

附表

表 1 各國壓力容器標準之概要比較表

國別 項目		台灣	日本	美國		
		CNS9788	JISB8270	ASME Sec. VII		
		第 1 種容器	第 2、3 種容器	Div.1	Div.2	
壓力範圍		300 kg/cm ² 以上 未滿 1000 kg/cm ²	未滿 300 kg/cm ²	210 kg/cm ² 以下	對壓力上限未 加限制。	
圓筒胴 之強度 基準式 K = D ₀ /D ₁	P/σ _a	薄壁	$\frac{2(K-1)}{K+1}$ (平均直徑之 式)	$\frac{(K-1)}{0.6K+0.4}$ Lame 之修正式	$\frac{(K-1)}{0.6K+0.4}$ Lame 之修正 式	$\frac{2(K-1)}{K+1}$ (平均直徑式)
		厚壁	LnK (Turner 之式)	$\frac{K^2-1}{K^2+1}$ (Lame 之厚板)	$\frac{K^2-1}{K^2+1}$ Lame 之厚板	LnK (Turner 之式)
基本容許應力 σ _a (鋼 鐵材料)		$\min\left(\frac{\sigma_u}{3}, \frac{\sigma_y}{1.5}\right)$ 特定鋼材 $\min\left(\frac{\sigma_u}{2.4}, \frac{\sigma_y}{1.5}\right)$	$\min\left(\frac{\sigma_u}{4}, \frac{\sigma_y}{1.5}\right)$	$\min\left(\frac{\sigma_u}{4}, \frac{\sigma_y}{1.5}\right)$	$\min\left(\frac{\sigma_u}{3}, \frac{\sigma_y}{1.5}\right)$	
熔接接頭品質係數 η (RT 比例)		1.0 (100%)	1.0 (100%) 0.95 (20%) 0.7 (無)	1.0 (100%) 0.85 (SPOT) 0.7 (無)	1.0 (100%)	
耐壓試驗壓力 $\frac{\sigma}{\alpha d}$ 容許應力之溫度補正		$1.25P \times \frac{\sigma}{\alpha d}$	$1.25P \times \frac{\sigma}{\alpha d}$	$1.25P \times \frac{\sigma}{\alpha d}$	$1.25P \times \frac{\sigma}{\alpha d}$	
耐壓試驗時之限制		水壓試驗溫度時 之一般膜應力強 度應在 0.9σ _y 以 下	—	—	試驗壓力超過 規定值之 6% 時，一次一般 膜應力強度應 在 0.9σ _y 以下	
氣壓試驗壓力		$1.15P \times \frac{\sigma}{\alpha d}$	$1.25P \times \frac{\sigma}{\alpha d}$	$1.25P \times \frac{\sigma}{\alpha d}$	$1.15P \times \frac{\sigma}{\alpha d}$	
氣密試驗壓力		1.0P	1.0P	—	—	
熔接接頭之種類 (以縱向接頭、周 接頭為對向)		僅實施完全溶入 對接兩側溶接者	完全溶入對接兩 側溶接或使用套 襯之對接單側溶 接	完全溶入對接 兩側溶接或使 用套襯之對接 單側溶接	僅實施完全溶 入對接兩側溶 接者	

