

文章编号: 1001-1455(2011)01-0088-07

隧道爆破声波对毗邻养殖水中声场环境的影响*

刘贞文^{1,2}, 许肖梅¹, 覃柳怀¹

(1. 厦门大学海洋与环境学院水声通信与海洋信息技术教育部重点实验室, 福建 厦门 361005;

2. 国家海洋局第三海洋研究所, 福建 厦门 361005)

摘要: 以福建省罗源县正在建设的龟屿隧道爆破工程为例, 分析了隧道爆破地震波的传播规律和对毗邻大黄鱼育苗池的水中声场环境的影响。研究表明: (1) 爆破作业将显著地增加毗邻大黄鱼育苗池的水中声强(比未爆破前的水中声强高约 60~80 dB), 强度的增加与爆破药量成正比, 与爆点的距离成反比, 且距离的影响远大于爆破药量的影响; (2) 在海水高潮和低潮的 2 个时段, 由于爆破地震波传播途径的不同, 毗邻大黄鱼育苗池的水中声场环境在强度和频率能量分布上均存在差异: 育苗池中低潮时段的水中声强小于高潮时段的水中声强; 低潮时段声波能量主要分布在小于 400 Hz 的较低频带上, 而高潮时段的声波能量主要分布在 200~1 000 Hz 的较高频带上。因此, 为减小隧道爆破对育苗池中大黄鱼的伤害, 结合分析大黄鱼对水中声波的敏感频率(500~800 Hz)及敏感强度, 需降低育苗池的水中声强并使声波能量分布向低频带转移, 选择在低潮时段、采用低药量进行隧道作业。

关键词: 爆炸力学; 声传播; 爆破地震波; 声场环境; 大黄鱼

中图分类号: O389

国标学科代码: 130·3599

文献标志码: A

近年来, 随着海洋工程建设项目与沿岸环海公路建设项目的日益增多, 隧道爆破、水下工程炸礁等产生的声波对周边海域水中声场环境产生了严重影响。陆地隧道爆破在空气中产生严重的噪声环境污染, 直接影响人类身心健康, 已引起关注^[1]。水下及海底爆破产生的声波对鱼类、海洋哺乳动物能产生致命损伤, 这种危害也已有相关评价^[2-5]。但是, 在沿海港湾附近的陆地山体、隧道等爆破所产生的声波如何影响毗邻渔业养殖水中声场环境, 进而伤害鱼体(特别是有鳧石首鱼科)的相关研究报告却很少。

福建省罗源县正在建设的疏港战备公路中的龟屿隧道爆破作业点距离海岸不到 50 m, 在海岸另一侧处有一个大黄鱼育苗池, 如图 1 所示。隧道爆区与大黄鱼育苗池之间被约 530 m 宽的海水隔开, 每天涨潮时海床被海水淹没, 最大水深约 3 m, 退潮时海床裸露。2009 年春节后该隧道开始爆破施工。据育苗池负责人介绍, 在爆破施工的 2 月多时间内不断出现大黄鱼幼苗非正常死亡现象, 不仅导致当地施工人员对大黄鱼的安全没有把握, 而且当地有关政府部门及渔民也是顾虑重重。

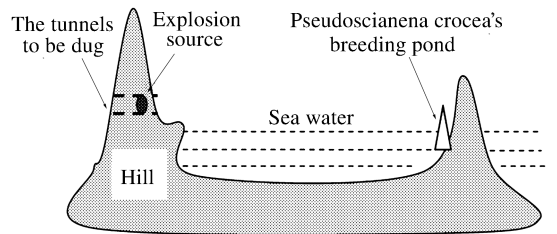


图 1 龟屿隧道区与临近海域大黄鱼育苗池所处位置示意图
Fig. 1 The schematic of relative position between *Pseudosciaena crocea's* breeding pond and Guiyu tunnel

