

水下爆炸效應之研究

劉子豪、梁卓中

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

摘要

由於船艦之抗爆震能力為其在戰場生存之重要條件之一，故本論文乃以水下爆炸產生之效應為研究對象，首先應用已公開之水下爆炸實驗數據來驗證Roop(1943)、Cole(1948)、Aron(1949)、Keil(1961)、Smith(1994)、M kinen(1998)等人建立之水下爆震波及氣泡半理論半經驗公式之正確性，發現Cole(1948)之爆震波半理論半經驗公式較為準確，而前述各學者之氣泡半徑及脈衝時間之計算均甚準確。同時，本論文並評估有限單元軟體MSC.Dytran進行水下爆炸之爆震波及氣泡數值模擬之能力，發現有限單元網格之劃分方式及元素數量對計算結果之準確性有相當的影響，當炸藥半徑所涵蓋的第一個元素長度與炸藥半徑越接近時，較能實際模擬水下爆炸的實際情況，計算結果也較接近實驗數據。此外，本論文並深入探討MSC.Dytran軟體進行水下爆炸產生之水面效應(爆炸水柱高度及厚度)之模擬分析能力，期間利用9.1kg之TNT炸藥置於不同爆炸水深進行計算並與Michael之水柱半理論半經驗公式進行比對驗證，其次，探討三種不同炸藥重量(10kg、20kg、30kg)之TNT炸藥於不同爆炸深度之水面效應歷時變化情形。由於Michael文獻中對於最大水柱高度及厚度之定義位置甚為模糊，故於MSC.Dytran之計算結果中，無法確實根據Michael所定義之水柱高度及厚度之找出相對位置來進行量測，造成計算結果有所差異，雖然MSC.Dytran與Michael之半理論半經驗公式計算結果無法相符合，但仍可模擬出爆炸產生之水面效應現象(爆炸水柱形狀)及有效水柱之現象。並發現密實水柱發生之時間隨著爆炸水深增加其延續之時間變得較長，且有延後發生之現象，且當炸藥量增加至30kg重時，於較淺水處(爆炸水深為5m)爆炸所產生之水柱將無法形成密實之水柱結構。本論文之研究成果希望能提供未來船艦結構與裝備，水屏彈設計應用及水下建築設施抗爆震分析與設計參考使用。