各國壓力容器標準之概要比較續表（2）

國別		英國 BS5500	德國 AD-Merkblätter	法國 CODAP
項目		對壓力上限未加限制 唯對層成容器及超高壓之特殊設計者除外	對壓力上限未加限制 K = D _o /D _i ≤ 1.5 之條件加以限制。	對壓力上限未加限制 唯對層成容器除外。
圓筒之強度 基準式 K = D _o /D _i	P/σ _a	薄壁 $\frac{2(K-1)}{K+1}$ (平均直徑之式) K < 1.3	$\frac{2(K-1)}{K+1}$ 平均直徑之式 K < 1.3	$\frac{2(K-1)}{K+1}$ (平均直徑之式)
		厚壁 K < 1.3	$2.3 = \frac{K-1}{3K-1}$ 1.2 < K ≤ 1.5	
基本容許應力 σ _a (鋼鐵材料)		$\min \left(\frac{\sigma_u}{2.35}, \frac{\sigma_y}{1.5} \right)$ 無 150°C 以上之高溫保證者 $\min \left(\frac{\sigma_u}{2.35}, \frac{\sigma_y}{1.6} \right)$	$\min \left(\frac{\sigma_u}{4}, \frac{\sigma_y}{1.5} \right)$	$\min \left(\frac{\sigma_u}{2.4}, \frac{\sigma_y}{1.5} \right)$ 將材料檢查簡化者 $\min \left(\frac{\sigma_u}{3}, \frac{\sigma_y}{1.9} \right)$
熔接接頭品質係數 η (RT 比例)		1 種容器--1.0 所有材料 2 種容器—1.0 附有材料、板厚等之條件 3 種容器—僅目視檢查 $\sigma_a = \frac{\sigma_u}{5}$	1.0 (100%) 1.85 (SPOT) 0.7 (無)	A、B 容器--1.0 (100%) B、C 容器—0.85 (SPOT, 依材料接頭區分) D 容器—0.7 (SPOT, 依材料接頭區分)
耐壓試驗壓力 $\frac{\sigma}{\sigma_d}$ 容許應力之溫度補正		1 種、2 種容器 1.25P × $\frac{\sigma}{\sigma_d}$ 3 種容器—1.5P	1.3P	1.25P × $\frac{\sigma}{\sigma_d}$
耐壓試驗時之限制		水壓試驗溫度時之一般膜應力強度應在 0.9 σ _y 以下，運轉條件不明時為 0.85 σ _y 以下	水壓試驗溫度時之一般膜應力強度應在 $\frac{\sigma_y}{1.1}$ 以下。	水壓試驗溫度時之一般膜應力強度應在 0.95 σ _y 以下
氣壓試驗壓力		1.25P × $\frac{\sigma}{\sigma_d}$	1.1P	1.3P × $\frac{\sigma}{\sigma_d}$
氣密試驗壓力		1.1P 依當事人間之協議	依當事人間之協議	依當事人間之協議
熔接接頭之種類 (以縱向接頭、周接頭為對向)		完全溶入對接兩側溶接或去除墊板之對接 單測熔接	完全溶入對接兩側溶接或去除墊板之對接 單測熔接	完全溶入對接兩側溶接或去除墊板之對接 單測熔接