大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)是中国网箱养殖的主要鱼类和特有优质鱼种, 是著名的高经济价值鱼类^[6-7]。大黄鱼对水中的声波十分敏感, 在受到水下强噪声影响时, 许多大黄鱼往往会受惊吓跳出水面, 出现几天无食欲甚至死亡的现象^[8]。

基于以上原因, 必须研究爆破声波(地震波及空气冲击波)对当地育苗池中大黄鱼的影响。隧道爆破时产生的声波在固-液-气 3 种介质中的传播规律不同于单一介质中自由场水下爆破的声波传播规

* 收稿日期: 2009-10-12; 修回日期: 2010-01-25

基金项目: 教育部博士点基金项目(20090121110001); 福建省科技计划重点项目(2009N0050)

作者简介: 刘贞文(1979—), 男, 博士研究生, 助理研究员。

律,它与地形、地质条件、传播介质的层次与力学性能、反射折射角度以及爆破参数等诸多因数有关。从图1所示的地形位置可见,爆破作业点与大黄鱼育苗池之间被海水阻隔,爆破声波可能从空气中、水中和水底3种传播路径到达育苗池中。

1 理论分析

1.1 隧道爆破时声波传播路径

当炸药在岩体爆炸时,一部分能量引起炸药周围的介质扰动,并以声波的形式向外传播^[9]。在不同传播介质中,由爆破引起的声波传播一般有2种形式:1种是从基岩到空气中的冲击波,另1种是沿基岩前进的地震波。

由波动声学理论^[10]可知,空气中的声阻抗远小于水中声阻抗(空气与水的声阻抗比约1:3570),因此空气中的冲击波只有少部分能量传递进入海水介质中。忽略空气中冲击波对水中声场的影响,主要考虑通过基岩传播的地震波对水中声场的影响。当炸药在岩石中爆炸后,岩石中约2%~5%的爆炸能量转变为地震波,尽管地震波能量是爆炸总能量的很小部分,但造成的危害却不容忽视。

地震波首先在山体岩石(或混和土层)中传播。当地震波进入海岸时,传播路径存在2种情况:在海水低潮时段,因海床裸露,可认为爆破地震波仅通过海床基底传播至大黄鱼育苗池围墙并辐射声能入水。在海水高潮时段,一部分爆破地震波由海岸及海底辐射声能进入海水并通过海水传播声波;另一部分地震波仍然通过海床基底传播,两者最终分别到达大黄鱼育苗池水中。当海水介于高低潮之间时,此时爆破地震波的传播途径为2种极端情况的综合。本文中着重分析高潮时段和低潮时段2种极端条件下的声波传播规律。

1.2 爆破地震波在固液界面中的反射与折射

爆破地震波经山体岩石传播至海岸。当海床上有水时,爆破地震波在岩石和海水交界面处,引起地震波的透射与反射,如图2所示。考虑地震波由岩石辐射入水的情形,地震波在界面上产生3种波:反射波P1、反射波S和透射波P2^[11]。与一般两个弹性固体界面的情况不同,由于静止或均匀的液体不能承受剪应力,因此只有纵波P2在水介质中传播。

1.3 爆破地震波在固体介质中的能量衰减规律

固体介质中声波的传播,振动强度可用质点的峰值A(速度、加速度、位移)表示,传播的衰减规律可采用萨道夫斯基公式^[12]描述

$$A = C(Q^{1/3}/R)^a \quad (1)$$

式中:Q为炸药量,kg,齐发爆破为总药量,延时爆破为最大段药量;R为爆心距,m,指爆心到测量距离;C和a分别为与爆破点至介质质点间的地形、地质条件有关的系数和衰减指数。式(1)说明了振动强度与爆炸药量成正比的幂指数规律变化,而与爆心距成反比的幂指数变化。

