tel:(010)66952973; E-mail: underwater shock@yahoo.com.cn。

响应的影响,提出舰员冲击防护的新思路、新方法,为水面舰艇舰员冲击防护提供指导。

1 水面舰艇舰员水下爆炸冲击响应计算方法

假设水面舰艇结构由一底板和甲板组成。单位面积底板和甲板的质量分别为 M_1 和 M_2 ,底板和甲板之间通过内部结构连接,连接结构的刚度和阻尼分别为 K_2 和 C_2 ,底板另一侧与水接触。假设爆源的装药量为 W ,在爆源中心位置与底板距离 R 处爆炸,冲击波作用于底板,并通过底板直接传递给立姿或行走状态下的舰员或通过座椅传递给坐姿的舰员。座椅的刚度和阻尼分别为 K_3 和 C_3 , $y_1(t)$ 、

$$[C] = \begin{bmatrix} C_1 + C_2 & -C_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -C_2 & C_2 + C_3 & -C_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -C_3 & C_3 + C_5 & -C_5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -C_5 & C_5 + C_6 & -C_6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -C_6 & C_6 + C_7 + C_8 & -C_7 & -C_8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -C_7 & C_7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -C_8 & 0 & C_8 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} K_1 + K_2 & -K_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -K_2 & K_2 + K_3 & -K_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -K_3 & K_3 + K_5 & -K_5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -K_5 & K_5 + K_6 & -K_6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -K_6 & K_6 + K_7 + K_8 & -K_7 & -K_8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -K_7 & K_7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -K_8 & 0 & K_8 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

对于立姿、行走状态下舰员,只需将式(2)、(3)、(4)中的 M_3 、 C_3 、 K_3 换为 M_4 、 C_4 、 K_4 或 M_{41} 、 C_{41} 、 K_{41} ,矩阵形式不变。式中,

$$K_i = (\bar{K}_i \times 100 \times 3.1415926)^2 M_i \quad i = 2,3 \quad (5)$$

$$C_i = \bar{C}_i \sqrt{M_i K_i} (\delta_i) \quad i = 1,2,\dots,8 \quad (6)$$

\bar{C}_i 和 \bar{K}_i 为结构的阻尼和刚度比,其对舰员冲击响应的影响在后面将研究。 M_i 、 \bar{C}_i 和 \bar{K}_i ($i = 4,2, \dots,8$)如表1所示。坐姿、立姿、行走状态下舰员冲击响应计算模型如图1~3所示。

2 水面舰艇舰员水下爆炸冲击响应规律

假设水面舰艇单位面积底板、甲板质量 M_1 、 M_2 均为250kg,座椅质量 M_3 为20kg,运动方程如

$y_2(t)$ 和 $y_3(t)$ 分别表示底板、甲板和座椅的冲击位移。人体利用集中参数模型, $y_i(t)$ ($i = 4,5, \dots,8$) 表示人体各部位的冲击位移, $i = 4$ 表示下肢, $i = 5$ 表示骨盆, $i = 6$ 表示上躯干, $i = 7$ 表示内脏, $i = 8$ 表示头部。人体各部位运动方程采用矩阵形式表示

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = \{R\} \quad (1)$$

式中, $\{R\} = (2P_t, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)^T$, $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ 分别表示质量、阻尼、刚度矩阵, P_t 表示作用于底板的水下爆炸压力。

对于坐姿舰员,有

$$[M] = \text{diag}(M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_7, M_8) \quad (2)$$

表1 人体模型参数

Tab.1 Human model parampters

部位	刚度 $K_i/(N \cdot m^{-1})$	质量 M_i/kg	阻尼比 \bar{C}_i
头部	202 286.1	5.5	0.2
内部组织	2 831.8	6.8	1.0
上躯干	$1.6215 \times 10^8 (y_3 - y_4)^2$, 当 $y_3 - y_4 \geq 0$ 0, 当 $y_3 - y_4 < 0$	21.8	0.22
骨盆	$3.7806 \times 10^3 + 1.09 \times 10^7 (y_4 - y_5)$ $-2.6868 \times 10^7 (y_4 - y_5)^2$, 当 $y_4 - y_5 \leq 0.04$ 77 043.56, 当 $y_4 - y_5 > 0.04$	29	0.5
下肢	12 370(立姿) 10 514.5(行走)	20(立姿) 31(行走)	0.224(立姿) 0.372(行走)