關鍵詞：水下爆炸；爆震波；氣泡；半理論半經驗公式；MSC.Dytran；水面效應；水屏彈

目錄

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
1.1.1 緣起	1.2 國內外有關本問題之研究情況
1.2 國內外有關本問題之研究情況	2.1 水下爆炸之相關研究
2.1 水下爆炸之相關研究	2.1.1 水下爆炸之物理現象
2.1.1 水下爆炸之物理現象	2.1.2 水下爆震波
2.1.2 水下爆震波	2.1.3 氣泡之運動
2.1.3 氣泡之運動	2.1.4 水下爆炸能量分佈
2.1.4 水下爆炸能量分佈	2.1.5 水下爆炸效應之半理論半經驗公式
2.1.5 水下爆炸效應之半理論半經驗公式	2.1.6 爆震波半理論半經驗公式
2.1.6 爆震波半理論半經驗公式	2.1.7 氣泡半理論半經驗公式
2.1.7 氣泡半理論半經驗公式	2.1.8 不同炸藥之水下爆炸常數
2.1.8 不同炸藥之水下爆炸常數	2.2 水柱之半理論半經驗公式
2.2 水柱之半理論半經驗公式	2.3 第三章 水下爆炸及水面效應數值分析理論基礎
2.3 第三章 水下爆炸及水面效應數值分析理論基礎	3.1 MSC.Dytran之發展史
3.1 MSC.Dytran之發展史	3.2 MSC.Dytran之基本理論
3.2 MSC.Dytran之基本理論	3.2.1 微分方程式
3.2.1 微分方程式	3.2.2 狀態方程式
3.2.2 狀態方程式	3.3 MSC.Dytran之應用技巧
3.3 MSC.Dytran之應用技巧	3.3.1 前處理 (Pre-processor)
3.3.1 前處理 (Pre-processor)	3.3.2 MSC.Dytran主程式處理器 (Solver)
3.3.2 MSC.Dytran主程式處理器 (Solver)	3.3.2.1 網格處理方法
3.3.2.1 網格處理方法	3.3.2.2 元素
3.3.2.2 元素	3.3.2.3 炸藥點火反應模型
3.3.2.3 炸藥點火反應模型	3.3.2.4 水柱高度量測
3.3.2.4 水柱高度量測	3.3.2.5 時間步長 (Timestep)
3.3.2.5 時間步長 (Timestep)	3.3.2.6 收斂準則
3.3.2.6 收斂準則	3.3.3 後處理 (Post-processor)
3.3.3 後處理 (Post-processor)	4 第四章 實例驗證與分析
4 第四章 實例驗證與分析	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
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	4.1.1 MSC.Dytran軟體解算水下爆震波 峰值壓力之可行性評估
4.1.1 MSC.Dytran軟體解算水下爆震波 峰值壓力之可行性評估	4.1.1.1 問題描述
4.1.1.1 問題描述	4.1.1.2 有限元素模型
4.1.1.2 有限元素模型	4.1.1.3 計算結果與分析
4.1.1.3 計算結果與分析	4.1.2 水下爆震波峰值壓力之實例驗證
4.1.2 水下爆震波峰值壓力之實例驗證	4.1.2.1 實例分析 (一) - 1948年Cole[1] TNT炸藥水下爆炸實驗
4.1.2.1 實例分析 (一) - 1948年Cole[1] TNT炸藥水下爆炸實驗	4.1.2.1.1 問題描述
4.1.2.1.1 問題描述	4.1.2.1.2 有限元素模型
4.1.2.1.2 有限元素模型	4.1.2.1.3 計算結果與分析
4.1.2.1.3 計算結果與分析	4.1.2.2 實例分析 (二) - 1994年Smith[6] TNT炸藥水下爆炸實驗
4.1.2.2 實例分析 (二) - 1994年Smith[6] TNT炸藥水下爆炸實驗	4.1.2.2.1 問題描述
4.1.2.2.1 問題描述	4.1.2.2.2 有限元素模型
4.1.2.2.2 有限元素模型	4.1.2.2.3 計算結果與分析
4.1.2.2.3 計算結果與分析	4.1.2.3 實例分析 (三) - 1961年Keil[3] TNT炸藥水下爆炸實驗
4.1.2.3 實例分析 (三) - 1961年Keil[3] TNT炸藥水下爆炸實驗	4.1.2.3.1 問題描述
4.1.2.3.1 問題描述	4.1.2.3.2 有限元素模型
4.1.2.3.2 有限元素模型	4.1.2.3.3 計算結果與分析
4.1.2.3.3 計算結果與分析	4.1.2.4 實例分析 (四) - 1993年Mouritz [10]PETN炸藥水下爆炸實驗
4.1.2.4 實例分析 (四) - 1993年Mouritz [10]PETN炸藥水下爆炸實驗	4.1.2.4.1 問題描述
4.1.2.4.1 問題描述	4.1.2.4.2 有限元素模型
4.1.2.4.2 有限元素模型	4.1.2.4.3 計算結果與分析
4.1.2.4.3 計算結果與分析	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
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	4.1.2.5.1 問題描述
4.1.2.5.1 問題描述	4.1.2.5.2 計算結果與分析
4.1.2.5.2 計算結果與分析	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
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	4.1.2.6.1 問題描述
4.1.2.6.1 問題描述	4.1.2.6.2 計算結果與分析
4.1.2.6.2 計算結果與分析	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
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	4.2.1 實例驗證
4.2.1 實例驗證	4.2.2 有限元素模型
4.2.2 有限元素模型	4.2.3 計算結果與分析
4.2.3 計算結果與分析	4.3 水下爆炸時水面效應之實例驗證與分析
4.3 水下爆炸時水面效應之實例驗證與分析	4.3.1 實例驗證 - 9.1 kg TNT炸藥於不同爆炸 水深處爆炸時之水面效應探討
4.3.1 實例驗證 - 9.1 kg TNT炸藥於不同爆炸 水深處爆炸時之水面效應探討	4.3.1.1 問題描述
4.3.1.1 問題描述	4.3.1.2 有限元素模型
4.3.1.2 有限元素模型	4.3.1.3 計算結果與分析
4.3.1.3 計算結果與分析	4.3.1.4 綜合討論
4.3.1.4 綜合討論	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
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	4.3.2.1 問題描述
4.3.2.1 問題描述	4.3.2.2 有限元素模型
4.3.2.2 有限元素模型	4.3.2.3 計算結果與分析
4.3.2.3 計算結果與分析	4.3.2.4 綜合討論
4.3.2.4 綜合討論	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
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	4.3.3.1 問題描述
4.3.3.1 問題描述	4.3.3.2 有限元素模型
4.3.3.2 有限元素模型	4.3.3.3 計算結果與分析
4.3.3.3 計算結果與分析	5 第五章 結論與未來展望
5 第五章 結論與未來展望	108 參考文獻
108 參考文獻	112

參考文獻

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, pp.1195-1212 (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>.