

行政院原子能委員會 委託研究計畫研究報告

核能電廠安全級管路斷管及其影響分析研究

The studies of the safety-related pipe rupture
of the nuclear power plants

計畫編號：932001INER002

受委託機構：龍華科技大學

計畫主持人：葛自祥副教授

報告日期：93年11月30日

核能電廠安全級管路斷管及其影響分析研究

摘要

核能電廠在安全級核能管路設計階段時，MEB 3-1 須對圍阻體內外的高能量與中能量管路，進行發生假想性斷管事件(pipe rupture)及其後續效應的設計基準分析。據此，訂定圍阻體、重要系統、組件與設備完善的防護措施，維護核能安全。此部分的分析結果，必須要在終期安全分析報告 3.6 節中詳細說明。因此，本計畫之目的擬建立完整性的斷管與其效應分析技術，及相關之審查導則，以供管制單位對核四廠管路設計基準稽查與審查之參考。

然核能電廠管路系統極為龐大。因此，本計畫擬定以美國核能管制委員會所提出的管路 benchmark 問題做為參考對象 (NUREG/CR-1677)，以建立有關斷管之各項技術。因此本計畫擬以兩年期，分別執行下列各項工作：

1. 建立國內安全級管路斷管位置判定導則，以為管制審查參考。
2. 建立 NUREG/CR-1677 中管路系統之動態應力分析基準。
3. 根據斷管位置判定準則，評估上述管路系統之斷管位置。
4. 建立管路斷管後沖放負載之分析技術與程序。

在第一年工作中，將根據 NUREG-0800 中 3.6.1 及 3.6.2 節的 ASB 3-1 與 MEB 3-1 斷管位置之判定準則，訂定國內相關準則，作為管制審查參考。

在第二年工作中，並採用 ANSYS 軟體進行 NUREG/CR-1677 的管路系統的動態分析，建立美國核管會要求驗證程式的要求。根據已訂定的斷管位置判定準則以及管路應力分析結果，首先判定管內系統的斷管位置判定準則探討管路斷管位置的計算。而且此高壓管路的斷裂，會引起系統內流體特性的改變，此管路系統的動態反應，即為產生動態的反作用力。此反作用力為時間與空間的函數，決定於斷管前管內的流體狀態、斷管面積、摩擦效應與系統特性等參數，且此函數的訂定，要符合 ANS 58.2 中 6.2 節與 Appendix A 的要求。因此流體反作用力沖放負載的建立，所得結果與分析技術可提供管制單位在審查核四廠終期安全分析報告 3.6.2 節之參考。

The studies of the safety-related pipe rupture of the nuclear power plants

ABSTRACT

Section 3.6 in Safety Report describes the design bases and protective measures which ensure that the containment, essential systems, components and equipment, and other essential structures are adequately protected from the consequences associated with a postulated rupture of high-energy piping or crack of moderate-energy piping both inside and outside the containment. The purpose of this project will establish the comprehensive procedure to evaluate the pipe rupture and the effects and review guide for the reference the regulatory staff to review safety report.

However, the piping system is very huge and complicated. The project will emphasize the piping benchmark problems of NUREG/CR-1677 for the pilot study. This project will perform the following items in the two-year period.

1. To establish the piping rupture criterion of the safety-related piping in Taiwan.
2. To establish the dynamic analysis of the benchmark problem of the piping system for the demonstration problem.
3. Based on the established piping rupture criteria, to evaluate the existing piping rupture in the safety report.
4. To establish the reactive force due to the piping rupture by the analytical method and CFD methods.

The establishment of piping rupture criteria will base on NUREG-8000 Sections 3.6.1 and 3.6.2 ASB 3-1 and MEB 3-1 criteria. ANSYS package will be used for the dynamic analysis of NUREG/CR-1677 piping problem. The reactive force function will be calculated by ANS 58.2 Section 6.2 and Appendix A. In the mean time, this project will use the package Star CD for the reactive force analysis.

目 錄

	頁碼
摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
目錄.....	iii
表目錄.....	vii
圖目錄.....	viii
1. 計畫目標.....	1
2. 斷管位置判定導則之訂定	6
2.1 圍阻體內外流體系統的假設性管路失效	7
2.1.1 設計基準	7
2.1.1.1 基準之訂定.....	7
2.1.1.2 目標.....	7
2.1.1.3 假設.....	8
2.1.1.4 方法.....	9
2.1.2 描述	10
2.1.3 安全評估	10
2.1.3.1 通則.....	10
2.1.3.2 保護方法	10
2.1.3.2.1 一般.....	10

2.1.3.2.2 分離.....	11
2.1.3.2.3 障礙物、屏蔽及封閉區域.....	12
2.1.3.2.4 管路擾動抑制.....	13
2.1.3.3 明定保護措施.....	13
2.2 斷裂位置的決定及假設管路破裂之動態影響.....	15
2.2.1 用在所定義之斷裂和爆裂位置及形狀的相關規範.....	15
2.2.1.1 高能量流體系統之定義.....	15
2.2.1.2 中能量流體系統之定義.....	15
2.2.1.3 假設發生斷管及破裂的位置.....	15
2.2.1.4 假設斷管之位置	
2.2.1.4.1 符合分離要求之管路系統.....	16
2.2.1.4.2 圍阻體之穿越區域之管路系統.....	16
2.2.1.4.3 圍阻體穿越區以外的 ASME Code Section III	
Class 1 管路系統.....	18
2.2.1.4.4. ASME Code Section III Class 2 及 Class 3 管路	
系統除圍阻體穿越外之區域.....	19
2.2.1.4.5.非 ASME Class 管路.....	20
2.2.1.4.6 高能量管路之分離結構.....	20
2.2.1.5 假設管路爆裂之位置.....	20

2.2.1.5.1 管路符合分離要求.....	20
2.2.1.5.2 高能量管路.....	20
2.2.1.5.3 中能量管路.....	21
2.2.1.5.3.1 管路位於圍阻體穿越之區域.....	21
2.2.1.5.3.2 圍阻體穿越以外之管路所在位置.....	21
2.2.1.5.4 位於高能量管路附近之中能量管路.....	21
2.2.1.6 假設之斷裂及爆裂種類.....	21
2.2.1.6.1 管路斷裂.....	21
2.2.1.6.2 管路爆裂.....	23
2.2.2 透過分析方法定義衝斷力之函數及回應模式.....	24
2.2.2.1 透過分析方法定義衝斷力函數.....	24
2.2.2.2 管路擾動動態回應分析.....	24
2.2.3 動態分析方式驗證完整性及運轉性.....	25
2.2.3.1 噴射影響分析及安全相關設備的影響.....	25
2.2.3.2 管路擾動在重要設備上的影響.....	29
2.2.3.2.1 管路位移在同一管路運作下之設備影響.....	29
2.2.3.2.2 管路位移在重要結構、其它系統及設備上之影響	29
2.2.3.3 管路擾動抑制之設計規範和負載組合.....	30
2.2.4. 保護管路組件分析.....	33

2.2.5 應被提供之電場執照審查的內容.....	33
2.3 已建立之高能量管路斷裂緩和和功能檢測.....	34
3.結論.....	35
參考文獻.....	36

表目錄

表 1 針對圍阻體內重要結構、系統及設備*之假設性管路失效	37
表 2 針對圍阻體外重要結構、系統及設備*之假設性管路失效	38
表 3 圍阻體內高能量管路系統	39
表 4 圍阻體外高能量管路系統	40
表 5 圍阻體內中能量管路系統	40
表 6 圍阻體外中能量管路系統	41
表 7 整合的洩漏率測試的外加規範	42

圖目錄

圖 1 噴射特性.....	43
圖 2 典型管路擾動抑制結構	44
圖 3 初期衝斷及振動力	45
圖 4 可接受管路擾動抑制種類	46

1. 計畫目標

核能電廠再在設計階段時，須對安全級管路（Safety-Related Piping）考量假設性斷管（postulated pipe rupture）或破裂（pipe crack）的評估，及其所引發的後果是否會對圍阻體、重要系統、組件與設備以及其他重要結構造成相當的影響。因此，其設計基準與保護措施要能防止此兩類事件的所產生的後果，並必須將此部分結果說明於核能電廠安全分析報告第3.6.1與3.6.2節中[1]。

所謂斷管與破裂係分別針對圍阻體內外的高能量管路（high energy piping system）與中能量管路（moderate energy piping system）來考量。在進行斷管位置判定前須先將管路分類定義出來。

(1) 高能量管路定義（下列兩條件擇一即可）：

- (a). 最高運轉溫度超過93°C；
- (b). 最大運轉壓力超過1902.5 kPag。

(2) 中能量管路定義（下列兩條件擇一即可）：

- (a). 最高運轉溫度不超過93°C；
- (b). 最大運轉壓力不超過1902.5 kPag。

管路系統若僅有很短的運轉時間(運轉時間的2%以內) 分類屬於高能量管路，但其他時間則分類為中能量管路，仍可視為中能量管路。

所謂假設性管路斷管事件，依法規定義為：當核電廠在正常運轉時，發生單一假想管路失效事件者（pipe failure）；其範疇包含任何因此假想性管路失效，所直接造成的後果者；包含因結果所發生的任意管路失效者及設備是否失效者。

其中假想性管路失效，包含高能量系統管路中發生軸向或圓周向破裂或假設性斷裂；中能量系統管路中發生穿壁式洩漏者（through-wall leakage），造成必須使反應器急停，以及要延緩因為此假設性管路失效所產生的後果。

進一步定義假設性管路斷裂，在高能量管路中考慮為為壓力邊界的突然性整體失效（gross failure），可能為嚴重的圓周向完整斷裂（斷頭式斷裂）或者是突

然的軸向式劈裂。至於中能量管路系統管路失效僅限於管路發生裂縫，這些裂縫會影響到週遭的環境條件，但不引起管路的甩動。

高能量管路的假設性斷管所引發的動態效應（dynamic effects）後果，包括有[2]：

- (1) 產生拋射物（missile generation）
- (2) 管路甩動（pipe whipping）
- (3) 管路斷管反應力（pipe break reaction forces）
- (4) 噴流衝擊（jet impingement）
- (5) 隔間、次隔間、空穴壓力（compartment, sub-compartment and cavity pressurizations）
- (6) 斷管內的次壓力波（decompression waves）

針對上述動態效應的防護，管路設計時之考量，要能符合下列目標：

- (1) 確保反應器能安全地達到停機（shutdown）要求，且要維持在安全冷停機的條件；同時因假設性管路失效所產生的後果，要在不需要廠外電源條件下，能減緩到可接受的範圍。
- (2) 確保維持圍阻體的結構完整性。
- (3) 確保假設性管路失效所產生的放射性劑量要低於10CFR100的限度內。

在訂定這些保護性的考量時有下列的假設：

- (1) 管路斷管可能發生在電廠正常運轉中。
- (2) 管路斷管可能與地震事件同時發生，但地震事件不是產生管路斷管的原因。
- (3) 管路斷管事件中假設為單一主動設備失效（Single Active Component Failure, 簡稱SACF），設備可能喪失其機械、水力與電氣功能，但其結構完整性不受到影響。
- (4) 管路斷管失效位置可能發生在備用串上，備用串不採用SACF假設。
- (5) 若斷管事件發生在非耐震一級管路上，管路斷管事件將不會對重要系統、組件以及設備造成失效，而必須停機。
- (6) 若因斷管直接造成廠外電源失效，這是屬於SACF假設。
- (7) 管路甩動僅單獨發生在圓周式或軸向式斷裂。

- (8) 所有可用系統在一除因假設性管路失效事件後均能可用
- (9) 雖然發生在圍阻體外的斷管事件，而必須冷停機，到熱停機至少要8小時，以有充分的時間讓電廠人員評估電廠狀況與修理。
- (10) 管路甩動為斷管後的立即運動，其發生要依據管路幾何形狀、噴流後座力方向所引起的移動。
- (11) 隨者斷管產生的內部流體能量要將管路限制器納入。
- (12) 所有的牆、門、樓板以及穿越氣可視為分區邊界者，皆可設計為抵抗最壞情況的屏障

前述所界定的重要系統、組件與設備則根據電廠的安全分析報告中予以訂定。

因斷管或破裂引起的後果，必須要以機械式的方式來描述失效事件，包括管路尺寸、配管形狀、材料性質（在SRP 3.6.2中訂定）以及設備安排等，均要能考量到下列各種防護的方法

