

A Study of the Effects of Underwater Explosions

劉子豪、梁卓中

E-mail: 9314528@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

The detonation of a condensed high explosive underwater produces two pressure pluses which is a shock then followed by a bubble pulse associated with the expansion of the products of detonation. The purpose of this paper is largely the result of published research on underwater explosions carried out by past literatures such as Roop(1943), Cole(1948), Aron(1949), Keil(1961), Smith(1994) and M kinen(1998). Much of the present knowledge and understanding of this field was acquired because of the demands and the few available discussions of the subject have become inadequate on obsolete. This paper is an attempt to supply a reasonable comprehensive account which will be for use both workers in the field of underwater explosions and others interested in the basic physical processes involved. Numerical studies of underwater explosions including shock wave pressure, bubble pulse and water plume are also investigated in details using MSC.Dytran finite element software, and compared with existing experimental data and empirical methodologies.

Keywords : underwater explosion ; shock ; bubble pulse ; water plume ; empirical methodologies

Table of Contents

封面內頁 簽名頁 授權書	iii 中文摘要
v 英文摘要	vii 誌謝
viii 目錄	ix 圖目錄
xiv 表目錄	xvi 符號說明
xix 第一章 緒論 1.1 緣起 1.2 國內外有關本問題之研究情況 2.1.2.1水下爆炸之相關研究 2.1.2.2水面效應之相關研究 5 1.3本文目標 7 第二章 水下爆炸效應半理論半經驗公式 16 2.1 水下爆炸之物理現象 16 2.1.1 水下爆震波 16 2.1.2 氣泡之運動 18 2.1.3 水下爆炸能量分佈 18 2.1.4 水下爆炸效應之半理論半經驗公式 19 2.1.4.1爆震波半理論半經驗公式 19 2.1.4.2氣泡半理論半經驗公式 20 2.1.4.3不同炸藥之水下爆炸常數 20 2.2 水柱之半理論半經驗公式 22 第三章 水下爆炸及水面效應數值分析理論基礎 29 3.1 MSC.Dytran之發展史 29 3.2 MSC.Dytran之基本理論 31 3.2.1微分方程式 31 3.2.2狀態方程式 32 3.3 MSC.Dytran之應用技巧 34 3.3.1前處理 (Pre-processor) 34 3.3.2 MSC.Dytran主程式處理器 (Solver) 34 3.3.2.1網格處理方法 35 3.3.2.2元素 36 3.3.2.3炸藥點火反應模型 36 3.3.2.4水柱高度量測 39 3.3.2.5時間步長 (Timestep) 40 3.3.2.6收斂準則 41 3.3.3後處理 (Post-processor) 41 第四章 實例驗證與分析 46 4.1水下爆震波半理論半經驗公式及數值方法之實例 驗證 46 4.1.1 MSC.Dytran軟體解算水下爆震波 峰值壓力之可行性評估 46 4.1.1.1問題描述 47 4.1.1.2有限元素模型 47 4.1.1.3計算結果與分析 47 4.1.2水下爆震波峰值壓力之實例驗證 49 4.1.2.1實例分析 (一) - 1948年Cole[1] TNT炸藥水下爆炸實驗 49 4.1.2.1.1問題描述 49 4.1.2.1.2有限元素模型 49 4.1.2.1.3計算結果與分析 50 4.1.2.2實例分析 (二) - 1994年Smith[6] TNT炸藥水下爆炸實驗 50 4.1.2.2.1問題描述 50 4.1.2.2.2有限元素模型 51 4.1.2.2.3計算結果與分析 51 4.1.2.3實例分析 (三) - 1961年Keil[3] TNT炸藥水下爆炸實驗 51 4.1.2.3.1問題描述 52 4.1.2.3.2有限元素模型 52 4.1.2.3.3計算結果與分析 53 4.1.2.4實例分析 (四) - 1993年Mouritz [10]PETN炸藥水下爆炸實驗 53 4.1.2.4.1問題描述 53 4.1.2.4.2有限元素模型 54 4.1.2.4.3計算結果與分析 54 4.1.2.5實例分析 (五) - 1997年Kwon等人[14]HBX-1炸藥水下爆炸實驗 54 4.1.2.5.1問題描述 54 4.1.2.5.2計算結果與分析 55 4.1.2.6實例分析 (六) - 1999年M kinen 等人[15]HBX-1炸藥水下爆炸實驗..55 4.1.2.6.1問題描述 55 4.1.2.6.2計算結果與分析 55 4.2水下爆炸氣泡半理論半經驗公式及數值方法之驗證與實例分析 56 4.2.1實例驗證 56 4.2.2有限元素模型 56 4.2.3計算結果與分析 57 4.3水下爆炸時水面效應之實例驗證與分析 57 4.3.1實例驗證 - 9.1 kgTNT炸藥於不同爆炸 水深處爆炸時之水面效應探討 58 4.3.1.1問題描述 58 4.3.1.2有限元素模型 58 4.3.1.3計算結果與分析 59 4.3.1.4綜合討論 63 4.3.2實例分析 -不同炸藥重量於不同爆炸深度爆炸 之水面效應探討 63 4.3.2.1問題描述 64 4.3.2.2有限元素模型 64 4.3.2.3計算結果與分析 64 4.3.2.4綜合討論 67 4.3.3實例探討-邊界處考慮反射面與非反射面 之水面效應影響 67 4.3.3.1 問題描述 68 4.3.3.2 有限元素模型 68 4.3.3.3 計算結果與分析 68 第五章 結論與未來展望 108 參考文獻 112	

