

船艦具外接管路裝備之爆震響應分析

余大剛*¹ 盧建仲* 吳佳璋**

*海軍造船發展中心

**國立高雄科技大學輪機工程暨研究所

關鍵詞: 等效邊界彈簧係數、爆震響應分析、動態效應、隔震設計

摘要

當船艦在實戰過程遭受武器攻擊時，船艦結構將會產生強烈振動，假設船艦裝備沒有良好的隔振設計，上述巨大振動將毀壞船艦上的裝備。本研究將依等效邊界彈簧理論探討外接管路對船艦裝備動態特性之影響，依上述理論將外接管路簡化為一個等效邊界彈簧，可大大降低船艦裝備隔振設計工程師的工作時間與精力；連接有外部管路之裝備的邊界彈簧效應、裝備的質心位置、裝備在各方向的旋轉角、裝備在各方向的質量慣性矩、隔振墊安裝角度的耦合效應、爆震衝擊波的數學函數、爆震衝擊波的方向等都將在考慮範圍內，後續將針對船艦具外接管路裝備進行爆震響應分析，並探討等效邊界彈簧相關參數對船艦裝備承受爆震衝擊時之動態行為的影響。

¹ 余大剛 (fg19850130@gmail.com)

前言

船艦上之裝備為維持正常的運轉性能，裝備會有附屬物(例如：水電、管路、電纜與軸系)的連接，然而，在進行船艦裝備隔振設計的過程中，一般會將上述連接管路對裝備本體動態效應的影響予以忽略，而本研究的主要目的即在於將上述連接管路對裝備本體動態效應的影響加以考慮，以便更進一步確認船艦裝備隔振設計的可靠性。

本研究將提出等效邊界彈簧(Equivalent Boundary Spring)的理論，並使用上述等效邊界彈簧來模擬連接管路對裝備本體動態效應的影響，其中，等效邊界彈簧的彈簧常數是由連接管路的組成來計算獲得。為了加強本研究的應用性，將建立各類不同介質管路系統(包含液壓系統、進氣系統、排煙系統、海水系統、淡水系統與電力系統等重要管路)之等效邊界彈簧計算方法，然後示範如何建立「具外接管路等效邊界彈簧之船艦裝備的數學模型」，最後，本研究將針對具外接管路裝備進行爆震響應分析，並探討等效邊界彈簧相關參數對裝備爆震響應的影響。上述等效邊界彈簧理論，可使現階段的潛艦裝備隔振設計更符合實際情形，並提升船艦裝備隔振性能的穩定性。

一、管路的等效邊界彈簧係數

主要目的在於求取船艦裝備之外接管路的等效邊界彈簧係數，以利針對具外接管路裝備進行爆震響應分析，並探討等效邊界彈簧相關參數對船艦裝備承受爆震衝擊時之動態行為的影響，進而提供船艦裝備隔振設計工程師一些相關參考資料，提升船艦隔振設計品質。

1. 船艦裝備外接管路的有限元素模型

船艦裝備的外接管路一般是由剛性管與彈性管來組成(參考圖1.1)，如果彈性管的長度較長時，通常會在剛性管的位置加上彈性支撐(參考圖1.1)，為了使用有限元素法來計算圖1.1所示之管路在自由端的等效邊界彈簧係數，第一個步驟便是將圖1.1所示之管路的有限元素模型建立起來。在本研究中，我們會將剛性管簡化為一個剛體，彈性管簡化為中空的彈性樑，並將管路彈性支撐的部份以彈簧元素來取代，此時，圖1.1所示之管路的數學模型，便可以採用圖1.2所示的有限元素模型來取代。

值得一提的是，因為所期望獲得的等效邊界彈簧係數有3個方向(x、y與z)，圖1.2所示的有限元素模型必須是一個三維的有限元素模型，如此，所獲得等效邊界彈簧係數的計算結果才會準確。