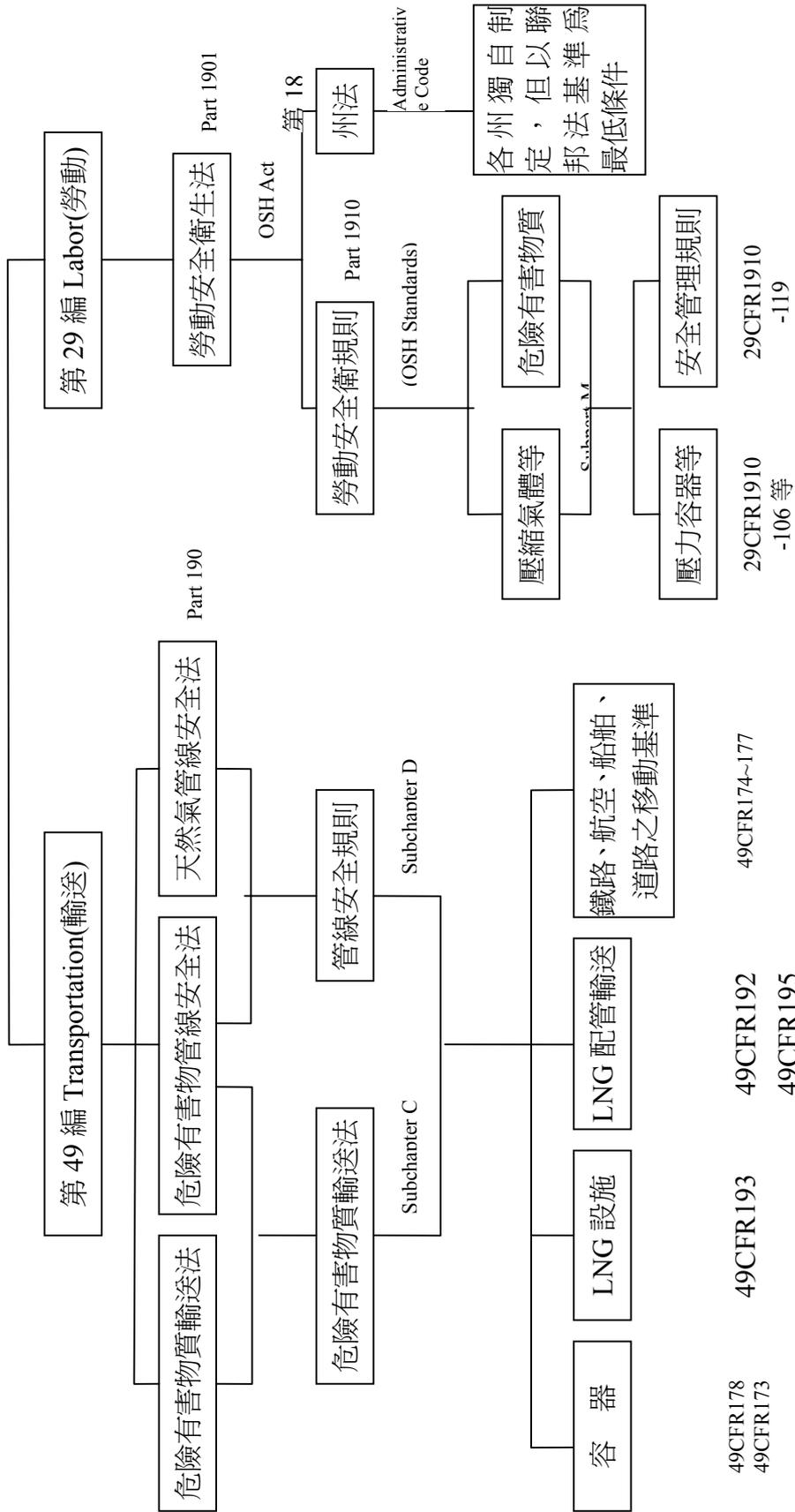
各國壓力容器標準之概要比較續表 (3)

國別 項目	日本 JISB8270 (台灣 CNS9788)		美國 ASME Sec.VII	
	第 1 種容器	第 2、3 種容器	Div.1	Div.2
非破壞試驗之種類 (以縱向接頭、周接頭為對象)	RT (100%)，調質高強度鋼為 RT + (MT 或 PT)	原則上為 RT，調質高強度鋼為 RT + (MT 或 PT)，第 3 種容器為目視檢查。	原則上為 RT，調質高強度鋼為 RT + (MT 或 PT)	RT (100%)，調質高強度鋼為 RT + (MT 或 PT)
對接熔接接頭是否實施機械試驗	應實施抗拉試驗、彎曲試驗、衝擊試驗	應實施抗拉試驗、彎曲試驗、衝擊試驗。 第 3 種容器不必實施機械試驗。	在衝擊試驗免除曲線以下之溫度使用時，應實施衝擊試驗	在衝擊試驗免除曲線以下之溫度使用時，應實施衝擊試驗
是否實施應力解析	<ul style="list-style-type: none"> 以彈性計算求得之應力強度應在容許界限值以下。 得依 JIS8281 (CNS9799) 之附錄 (附屬書) 1 列示之應力解析或附錄 3 之實驗性應力解析。 有應力解析之免除條件。 與 ASME Sec.VII.Div.2 標準內容相同。 	<ul style="list-style-type: none"> 原則上得免實施應力解析 第 2 種容器中因構造複雜，以致無法計算厚度者得依 JIS8281 (CNS9799) 之規定。 	<ul style="list-style-type: none"> 得免實施應力解析 構造複雜以致無法計算厚度者，得以實證試驗 (破壞試驗、應變測定試驗) 	<ul style="list-style-type: none"> 以彈性計算求得之應力強度應在容許界限值以下 得實施應力解析或實驗性應力解析 有免除應力解析條件之規定
是否實施疲勞解析	<ul style="list-style-type: none"> 疲勞解析與 ASME Sec.VII.Div.2 同一內容 在評估點求取有一之應力循環所生反復應力強度之振幅，由設計疲勞曲線求取容許反復次數。 有疲勞解析之免除條件。 	<ul style="list-style-type: none"> 原則上得免實施疲勞解析。 急速開關蓋應實施疲勞解析；對每一裝置之形式，規定有求取疲勞評估位置最大應力所必要之計算式。 	<ul style="list-style-type: none"> 原則上免實施疲勞解析。 	<ul style="list-style-type: none"> 每一材料規定有設計疲勞曲線。 設計疲勞曲線係依據平滑試驗片之軸荷重應變控制試驗之數據，對應力振幅取 2，對反復次數取 20 之安全率。