1.4 水中声波在海水介质中的能量衰减规律

在图1所示的环境中,海水层深度仅2~3m,水中的声传播受海面、海底多次反射影响,是典型的浅海波导传播,声场传播规律可采用Marsh-Schulkin经验模型^[13]。传播损失

$$l_t = 10 \lg R + \alpha R + \alpha_t (R/H - 1) + 10 \lg H + 64.5 - K_L \quad (2)$$

式中:H=[(X+D)/3]^{1/2},为声线跨度,km,其中X为混合层深度,m,D为水深,m;R为距离,km;a为海水声吸收系数,dB/km;α_t为浅海衰减系数,dB/km;K_L为近场传播异常,dB。

1.5 声波在固体和海水介质中传播的频率衰减差异

声波在介质中传播时,除几何扩展、散射损失外,存在介质本身对声波能量的不同吸收作用(包括粘

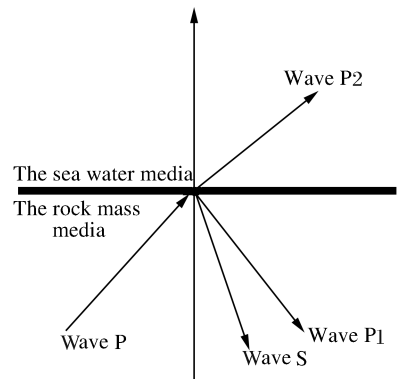


图2 波P在固液界面中的传播与反射示意图

Fig. 2 A sketch for the transmission and reflection of wave P through solid-fluid interface

滞性吸收作用、热传导和弛豫等)。研究表明^[14],传播介质对声波的不同频率具有不同的声能吸收效果,即介质对声波传播具有频率选择性差异。介质对频率的选择性可采用以下模型:在某介质传播时,考虑某频率的声波 $x(t)$,输出信号 $y(t)$ 是激励信号 $x(t)$ 与介质的脉冲响应函数 $h(t)$ 的卷积^[15],即

$$y(t) = x(t) * h(t) \quad (3)$$

上式作 Fourier 变换,可得

$$Y(\omega) = X(\omega)H(\omega) \quad (4)$$

式中: $\omega=2\pi f$ 为圆频率, $H(\omega)$ 就是介质对声波的响应函数,与频率有关。

在不同介质中传播的不同频率的声波的衰减特征见图3所示,数据来自文献^[13,16]。由图3可得,岩石材料是声波的天然低通滤波器。当岩石材料弹性降低、粘性增大时,对声波的吸收增强;在风化破碎的岩石介质中,声波的穿透能力大为减弱,在接收的信号中高频成分迅速衰减^[14]。相反,水是声波传播的最良好的介质,声波在海水中传播的声能衰减远小于在固体介质中传播的声能衰减。以中心频率400 Hz、带宽1 Hz的声波为例,在岩石介质中传播的声能衰减达到7~22 dB/m,而在海水中传播的声衰减仅为0.02 dB/km。即除了几何扩展损失外,400 Hz的声波在岩石介质中传播1 m的声能量损失,几乎相当于声波在海水介质中传播1 000 km的声能量损失。

1.6 声波在浅水中传播时的低频截止

声波在较浅的近岸海域中传播时,均存在低频截止。即存在一个临界频率,在这个频率以下,不能再将浅海声道当作波导,声源辐射的声能将直接传播至海底中,导致传播过程中大部分声能被海底消耗。假定浅水环境由均匀海水和均匀海底组成,截止频率计算公式为^[17]

$$f_c = c_w / (4h \sqrt{1 - c_w^2 / c_s^2}) \quad (5)$$

式中: c_w 是水中声速, c_s 是海底沉积层声速, h 是水深。

2 实测计算

2.1 主要环境参数

罗源县龟屿隧道爆破工程的总隧道长度约300 m。在开展隧道爆破声波监测时,隧道已开挖约125 m。2个监测点相对位置如图4所示。监测点A布设在距隧道口前方约20 m处的水坑内。水坑直径约2.5 m,深度约1.5 m。测量时水听器置于水坑中心,在水下约1 m处。监测点B布设在大黄鱼育苗池中的一个培育池中,距隧道口约575 m,培育池大小为10 m×5 m,水深约1.0 m。点C为涨潮时水道与海岸的固液交界面。