REFERENCES

1. Cole, R. H., Underwater Explosions, Princeton University Press, Princeton (1948).
2. Hollyer, R. S., " Direct shock-wave damage to merchant ships from noncontact underwater explosions ", J. SNAME, pp.773-784 (1959).
3. Keil, A. H., " The response of ships to underwater explosions

”, Annual Meeting of SNAME, New York (1961). 4. George A. Young, “ Guide-Line for evaluating the environmental effects of underwater explosion tests ”, Explosion research department underwater explosion division naval ordnance laboratory, ODR-0332-004/092-1/UF 554-301, pp. NOLTR 72-211 (1973). 5. Henrych, J., “ The Dynamics of Explosion and Its Use ”, Elsevier Sci. Pub. Co., Amsterdam, New York (1979). 6. 李翼祺、馬素貞, “ 爆炸力學 ”, 科學出版社, 第318-355頁 (1992)。 7. 王偉輝, “ 船艦結構受水下爆震之反應 ”, 第一屆軍艦工程研討會論文 (1993)。 8. Smith P. D., Hetherington J. G., “ Blast and Ballistic Loading of Structure ”, pp.24-114 (1994)。 9. Song Fu, Wang Zhiping, Zhang Zhaoshun, “ Numerical Study of Underwater Explosion Near Air-Water Surface ”, Acta Mech. Sin., Vol. 27, pp.267-276 (1995). 10. Mouritz A. P., “ The effect of underwater explosion shock loading on fatigue behavior of GEP laminates ”, Composites, Vol. 26, No. 1, pp. 3-9 (1995). 11. 李世勤, “ 深水炸彈戰術運用之研究 ”, 海軍學術月刊, 第三十卷, 第五期, 第71-76頁 (1996)。 12. 黃清哲、尹孝元、陳孟怡、塗季平, “ 水下爆炸氣泡之特性 ”, 海下技術季刊, 第七卷, 第四期 (1997)。 13. Kwon Y. W., Cunningham R. E., “ CoMParison of USA-DYNA Finite Element Models for a stiffened shell subject to Underwater Shock ”, Computers & Structures, Vol. 66, No. 1, pp. 127-144(1998). 14. James E. Chisum, Young S. Shin, “ Explosion Gas Bubbles Near Simple Boundaries ”, Shock and Vibration, Vol. 4, No. 1, pp. 11-25 (1997). 15. M kinen K., “ Cavitation Models for Structure Excited by A Plane Shock Wave ”, Journal of Fluids and Structures, Vol.12, pp.85-101 (1998)。 16. Suresh Menon, Mihir Lal, “ On the dynamic and instability of bubbles formed during underwater explosions ”, Experimental Thermal and Fluid Science, Vol.16, pp.305-321(1998). 17. Kenji Murata, Katsuhiko Takahahi, Yukio Kato, “ Precise measurements of underwater explosion phenomena by pressure sensor using fluoropolymer ”, Journal of Materials Processing Technology, Vol.85, pp.39-42 (1999)。 18. Akio Kira, Masahiro Fujita, Shigeru Itoh, “ Underwater explosion of spherical explosives ”, Journal of Materials Processing Technology, Vol.85, pp.64-68 (1999)。 19. M kinen K., “ The transverse response of sandwich panels to an underwater shock wave ”, Journal of fluids and structures, Vol. 13, pp. 631-646 (1999). 20. Ramajeyathilagam K., Vendhan C. P., Bhujanga Rao V., “ Non-Linear transient dynamic response of rectangular plates under shock loading ”, International Journal of IMPact Engineering, Vol. 24, pp. 999-1015 (2000). 