各國壓力容器標準之概要比較續表（4）

國別 項目	英國 BS5500	德國 AD-Merkblätter	法國 CODAP
非破壞試驗之種類（以縱向接頭、周接頭為對象）	1種、2種容器：RT或UT； 3種容器：目視檢查	RT或UT	A、B、C容器：RT或UT； D容器：目視檢查
對接熔接接頭是否實施機械試驗	由當事人間協議：實施接頭拉力、全熔接金屬拉力、彎曲、衝擊、宏觀、硬度、各種試驗	以材料區分決定是否必須熱處理等，由此指定機械試驗項目	依A、B、C、D容器之區分指定機械試驗項目
是否實施應力解析	<ul style="list-style-type: none"> 與ASME標準相同。定義有初始應力，次應力，最大應力。就初始應力+次應力$\leq 3S_m$加以限制。 求取局部應力時，對管口指定有具體之檢討處所，並列示有計算式。 	<ul style="list-style-type: none"> 對每一構造指定有計算式。 無法一標準之烈示者應使用實驗性應力解析，依運轉經驗等，就技術性地向檢查員證明具有安全性。 	<ul style="list-style-type: none"> 在標準指定構造，分別列有計算式。
是否實施疲勞解析	<ul style="list-style-type: none"> 疲勞解析之想法與ASME標準相同 設計疲勞曲線係依軸荷重疲勞試驗之數據，對應力振幅取2.2，對反復次數取15之安全率 對所有材料僅指定有一條S-N曲線 	<ul style="list-style-type: none"> 疲勞解析之相法與ASME標準相同 ASME標準與BS標準最大差異在疲勞解析之方法 →簡化之方法 *未規定詳細之疲勞解析方法，設計疲勞曲線對應力振幅取1.5，對反復次則取10之安全率 	<ul style="list-style-type: none"> 對疲勞解析之規定尚在草擬中，未曾公表