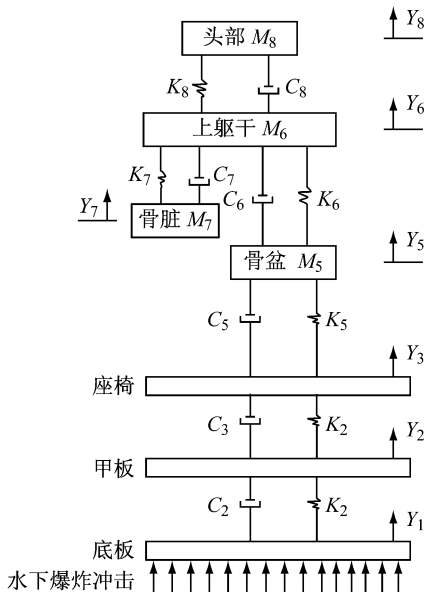


图1 坐姿舰员冲击响应计算模型

Fig.1 Shock response calculating model of ship crew with sitting posture

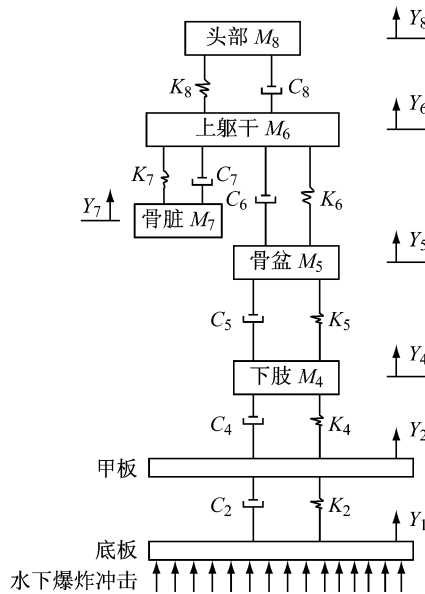


图2 立姿舰员冲击响应计算模型

Fig.2 Shock response calculating model of ship crew with standing posture

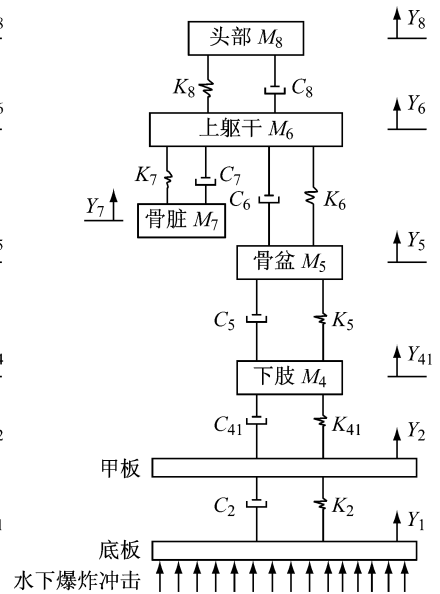


图3 行走舰员冲击响应计算模型

Fig.3 Shock response calculating model of ship crew with walking posture

式(1)所示。假设爆源为 250 kg TNT 的装药,位于水面舰艇正下方,研究爆源与水面舰艇的距离分别为 52.7、26.4、19.8 m 时,结构参数对于不同姿态舰员冲击响应的影 响。

(1) 对于坐姿舰员,增大甲板与座椅之间的阻尼比 \bar{C}_3 和刚度比 \bar{K}_3 ,分析骨盆冲击响应的变化,如图 4~6 所示。

由图 4~6 可以看出,骨盆加速度 g 明显减小,随着阻尼比逐渐增大,骨盆加速度由 22.86 g 减小至 15.92 g 。

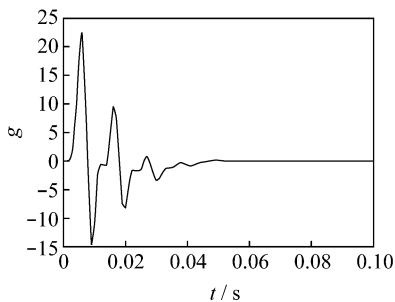


图4 骨盆冲击响应($\bar{C}_3=0.5$)

Fig.4 Shock response of pelvis($\bar{C}_3=0.5$)

随着刚度比逐渐增大,骨盆加速度由 22.86 g 减小至 14.79 g 。

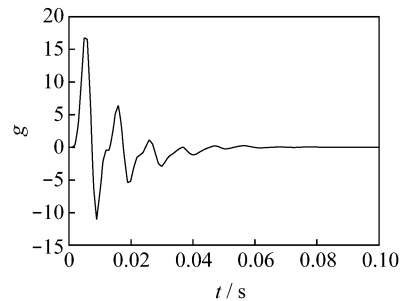


图5 骨盆冲击响应($\bar{C}_3=1$)

Fig.5 Shock response of pelvis($\bar{C}_3=1$)

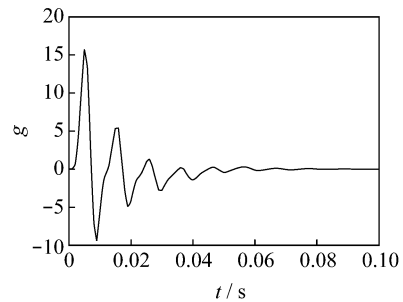


图6 骨盆冲击响应($\bar{C}_3=1.5$)