- (1) 因管路斷管造成動態效應的保護措施要能抑制管路甩動，管路上加裝甩動抑制器（圖1所示）。
- (2) 管路的安排要考慮到區域性的分隔以及相關屏蔽的安排。
- (3) 要考慮到以後的維修以及管路間不要過於接近。

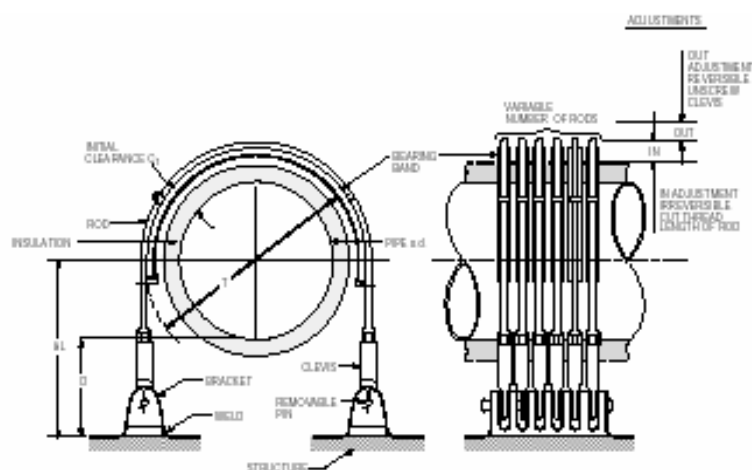


圖1 管路甩動抑制器 [1]

電廠設計時要考慮到各類系統設備間的區域性隔開，以維持各備用串的獨立運作，不會因管路斷管造成安全功能的喪失。每一區域都要能獨自抵擋管路斷管的事件，但往往會造成一些死角，或分區不實際的情形，但都要要符合高能量管

路分隔分析（High-Energy Line Separation Analysis，簡稱HELISA）評估，使管線有更進一層的保護。

根據上述多方面的考量，在高能量管路系統中有可能發生假設性斷管點的管路必須有下列特性：

- (1) 所有管路為反應器壓力邊界的一部分而且持續承受反應器的壓力
- (2) 在第二個隔離閥外的管路但持續承受反應器壓力
- (3) 其他高能量管路

而假設性斷管位置之考量，需滿足下列之基本要求：

- (1) 配合分區要求，根據HELISA評估，高能量管路必須要考量到空間的區隔，這些點不能視為斷管點。
- (2) 在圍阻體穿越區的管線，從圍阻體壁到內部隔離閥或外部隔離閥的管路不允許設有斷管點或破裂點，同時要滿足ASME Code Section III, Subarticle NE-1120的要求。
- (3) 焊接區的斷管處要儘量減少。
- (4) 上述三區域外，在ASME Code Section III Class 1 Piping之斷管假設為
 - (i) 管線端點
 - (ii) 根據ASME 規範第三冊 Eq. (10)計算最大應力範圍超過 $2.4 S_m$ 者中間位置
 - (iii) 累積使用因子超過0.1者的中間位置

當選定斷管位置與以補強後，管路要重新作應力分析，斷管位置可能會移動，但最開始考量的位置不能改變。

在上述斷管位置的選定與管路保護措施的補強，整個程序的建立，可由兩方面來進行：

- (1) 協助核四廠斷管安全分析報告的審查

本計畫在第一年即建立起斷管位置判定導則之訂定，可作為核四廠斷管安全分析報告的審查參考，一方面可加強此部分的驗證，另一方面可藉由實際的分析結果審查建立此技術的能力。

- (2) 分析模式的建立

由於核電廠管路系統複雜龐大，且學校參與人力非顧問公司所能及，因此建議

選定NUREG/CR-1677中所提供的管路系統作為評估的參考對象，此報告所提供的管線系統是美國核能管制委員會所選定的benchmark範例[3]，作為各類型有限元素程式驗證的依據，從動態分析到應力分析相當完整，惟並未進行到斷管分析，可利用此應力分析結果進行斷管位置之判定，以建立整體性管路設計的程序，可完整的進行電廠安全分析報告的審查。

當壓力管路斷裂後所引起流體特性的改變，產生反作用力，導致管路系統的振動，此反作用力為時間與空間的函數，與管路斷裂前流體的狀態、斷管面積、摩擦損失、電廠系統特性、管路系統以及其他因數都有關係。此函數的計算為本計畫的重要項目之一。

在斷點處的衝擊歷時過程必須根據下列因素來考量：

- (1)管路段所受的力量可用ANS 58.2 Appendix A 之通用方程式[4]
- (2)管路段所受的力量可採用Lahey的方法來計算[5]
- (3)作用在斷管點的衝擊力可用ANS 58.2 Appendix B的方法來計算，再成上102%。

此部分亦可使用流體動力計算程式予以分析，本計畫第二年將使用CFD套裝軟體Star CD進行相關沖放反應力量的計算，並與安全分析報告中相關數據予以比較，以建立完整流體力學分析技術能力的建立。

2. 斷管位置判定導則之訂定

本計畫中斷管位置判定導則之訂定，在建立防止假設性管路破壞所造成動態效應之保護措施(Protection Against Dynamic Effects Associated with the Postulated Rupture of Piping)。此部份在 FSAR 中第 3.6 節會詳細說明，本章第 1 節與第 2 節中(FSAR 中第 3.6.1 與 3.6.2)將描述圍阻體(containment)、重要系統(essential system)、組件(components)與設備(equipments)及其它重要結構(essential structures)之設計基礎(design bases)及保護措施(protective measures)，以確保在圍阻體內外的高能量管(high-energy piping)發生假設性斷裂(postulated rupture)與中能量管(moderate-energy piping)發生假設性破裂(postulated crack)所產生的後果皆具有足夠的保護能力。

在描述用在評估圍阻體內外管路失效(piping failure)後果之相關規定及假設前，必需要先定義管路斷裂事件(pipe break event)及假設性管路失效(postulated piping failure)：

管路斷裂事件：在電廠正常運轉期間所發生的任意單一假設性管路失效，因假設性管路失效所產生的直接導致任一管路失效或(以及)設備失效。

假設性管路失效：在高能量流體系統管路(high-energy fluid system piping)假設發生縱向或圓周向斷裂或破裂，在中能量流體系統管路(moderate-energy fluid system piping)假設發生穿壁式洩漏裂縫(throughwall leakage crack)。在此定義中所使用的名詞將在第2節解釋。

結構、系統、組件及相關設備，在假設性管路之失效、喪失廠外電源情況下，能達成停止反應爐以及降低所產生的後果之要求，被定義為重要等級(essential)及設計為耐震一級(Seismic Category I)之需求。

因高能量管路發生假設性斷管，所產生的動態效應，包括(1)飛射物的產生(missile generation)(2)管路甩動(pipe whipping)(3)斷管反作用力(pipe break reaction forces)(4)噴流撞擊力(jet impingement forces)(5)隔間(compartment)、次隔間(sub-compartment)及空穴壓力(cavity pressurizations)(6)在斷管內之壓降波(decompression waves)。

2.1 圍阻體內外流體系統的假設性管路失效 (Postulated Piping Failures in Fluid Systems Inside and Outside of Containment)

圍阻體內外之流體系統，發生假設性管路失效效應以及必要的防護措施，所要考慮之設計基準、整體描述及安全評估將在本節中作說明。

2.1.1 設計基準 (Design Bases)

2.1.1.1 基準之訂定 (Criteria)

管路斷裂事件之保護係遵照 10CFR50 Appendix A, 一般設計準則第四條 (General Design Criterion 4), 環境與飛射物設計基礎。這份保護措施的設計基準要符合在美國核管會 NUREG-0800 (標準審查規範, Standard Review Plan 簡稱 SRP) Branch Technical Positions (BTP) 中 3.6.1 與 3.6.2 節中相對應的 ASB 3-1 及 MEB 3-1 中, 但不包括下列:

- (1) MEB 3-1, B.1.b (1) (a) 補充說明 2 所列, "相對於設計規範中已列入 A 級與 B 級應力極限 (不包括地震負載) 之負載與條件"
- (2) MEB 3-1, B.1.b (1) (d) 所列, "相對於設計規範中已列入 A 級與 B 級應力極限 (不包括地震負載) 之負載與條件 (如持續負載, 臨時負載及熱膨脹), 經由 ASME Code, Section NC-3653 節中, 所列方程式 (9) 及 (10) 計算相加之最大應力不包含地震負載且不應超過 $0.8 (1.8 Sh + SA)$ ", 式中 Sh 與 SA 分別代表環向與軸向應力。
- (3) MEB 3-1, B.1.C (1) (b) 所列, "中段點位置 (intermediate locations) 係由 ASME Code, Section NC-3653 節中方程式 (10) 所計算最大應力範圍 (stress range) 超過 $2.4 S_m$ 、或由 NB-3653 中方程式 (12) 或 (13) 計算之應力範圍超過 $2.4 S_m$ 所訂定。"

MEB 3-1 係說明一可接受的準則, 在流體系統中, 如何選定發生假設性斷管以及破裂的位置與方向。標準審查程序 SRP 3.6.1 及 3.6.2 說明可接受之採取措施, 以防止斷裂與破裂、以及在斷管處抑制所產生的管路甩動。

對於圍阻體結構、設備安排、管路運作、管路甩動抑制器及區間分隔等設計之執行, 要與防制管路斷管事件所產生的動態效應的考量一致。管路甩動抑制器的大小及位置的分析, 則要根據管路斷管評估以排除災害。

2.1.1.2 目標 (Objectives)

斷管事件動態效應的防護要達成下列目標：

- (1) 確保反應爐能安全停機且維持在安全冷爐條件，以及假想性管路失效的後果在無廠外電源下能減緩至可接受範圍。
- (2) 確保維持圍阻體完整性。
- (3) 確保假設性管路失效時的輻射劑量在 10CFR100 的規範下。

2.1.1.3 假設(Assumptions)

下列假設情況是被用來決定相關保護要求：

- (1) 斷管事件可能發生在電廠正常運轉條件(即反應爐啟動、以一定功率下運轉、熱待機或反應爐冷卻至冷停機但不包含測試模式)。
- (2) 斷管事件可與地震事件可同時發生；但一件地震事件不會產生一件斷管事件。此條件適用於耐震一級及非耐震一級管路中。
- (3) 單一主動式設備失效 (Single Active Component Failure, 簡稱 SACF) 是系統中假設用來減緩假設性斷管失效的後果並可停止反應爐運轉，但不含下列第 (4) 項。SACF 是一電氣設備或流體系統的故障或喪失功能。一流體系統之主動式設備失效是考量在機械、液壓或電氣故障所導致設備功能的喪失，而非設備結構的完整性的喪失。SACF 所導致之直接諸多後果可視單一主動失效的一部分。除了假想性管路失效以及管路失效任意直接結果外，SACF 假設會發生。
- (4) 假設性管路失效被假設發生在雙用途中能量管路重要系統中的一個或兩個以上備用串中，(即一個必須用來在正常運轉條件中運作，也亦是被要求用來停止反應爐和減緩因管路失效所產生的後果)，其他串的則不假設有 SACF，另外設計為耐震一級系、同時由廠內及廠外資源提供電源，同時運用在適當之核能安全相關系統下被架構、被運轉及被檢測在品保、測試和營運中檢測標準之下(如，餘熱移除系統 (RHR))。
- (5) 若斷管事件涉及非耐震一級管路失效時，則斷管事件必不會造成重要系統、組件與設備的失效，而仍能使反應爐停機及減緩因斷管事件所產生的後果，亦如上述 (3) 及 (4) 單一運轉中設備失效之相關考量。
- (6) 如果喪失廠外電源是因斷管事件所直接產生的結果(如汽機-發電機跳機所產