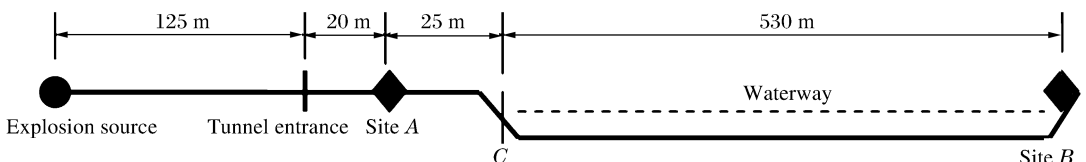


图4 爆破源与监测点的相对位置示意图

Fig. 4 The sketch of relative position between blasting source and observed point

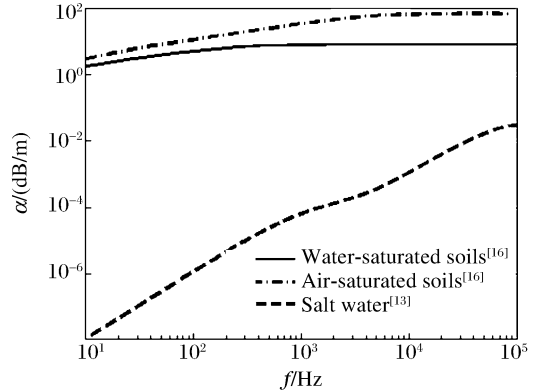


图3 不同频率的声波在不同介质中的声能量衰减系数

Fig. 3 Acoustic attenuation of sound vs frequencies in different medias

2.2 实测的爆破声信号

测量时间约 15:50, 此时是海水低潮时段, 水道裸露。工程爆破的药量约 140 kg, 采用多孔微差排爆的形式。实测的爆炸波形和频谱如图 5 所示。测点 A 的最大峰值声压为 630 Pa, 测点 B 的最大峰值声压约 21 Pa。

在隧道爆破施工前期, 设计施工等相关人员未意识到爆破地震波会对育苗池中的大黄鱼幼苗产生严重影响, 导致在爆破施工的前 2 月多内不断出现大黄鱼幼苗非正常死亡现象, 进而产生渔业纠纷及赔偿问题。为科学解决赔偿问题, 需要估计前 2 月爆破时大黄鱼育苗池的水中声强。