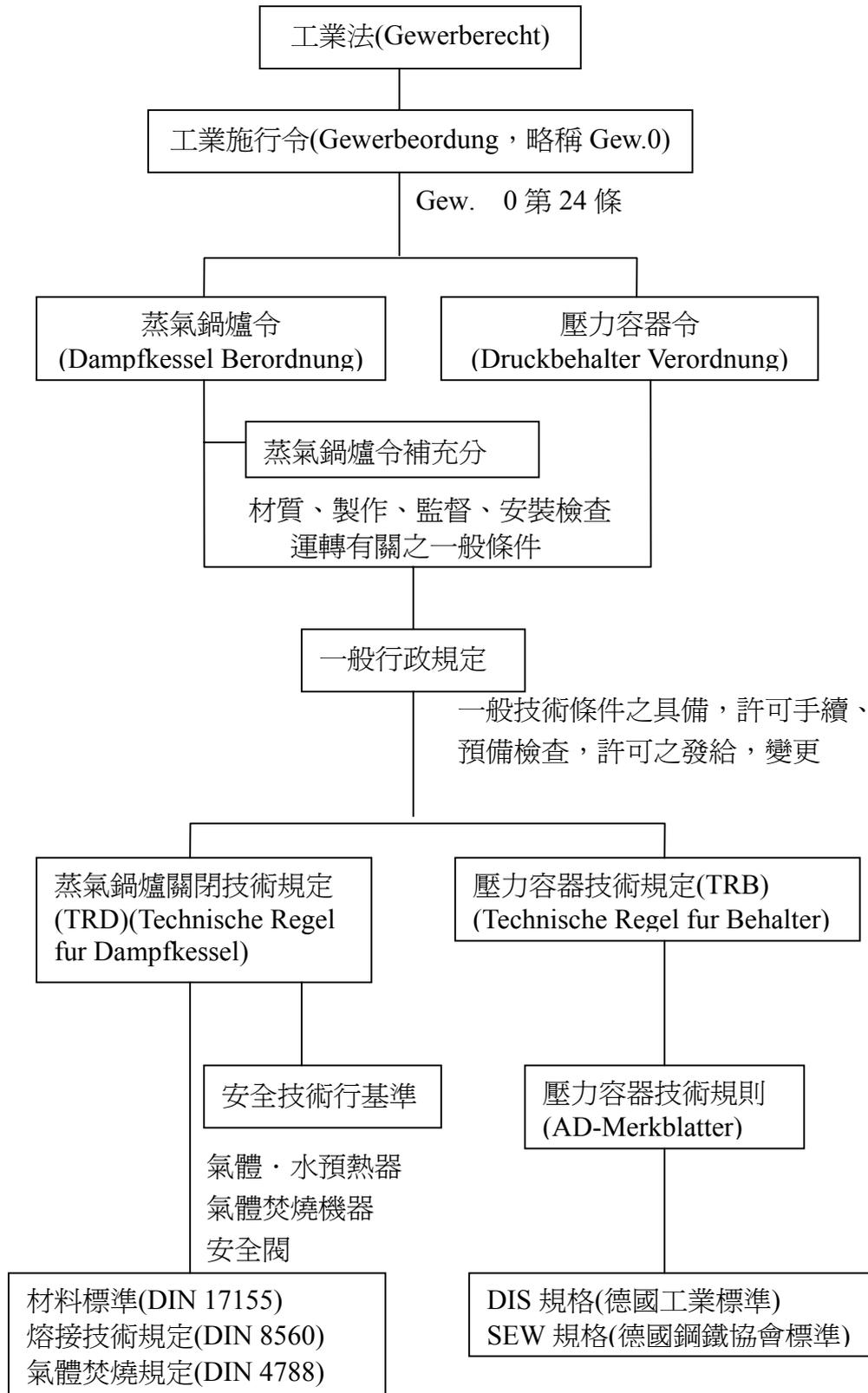
附表 2 美國壓力容器相關法體系表



(註) CFR=Code of Federal Regulation

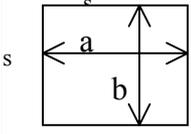
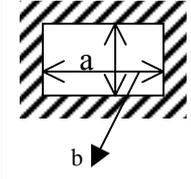
美國壓力容器相關法體系圖