生之功率震盪而跳脫主要斷路器)，然後因單一運轉中設備的失效所導致之喪失廠外電源，否則廠外電源在單一運轉設備失效中是被假定可用。

- (7) 管路甩動應被視為有能力分別引起圓周向與縱向斷管而衝擊較小尺寸之管路且與管壁厚度及對相同或更大管路尺寸相同或更薄的管壁之穿管破裂發展無關。針對所期待之衝擊能量範圍的分析或實驗數據可被用來展示抵抗衝擊力而不會造成破裂的能力；然而，喪失功能也應考量在因減低流量而於管內所造成的衝擊。
- (8) 所有可用系統，包括所有由運轉員的動作是需要來減緩因假設管路失效所導致的後果。在判定系統的可用上，是根據假設性的失效及本身直接所導致的後果，例如單元跳脫及喪失廠外電源和假設的單一運轉中設備失效和其直接後果。運轉員動作的可行性是被判定在充裕的時間和足夠的操作使設備在計劃的動作下成為可用為基礎。
- (9) 縱使在圍阻體外的管路斷裂事件也需要一冷停機及八小時以上的熱待機（在反應爐內爐心隔離冷卻系統（RCIC）能力）是被許可作為電廠工作人員來評估現場情況及進行維修。
- (10) 發生在電廠中之假設的管路斷裂伴隨著急速管路擾動是由管路的幾何形狀及噴射作用力所產生的移動方向來決定。如果未能抑制，一擾動中的管路隨著一固定的能量來源所產生一塑性鉸鏈會在最靠近的硬體抑制器、固定栓或穿越壁處產生旋轉。如果未能抑制，一擾動中的管路無固定的能量來源（如在關閉閥門處及只有一邊與壓力有關的斷裂）是不會產生塑性鉸鏈及旋轉提供給管路本身運動且可被定義及評估。
- (11) 與管路斷裂作用力相關之流體內能可根據任一流線之限制（如流量限制器）在壓力來源及斷裂位置和所缺乏之能量儲存位置間來運用的。
- (12) 所有的牆壁、門、地板及穿越孔都劃分成邊界且需被設計來抵擋一次圍阻體內與壓力相關之假設性管路失效最遭的情況。

所有結構性所劃分的隔離壁在假設一次圍阻體外及在二次圍阻體內發生失效後需能維持它們結構的完整性。劃分之隔離門、穿越孔和地板不要求來維持它們結構的完整。分辨所劃分隔離區之完整性將於其他節中說明。

2.1.1.4 方法(Approach)

為達成如前所述的目的，主要系統、設備和器材需要被確立。主要的系統、設備和器材或其相關部分都在第1節之假想管路失效於圍阻體內及第2節失效於圍阻體外之章節中。

2.1.2 描述(Descriptions)

於圍阻體內高能量管線列於表3，而表4則說明圍阻體外之相關管線。中能量管說明於表5之圍阻體內及6圍阻體外之相關定義。壓力回饋分析則為小隔間內高能量管作分析。一完整為管路斷裂的選擇、出口路徑、房間體積、分析模式及壓力結果都在一次圍阻體相關說明中。

因管路擾動、噴射影響、噴灑及淹蓋影響下相關主要系統、設備及器材或其相關部份所需功能、圍阻體內外等都應被考量。

控制室則應在高能量管路斷裂情況下被保護。如此，在控制廠房或其它地方因管路失效而導致之管路擾動、噴射影響或蒸氣之流動下不會對控制室內產生任何影響。

2.1.3 安全評估(Safety Evaluations)

2.1.3.1 通則(General)

對管路斷裂事件之分析是需找出能夠提供必要保護來減緩及達到當管路斷裂時所導致後果的可接受底線之所有相關重要的系統、設備及器材。

管路斷裂事件涉及高能量流體系統被評估在管路擾動、噴射影響、淹蓋、隔間壓力及其它環境影響如溫度等效應之下。管路斷裂事件涉及中能量流體系統則被評估在因噴灑、淹蓋及其它環境影響因素之下。

由設計功能定義上，例如分離、障礙物及管路擾動抑制等說明，系應具有足夠的保護來防止相關從重要項目延伸至因管路斷裂而影響安全停機或不會削弱假想下因管路失效所產生後果之減緩。

2.1.3.2 保護方法(Protection Method)

2.1.3.2.1 一般

與某一假設之斷裂或破裂相關的直接影響必定與機械上的失效相同。因

此，實際管路尺寸、管路配置、材料特性（與 SRP 3.6.2 相同）及設備安排都應被考量在接下來之實際管路尺寸及其它因假設下失效後果保護之準確估計內。

- (1) 管路失效之動態影響保護是提供管路擾動抑制、器材保護及管路物理性質上之分離、器材和儀器的形式。
- (2) 準確方式的選擇大部分是根據設計者訂定的限制，例如對可操作程度、保養及其它鄰近之管路系統。

2.1.3.2.2 分離

每一電廠的安排都提供一物理上的分離區間至其延伸能夠維護重要餘裕系統的獨立（包括輔助系統）其是為了避免因任一單一管路斷裂事件而喪失安全功能。多重串（如 A 及 B 串）及分割區需配置於分隔的隔間內和其相關可能之延伸。在物理上的區隔及重要餘裕系統及它們相關之輔助功能在設計時應納入最基本的保護方式來因應任何地方之高能量管路斷裂後之動態影響。

然而因從鄰近區域至高能量管路在乾井及反應爐廠房內多個複雜的區間，會發生斷裂的位置應依據 2.2.1.4.3 節中可能空間分離所述，並應注意來避免在斷裂區域中未包含有重要設備並需遵守 2.2.1.4.2 節說明。如果空間上的要求（距離和/或相關安排由下所述）並不能符合假設之斷裂情況、其後障礙物、封閉區域、屏蔽或抑制系統時，相關保護措施將於 2.1.3.2.3 及 2.1.3.2.4 小節中討論。

對於其它未確切之物理上分離之區域，接下有關高能量管路分離分析（HELISA）評估將被運用來決定那些高能量管路符合空間分隔的需求及那些管路需要更進一步之保護：

- (1) 針對高能量管路分離分析而言，並未有特定斷裂點已被訂定。高能量管路所通過之分隔小房間或區域已被整體驗證。斷裂則已被假設在管路系統中之任何一點上。
- (2) 重要系統、設備及器材距高能量管路大於 9.14m 時需考量符合空間分離之相關要求。假設因噴射或作用力所造成的噴射影響於超出 9.14m 的距離時，是可忽略的及不會造成任何損害。同樣的，一 9.14m 之評估區域需建

立來為管路斷裂時確保因管路擾動所造成之潛在性破壞的相關保護措施。

9.14m 為最大開放長度之保證已被設計在管路的配置中。

- (3) 重要系統、設備及器材在小於距高能量管路 9.14m 之距離時，應被評估以發現如當損害可能波及一個以上之區域及會妨害電廠安全停機之情況。如果損害只發生在一餘裕系統內一區時，則是符合餘裕分離的需求。如其它多重區之系統能使電廠安全停機則無進一步之執行分析的必要。
- (4) 在任一高能量管路於 9.14m 距離內，如果損害可波及餘裕系統中一個以上之區域時，則其它形式之保護措施如障礙物、屏蔽、或封閉區域（2.1.3.2.3 小節）或管路擾動抑制（2.1.3.2.4 小節）都已由前所述。

2.1.3.2.3 障礙物、屏蔽及封閉區域

保護措施要求應能符合在許多狀況下由牆壁、地板、樑柱、基座及地基等提供保護。足夠的保護措施並不能代表空間之分隔或電廠已具備之特有功能、外加之障礙物、轉向器或屏蔽已確立，且也需要與功能性保護措施之要求符合。

障礙物或屏蔽是需要藉由乾井內確定的斷裂位置來為與實際負載相關之特定斷裂位置而設計。

蒸氣通道是由 2m 厚的強化水泥所建造。一蒸氣通道之小隔間分析是為假設主蒸氣管及飼水管路破裂而執行。從主蒸氣管路斷裂計算的壓力峰值為 58.84kPaG。從飼水管路斷裂所計算的壓力峰值則為 26.48kPaG。主蒸氣通道是為 SSE 同時與蒸氣通道內之 HELB 影響下所設計。在這保守的負載組合下，蒸氣通道的任何部分則未發現任何失效情況發生，所以，一在蒸氣通道內所發生的 HELB 不會影響控制室內環境。

主蒸氣隔離閥（MSIVs）及在通道內的飼水隔離和止回閥應為管路斷裂影響所設計。而主蒸氣隔離閥及飼水隔離和止回閥之詳細的功能如何是應被保護在對抗這些假設性之管路破裂之影響下，並將會提供在最終安全分析報告中。

障礙物或屏蔽應需要藉由 HELSA 評估來確定（亦如在無確定之斷裂位置的基礎上）且需針對最壞情況下之負載而設計。最接近高能量管路位置及最終負載需被使用來決定障礙物的尺寸。

2.1.3.2.4 管路擾動抑制

管路擾動抑制是被使用在不能滿足獨自運用之空間分隔、障礙物、屏蔽或封閉區域之管路斷裂保護要求上。相關抑制措施之設立是根據確定之管路斷裂位置且與 2.2.1.4.3 及 2.1.4.4 小節說明一致。在抑制措施設立後，管路和重要系統應為噴射影響及管路擾動而評估。對於所有仍會發生噴射影響損害之障礙物、屏蔽或封閉區域也應都被評估。

為抑制措施所設計的法規將提供在 2.2.3.3 小節中。

2.1.3.3 明定保護措施

- (1) 非重要系統及系統設備是不需為安全停機及也不需要滿足因管路破裂而導致廠外釋出之限制相關要求。然而，當在發生管路斷裂事件期間或之後其這些設備是不需要時，則管路擾動保護須考量導致在非重要系統或設備上的失敗所會引起或提昇之管路破裂事件發生在重要系統或設備，亦或發生在其它非重要系統的失效所可能被影響到重要系統之上。
- (2) 對穿越圍阻體的高能量管路系統、隔離閥應盡可能裝置在離圍阻體越近的地方。
- (3) 對這些壓力、水位及流量感知器等重要系統中的儀器應被要求在發生管路破裂時仍能運作及被受保護。
- (4) 高能量流體系統管路擾動抑制及保護措施是被設計在當一管路假設斷裂時不致導致鄰近其它管路斷裂或設備如在二次破裂所可能導致之後果並將被考量在無法接受的最初假設斷裂情況下。
- (5) 針對任一假設的管路破裂，圍阻體結構的完整性應被維持。再者，所有假設之管路破裂事件分類在一喪失反應爐冷卻水事件下，對於圍阻體分裂產物屏蔽之緊密洩漏設計也應被維持。
- (6) 安全/釋放閥 (SRVs) 及反應爐爐心隔離冷卻 (RCIC) 之系統蒸氣管路是需被配置及抑制使管路失效時不致減壓。
- (7) 分離區隔是提供保持低壓淹蓋系統 (LPFL) 的獨立性。
- (8) 從控制棒微調系統 (FMCRD) 緊急插入通道並未納入保護範圍的要求，即使在完全喪失插入通道下因由馬達運作之 FMCRD 仍能充分的將控

制棒插入 (3.6.2.1.6.1 小節)

(9) 針對由管路破裂事件所導致流失之蒸氣、冷確水、可燃物、腐蝕液體、
氣體及熱量並不防止：

(a) 假設之管路破裂時進入任何區域的要求

(b) 控制室環境

(c) 重要儀器、電力供應、設備及對執行安全相關功能之控制能力

2.2 斷裂位置的決定及假設管路破裂之動態影響 (Determination of Break Locations and Dynamic Effects Associated with the Postulated Rupture of Piping)

有關斷裂及爆裂位置的規範資訊和動態影響分析是說明在本章節中及本身補充說明列於 Appendix 3L 中。位置規範及分析方式是需被評估在假設管路破裂之動態影響及在高和中能量流體系統管路在一次圍阻體內外爆裂情況下。

2.2.1 用在所定義之斷裂和爆裂位置及形狀的相關規範 (Criteria Used to Define Break and Crack Location and Configuration)