一般说来, 随着隧道开挖长度的增加, 爆破源与育苗池的距离增大, 对大黄鱼育苗池的水中声强相应减小; 但若爆破药量增加, 就有可能增加水中声强。

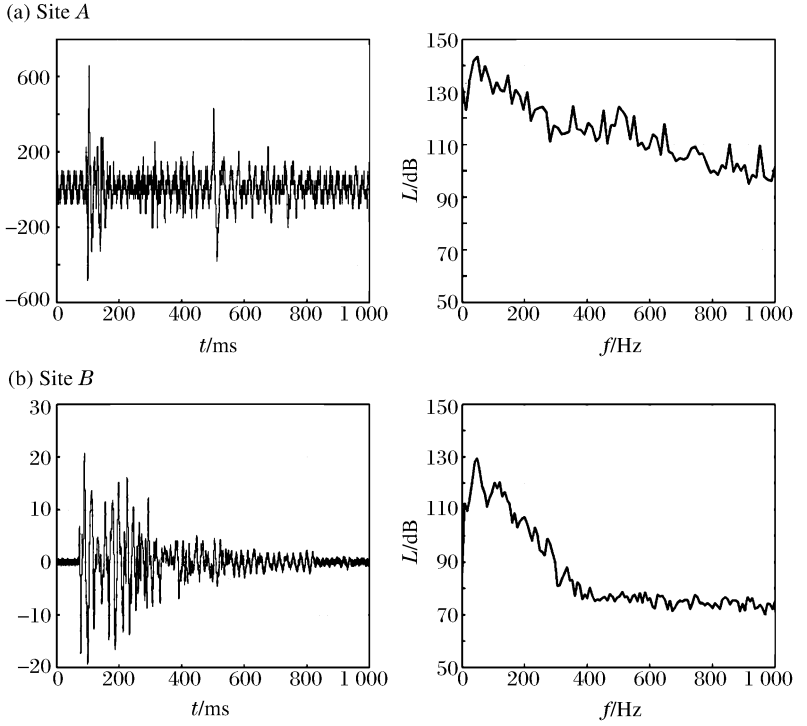


图 5 爆破时测点实测的水中声压波形和频谱

Fig. 5 The waveform and spectrum of measured underwater sound generated by blasting-caused seismic wave in sites

3 结果与分析

3.1 隧道口爆破时的育苗池水中声强估计

据负责人介绍, 隧道口爆破时爆破药量不高, 仅为 140 kg, 此时爆破源距离对岸育苗池约 575 m (见图 4)。结合图 5 的数据, 低潮时海床无水, 爆破地震波仅通过海床基底传播至育苗池, 可利用式(1)求得衰减指数。

设测点 A 的透射系数为 γ_A , 测点 B 的透射系数为 γ_B , 有

$$p_A = C \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R_A} \right)^a \gamma_A, \quad p_B = C \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R_B} \right)^a \gamma_B \tag{6}$$

于是

$$\alpha = \left(\lg \frac{p_B}{p_A} + \lg \frac{\gamma_A}{\gamma_B} \right) / \left(\lg \frac{R_B}{R_A} \right) \tag{7}$$

若 $\gamma_A = \gamma_B$, 可得 $\alpha = 2.16$ 。

考虑海水高潮和低潮 2 个极端时段, 隧道口爆破时育苗池中声强的计算结果见表 1。表中, d_1 为声波在岩石中的传播距离, d_2 为声波在水中的传播距离, l_i 为水中传播损失, L 为预测的培育池水中声强。可见, 隧道口爆破时, 在 140 kg 药量下, 尽管爆破地震波在海水高潮和低潮的 2 个时段里传播途径不同, 但在大黄鱼育苗池中得到的水中声强基本一致, 达到 150 dB 左右, 比正常的水中声强值高约 60~80 dB。

3.2 大黄鱼育苗池水中声强与爆破药量及爆破距离关系

表 1 隧道口爆破时大黄鱼培育池水中声强估计
Table 1 The estimated underwater sound levels in *Pseudosciaena crocea* breeding pond during tunnel entrance blasting

时段	d_1 /m	d_2 /m	l_i /dB	L /dB
高潮	45	530	47	151
低潮	575			150

随着隧道开挖长度的增加,爆破声波的传播距离增加,对大黄鱼育苗池的水中声强相应减小,但当隧道深度增加时,爆破作业对附近居民的生活影响较小,设计施工人员增加了爆破药量以加快进度,因此需要估计大黄鱼育苗池的水中声强与爆破药量及爆破距离的关系。

设隧道开挖长度为 R, m ; 爆破药量为 Q, kg 。低潮时段,海床无水,利用式(1)计算大黄鱼育苗池的声压,即

$$p = C \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R + 575} \right)^a \quad (8)$$

结合式(7)和式(8)的计算结果,得大黄鱼育苗池的水中声强, dB

$$L_L = 238.5 + 43.2 \lg \frac{\sqrt[3]{Q}}{R + 575} \quad (9)$$

高潮时段,海床有水,应分段考虑声波的传播规律:爆破点至海岸固液交界面 C 处,爆破声波以地震波的形式在固体介质中传播;海岸交界面 C 至大黄鱼育苗池,声波的大部分能量主要通过海水介质传播,传播距离约 530 m ;在海床基底传播的声波能量损失极大,对育苗池的水中声强总的贡献不大,可忽略不计。