21. Liu T. G., Khoo B. C., Yeo K. S., “ The simulation of compressible multi-medium flow.I. A new methodology with test applications to 1D gas-gas and gas-water cases ”, Computes & Fluids, Vol.30, pp.291-314 (2001)。 22. Liu T. G., Khoo B. C., Yeo K. S., “ The simulation of compressible multi-medium flow II. Applications to 2D underwater shock refraction ”, Computes & Fluids, Vol.30, pp.315-337 (2001)。 23. Rajendran R., Narasimhan K., “ Linear elastic shock response of plane plates subjected to underwater explosion ”, Interational Journal of IMPact Engineering, Vol. 25, pp.493-506 (2001). 24. 洪振發、徐培譽、皇甫敬嘉, “ 嵌版受水下爆震衝擊之動態量測與數值分析 ”, 中國造船暨輪機工程學刊, 第二十一卷, 第二期, 第71-82頁 (2002)。 25. 林澄貴, “ 爆震因數在水雷作戰上之應用 ”, 海軍學術月刊, 第三十六卷, 第十期, 第58-67頁 (2002)。 26. Rungsiyaphornrat S., Klaseboer E., Khoo B. C., Yeo K. S., “ The merging of two gaseous bubbles with an application to underwater explosions ”, Computers & Fluids, Vol.32, pp.1049-1074 (2003)。 27. Wang C., Khoo B. C., Yeo K. S., “ Elastic mesh the technique for 3D BIM simulation with an application to underwater explosion bubble dynamics ”, Computers & Fluids, Vol.32, pp31195-1212 (2003). 28. 洪振發、徐培譽, “ 嵌板受水下爆炸衝擊的非線性動態反應 ”, 中國造船暨輪機工程學刊, 第二十二卷, 第四期, 第201-212頁(2003)。 29. Wang C., Khoo B. C., “ An indirect boundary element method for three-dimension explosion bubbles ”, Journal of Computational Physics, Vol. 194, pp.451-480 (2004). 30. Michael M., Swisdak, JR., “ Explosion and properties part II-explosion effects in water ”, Naval Surface Warfare Center, NSWC/WOL/TR-76-116(1978). 31. Joseph G.. Connor, Charles E. Higdon, “ Water Barrier Line Charge Plume Video Analysis, ” Dahlgren Division, Naval Surface Warfare Center, NSWCDD/TR-96/178 (1996). 32. Charles, E.H., William G.S. and Joseph, G.C., “ Analysis of Water Barrier Line Charge Plume Measurements, ” Dahlgren Division, Naval Surface Warfare Center, NSWCDD/TR-97/210 (1998). 33. William G. S., “ Model Validations and Predictions for Water Barrier Defense ”, Naval Research Laboratory NRL/FR/7130-98-9880 (1998). 34. Carruthers D. J., Dyster S. J., Ellis K.L, “ PLUME VISIBILITY ”, CERC(2003). 35. Captain W. P. Roop, “ The design of ship structure to resist underwater Explosion Nominal Theory ”, DTMB-492, AUG. (1943)。 36. Arons A. B., et al, “ Long Rang Shock Propagation in Underwater Explosion Phenomena II ”, Underwater Explosion Compendium, Vol. 1 (1949)。 37. 梁卓中、鄧作樑、戴毓修, “ 水屏彈爆炸對艦體安全之影響研究及資料蒐集彙整 ”, 國推會成果報告, NSC-90-2623-7-212-005 (2001)。 38. “ Ship System Project ”, “ Ship Protection Study ”, II-TD-32, PFG-I (1982) 39. <http://www.ida.org>.