下列各小節為假設之斷裂和爆裂的位置及形狀所建立之規範。

2.2.1.1 高能量流體系統之定義

高能量流體系統是定義在所有或部分的系統於電廠一般或功率運轉，亦或壓力維持的情況下並符合下列任一或共同條件：

- (1) 最大運轉溫度超過 93
- (2) 最大運轉壓力超過 1902.5kPag

表 3 列出圍阻體內高能量管路及表 4 列出圍阻體外之高能量管路。

2.2.1.2 中能量流體系統之定義

中能量流體系統是被定義在所有或部分的系統於電廠一般或功率運轉，亦或壓力維持（高於大氣壓力）的情況下且符合下列任一或共同條件：

- (1) 最大運轉溫度在 93 或以下
- (2) 最大運轉壓力在 1902.5kPag 或以下

管路系統在中能量流體系統被分類成，短時間內為高能量管路運轉其系統功能，但在主要運轉期間仍為中能量流體系統。一功率運轉期間應被短暫考量如果所有運轉時間中的一部分之系統運轉在所訂定之高能量流體系統少於所有運轉時間 2% 內的壓力溫度情況時則系統是運轉在中能量流體系統下。表 5 列出圍阻體內中能量管路及表 6 圍阻體外的中能量管路。

2.2.1.3 假設發生斷管及破裂的位置(Postulated Pipe Breaks and Cracks)

一假設之管路斷裂是定義成一瞬間所有壓力邊界的失效可為圓周完全的分離形式（截斷破裂）或是瞬間縱向撕裂但管路未截斷且只假設發生在高能量流體系統中。中能量的流體系統中，管路的失效只限於管路假設之爆裂及分支運作之情況。這些爆裂只影響周圍環境情況和不會因爆裂的管路而產生管路擾動的結果。高能量流體系統也會假設在高及中能量所處環境下一限制的保守環境內發生爆裂。

下列高能量管路系統（或部分系統）應考量在電廠一般情況下所會發生之假設管路斷裂情況及為因動態影響而造成的潛在損害之分析：

- (1) 所有管路都視為反應爐冷卻壓力邊界之一部分和對反應爐在電廠運轉期間之壓力連續。
- (2) 所有的管路系統都距二次隔離閥遠處，但也是電廠運轉期間反應爐主要之壓力連續。
- (3) 所有其它管路系統或管路部分系統應考量為高能量系統。

電廠一般運轉期間從高能量流體被隔離之部分管路系統需避免相關假設之管路斷裂。這包括一正常關閉閥門之後的部分管路系統。泵及閥門本體也應排除管路斷裂的考量，因為它們本身具有較厚之厚度。

2.2.1.4 假設斷管之位置（Locations of Postulated Pipe Breaks）

假設之管路斷裂位置被篩選於下列各小節中：

2.2.1.4.1 符合分離要求之管路系統(Piping Meeting Separation Requirements)

根據 HELSA 評估所述於 2.1.3.2.2 小節中，高能量管路符合空間分離之要求時，一般上並未確認其特定之斷裂位置。在高能量管路系統中所有假設之斷裂位置都會可能發生斷裂。然而，在某些系統之斷裂點已被特別說明在接下各小節中且保護裝置如障礙物或抑制措施也說明於其中。

2.2.1.4.2 圍阻體之穿越區域之管路系統

未曾有管路斷裂或爆裂事件被假設在圍阻體壁上之部分管路系統及包括隔離閥內側或外側能符合下列要求並同時也符合 ASME Code Section III，

NE-1120 之子條款：

(1)下列有關壓力及疲勞的設計並未超越 (a) 至 (e) 的限制。

針對 ASME Code Section III，Class 1 管路

(a) 在任何兩負載間最大壓力範圍的設定 (包括零負載設定) 不會超過 $2.4S_m$ 及藉由公式 (10) 於 NB-3653 Code Section III 中計算。

如果由公式 (10) 所計算出之最大壓力範圍超過 $2.4S_m$ ，則壓力範圍就須由 NB-3653 中公式 (12) 及 (13) 計算而符合 $2.4S_m$ 的限制。

(b) 累積運用因子需少於 0.1。

(c) 由 NB-3652 公式 (9) 所計算在因假設管路失效之負載下所造成部分所有之管路系統未超過少於 $2.25S_m$ 及 $1.8S_y$ 之最大壓力，而因圍阻體外的失效、管路介面隔離閥外側和一次側抑制是可允許較高之壓力，且不會形成塑性鉸鏈和在壓力確保與 3.9.3 小節所述，主要負載包括由擾動抑制之撓度限制規定要求下閥門之操作能力。

針對 ASME Code Section III，Class 2 管路

(d) 由 NC-3653 公式 (9) 及 (10) ASME Code Section III 所計算之最大壓力總合並考慮所有的負載及情況，因此 Level A 及 Level B 壓力限制被說明在系統之設計規範 (如支撐負載、臨時負載及熱膨脹) 不會超過 $0.8 (1.8S_h + SA)$ 。 S_h 及 SA 是容許壓力在最大 (熱) 溫度和為熱膨脹的容許壓力範圍，同樣的，如 ASME Code Section III NC-3600 條款中所定義之相同。

(e) 由 NC-3653 公式 (9) 所計算之最大壓力並由在所有部分管路不會超過少於 $2.25S_h$ 及 $1.8S_y$ 假設的管路失效下所造成之負載。

主要負載包括由擾動抑制所產生之撓度限制。例外由上述 (c) 之容許也可運用在當管路介於隔離閥外側及抑制措施已被架構，並與 Power Piping Code ANSI B31.1 一致，管路系統可為無縫結構並對所

有的圓周焊道進行 X 光照相，或對所有縱向及圓周焊道進行全面之 X 光檢驗。

- (2) 管路支撐或其它目的之焊接附著，對那些被避免的部分管路除已精確的析或測試來顯示承諾已與(1)的限制符合。
- (3) 管路圓周及縱向焊道的數量及分支連接須最少。當穿越套筒被使用時，封閉的部分流體系統管路是為無縫結構及無圓周焊道，除非明定之供應通道已被設計來準許營運中焊道之縱向及圓周的體積驗證。
- (4) 這些部分的管路系統長度應被實際的減少至最短。
- (5) 管路的固定栓或抑制（如圍阻體穿越之連絡道和管路擾動抑制）不會要求直接焊接於管路之外表面（如氣管組成之鍛造配合可能被使用），除非此類焊道以 100% 的在營運中執行體積驗證和執行精確的壓力分析以顯示承諾與(1)的限制符合。
- (6) 提供在這些圍阻體穿越區域內部分管路系統之套筒是應被設計來與 Class MC，ASME Code Section III 之 NE 小節一致，說明套筒也是圍阻體邊界的一部分。再者，套筒的所有部分是被設計來符合下列要求及測試：
 - (a) 設計壓力及溫度不能少於電廠一般狀況下封閉管路之最大運轉壓力及溫度。
 - (b) ASME Code Section III，NE-3220 之 Level C 壓力限制是不能超過在負載下與圍阻體壓力之設計和溫度及地震安全停機之組合。
 - (c) 組套件主要是針對單一壓力測試在壓力低於本身設計壓力之下。
 - (d) 組套件並不能避免因使用以要求進行營運中測試如（7）中所述。
- (7) 一 100% 所有圓周及縱向焊道之營運中體積驗證可於每檢驗期間如 ASME Code Section XI，IWA-2400 所定義之執行方式。

2.2.1.4.3 圍阻體穿越區以外的 ASME Code Section III Class 1 管路系統

除了那些部分管路系統已說明在 3.6.2.1.4.2 小節外，斷管發生在由 ASME Code Section III Class 1 管路被假設在由 (1)、(2) 及 (3) 所述之每一管路及其分支情況下。

- (1) 於終點末端。
- (2) 由公式 (10) 所計算之最大壓力範圍超過 $2.4S_m$ 之中間位置及壓力範圍由 NB-3653 公式 (12) 或 (13) 所計算之超過 $2.4S_m$ 。
- (3) 所累積運用因子在中間位置超過 0.1。

由管路重新分析的結果，因介於設計結構與已建立之結構的不同，最高壓力或累積運用因子位置可能會改變；然而，初期所決定之半斷裂位置並不需更改，除非下列任一情況存在時：

- (1) 來自新（已建立）半斷裂位置之動態影響不能藉由原管路擾動抑制或噴射屏蔽而減緩。
- (2) 一變更是需要管路的參數如主要管路尺寸的不同、壁厚和路徑。

2.2.1.4.4. ASME Code Section III Class 2 及 Class 3 管路系統除圍組體穿越外之區域

針對已說明在 2.2.1.4.2 中那些例外之部分管路，ASME Code Section III Class 2 及 Class 3 所假設之斷裂於下列所述位置之每一管路和其分支部分情況：

- (1) 於終點末端 (2.2.1.4.3 小節 (1))
- (2) 藉由下列任一所述所選擇之中間位置。
 - (a) 在每一管路配合（如彎頭、T 型管、交叉管、凸緣及非標準配合）、焊接附著及閘門處。管路無配合件、焊接附著或閘門時，則在流量極大的管路鄰近至結構的保護處位置
 - (b) 在每一壓力被計算的位置 (2.2.1.4.2 小節 (1)(d) 藉由 ASME Code Section III NC/ND-3653 公式 (9) 及 (10) 的總合，及超出 NC/ND -3653 壓力限制總合的 0.8 倍)。

一管路重新分析的結果因介於設計結構及已建立之結構間的不同，壓力最高的位置可能會改變；然而，初期所訂定之半斷裂位置可以被使用，除非管路重新設計所導致管路參數的改變（直徑、壁厚及路徑），或因新（已建立）的

半斷裂位置之動態影響是不能藉由原管路擾動抑制及噴射屏蔽而減緩。

2.2.1.4.5. 非 ASME Class 管路

地震分析非 ASME Class 斷裂（非 ASME Class 1、2 或 3）管路是被假設為根據由上 ASME Class 2 及 3 所述之相同要求。介於地震及非地震分析之管路分離及交互影響要求需符合 SRP 3.7.3.13 小節所述。

2.2.1.4.6 高能量管路之分離結構

如果從重要設備中高能量管路的分離結構而言，則分離結構是被設計來抵擋因高能量管路斷裂位置所造成之後果並使前述之準則要求被假設。然而，由 2.1.3.2.3 小節所述，某些結構是需要藉由 HELSA 評估（如，根據非明定之斷裂位置）確定以設計來針對最壞的負載。

2.2.1.5 假設管路爆裂之位置

假設管路爆裂位置已由下列所選：

2.2.1.5.1 管路符合分離要求

根據 HELSA 評估所描述在 2.1.3.2.2 小節中，高能量或中能量管路符合分離要求是不會發現在特定爆裂位置。爆裂是被假設在所有的可能位置及必需顯示充分的分離或為重要結構、系統及設備提供有用之保護。

2.2.1.5.2 高能量管路

由那些例外之部分管路已說明在 2.2.1.4.2 小節中，洩漏爆裂是多半為下列嚴重環境影響情況所假設：

- (1) 針對 ASME Code Section III Class 1 管路在計算之壓力範圍的軸向位置（2.2.1.4.2 小節，第一段（1）（a））藉由 NB-3653 公式（10）之超過 $1.2S_m$ 。
- (2) 針對 ASME Code Section III Class 2 及 Class 3 管路在計算之壓力範圍的軸向位置（2.2.1.4.4 小節，第二段（2）（b））由 NC/ND-3653 之公式（9）及（10）的總合超過 NC/ND-3653 所訂定之壓力限制總合之 0.4 倍。
- (3) 非 ASME 等級管路及還未被評估來獲得壓力資訊有關洩漏爆裂假

設在軸向位置所導致可能產生嚴重環境的影響。

2.2.1.5.3 中能量管路

2.2.1.5.3.1 管路位於圍阻體穿越之區域

洩漏爆裂是未被假設在那些圍阻體壁上之部分管路及包括在隔離閥的內側及外側，同時並提供它們符合 ASME Code Section III NE-1120 之要求及由公式 (9) 及 (10) ASME Code Section III NC-3653 所計算之壓力 (2.2.1.4.4 小節，第二段 (2) (b)) 不致超過由 NC-3653 壓力限制總合之 0.4 倍。

2.2.1.5.3.2 圍阻體穿越以外之管路所在位置

(1) 洩漏爆裂假設於重要結構、系統或設備附近之管路位置，但除了下述 (a)、(b) 及 (c) 例外。

(a) 由小節 2.2.1.5.3.1 及 2.2.1.5.4 所排除之

(b) 針對 ASME Code Section Class 1 管路壓力範圍由公式 (10) NB-3653 計算且少於 1.2Sm

(c) 針對 ASME Code Section Class 2 或 3 及非 ASME 等級管路，壓力由 (2.2.1.4.4 小節，第二段 (2) (b)) 藉由 NC/ND-3653 之公式 (9) 及 (10) 所計算總合為 NC/ND-3653 所提供壓力限制總合的 0.4 倍。