利用式(2)计算海水的声传播损失,并结合式(7)和式(8)的计算结果,可得育苗池的水中声强, dB

$$L_H = 191.5 + 43.2 \lg \frac{\sqrt[3]{Q}}{R + 45} \quad (10)$$

3.3 爆破时大黄鱼育苗池水中声波的频率分布

大黄鱼对不同频率的声波有不同的听力敏感性。在大黄鱼不敏感频率之外的非生物声,即使有较高的声强,对大黄鱼影响也很小。目前虽然缺少大黄鱼对声波的精确敏感频率范围的报道,但根据相关实验与研究结果:鱼类善于接收自己同种发出的声音,也就能接收落在自发声频率范围内的非生物声^[7]。由于大黄鱼发声的谱峰频率集中在 $500 \sim 800 \text{ Hz}$ ^[7,18],结合实际观测结果,初步认为大黄鱼的声敏感频率应在 $500 \sim 800 \text{ Hz}$ 频带内。

低潮时段,海床裸露,爆破声波主要通过海床基底下的沉积层或岩石传播,高频的能量易被衰减。在实测的频谱图(见图 5)中,爆破时测点 A 中声波频率 $1\,000 \text{ Hz}$ 以下的能量十分丰富,但当声波通过约 555 m 的岩石层传播后,测点 B 得到声波大部分能量几乎只分布在 400 Hz 以下的频带上。

高潮时段,海床上存在海水层,辐射至海水中的声波在 530 m 的水道中传播,较高频率的声波能量几乎无损失地直达大黄鱼育苗池。但是由于海床上的水深仅为 $2 \sim 3 \text{ m}$,通过该海水层传播的声波存在波导效应,引起声波在浅水中传播时的低频截止。由式(5)可得,截止频率在约 200 Hz ,所以高潮时段在海水中传播的声波主要以较高频率为主。

因此,当隧道爆破时,大黄鱼育苗池中的声波能量在高潮时段主要分布在 $200 \sim 1\,000 \text{ Hz}$ 的较高频带上;相反,在低潮时段,大黄鱼育苗池中的声波能量主要分布在小于 400 Hz 的较低频带上。

4 结 语

在福建省罗源县的龟屿隧道作业中期开展了邻近大黄鱼育苗池的水中声压现场监测与研究。研究表明:(1)陆地爆破作业产生的声波以地震波的形式在固体介质中传播,并通过固液交界面辐射入水中。龟屿隧道爆破作业显著增加大黄鱼育苗池的水中声强,隧道口爆破时,尽管药量只有 140 kg ,但育苗池声强高达 150 dB ,比正常的水中声强值高约 $60 \sim 80 \text{ dB}$ 。(2)育苗池水中声强与爆破药量成正比,但增长速率较小。例如,当药量从 50 kg 增加至 200 kg 时,育苗池水中声强仅增加约 9 dB 。(3)育苗池水中声强与爆破源距育苗池的距离成反比。距离增大,育苗池水中声强减小,减小速率与海床是否有水有关。当从隧道口至隧道末端共增加 300 m 传播距离时,若海床裸露,则大黄鱼育苗池中的声强仅减小约 8 dB ;但若海床有水,声强可减小达 38 dB 。(4)在海水高潮及低潮的 2 个时段,由于传播途径的不同,爆破地震波使大黄鱼育苗池的声波能量在频率分布上存在显著差异:高潮时段,大黄鱼育苗池