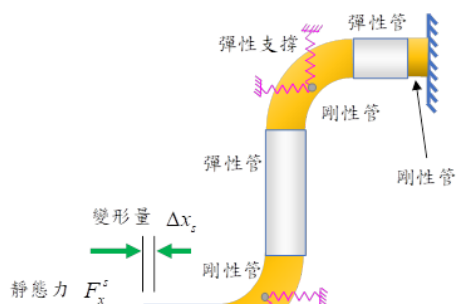


圖1.1 船艦裝備外接管路的細部組成示意圖

圖1.2 船艦裝備外接管路的有限元素模型示意圖

2. 船艦裝備外接管路的靜態等效邊界彈簧係數

使用有限元素法靜態力學理論，來估算船艦裝備外接管路自由端的靜態等效邊界彈簧係數，所使用的有限元素模型如圖1.2所示。如果在船艦裝備外接管路自由端的位置施加靜態力 F_x^s ，則利用有限元素法靜態力學理論，可以計算出外接管路自由端位置的位移 Δx_s 。

此時，如果圖1.2所示的多自由度有限元素模型可以用一個單自由度的系統來取代(參考圖1.3)，則依據虎克定律，可以計算出管路自由端的水平(x)靜態等效邊界彈簧係數：

$$k_x^s = \frac{F_x^s}{\Delta x_s} \quad (1.1)$$

上述方程式為管路自由端的水平(x)靜態等效邊界彈簧係數的計算方式，使用相類似的流程，也可以分別求得管路自由端的y方向與z方向靜態等效邊界彈簧係數：

$$k_y^s = \frac{F_y^s}{\Delta y_s} \quad (1.2)$$

$$k_z^s = \frac{F_z^s}{\Delta z_s} \quad (1.3)$$

上述方程式中， Δy_s 為外接管路自由端位置承受 y 方向靜態力 F_y^s 時的 y 方向位移， Δz_s 為外接管路自由端位置承受 z 方向靜態力 F_z^s 時的 z 方向位移。

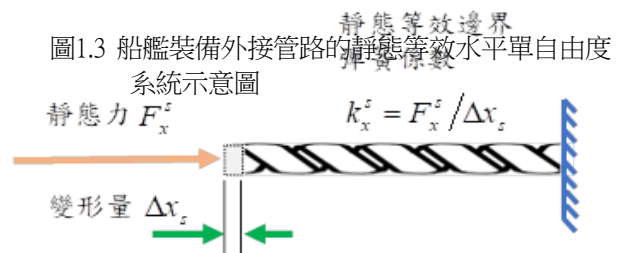


圖1.3 船艦裝備外接管路的靜態等效水平單自由度系統示意圖

3. 船艦裝備外接管路的動態等效邊界彈簧係數

使用有限元素法動態分析的理論，來估算船艦裝備外接管路自由端的動態等效邊界彈簧係數，為了使所獲得的動態等效邊界彈簧係數符合實際，將在外接

管路自由端連接一個集中質量 m_d ，相關的有限元素模型如圖1.4所示。針對圖1.4所示的有限元素模型進行自由振動分析，則可獲得上述數學模型於各方向(x、y與z)的自然頻率。根據有限元素法結構動態分析的理論，圖1.4所示的有限元素模型在水平(x)方向的振動行為可以用一個等效的單自由度系統來代表(參考圖2.5)。如果圖1.4所示有限元素模型在水平(x)方向的