(2) 洩漏爆裂，管路系統除非是由上列敘述 (1) 所排除，且被假設在軸向及圓周位置會導致最嚴重的環境後果。

(3) 洩漏爆裂假設於流動管路系統是被設計成非地震標準且也必須符合 2.1.1.3 環境保護之相關要求。

2.2.1.5.4 位於高能量管路附近之中能量管路

中能量管路流體系統或其部分位於設備附近區域需考量假設高能量流體系統管路之斷裂能接受在無假設之穿壁洩漏爆裂情況下，除一假設洩漏爆裂發生在中能量流體系統管路所造成之環境狀況較 2.2.1.5.3 小節中相關條款之高能量流體系統管路附近之洩漏爆裂所述嚴重。

2.2.1.6 假設之斷裂及爆裂種類

2.2.1.6.1 管路斷裂

下列斷裂種類是假設在高能量流體系統管路所處位置由小節 2.2.1.4 相關規定所確立。

- (1) 在直徑小於或等於 25mm 之管路是無假設之斷裂，儀器量測之 25mm 和少於 25mm 之管路或管道尺寸需符合法規導引 (Regulation Guide 1.11-表 3.2-1)。另外，32mm 液壓控制單元快速停機通道不需要保護措施的原因是根據下列：
 - (a) 液壓控制單元 (HCUs) 中之管路系統至控制棒驅動系統是裝置於圍阻體內的反應爐下方及在反應爐廠房 (RB) 內遠離其它安全相關之設備；因此，當一管路失效時將不會影響任何安全相關設備，但只會衝擊其它 HCU 的管路。由 2.1.1.3 小節第七段 (7) 所述，一擾動管路將只會發生破裂在所衝擊之較小尺寸的管路或造成在同尺寸的管路穿壁爆裂而不是較薄的管壁厚度。
 - (b) 總能量包含在 32mm 尺寸之管路系統介於 HCU 上一般關閉的停機模組及於小型控制棒殼間。在此管路上的破裂事件，則球型止回閥將會關閉來避免反應爐流量喪失於斷裂情況下。
 - (c) 甚至如果多個 HCU 管路破裂，控制棒插入功能將不會受損，因微調控制棒驅動機構 (FMCRD) 的電動馬達會驅動控制棒。
- (2) 縱向斷裂被假設在管路只有相同直徑或大於 100mm。
- (3) 圓周斷裂只假設於在所有的終點末端。
- (4) 每一已確立之假設半斷裂位置超過在 2.2.1.4.3 及 2.2.1.4.4 小節所述之限制規範相關之壓力及使用因子，需考慮會發生縱向或圓周斷裂。在假設斷裂位置附近的壓力狀態之驗證是被運用來找出最有可能發生斷裂的種類。如果在縱方向的最大壓力範圍是大於圓周方向最大壓力範圍的 1.5 倍，就只有圓周斷裂被假設。相反的，如果在圓周方向最大壓力範圍是大於縱方向壓力範圍的 1.5 倍，則只有縱向斷裂被假設。如果在圓周及縱向間壓力已確定無顯著的不同，則所有的斷裂種類都應被考量。

- (5) 當斷裂被假設發生在每一管路配合件、焊道附著或閘門中間且對壓力計算無供獻，則只假設圓周斷裂。
- (6) 針對縱向及圓周的斷裂，經評估上游管路的彈性後，管路擾動是被假設發生在所定義之平面，藉由管路形狀、圓周斷裂形狀和超出平面之縱向斷裂和造成在噴射作用方向之管路移動。結構體、管路抑制或管路硬度藉由非彈性限制分析來考量決定管路移動限制（另外，圓周斷裂是被假設發生管路切斷和分離總合在至少是破裂管路區段之一直徑的橫向位移）。
- (7) 針對圓周斷裂，在斷裂位置處之噴射射出之動態影響是根據管路流動區域斷面的影響及在所計算的流動壓力藉由一分析及實驗所決定之推力系數進行更改。在斷裂處所限制之管路位移、管線限制、流量限制器、正向泵浦控制流量及缺少之能量儲存都被使用以減少噴射射出。
- (8) 在軸向撕裂無管路切斷形式之縱向斷裂被假設在管路系統中心之兩直徑相反位置（非同時發生）以致反作用力是垂直於管路平面及產生超出平面的彎曲。此外，單一撕裂是被假設在張應力最高處藉由精確的壓力分析來決定（如有限元素法分析）。
- (9) 流體噴射射出之動態作用力是根據圓形或橢圓形（ $2D \times 1/2D$ ）斷裂區域相等於所影響之管路斷面流量區域之位置及所計算之流體壓力藉由分析和實驗所訂定之推力系數來更改以確定圓周斷裂發生在同一位置。管線限制、流量限制器、正向泵控制流量及所缺少之能量儲存可被採用來降低噴射射出。

2.2.1.6.2 管路爆裂

下列規範是運用在假設穿牆洩漏爆裂發生在高或中能量流體系統或部分系統上：

- (1) 爆裂是假設在中能量流體系統及分支超出 25mm 之管路尺寸上。
- (2) 位於軸向位置已決定在 2.2.1.5 小節中，假設之爆裂是從圓周上開始所造成嚴重環境後果。
- (3) 爆裂開口處是假設一圓形限流孔區域相等於矩形所具有尺寸之長度為管路直徑一半及管路厚度之一半為寬度。

- (4) 由爆裂開口處的水流是被假設造成一環境在隔間中未受保護之設備遭受浸濕、隔間及通信房被淹蓋的後果，且根據保守的時間估計來影響改正行動。

2.2.2 透過分析方法定義衝斷力之函數及回應模式

2.2.2.1 透過分析方法定義衝斷力函數

壓力管路的破裂會造成系統流動特性的改變，產生之反作用力會動態刺激管路系統。反作用力為時間函數及空間和依在管路系統內至管路破裂的流體狀態、斷裂流動區域、磨擦力喪失、電廠系統特性、管路系統及其它因素。

推力時間作用在斷裂位置和所破裂管路系統的部分應被定義成下列：

- (1) 管路部分作用力之方程式根據 ANS 58.2 之 Appendix A 來訂定。
- (2) 更進一步之管路部分作用力定義在 The Thermal-Hydraulics of a Boiling Water Nuclear Reactor, By R.T. Lahey, Jr and F.J. Moody 中之方法和程序。
- (3) 推力作用在破裂點上係根據列於 ANS 58.2 之 Appendix B 中簡化之方式及被假設發生在 102% 來決定。

當管路破裂分析需要一完整系統動態分析如 ANS 58.2 中 6.3.1 所定義，管路部分時間紀錄是由電腦程式 MS-BRK 所計算並遵守上述 (1) 及 (2) 所列。

所有推力時間紀錄計算應根據 ANS 58.2 中 4.2 所述之假設之破裂說明。

當管路破裂是由部分管路系統之簡化分析方式進行分析如 ANS 58.2 中 6.3.2 段所定義，而推力時間紀錄作用在管路斷裂處可由手工方式計算並與上 (3) 所述符合。

2.2.2.2 管路擾動動態回應分析

執行假設破裂的管路分析及管路擾動抑制系統以回應流體動態作用力如 2.2.2.1 小節所述，且與 ANS 58.2 中 6.3 節所述要求一致。這份分析應具有足夠的細節來評估潛在的管路擾動、決定潛在的噴射影響目標、建立管路擾動抑制及與其相關之結構負載和顯示接下動態事件中系統能足夠支持穩態流動情況下流體之作用力。

另一分析方法說明於 ANS 58.2 中 6.3.1 至 6.3.5 節是為管路回應計算可接受之方式。一可接受的設計規範如下：

- (1) 隔離閥間的管路壓力需具有由 SRP 3.6.2 及 BTP MEB 3-1 之 B.1.b 小節所述之可接受限制。
- (2) 因為假設管路斷裂之擾動抑制負載及位移需具有由 SRP 3.6.2 所述之可接受限制。
- (3) 為安全相關之閥門或設備所計算之負載或壓力於所破裂管路處重疊且不會超過由 3.9.3 小節所述之運轉限制。

Appendix 3L 提供可接受之因為假設管路破裂之流體作用力所造成動態影響之分析程序。在 Appendix 3L 的程序包含 (1) 分析方式之完整系統動態的分析如 ANS 58.2 中 6.3.1 小節所定義並採用 ANSYS 電腦程式計算，和 (2) 中由 ANS 58.2 中 6.3.2 小節所採用 PDA 程式計算之簡化動態分析。

2.2.3 動態分析方式驗證完整性及運轉性

2.2.3.1 噴射影響分析及安全相關設備的影響

此方式採用由假設下高能量管路斷裂來評估所造成之噴射影響如 ANS 58.2 中 Appendices C 及 D 所述及被提供說明在本小節中。

相關規範採用來評估重要結構、系統及設備之流體噴射影響如下列所述：

- (1) 重要結構、系統及設備並不能減弱以排除重要功能。針對任何所提供之假設管路斷裂及所造成之噴射後果，那些重要結構、系統及設備需被確定來能使電廠安全停機。
- (2) 在斷裂事件中對於那些不需要使電廠安全停機之重要結構、系統和設備不會因流體噴射所導致後果被保護。
- (3) 因假設管路破裂於 RCPB 內之電廠安全停機不會由安全相關管路順序失敗及持續運轉之緊急冷卻系統而惡化。
- (4) 明定於 10CFR100 之廠外劑量限制也同樣遵守。
- (5) 噴射影響負載發生於假設之斷裂下產生高能量管在 102% 電廠全功率運轉之下。
- (6) 穿壁洩漏爆裂是被假設於中能量管路中及被假想成浸濕和噴灑

在重要結構、系統和設備上。

- (7) 反射之噴射需只要被考量有一明顯的反射面（如平板）會直接噴射在重要設備上。只有一次反射需被考量來評估潛在性目標。
- (8) 在噴射路徑中的潛在目標需被考量在破裂管路的斷裂末端所在之計算最終點。這份需要足夠潛在目標的選擇是因為經由大量之斷裂分析及由這些假設斷裂影響所提供之保護。

決定那些目標將會因流體噴射及相對之噴射影響負載而受損之分析方式包括：

- (1) 流體噴射的方向是根據管路於穩態下因衝斷所擷取的位置。
- (2) 噴射流沿一直線噴出
- (3) 所有影響之作用力作用於噴射為時間及距離之不變數和任一截面上並伴隨總作用力等於流體穩態下之衝斷力，如 2.2.2.1 小節說明及如圖 1 噴射特性所示。
- (4) 噴射影響力是平均分散在在噴射之截面積上及考量只有被部分目標所攔截。
- (5) 斷裂開口處是被假設成一圓形的限流孔之截面流動面積至斷裂處所影響的流動區域。
- (6) 噴射影響作用力是等於流體衝斷作用力並由 2.2.2.1 小節所述方式計算其穩態數值。
- (7) 由噴射流徑的距離是被分成二或三個區域。區域一（圖 1）由斷裂處至漸近線的延伸區域。在此區域內，射出之流體傳遍及經過由斷裂處壓力至大氣壓力的膨脹。在區域二，噴射膨脹則更遠。針對部分圓周斷裂分離，此區域的增加就如噴射的膨脹。在區域三，噴射膨脹於 10 度角之一半（圖 1）。
- (8) 為次冷凝水及飽和水假設在一固定噴射地帶之漸近噴射區域預估之分析模式。針對流體由斷裂處噴出且在所處之房間壓力低於飽和溫度或在斷裂區域產生之壓力等於房間壓力，且自由膨脹不致發生之情況下。
- (9) 由斷裂處距下游距離之漸近區域是達到如（區域三，圖 1）所示且已計算其圓周及縱向之斷裂。