附表 3 AD-Merkblätter 與德國法規之關係：德國壓力容器標準係由下列所構成



德國之鍋爐壓力容器關係法體系圖

表 4 全板受均勻負荷的應力分析表

情況數，形狀及支持	情況數，載荷	公式及特定之表值																																												
矩形板，各邊簡單支持 	全板均勻載荷	(At center) $Max\sigma = \sigma_b = \frac{Pqb^2}{t^2}$ and $\max y = \frac{-\alpha qb^4}{Et^3}$ 對 $\mu = 0.3$ (At center of long sides) $MaxR = rqb$																																												
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>a/b</th> <th>1.0</th> <th>1.2</th> <th>1.4</th> <th>1.6</th> <th>1.8</th> <th>2.0</th> <th>3.0</th> <th>4.0</th> <th>5.0</th> <th>∞</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>β</td> <td>0.2874</td> <td>0.3762</td> <td>0.4530</td> <td>0.5172</td> <td>0.5688</td> <td>0.6102</td> <td>0.7134</td> <td>0.7410</td> <td>0.7476</td> <td>0.750</td> </tr> <tr> <td>α</td> <td>0.0444</td> <td>0.0616</td> <td>0.0770</td> <td>0.0906</td> <td>0.1017</td> <td>0.1110</td> <td>0.1335</td> <td>0.1400</td> <td>0.1417</td> <td>0.142</td> </tr> <tr> <td>γ</td> <td>0.420</td> <td>0.455</td> <td>0.478</td> <td>0.491</td> <td>0.499</td> <td>0.503</td> <td>0.505</td> <td>0.502</td> <td>0.501</td> <td>0.500</td> </tr> </tbody> </table>	a/b	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	4.0	5.0	∞	β	0.2874	0.3762	0.4530	0.5172	0.5688	0.6102	0.7134	0.7410	0.7476	0.750	α	0.0444	0.0616	0.0770	0.0906	0.1017	0.1110	0.1335	0.1400	0.1417	0.142	γ	0.420	0.455	0.478	0.491	0.499	0.503	0.505	0.502	0.501	0.500
a/b	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	4.0	5.0	∞																																				
β	0.2874	0.3762	0.4530	0.5172	0.5688	0.6102	0.7134	0.7410	0.7476	0.750																																				
α	0.0444	0.0616	0.0770	0.0906	0.1017	0.1110	0.1335	0.1400	0.1417	0.142																																				
γ	0.420	0.455	0.478	0.491	0.499	0.503	0.505	0.502	0.501	0.500																																				
矩形板，所有各邊固定 	全板均勻載荷	(於長邊中心) $Max\sigma_b = \frac{-\beta_1 qb^2}{t^2}$ 對 $\mu = 0.3$ (於中心) $\sigma_b \frac{\beta_2 qb^2}{t^2}$ 及 $\max y = \frac{aqb^4}{Et^3}$																																												
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>a/b</th> <th>1.0</th> <th>1.2</th> <th>1.4</th> <th>1.6</th> <th>1.8</th> <th>2.0</th> <th>∞</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>β_1</td> <td>0.3078</td> <td>0.3834</td> <td>0.4356</td> <td>0.4680</td> <td>0.4872</td> <td>0.4974</td> <td>0.5000</td> </tr> <tr> <td>β_2</td> <td>0.1386</td> <td>0.1794</td> <td>0.2094</td> <td>0.2286</td> <td>0.2406</td> <td>0.2472</td> <td>0.2500</td> </tr> <tr> <td>α</td> <td>0.0138</td> <td>0.0188</td> <td>0.0226</td> <td>0.0251</td> <td>0.0267</td> <td>0.0277</td> <td>0.0284</td> </tr> </tbody> </table>	a/b	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	∞	β_1	0.3078	0.3834	0.4356	0.4680	0.4872	0.4974	0.5000	β_2	0.1386	0.1794	0.2094	0.2286	0.2406	0.2472	0.2500	α	0.0138	0.0188	0.0226	0.0251	0.0267	0.0277	0.0284												
a/b	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	∞																																							
β_1	0.3078	0.3834	0.4356	0.4680	0.4872	0.4974	0.5000																																							
β_2	0.1386	0.1794	0.2094	0.2286	0.2406	0.2472	0.2500																																							
α	0.0138	0.0188	0.0226	0.0251	0.0267	0.0277	0.0284																																							

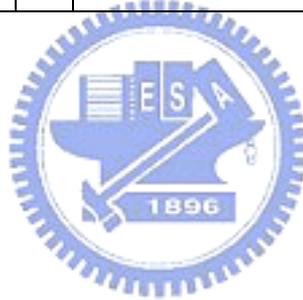


表 5 檢點、檢查項目，方法及週期表

檢點、檢查	檢點、檢查	檢點、檢查	日常檢點	定期檢查			備註
				每日一次	每月一次	每年一次	
部 位	項 目	方 法	每日一次	每日一次	每月一次	每年一次	
表示及標識	外視檢查	目視				○	
	外觀檢點	目視	○				
遮斷閥	作動狀況	開閉動作			○		接受配管用及 撒水配管用 操作閥
						○	上列以外之遮 斷閥
儲槽內液	液位確認	液面計	○				
	表示部檢查	液面計指示 值比較			○		
減壓、抽水設備	液位確認	液面計	○				
氣租部	壓力確認	壓力表	○				
	器 檢查	模擬輸入其 他方法			○		
氣相部及儲槽 內液	溫度確認	溫度計		○			
底部加熱器及 停部加熱器	溫度確認	溫度計	○				
警報裝置（氣 壓力及沸 內 液面相關 者）	動作狀況	模擬輸入其 他方法			○		
液泵	外觀檢點	五官感覺	○				
安全閥	外視檢查	目視		○			
	作動檢查	壓力表				○	始吹壓力確認
排氣管及燃燒 塔	外視檢點	目視	○				
	外觀檢查	目視				○	
誤操作防止設 備	外觀檢查	目視				○	表示與開閉狀 態之對照等
接地設備	外觀檢查	目視				○	
	接地電阻	接地電阻測 定器				○	
檢知、警報設 備	外觀檢查	目視		○			
	作動狀況	模擬輸入其 他方法			○		