自然頻率為 ω_x ，則參考圖1.5，可得：

$$\omega_x = \sqrt{\frac{k_x^d}{m_d}} \quad (1.4)$$

因此，外接管路水平(x)方向的動態等效邊界彈簧係數為：

$$k_x^d = m_d \times \omega_x^2 \quad (1.5)$$

使用相類似的流程，也可以分別求得外接管路在y方向與z方向的動態等效邊界彈簧係數：

$$k_y^d = m_d \times \omega_y^2 \quad (1.6)$$

$$k_z^d = m_d \times \omega_z^2 \quad (1.7)$$

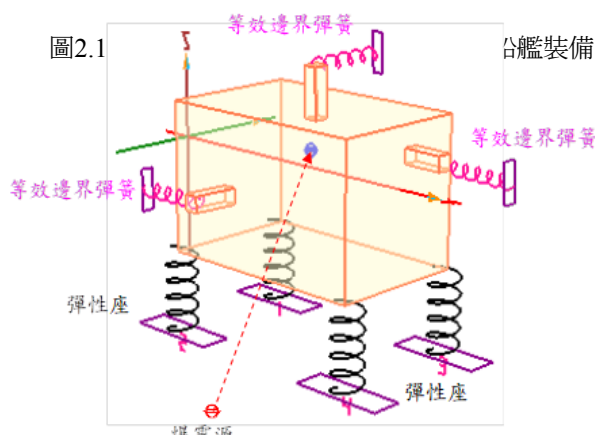
圖1.4 自由端連接有一個集中質量之船艦裝備外接管路的示意圖

圖1.5 自由端連接一個集中質量之外接管路的動態等效單自由度系統示意圖

二、具外接管路且安裝多個彈性座之船艦裝備

本節旨在於建立「具外接管路且安裝多個彈性座之多自由度船艦裝備」的運動方程式，以利進行爆震對船艦裝備隔振效率的影響分析，進而確認船艦裝備的隔振效率穩定度。

1. 數學模型



為利進行爆震對「具外接管路且安裝多個彈性座之多自由度船艦裝備」的影響分析，本節將建立多自由度船艦裝備的運動方程式，而建立系統運動方程式之前，則必須先建立「具外接管路且安裝多個彈性座之多自由度船艦裝備」的數學模型。

將「具外接管路且安裝多個彈性座之多自由度船艦裝備」簡化為一個多自由度的質量-彈簧-阻尼系統(參考圖2.1)，其中，船艦裝備以一個具有6自由度(

g_x 、 g_y 、 g_z 、 θ_x 、 θ_y 與 θ_z)的剛體來表示，而外接管路則以等效邊界彈簧來取代。

在上述符號中， g_x 、 g_y 與 g_z 表示平行 x 、 y 與 z 軸方向的獨立座標，而 θ_x 、 θ_y 與 θ_z 表示繞著 x 、 y 與 z 軸方向旋轉的獨立座標。與剛體有關的相關參數，例如：剛體質量、剛體重心位置、 θ_x 、 θ_y 與 θ_z 方向的質量慣性矩、剛體於 θ_x 、 θ_y 與 θ_z 方向的傾斜角度、彈性座於 θ_x 、 θ_y 與 θ_z 方向的旋轉角、等效邊界彈簧、...等，皆在本研究中考慮。

2. 運動方程式

依據結構動力學與有限元素法的基本理論[1-4]，如圖2.1所示之「具外接管路且安裝多個彈性座之多自由度船艦裝備」的運動方程式，具有如下型式：

$$[\bar{M}]\{\ddot{\bar{u}}\} + [\bar{C}]\{\dot{\bar{u}}\} + [\bar{K}]\{\bar{u}\} = \{\bar{F}(t)\} \quad (2.1)$$

$$\{\bar{u}\} = \begin{Bmatrix} g_x - \theta_x \\ g_y - \theta_y \\ g_z - \theta_z \\ \theta_x \\ \theta_y \\ \theta_z \end{Bmatrix} \quad (2.2a)$$

$$\{\bar{u}\} = \begin{Bmatrix} \bar{g}_x - \bar{G}_x \\ \bar{g}_y - \bar{G}_y \\ \bar{g}_z - \bar{G}_z \\ \bar{\theta}_x \\ \bar{\theta}_y \\ \bar{\theta}_z \end{Bmatrix} \quad (2.2b)$$

$$\{\bar{u}\} = \begin{Bmatrix} g_x - G_x \\ g_y - G_y \\ g_z - G_z \\ \theta_x \\ \theta_y \\ \theta_z \end{Bmatrix} \quad (2.2c)$$

$$\{\bar{F}(t)\} = -[\bar{M}] \begin{Bmatrix} \bar{G}_x \\ \bar{G}_y \\ \bar{G}_z \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2.3)$$

$$[\bar{M}] = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} & m_{15} & m_{16} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} & m_{25} & m_{26} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} & m_{35} & m_{36} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} & m_{45} & m_{46} \\ m_{51} & m_{52} & m_{53} & m_{54} & m_{55} & m_{56} \\ m_{61} & m_{62} & m_{63} & m_{64} & m_{65} & m_{66} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$[\bar{C}] = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & c_{15} & c_{16} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} & c_{25} & c_{26} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} & c_{36} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} & c_{45} & c_{46} \\ c_{51} & c_{52} & c_{53} & c_{54} & c_{55} & c_{56} \\ c_{61} & c_{62} & c_{63} & c_{64} & c_{65} & c_{66} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

$$[\bar{K}] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{26} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} & k_{35} & k_{36} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} & k_{45} & k_{46} \\ k_{51} & k_{52} & k_{53} & k_{54} & k_{55} & k_{56} \\ k_{61} & k_{62} & k_{63} & k_{64} & k_{65} & k_{66} \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