(10) 縱向及圓之周全面分離斷裂是以相似視之。磨擦力喪失值採用在衝斷之計算是也運用於噴射影響中。

(11) 介於部分分離（如， $h < D/2$ ）圓周斷裂之斷裂管兩端點不會有顯著的偏移（如，不會超過一管路厚度之橫向位移）使更加困難定出數量。

- (a) 噴射流體是均勻的散佈在周圍。
- (b) 在任何管路切斷軸上之噴射斷面已描述於 1b 圖中及噴射所在區域之情況。
- (c) 噴射力 $F_j =$ 衝斷力總合 F 。
- (d) 任一點由噴射所貫穿之壓力為：

$$P_j = \frac{F_j}{A_j} \quad (1)$$

而 $A_j =$ 噴射半徑之圓柱體表面積等於自中心線到目標的距離並與 ANS 58.2 之 Appendix C 所計算符合

- (e) 然後噴射壓力是為目標涵蓋在噴射區域中的乘積。

(12) 由下列程序所決定之目標負載：

- (a) 針對完全圓周及縱向斷裂分離，噴射是藉由所訂定之目標位置比上漸近的距離和目標形狀因素及經由與 ANS 58.2 Appendices C 及 D 所計算之符合來研究。
- (b) 針對所限制之圓周斷裂分離，噴射是藉由採用 ANS 58.2 公式中 Appendices C 及 D 所決定相對應之目標和漸近區域來進行分析。
- (c) 在決定所有噴射目標面積後，噴射壓力是由下式所計算：

$$P_1 = \frac{F_j}{A_x} \quad (3.6-2)$$

而

P_1 = 事件壓力

A_x = 膨脹的噴射在目標交會處之面積

目標形狀因素是被包含在與 ANS 58.2 所述一致。

如果影響之目標面積 (A_{te}) 是小於膨脹噴射面積 ($A_{te} < A_x$)，則目標是完成涵蓋在噴射中及影響負載是等於 (P_1) (A_{te})。如果影響之目標面積是大於膨脹的噴射面積 ($A_{te} > A_x$)，則目標會攔截整個噴射及影響負載會等於 (P_1) (A_x) = F_j 。針對不同的影響目標形狀面積 (A_{te}) 如下列所述：

- (1) 平板表面 — 針對一實際目標面積 A_t 是從角度 q 所對應之噴射軸之起始點和無逆轉流情況，則所影響目標面積 A_{te} 等於 A_t 。
- (2) 管路表面 — 如噴射衝擊到管路凸出的表面，本身的前進動量是被降低而不是停止；因此，在所衝擊區域之噴射影響負載是會被降低。針對保守的傾向，則不會仰賴這份降低情況和管路是被假設於完全影響下所受之衝擊。有效之目標面積 A_{te} 為：

$$A_{te} = (D_A) (D) \quad (3.6-3)$$

而

D_A = 噴射在目標上之接觸直徑，及

D = 為一完全涵蓋管路的管件 OD 之目標管路

當目標（管路）是大於噴射的面積，則所影響之目標面積等於膨脹的噴射面積

$$A_{te} = A_x \quad (3.6-4)$$

- (3) 針對所有情況，噴射面積 (A_x) 是被假設一致及負載是平均的分散在影響的目標面積 A_{te} 上。

2.2.3.2 管路擾動在重要設備上的影響

本小節提供相關規範及方法來評估因假設管路破裂所導致之管路位移發生在重要結構、系統和設備上之影響。

管路擾動 (位移) 在重要結構、系統和設備上之影響能引發兩類情況 (1) 管路位移在設備 (噴嘴、閘門、T 型管等) 之影響都為發生在相同管路運作下所導致發生之斷裂，及 (2) 管路擾動或所控制之位移在設備外部上，例如，建築結構、其它管路系統、電纜架及導管等。

2.2.3.2.1 管路位移在同一管路運作下之設備影響

相關規範以決定管路位移於同一設備上之影響如下：

- (1) 設備如壓力槽末端和閘門會重疊到斷裂之管路系統及不會提供一安全功能或不會更進一步提昇在未被 ASME Code Section 之設備於錯誤的負載下所增加限制之失效情況。
- (2) 如果這些設備被要求來安全停機或提供重要設備結構完整性的保護，相關符合錯誤的情況及確保所需之運轉限制能符合 ASME Code 之要求。

相關方法採用來計算於同一情況下管路設備上之管路擾動負載，如 3.6.2.2.2 小節所說明之假設管路破裂。

2.2.3.2.2 管路位移在重要結構、其它系統及設備上之影響

相關規範及方式採用來計算管路擾動發生在外部設備之影響包含如下：

- (1) 發生在重要結構及障礙物之影響是被評估與 3.5.3 小節所述之障礙物設計程序一致。
- (2) 如果擾動的管路撞擊相等或大於管路直徑及相等或較厚的壁厚時，則擾動的管路在所衝擊之管路上不會發生破裂。不然，所受衝擊的管路是被假設在破裂之情況下。
- (3) 如果擾動之管路撞擊其它設備（閘門制動器、電攬架、導管等），則此情況是被假設其所撞擊之設備是不能減緩因管路斷裂所造成之後果。
- (4) 未被抑制的擾動管路發生於重要結構、設備和系統上的損害，除了所斷裂之管路是經由重要系統中高能量系統之分離或所提供之管路擾動抑制來避免。

2.2.3.3 管路擾動抑制之設計規範和負載組合

針對管路擾動抑制之負載組合及設計規範是根據抑制措施的種類和功能運作之。某些龍門核電廠中的抑制措施是被設計來執行於運轉情形下支援管路系統之雙重功能，及也在假設的破裂情況下發生管路運動之控制。然而，龍門電廠中多數在各單元內的抑制措施為單一功能抑制及設計來控制斷裂管路的運動。

圖 3 說明某些可接受之管路擾動抑制設計。這些設計包括：

- (1) U-Bar 抑制 — 為單一目的，能量吸收抑制設計只供一次之負載使用。管路及抑制之間間隔是相當大以容許管路之熱膨脹，但在任何電廠運轉情況下不能提供維持結構完整性之支援。大部分使用在龍門電廠中大量 ASME Class1 管路的抑制措施為不銹鋼內多數 U-Bar 中之 U-Bar 抑制。這類抑制會進一步之定義在本小節中和為 Appendix 3L 程序提供假設破裂發生在

高能量管中之評估基礎。縱使管路完整性並不能依據這單一目的之之管路擾動抑制，則抑制措施應被設計來保持因地震及由 SSE (3.2.1 小節) 中所包括之功能。這管路擾動抑制將於圖 2 中做更進一步之說明。

- (2) 具有可破壞材料之抑制 — 具有可破壞材料之管路擾動抑制與 U-Bar 抑制有相同的設計基礎。這是單一目的及能量吸收之抑制，並於管路及抑制間有足夠的間隔來容許管路的自由熱膨脹。具有可破壞之襯墊抑制不會有橫向負載能力，所以此類抑制應被提供在任何因所破裂之管路可能會產生之噴射推力方向。圖 3 說明多個可破壞材料運用於可接受之管路擾動抑制設計中：可破壞環、蜂巢抑制及擁有多個可破壞環之框架。
- (3) 鋼體抑制 — 鋼體管路擾動抑制具有雙重功能，且重要的塑性抑制為地震導軌、支撐及結構框架等製造成形。因鋼體抑制附著在管路或被分散在管路非常小的間隔中、這類抑制承受熱膨脹之負荷、死重及電廠運轉期間之地震或其它動態事件。鋼體抑制就成為提供一壓力完整性之功能及需被考量在管路支撐符合 ASME 中 NF 小節所述。它們所採用模式如靜止之彈簧元件及管路動態分析。隨著一假設管路破裂事件，這些抑制即從噴射推力來負擔負載及控制斷裂管路之運動。這些抑制是被設計來防止管路不會超過 ASME 中 NF 小節等級 D 所述之相關限制。地震導軌所提供在主蒸氣及飼水管路上，為提供由如一鋼體管路擾動抑制執行之雙重功能。

管路擾動抑制之設計和目標為：

- (1) 單一目的抑制應不致在反應爐運轉之任何一般模式下增加反應爐冷卻壓力邊界之壓力。
- (2) 抑制系統應作用以防止一破裂管路運動在無容許之損害情況下發生於重要設備上或飛射物產生之可能。
- (3) 抑制措施應容許進行管路之營運期間檢測。

針對設計目的，管路擾動抑制是需被設計在下列動態負載：

- (1) 管路段之衝斷推力會衝擊抑制時。
- (2) 移動之管路段是由衝斷推力所加速之動態慣性負載和衝擊抑制措施之後果。
- (3) 非線性設計之管路擾動抑制是被包括及驗證在 2.2.2.2 小節之管路動態分析及 Appendix 3L 所述中。
- (4) 電廠運轉期間因單一目的之管路擾動抑制並未觸及，所以假設的管路破裂事件是唯一之設計負載情況。
- (5) 針對未破裂管路，由 ASME 中 NF 所述之管路支持及應符合說明在設計規範中和總結於 FSAR 表 3.9-2 中未破裂管路之營運負載及負載組合要求法規之雙重目的之管路擾動抑制。接下之假設管路破裂、抑制壓力決不能超過 ASME 中 NF 小節等級 D 為管路破裂負載作用在營運等級 A 所明定之組合負載的限制。

張應力比例影響及其它材料性質之改變已被考慮在管路擾動抑制之設計內。使用在設計中的材料性質已包括在一或更多的方式如下列：

- (1) 針對動態及穩態事件上所影響之設備及結構應被使用來在符合最低法規要求或降服規範及最終強度相關數值上。
- (2) 不能超過最低要求 10% 或規定之強度值是被採用在為動態事件所設計之設備或結構上，及為穩態負載所採用之最低法規要求、降服規範及最終強度數值上。
- (3) 代表或測試之數據採用在設備及結構的設計上包括可辨析所提高超過 10% 之張應力比例之所影響壓力限制，或
- (4) 代表或實際測試數據需被用在任一所影響的設備上及最低法規要求或所訂定之數據應被採用在動態及穩態事件之結構中。

2.2.4. 保護管路組件分析

龍門電廠內每一機組之一次圍阻體是不須保護管路。

2.2.5 應被提供之電場執照審查的內容

下列應被提供：

- (1). 運用在高能量管路系統動態分析之總結應與法規導引 1.70 中 3.6.2.5 小節所述符合。且也包括：
 - (a) 對採用之管路系統應以草圖顯示其位置、尺寸和假設管路斷裂之起始點和管路擾動抑制及噴射影響的障礙物。
 - (b) 總結為選擇假設的斷裂位置包括所計算之壓力強度、累積使用因子及壓力範圍如 BTP MEB3-1 中描述之所發展數據，並由 2.1.1.1 小節中所述進行變更。
- (2). 針對列於表 5 及 6 之相關失效發生在中能量管路系統，說明安全相關系統在所造成的噴射、淹蓋及其它不利之環境影響下如何被保護。
- (3). 確認之保護措施應在假設管路失效影響下提供每一系統之保護並如表 1 及 2 中所列。
- (4). 主蒸氣隔離閥 (MSIV) 功能如何被保護在假設管路失效情況下的細節。
- (5). 典型範例，如果任何安全相關系統及設備於管路失效的動態影響下之保護應包括它們所設計之結構或隔間（包含任何外加之排水系統或設備環境准許之要求）封閉之適切性。
- (6). 檢查飼水管路及飼水隔離閥功能如何被保護在假設管路失效下之細節。
- (7). 已建立之高能量管路斷裂緩和和功能之檢測應被執行。管路斷裂分析報告將對已建立相關檢測之高能量管路斷裂緩和和功能結果建檔（參閱 3.6.4 小節已建立之檢測要求總結）。
- (8). 高能量管路分離分析 (HELISA) 將被實施以決定那些高能量管路符合何空間分離要求及那些管路要求進一步保護（參閱 2.1.3.2.2 小節中為 HELISA 要求之總結）。

2.3 已建立之高能量管路斷裂緩和和功能檢測

一已建立之高能量管路斷裂緩和和功能檢測應被執行。已建立之檢測應確認系統、結構及設備被需要在 SSE 接下或期間之運作及對高能量管路斷裂相關之動態影響下被受保護。一已建立之管路擾動抑制、噴射屏蔽、結構障礙物和實際分離距離相關檢測應於檢測期間被確定。

針對管路擾動抑制及噴射屏蔽、位置、起始點、尺寸及對熱膨脹之容許空間應進行檢測。結構位置於所確認之管路斷裂緩和和功能也應被檢測。當實際分離是被考量為管路斷裂緩和和功能，則所假設之分離距離應於檢測期間被確定。