Fig.6 Shock response of pelvis($\bar{C}_3=1.5$)

由图 7~9 可以看出,骨盆的加速度明显减小,

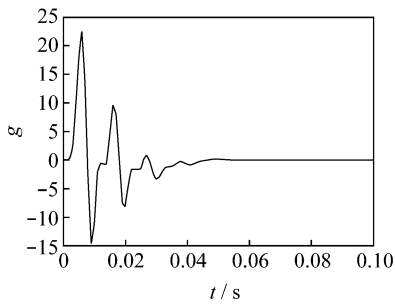


图7 骨盆冲击响应($\overline{K_3}=2$)
Fig.7 Shock response of pelvis($\overline{K_3}=2$)

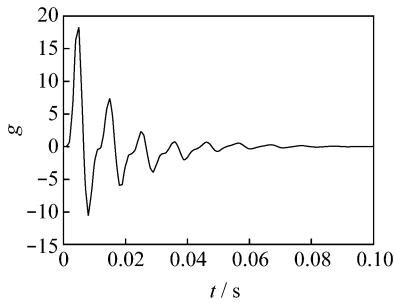


图8 骨盆冲击响应($\overline{K_3}=4$)
Fig.8 Shock response of pelvis($\overline{K_3}=4$)

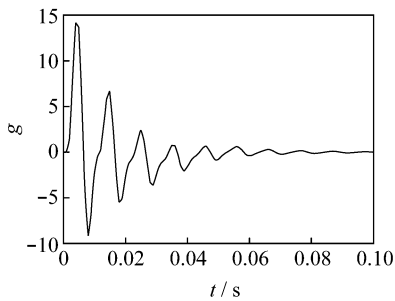


图9 骨盆冲击响应($\overline{K_3}=6$)
Fig.9 Shock response of pelvis($\overline{K_3}=6$)

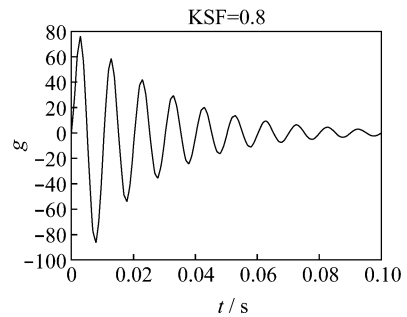


图10 下肢冲击响应($C_2=0$)
Fig.10 Shock response of limb($C_2=0$)

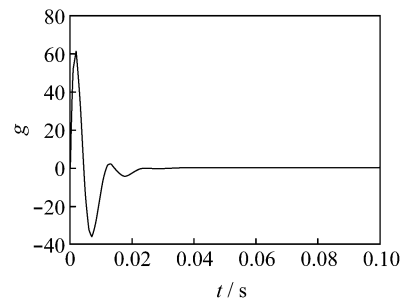


图11 下肢冲击响应($C_2=100\ 000$)
Fig.11 Shock response of limb($C_2=100\ 000$)

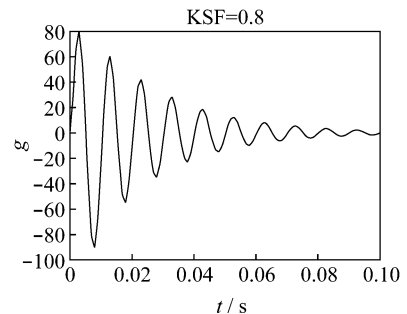


图12 下肢冲击响应($C_2=0$)
Fig.12 Shock response of limb($C_2=0$)

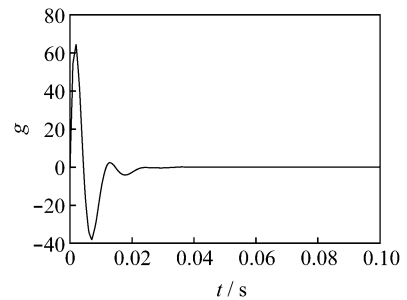


图13 下肢冲击响应($C_2=100\ 000$)
Fig.13 Shock response of limb($C_2=100\ 000$)

(2) 对于立姿舰员,增大甲板的阻尼系数 C_2 , 分析下肢冲击响应的变化(见图 10 ~ 11)。

由图 10 ~ 11 可以看出,下肢的加速度明显减小,随着阻尼的逐渐增大,下肢加速度由 78.26 g 减小至 60.15 g。

(3) 对于行走舰员,增大甲板的阻尼系数 C_2 , 分析下肢冲击响应的变化(见图 12 ~ 13)。

由图 12 ~ 13 可以看出,下肢的加速度明显减小,随着阻尼的逐渐增大,下肢加速度由 79.67 g 减小至 60.25 g。

(下转第 50 页)