在上述方程式中， \bar{G}_x 、 \bar{G}_y 與 \bar{G}_z 分別表示爆震衝擊波對彈性座接地端於 g_x 、 g_y 與 g_z 方向上所引起的加速度， \bar{G}_x 、 \bar{G}_y 與 \bar{G}_z 分別表示爆震衝擊波對彈性座接地端於 g_x 、 g_y 與 g_z 方向上所引起的速度， G_x 、 G_y 與 G_z 分別表示爆震衝擊波對彈性座接地端於 g_x 、 g_y 與 g_z 方向上所引起

的位移， m 表示剛體質量， $\{\bar{u}\}$ 、 $\{\bar{v}\}$ 與 $\{\bar{u}\}$ 分別表示剛體與接地端的整體相對加速度向量、整體相對速度向量與整體相對位移向量， $[\bar{M}]$ 、 $[\bar{C}]$ 與 $[\bar{K}]$ 分別表示系統的整體質量矩陣、整體阻尼矩陣與整體勁度矩陣， $\{\bar{F}(t)\}$ 為系統的整體外力向量。

剛體質量、剛體重心位置、 θ_x 、 θ_y 與 θ_z 方向的質量慣性矩、剛體於 θ_x 、 θ_y 與 θ_z 方向的傾斜角度、彈性座於 θ_x 、 θ_y 與 θ_z 方向的旋轉角、管路的等效邊界彈簧效應、…等，皆在本研究中考慮

，因此，上述整體特性矩陣($[\bar{M}]$ 、 $[\bar{C}]$ 與 $[\bar{K}]$) 將會相當的複雜，至於系統的整體外力向量

$\{\bar{F}(t)\}$ ，最主要是由爆震衝擊波對彈性座接地端於 g_x 、 g_y 與 g_z 方向上所引起的加速度所造成。

3. 等效邊界彈簧的勁度矩陣

依據具外接管路且安裝多個彈性座之船艦裝備數學模型(參考圖3.1)，在船艦裝備的運動過程中，第 i 個等效邊界彈簧的彈性位能為：

$$V_i = \frac{1}{2}(k_{x,i}\delta_{x,i}^2 + k_{y,i}\delta_{y,i}^2 + k_{z,i}\delta_{z,i}^2) \quad (2.7)$$

在方程式(2.7)中， V_i 為第 i 個等效邊界彈簧的彈性位能， $k_{x,i}$ 、 $k_{y,i}$ 與 $k_{z,i}$ 分別為第 i 個等效邊界彈簧在 x 、 y 與 z 方向上的勁度， $\delta_{x,i}$ 、 $\delta_{y,i}$ 與 $\delta_{z,i}$ 分別為第 i 個等效邊界彈簧與船艦裝備連接處在 x 、 y 與 z 方向上的位移。將方程式(2.7)寫成矩陣型式，可以獲得：

$$V_i = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \delta_{x,i} & \delta_{y,i} & \delta_{z,i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_{x,i} & 0 & 0 \\ 0 & k_{y,i} & 0 \\ 0 & 0 & k_{z,i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{x,i} \\ \delta_{y,i} \\ \delta_{z,i} \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \{q\}^T [K] \{q\} \quad (2.8)$$

其中， $\{q\}$ 與 $[K]$ 分別為：

$$\{q\} = \begin{Bmatrix} \delta_{x,i} \\ \delta_{y,i} \\ \delta_{z,i} \end{Bmatrix} \quad (2.9a)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_{x,i} & 0 & 0 \\ 0 & k_{y,i} & 0 \\ 0 & 0 & k_{z,i} \end{bmatrix} \quad (2.9b)$$

在本研究中，船艦裝備假設為剛體，因此，第 i 個等效邊界彈簧與船艦裝備連接處在 x 、 y 與 z 方向上的位移($\delta_{x,i}$ 、 $\delta_{y,i}$ 與 $\delta_{z,i}$)是由船艦裝備的線性位移與旋轉角位移所引起的，即：

$$\begin{aligned} \delta_i &= dx \mathbf{i} + dy \mathbf{j} + dz \mathbf{k} + \boldsymbol{\theta} \times \mathbf{r}_i \\ &= \delta_{x,i} \mathbf{i} + \delta_{y,i} \mathbf{j} + \delta_{z,i} \mathbf{k} \end{aligned} \quad (2.10)$$