3.結論

本計畫第一年度已完整的根據 SRP 3.6 節中的各項要求，建立安全級管路斷管位置判定的準則，此部份在第二章中有詳細的說明，可供審查者在審查核四廠斷管分析報告時參考。

本計畫第二年度將選定一條管線，進行假設性斷管分析，根據應力分析結果與本報告之判定準則，判定管線可能斷管處，再使用流體力學軟體進行沖放力之分析，所得數據可作為管路甩動的分析依據。

參考文獻

1. Modification of General Design Criterion 4 Requirements for Protection Against Dynamic Effects of Postulated Pipe Rupture, Federal Register, Volume 52, No. 207, Rules and Regulations, Pages 41288 to 41295, October 27, 1987.
2. RELAP 3, A Computer Program for Reactor Blowdown Analysis, IN-1321, issued June 1970, Reactor Technology TID-4500.
- 3 NUREG-1061, Volume 3, Evaluation of Potential for Pipe Breaks, Report of the U.S..NRC Piping Review Committee, November 1984.
4. ANSI/ANS-58.2, Design Basis for Protection of Light Water Nuclear Power Plants Against the Effects of Postulated Pipe Rupture.
- 5 Lahey, R.T. and Moody, F.J., Thermal Hydraulics of a Boiling Water Nuclear Reactor, American Nuclear Society, 1977

表 1 針對圍阻體內重要系統、結構及設備*之假設性管路失效

<p>1.反應爐冷卻壓力邊界（至與所包括之隔離閥門外側）</p> <p>2.圍阻體隔離系統及圍阻體邊界（包括襯板）</p> <p>3.反應爐保護系統（緊急停機信號）</p> <p>4.緊急爐心冷卻系統[†]（只針對 LOCA 事件）</p> <p> 下列任一項組成是可用時（表 6.3-3）</p> <p> (a) HPCF (B 及 C) +RCIC+RHR-LPFL (B 及 C) +ADS</p> <p> (b) HPCF (B 及 C) +RHR-LPFL (A 及 B 及 C) +ADS</p> <p> (c) HPCF (B 或 C) +RCIC+RHR-LPFL (A 及或 B 或 C) +ADS</p> <p>5.爐心冷卻系統（非 LOCA 事件）</p> <p> (a) HPCF (B 或 C) 或 RCIC</p> <p> (b) RHR-LPFL (A 或 B 或 C) +ADS</p> <p> (c) RHR 停機冷卻模式（2 迴路）</p> <p> (d) RHR 抑制池冷卻模式（3 迴路）</p> <p>6.控制棒驅動系統（緊急停機(scram)/控制棒插入）</p> <p>7.流量限制器（被動）</p> <p>8.大氣控制（只針對 LOCA 事件）</p> <p>9.備用氣體處理系統[‡]（只針對 LOCA 事件）</p> <p>10.控制室環境[‡]</p> <p>11.下列設備/系統或其部分被要求來確定適當運作這些由上所列 1 至 10 之重要項目：</p> <p> (a) 等級 1E 電力系統、直流及交流（包括柴油發電機系統[‡]、6900、480 及 120V 交流，及 125V 直流緊急匯流排[‡]、馬達控制中心[‡]、開關箱[‡]、電瓶[‡]及分配系統）</p> <p> (b) 反應爐廠房冷卻水[‡]至下列區域</p> <p> 1. 房間冷卻器</p> <p> 2. 泵浦冷卻器</p> <p> 3. 柴油發電機護套冷卻器</p> <p> 4. 電力開關箱冷卻器</p> <p> (c) 環境系統[‡]（HVAC）</p> <p> (d) 儀器（包括 LOCA 後監測）</p> <p> (e) 火災保護系統[‡]</p> <p> (f) HVAC 緊急冷卻水系統[‡]</p> <p> (g) 執行採樣系統[‡]</p>
--

* 列於本表的被保護重要項目及與 2.1 小節符合並與特定管路斷裂評估一致

[†] 參閱 PSAR 6.3 緊急爐心冷卻能力詳盡之討論

[‡] 位於圍阻體外但為重要完整停機要求所列

表 2 針對圍阻體外重要結構、系統、設備*之假設性管路失效

<p>1.圍阻體隔離系統及圍阻體邊界</p> <p>2.反應爐保護系統（緊急停機訊號）</p> <p>3.爐心冷卻系統：</p> <p> (a) HPCF (B 或 C) 或 RCIC</p> <p> (b) RHR-LPFL (A 或 B 或 C) +ADS</p> <p> (c) RHR 停機冷卻模式（2 迴路）</p> <p> (d) RHR 抑制池冷卻模式（3 迴路）</p> <p>4.流量限制器</p> <p>5.控制室環境</p> <p>6.用過燃料池冷卻</p> <p>7.備用氣體處理系統</p> <p>8.下列設備/系統或其部分被要求來確定適當運作這些由上所列 1 至 7 之重要項目：</p> <p> (a) 等級 1E 電力系統、直流及交流（包括柴油發電機系統[‡]、6900、480 及 120V 交流，及 125V 直流緊急匯流排、馬達控制中心、開關箱、電瓶、輔助停機控制盤及分配系統）</p> <p> (b) 反應爐廠房冷卻水至下列區域</p> <p> 1. 房間冷卻器</p> <p> 2. 泵浦冷卻器</p> <p> 3. 柴油發電機護套冷卻器</p> <p> 4. 電力開關箱冷卻器</p> <p> 5. RHR 熱交換器</p> <p> 6. FPC 熱交換器</p> <p> 7. HECW 冷凍器</p> <p> (c) 通風及空調系統（HVAC）</p> <p> (d) 儀器（包括意外後監測）</p> <p> (e) 火災水災系統</p> <p> (f) HVAC 緊急冷卻水系統</p> <p> (g) 執行採樣系統</p>
--

* 列於本表的被保護重要項目及與 2.1 小節符合並與特定管路斷裂評估一致

表 3 圍阻體內高能量管路系統

管路系統
<ul style="list-style-type: none"> ■ 主蒸氣 ■ 主蒸氣排水道 ■ 對 RCIC 之蒸氣供給 ■ 飼水系統 ■ 再循環馬達冷卻 ■ HPCF (反應爐壓力槽至第一個止回閥) ■ RHR-LPFL (反應爐壓力槽至第一個止回閥) ■ RHR (反應爐壓力槽吸入端至第一個一般關閉之閘閥) ■ 反應爐爐水清淨系統 (從 RHR 吸入端及反應爐壓力槽排水道供給至第一進口閘門之反應爐頂蓋灑水系統) ■ 反應爐蓋灑水系統 (反應爐壓力槽至第一個止回閥) ■ 反應爐出口 (反應爐壓力槽至第一個關閉閥) ■ 備用液態控制 (從 HPCF 至的一個止回閥) ■ 控制棒驅動系統 (緊急停機/控制棒插入) ■ 反應爐底蓋排水通道 (反應爐至第一個關閉閥) ■ 其它 80mm 及更小之管路系統

表 4 圍阻體外高能量管路系統

管路系統*
<ul style="list-style-type: none">■ 主蒸氣■ 主蒸氣排水道■ 飼水系統■ 對 RCIC 汽機之蒸氣供給■ 控制棒驅動系統 (至及來自 HCU)■ RHR (RHR 管路中最靠近的止回閥噴射至飼水系統)■ 反應爐爐水清淨系統 (至飼水管路及至第一個進口閥到反應爐頂蓋噴灑系統)■ 反應爐爐水清淨系統 (泵浦吸入及排出端)

*流體系統運作在高能量等級且總運作時間少於 2%之系統運作在中能量流體系統內則不被包括在內。這類系統被分類在中能量系統中(如 HPCF、RCIC 及 SLC)

表 5 圍阻體內中能量管路系統

<ul style="list-style-type: none">■ 餘熱移除系統■ 放射性廢料系統■ 儀用/維修空氣系統■ 通風及空調冷卻水系統■ 反應爐廠房冷卻水系統
--

表 6 圍阻體外中能量管路系統

- 餘熱移除系統
(管路距遠處隔離閥)
- 高壓爐心淹蓋系統
(管路距遠處隔離閥)
- 反應爐爐心隔離冷卻系統
(從冷凝器儲存池吸入管距遠處第二關閉閥、從真空泵至圍阻體隔離閥之真空泵排出端)
- 控制棒驅動系統
(管路至管路吸入端)
- 預備液體控制系統
(管路距遠處之噴射閥)
- 抑制池清淨系統
(距遠處圍阻體隔離閥)
- 燃料持冷卻及清淨系統
- 放射性廢料系統
(距遠處隔離閥)
- 儀用/維修空氣系統
(距遠處隔離閥)
- 通風及空調冷卻水系統
- 冷卻水補充系統
(冷凝)
- 反應爐廠房冷卻水系統
- 汽機廠房冷卻水系統
- 大氣控制系統
(距遠處關閉閥)

表 7 整合的洩漏率測試的外加規範

- (1) 反應爐冷卻壓力邊界之部分流體系統於事故後是直接開放在一次圍阻體大氣環境下及成為反應爐一次圍阻體一延伸邊界，應被開放或排出至圍阻體大氣環境之前或於 A 類測試之間。圍阻體內部分穿越圍阻體的關閉系統及不被依賴在圍阻體發生 LOCA 情況時之隔離用途應被排至圍阻體大氣環境。
- (2) 所有排放系統應排放水至所需區域以確保一次圍阻體隔離閥系統曝露至圍阻體空氣測試壓力下。
- (3) 那些穿越一次圍阻體的部分流體系統為圍阻體外側及不被設計來提供一次圍阻體之隔離障礙，應被開放至外界環境以確保意外後所有不同之壓力能被維持在圍阻體隔離障礙內。
- (4) A 類測試期間需被要求來維持電廠在安全情況下的系統應被操作在一般模式及不能被開放。
- (5) 一般充滿水及運轉在 LOCA 後的系統應不能被開放