中的声波能量主要分布在 200~1 000 Hz 的较高频带上;低潮时段,大黄鱼育苗池中的声波能量主要分布在小于 400 Hz 的较低频带上。

综上所述,随着隧道爆破距离的增加,低潮时段由爆破地震波引起的育苗池中声强远远小于高潮时段育苗池的水中声强。结合大黄鱼的声敏感频率主要在约 500~800 Hz^[7,18],为降低育苗池的水中声强,并且使育苗池中声波能量分布向低频带转移,应选择低潮时段、采用低药量进行隧道爆破。

参考文献:

- [1] 晏俊伟,龙源,娄建武,等. 爆破地震波的分形机制[J]. 解放军理工大学学报,2008,9(4):367-372.
YAN Jun-wei, LONG Yuan, LOU Jian-wu, et al. Fractal mechanism of blasting seismic wave[J]. Journal of PLA University of Science and Technology, 2008,9(4):367-372.
- [2] 许鹭芬,王清池,王军,等. 水中爆破的声压测量及对海洋生物的影响[J]. 厦门大学学报,2000,39(1):58-61.
XU Lu-fen, WANG Qin-chi, WANG Jun, et al. Sound pressure measurement of underwater explosion and its effect on marine organism[J]. Journal of Xiamen University (Natural Science), 2000,39(1):58-61.
- [3] 汤立国,许肖梅,刘胜兴. 海底爆破辐射声场的理论及数值研究[J]. 物理学报,2008,57(7):4251-4257.
TANG Li-guo, XU Xiao-mei, LIU Sheng-xing. Theoretical and numerical investigations of the acoustic field excited by submarine explosion[J]. Acta Physica Sinica, 2008,57(7):4251-4257.
- [4] 李文涛,张秀梅. 水下爆破施工对鱼类影响的估算及预防措施[J]. 科学视野,2003,27(11):20-23.
LI Wen-tao, ZHANG Xui-mei. Impact and mitigation measures for fish communities exposed to underwater explosion[J]. Science Scope, 2003,27(11):20-23.
- [5] 秦鹏,秦植海. Matlab 在水下岩体爆破实测数据分析中的应用[J]. 华北水利水电学院学报,2007,28(5):62-64.
QIN Peng, QIN Zhi-hai. Application of matlab in data analysis of examples in rocky demolitions underwater[J]. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 2007,28(5):62-64.
- [6] 福建省科学技术厅. 大黄鱼养殖[M]. 北京:海洋出版社,2004.
- [7] 粘宝卿,黄衍镇. 对声屏障圈养大黄鱼的展望[J]. 海洋科学,1999,4:30-31.
ZHAN Bao-qing, HUANG Yan-zhen. Prospect of the cultured pseudosciaena crocea encircled by acoustic barrier [J]. Oceanic Science, 1999,4:30-31.
- [8] 刘文辉. 黄花鱼抗爆试验研究[J]. 爆破器材,2001,30(6):24-26.
LIU Wen-hui. Research on croaker resisting seismic wave and air shock wave of blasting[J]. Explosive Materials, 2001,30(6):24-26.
- [9] 张义平,吴桂义. 爆破地震波特性研究[J]. 矿业研究与开发,2007,27(6):68-72.
ZHANG Yi-ping, WU Gui-yi. Study on characteristics of blasting-caused seismic wave[J]. Mining Research and Development, 2007,27(6):68-72.
- [10] 刘伯胜,雷家煜. 水声学原理[M]. 哈尔滨:哈尔滨大学出版社,1997.
- [11] 易长平,许红涛,卢文波,等. 河道对爆破地震波传播规律的影响分析[J]. 长江科学院院报,2003,20:5-7.
YI Chang-ping, XU Hong-tao, LU Wen-bo, et al. Influency of riverway on transmission of blasting seismic wave [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2003,20:5-7.
- [12] 吕涛,李海波,周青春,等. 传播介质特性对爆破振动衰减规律的影响[J]. 防灾减灾工程学报,2008,28(3):335-341.
LÜ Tao, LI Hai-bo, ZHOU Qing-chun, et al. The influence of the characteristic of medium on the attenuation law of propagation of vibration due to blasting[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2008,28(3):335-341.
- [13] Etter P C. 水声建模与仿真[M]. 3 版. 蔡志明,译. 北京:电子工业出版社,2005.
- [14] 刘彤,苏天明,孙健. 岩石声波差异衰减特征及工和应用前景探讨[J]. 地球物理学进展,2005,20(3):822-827.
LIU Tong, SU Tian-ming, SUN Jian. Study on acoustic diversity attenuation properties of rock and foreground of applying in engineering[J]. Progress in Geophysics, 2005,20(3):822-827.
- [15] 程佩青. 数字信号处理教程[M]. 北京:清华大学出版社,2006.