其中，

$$\boldsymbol{\theta} = \theta_x \mathbf{i} + \theta_y \mathbf{j} + \theta_z \mathbf{k} \quad (2.11)$$

$$\mathbf{r}_i = x_i \mathbf{i} + y_i \mathbf{j} + z_i \mathbf{k} \quad (2.12)$$

$$\delta_{x,i} = dx + z_i \theta_y - y_i \theta_z \quad (2.13)$$

$$\delta_{y,i} = dy - z_i \theta_x + x_i \theta_z \quad (2.14)$$

$$\delta_{z,i} = dz + y_i \theta_x - x_i \theta_y \quad (2.15)$$

在方程式(2.10)至(2.15)中， dx 、 dy 與 dz 分別為船艦裝備在 x 、 y 與 z 方向上的線性位移，

θ_x 、 θ_y 與 θ_z 分別為船艦裝備在 x 、 y 與 z 方向上的旋轉角位移，而 x_i 、 y_i 與 z_i 分別為第 i 個等效邊界彈簧與船艦裝備連接處在相對於船艦裝備質量中心在 x 、 y 與 z 方向上的位置。

將方程式(3.10)至方程式(3.15)寫成矩陣型式，可得：

$$\delta_i = \begin{Bmatrix} \delta_{x,i} \\ \delta_{y,i} \\ \delta_{z,i} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & z_i & -y_i \\ 0 & 1 & 0 & -z_i & 0 & x_i \\ 0 & 0 & 1 & y_i & -x_i & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} dx \\ dy \\ dz \\ \theta_x \\ \theta_y \\ \theta_z \end{Bmatrix} = [B_i] \{Q\} \quad (2.16)$$

$$[B_i] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & z_i & -y_i \\ 0 & 1 & 0 & -z_i & 0 & x_i \\ 0 & 0 & 1 & y_i & -x_i & 0 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

$$\{Q\} = \begin{Bmatrix} dx \\ dy \\ dz \\ \theta_x \\ \theta_y \\ \theta_z \end{Bmatrix} \quad (2.18)$$

整理方程式(2.8)與方程式(2.16)，可得：

$$V_i = \frac{1}{2} \{Q\}^T [B_i]^T \begin{bmatrix} k_{x,i} & 0 & 0 \\ 0 & k_{y,i} & 0 \\ 0 & 0 & k_{z,i} \end{bmatrix} [B_i] \{Q\} = \frac{1}{2} \{Q\}^T [K_i] \{Q\} \quad (2.19)$$

由方程式(2.19)可以獲得，第 i 個等效邊界彈簧相對於整體隔振系統的勁度矩陣為：

$$[K_i] = [B_i]^T \begin{bmatrix} k_{x,i} & 0 & 0 \\ 0 & k_{y,i} & 0 \\ 0 & 0 & k_{z,i} \end{bmatrix} [B_i] \quad (2.20)$$

4. 爆震衝擊波

本研究將採用德國軍用標準BV 043 來作為爆震衝擊波對彈性座接地處於 x 、 y 與 z 方向上所引起之加速度計算的依據。根據BV 043文件[5]的內容，當裝備的爆震設計譜(Shock Design Spectrum, SDS)已經訂定時，則爆震衝擊波對彈性座接地端引起之加速度可用一組雙半正弦波(Double Half-Sine Wave)來描述(參考圖3.2)，其中第一個半正弦波的波幅必須約為SDS最大加速度值的一半，此外，每個半正弦波下方的面積必須約為符合SDS假設速度值的 $2/3$ 。另外，針對圖3.2所示之雙半正弦波曲線進行雙重積分即可獲得符合SDS最大相對偏移量的基座位移值。BV 043文件中所提供的相關數學式簡述如下：