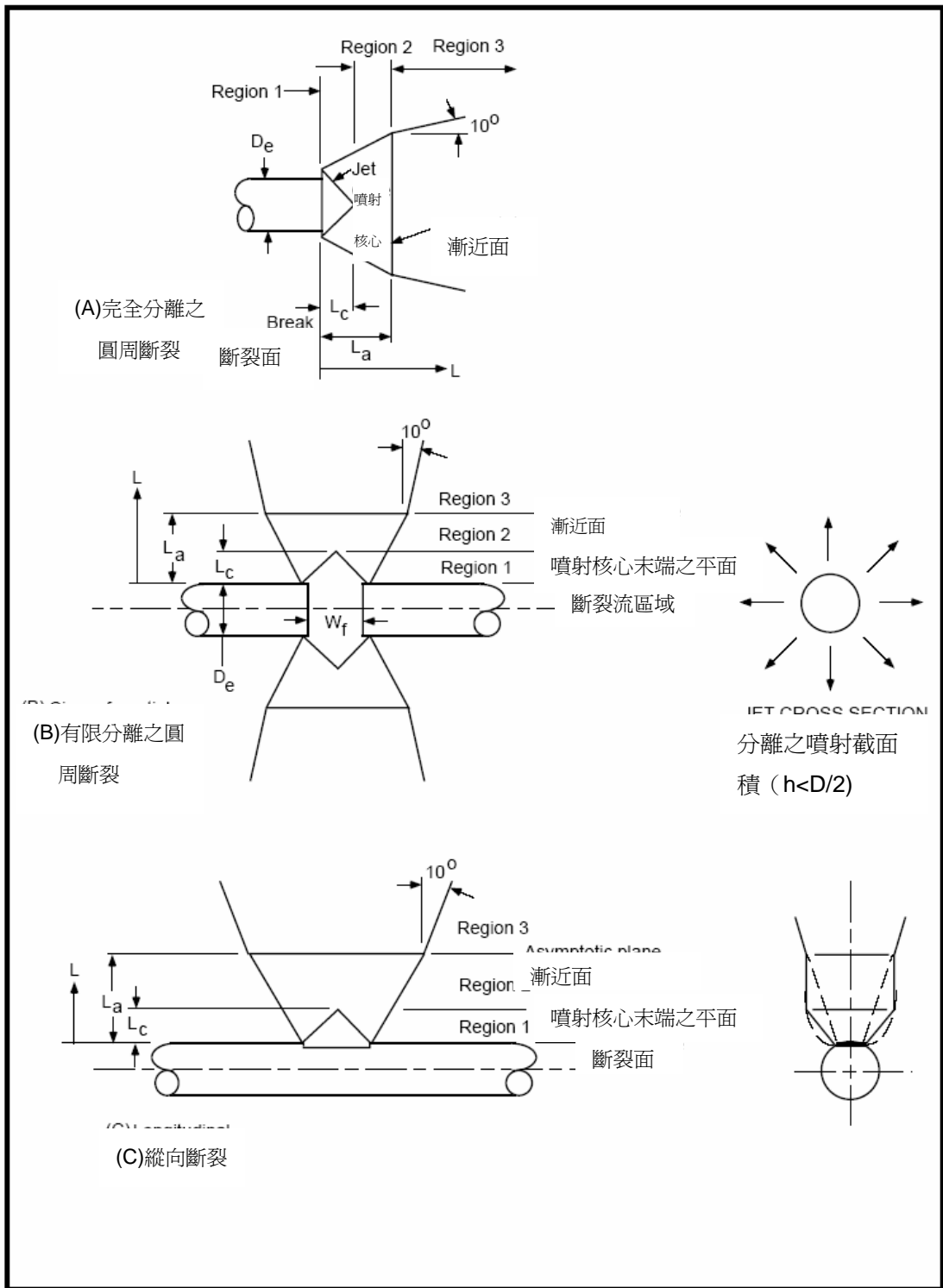


圖 1 噴射特性

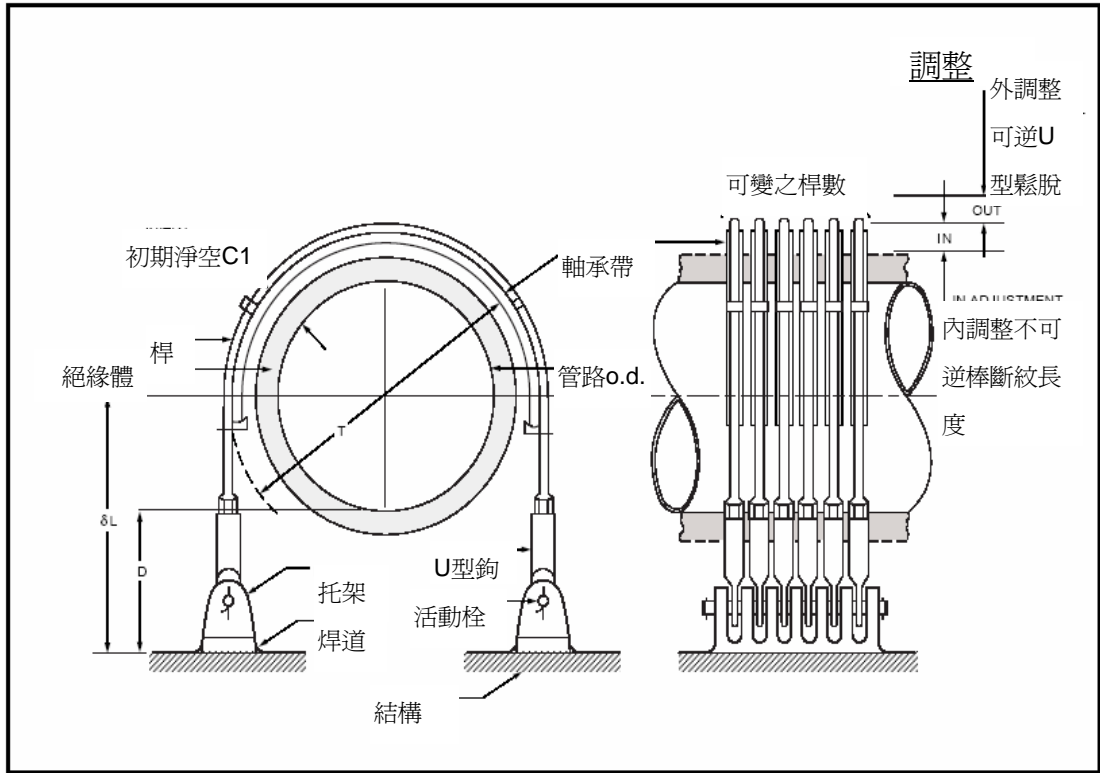


圖 2 典型管路擾動抑制結構

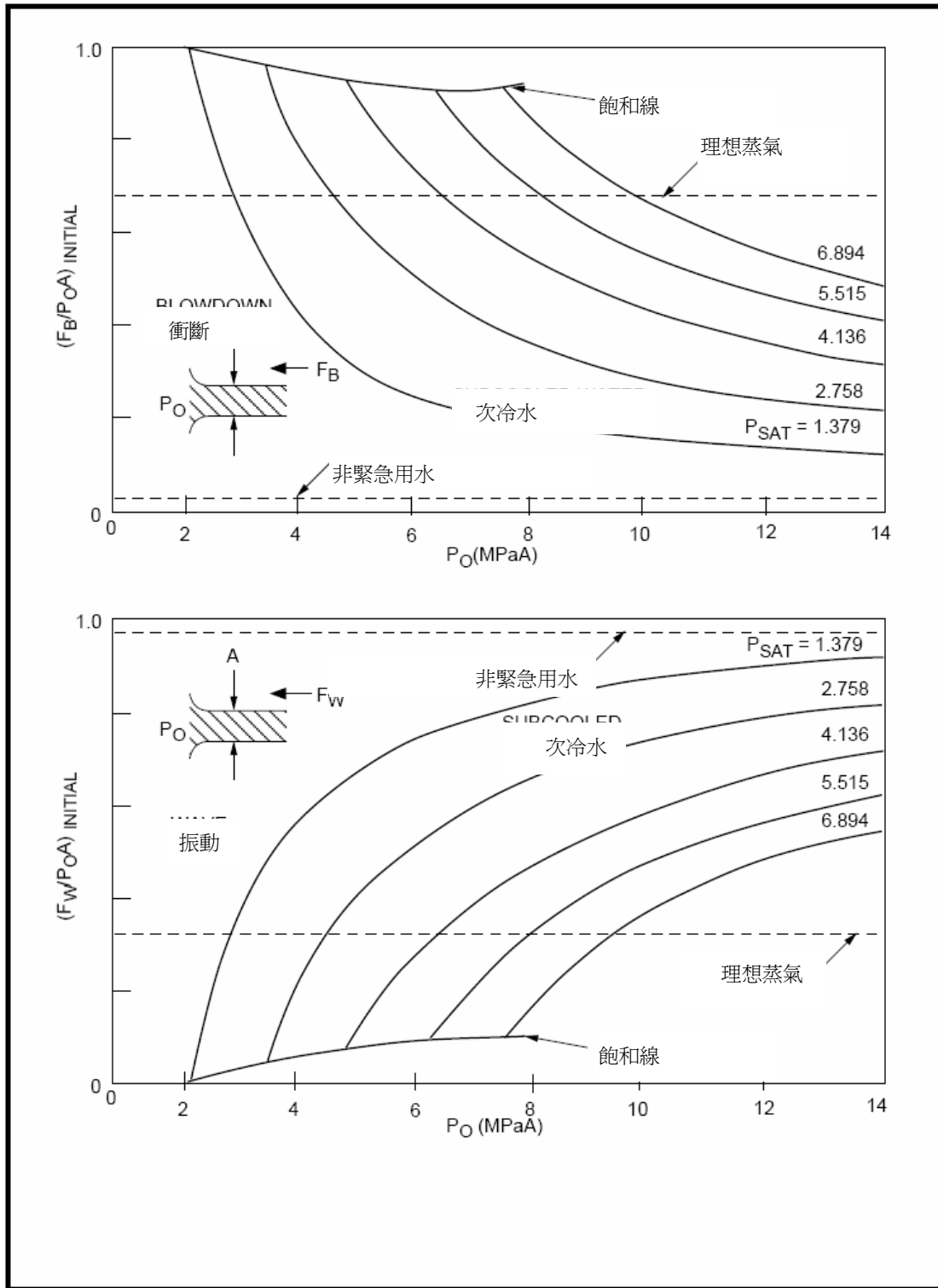


圖 3 初期衝斷及振動力

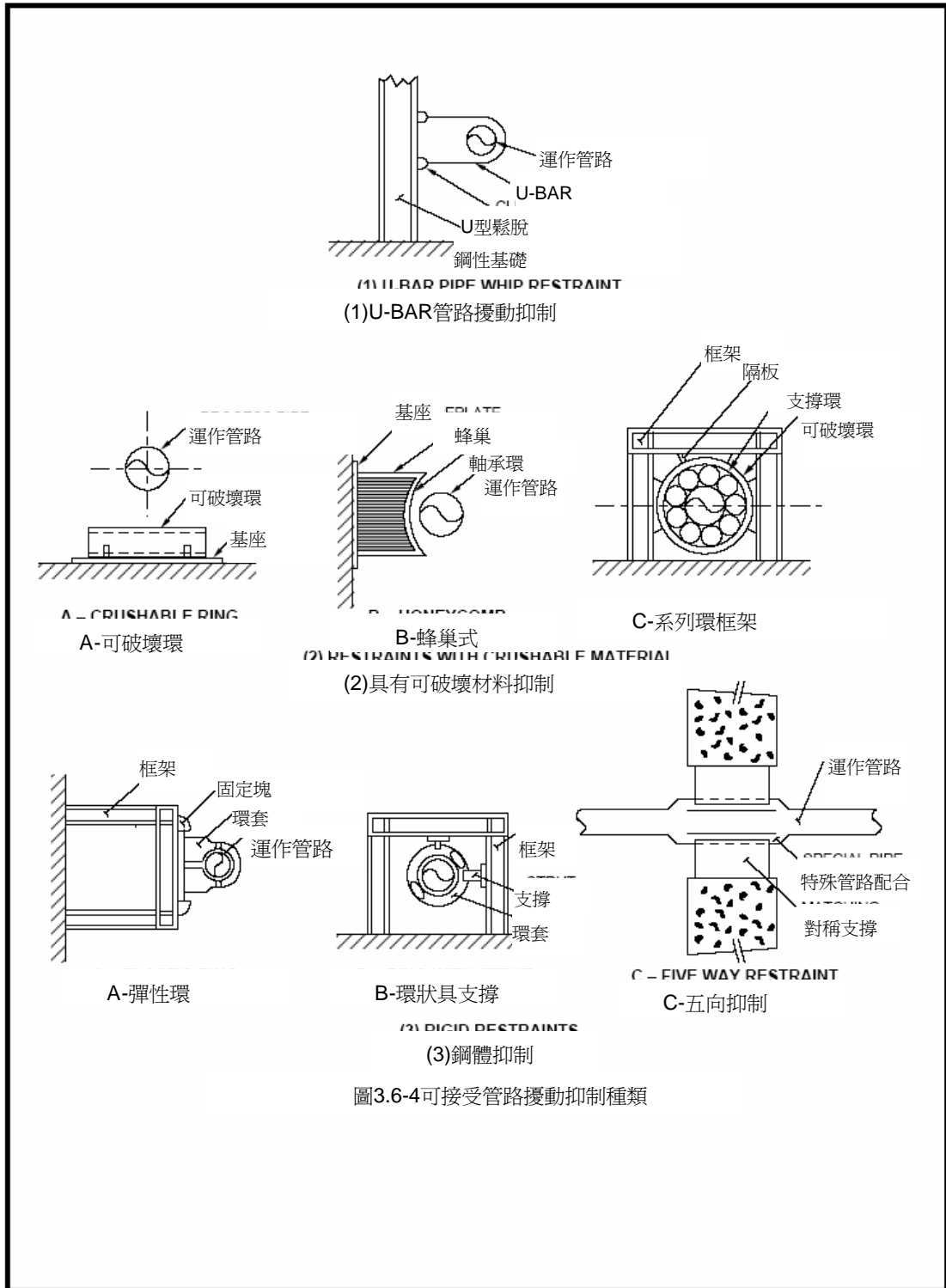


圖3.6-4可接受管路擾動抑制種類

圖 4 可接受管路擾動抑制種類