- [16] 周新民, 夏唐代, 徐平, 等. 饱和土介质中地震波在水、气分界面上的反射与透射[J]. 地震学报, 2006, 28(4): 372-379.
ZHOu Xin-min, XIA Tang-dai, XU Ping, et al. Seismic reflection and transmission coefficients at an air-water interface of saturated porous soil[J]. Acta Seismologica Sinica, 2006, 28(4): 372-379.
- [17] Jensen F B, Kuperman W A, Porter M B, et al. Computational ocean acoustics[M]. New York: Springer-verlag, 2000.
- [18] 任新敏, 高大治, 姚玉玲, 等. 大黄鱼的发声及信号特性研究[J]. 大连水产学院学报, 2007, 22(2): 123-128.
REN Xin-min, GAO Da-zhi, YAO Yu-ling, et al. Occurrence and characteristic of sound in large yellow croaker [J]. Journal of DaLian Fisheries University, 2007, 22(2): 123-128.

Underwater sound effects generated by tunnel - explosion near the coastal harbor *

LIU Zhen-wen^{1,2}, XU Xiao-mei¹, QIN Liu-huai¹

(1. Key Laboratory of Underwater Acoustic Communication and Marine Information Technology of the Ministry of Education, College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China;

2. Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, Fujian, China)

Abstract: Underwater sound effects generated by tunnel-explosion were studied and an observation was performed to monitor the underwater sound pressure in *Pseudosciaena crocea*'s breeding pond when Guiyu tunnel blast engineering occurred thither coastal harbor in Luoyuan County, Fujian Province. Based on acoustic theory of transmission and reflection on solid-fluid interface, the results show that blasting seismic wave makes impact on underwater environment through two kinds of sound transmitted paths. The underwater sound intensity increases sharply (up to 150 dB) in breeding pond when Guiyu tunnel blast engineering occurs, and the increment of sound intensity is directly proportional to the mass of explosives as well as which is inversely proportional to the distance from blasting point. However, the effect of distance is greater than that of mass. Additionally, at different time of low tide and high tide, the sound intensity generated by blasting seismic wave in pond has a significant difference due to the two paths of sound propagation in different transmitted media. With the increment of distance, sound intensity at low tide time declines more quickly than that at high tide time. Similarly, the sound energy distribution in frequency band has different shape. Sound at high tide time is dominant in frequency band of 200~1 000 Hz. On the other hand, the frequency of sound in pond at low tide time is mainly less than 400 Hz. The greater of the water depth above seabed is, the lower of the cut-off low frequency is for underwater acoustic waveguide effect. Consequently, the low tide time for Guiyu tunnel blasting should be chosen so that it can decrease the harm of high intensity in *Pseudosciaena crocea*'s breeding pond, avoiding to do harm to *pseudosciaena crocea*'s body in the sound resonant frequency of 500~800 Hz.

Key words: mechanics of explosion; sound propagation; blasting seismic wave; underwater sound effects; *pseudosciaena crocea*

* Received 12 October 2009; Revised 25 January 2010

Corresponding author: XU Xiao-mei, xmxu@xmu.edu.cn