$$a_2 = 0.5 \times a_0 \quad (2.21a)$$

$$t_1 = \frac{\pi \cdot v_1}{2 \cdot a_2} \quad (2.21b)$$

$$v_1 = \frac{2}{3} \times v_0 = v_2 \quad (2.21c)$$

$$a_4 = \frac{\pi \cdot v_1}{2 \cdot t_2} \quad (2.21d)$$

$$t_2 = \frac{2 \cdot d_0}{v_1} - t_1 \quad (2.21e)$$

在上述數學式中， a_0 、 v_0 與 d_0 分別為SDS中的最大加速度值、最大速度值與最大位移值。

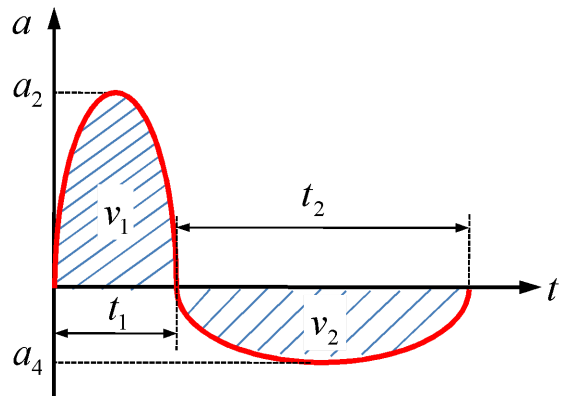


圖2.2 爆震衝擊波可用一組雙半正弦波函數來描述

5. 多自由度船艦裝備的動態反應

依據結構動力學與有限元素法的基本理論[1-4]，圖2.1所示之「具外接管路且安裝多個彈性座之多自由度船艦裝備」的運動方程式可由方程式(2.1)來描述。本研究將利用Newmark直接積分法[1]來求解多自由度船艦裝備的運動方程式(2.1)，以獲得船艦裝備的動態位移反應、動態速度反應與動態加速度反應。為了減少進行上述船艦裝備爆震反應分析工作的困難度，本研究將採用隔振設計商業軟體Vibration Isolation Master 1.40版來計算具外接管路且安裝多個彈性座之多自由度船艦裝備上任意點的位移、速度與加速度，及彈性座的變形量，最後，本研究將針對上述計算所獲得的結果來進行分析，以提供現階段的船艦裝備隔振設計更進一步的資訊，並進一步提升現階段船艦裝備隔振設計的穩定性。

6. 管路跨距數目對爆震所引起之管路應力的影響

☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒

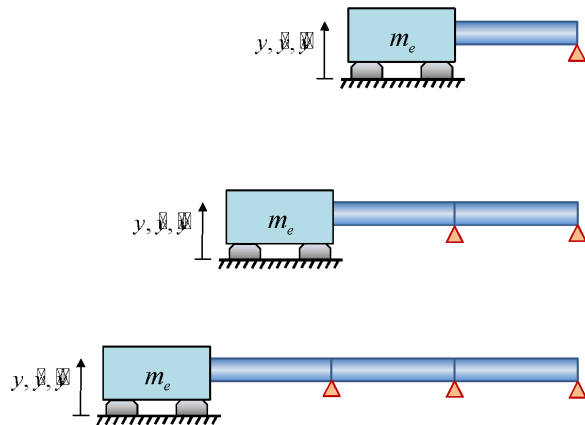


圖2.3 有連接管路之裝備系統承受爆震時的示意圖(管路支撐處假設為Fixed邊界條件)

本研究將探討管路系統之跨距個數對裝備系統承受爆震時，所引起之管路最大應力的影響。在本小節的研究中，有連接管路之裝備系統如圖2.3所示，管路的直徑 $D=60$ mm、厚度 $t=2$ mm、質量密度 $\rho=8800$ kg/m^3 、楊氏模數 $E=150$ GPa、降伏應力 $\sigma_Y=372$ MPa與普松比 $\nu=0.34$ 。值得一提的是，每一段管路的跨距都相同，且由下列經驗公式計算：

$$S = 190 \times 60^{0.5} \approx 1472 \text{ mm} \quad (2.22)$$

另外，關於圖2.3中的裝備相關參數，質量為12840kg，彈性座在三個方向(X 、 Y 與 Z)上的勁度皆為 76.8×10^5 N/m。

當所有支撐處假設為Fixed邊界條件時，有連接管路之裝備系統承受爆震時的有限元素模型如圖2.4所示，當爆震波為205G與2.5ms的半正弦函數時，則由此爆震波所引起的管路最大應力如表2.1所示。

由表2.1可以發現，管路跨距數目對裝備系統承受爆震時所引起之管路最大應力的影響非常小，而且，

上述管路最大應力遠小於管路材質的降伏應力 $\sigma_Y=372$ MPa，因此，裝備系統在承受爆震時，管路不會有塑性變形或破壞的情形產生。

綜上所述，當所有管路支撐處假設為Fixed邊界條件時，只要有連接單一跨距管路之裝備系統的概念來建立相關的數學模型，即可合理預測裝備系統的動態特性。

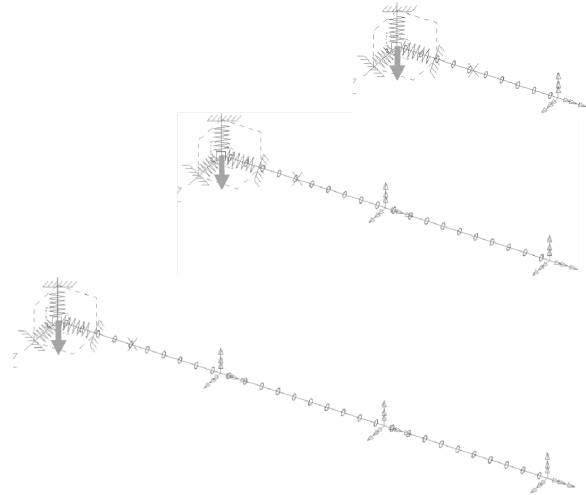


圖2.4 有連接管路之裝備系統承受爆震時的有限元素模型(管路支撐處假設為Fixed邊界條件)

表2.1 有連接管路之裝備系統承受爆震時所引起的管路最大應力 (管路支撐處為Fixed邊界條件)

管路系統種類	管路最大應力(Mpa)
單跨距	7.16
二跨距	7.17
三跨距	7.17

三、結論

使用2節點12個自由度樑元素(Beam element)所建立之管路有限元素模型的自由度總數遠小於使用殼元素(Shell element)與錐形固體元素(Solid element)所建立之管路有限元素模型自由度總數，因此所需要的

數值CPU計算時間也大大降低, 而且數值結果的精確度也在合理範圍內, 故採用2節點12個自由度樑元素 (Beam element) 來作為管路有限元素模型的基本元素, 即可合理進行船艦具外接管路裝備的爆震響應分析。

本研究針對船艦具外接管路裝備進行爆震響應分析, 並探討等效邊界彈簧相關參數對船艦裝備承受爆震衝擊時之動態行為的影響, 可提供船艦裝備隔振設計工程師一些相關參考資料, 國內在「具外接管路裝備之爆震響應分析」的評估技術尚未完全建立, 本研究將可使此項技術更臻完備, 對國艦國造隔振設計有微薄之貢獻。

參考文獻

1. K. J. Bathe, 1982, Finite Element Procedures in Engineering Analysis. Prentice-Hall, Inc .
2. R. W. Clough and J. Penzien, 1993, Dynamics of structures. McGraw-Hill.
3. J. S. Przemieniecki, 1985, Theory of Matrix Structural Analysis, McGraw-Hill.
4. T. Y. Yang, 1986, Finite Element Structural Analysis, Prentice-Hall, Inc.
5. BV 043, Shock Resistance Specification for Bundeswehr Ships, German Federal Office for Military Technology and Procurement, 1985.

Shock Responses Analyses of Equipment Connected With Ship External pipelines

T.G. YU J.J. WU ***

*Naval Shipbuilding Development Center

** National Kaohsiung University of Sciences and Technology
Department of Marine Engineering

Keywords: Equivalent Boundary Spring coefficient, Shock Responses Analyses, Dynamic Effect ,
Shock isolation design

ABSTRACT

When a ship is attacked by weapons during actual combat, the ship structure will vibrate strongly, If the ship equipment does not have good shock isolation design, the above-mentioned huge vibration will destroy the equipment on the ship. This study will explore the influence of external pipelines on the dynamic characteristics of ship equipment based on the “Equivalent Boundary Spring Theory”. Based on the above theory, simplifying the external pipelines into an equivalent boundary spring can greatly reduce the work time and energy of shock isolation design engineers of ship equipment; The boundary spring effect connected to the external pipelines equipment, the center of mass position of the equipment, the rotation angle of the equipment in each direction, the mass moment of inertia of the equipment in each direction, the coupling effect of the shock isolation pad installation angle, the mathematical function of the detonation shock wave, the explosion direction of the shock wave will be taken into consideration. Subsequent detonation response analysis will be conducted on the ship’s external pipelines equipment, and the impact of equivalent boundary spring-related parameters on the dynamic behavior of the ship’s equipment when it withstands the detonation impact will be discussed.