傳達、無線或專用電話設備	作動狀況	實際使用		○			
防消火設備	外觀檢點	目視	○				
	作動狀況	輸液泵			○		
屋頂	外觀檢點	目視	○				
	外觀檢查	目視		○			
膜層 側	差壓確認	差壓計		○			
側壁	水準測定	水準儀				○	
儲槽出入 (含 吸 接)	外觀檢點	目視	○				
雨水排水構	外觀檢點	目視	○				
周圍地盤	外觀檢點	目視	○				
保安用 通及 保安用道路	外觀檢點	目視	○				

附表 6 雜質偏析疊接銲道試片低溫韌性測試結果

TP.NO	Breadth B (mm)	Throat thickness B (mm)	Width W (mm)	Notch length a (mm)	Rotation Factor r_p (mm)	Opening displacement v_p (mm)	CTOD δ (mm)
15a	12.1	0.5	2.5	2.0	0.424	2.3	>0.24
15b	10.0	0.5	2.5	2.0	0.423	2.3	>0.23
15c	10.4	0.5	2.5	2.0	0.424	2.3	>0.24
15d	17.1	0.5	2.5	2.0	0.421	2.3	>0.20
Sound weld	14.7	0.5	2.5	2.0	0.422	2.3	>0.22

表 7 失誤率表(Failure Rate Data)

事 件	失誤率 (hr ⁻¹)	特徵時間 (hr)	機 率	參考 文獻	備 註
控制閥故障全開	0.8×10 ⁻⁵	8760	3.5×10 ⁻²	1	FC(40mmAq 時全關) Running failure
控制閥訊號故障	91.3×10 ⁻⁶	8760	4×10 ⁻¹	2	Running failure
壓力控制閥訊號故障	91.3×10 ⁻⁶	24	11×10 ⁻⁴	2	Demand failure
手動閥誤開/誤操作	4×10 ⁻⁶	8760	1.8×10 ⁻²	3	MTBF=252000hrs Running failure
調壓閥故障	2.14×10 ⁻⁶	8760	9.4×10 ⁻³	1	Running failure
電磁閥作動失常			2.2×10 ⁻³	2	控制閥不作動(No change on Demand) , Demand failure
安全閥故障			2×10 ⁻⁴	2	CCF Factor=0.2 , Demand failure
高低壓警報故障	1.3×10 ⁻⁶	4380	28.5×10 ⁻⁴	1	$P = \frac{1}{2} \lambda T$, T 為測試週期, (半年) Demand failure
壓力控制閥故障全關	1.6×10 ⁻⁵	8760	1.8×10 ⁻²	1	Running failure
公用系統(N ₂)來源中斷	6.8×10 ⁻⁵	8760	3×10 ⁻¹		以國內某一相同設備近 10 年操作經驗中(有紀錄者)發現六次 N ₂ 供應系統異常, Running failure
公用系統(N ₂)管線破裂	1×10 ⁻⁷	8760	4.4×10 ⁻⁴	1	Running failure
氮氣控制閥故障	65.6×10 ⁻⁶	24	7.9×10 ⁻⁴	2	Demand failure
N ₂ 品質不佳含 Moisture	7.6×10 ⁻⁶	8760	3.3×10 ⁻²		依國內同設備運轉 15 年經驗中發現一次 N ₂ 系統異常含水 Running failure
鋼膜三微米以下及未測裂縫成長	1.14×10 ⁻¹²	8760	1×10 ⁻⁸		參考 PT&I 之評估 Running failure
Heater 故障	1.5×10 ⁻⁵	8760	6.6×10 ⁻²	1	Running failure
Level Sensor 故障	141×10 ⁻⁶	168	1.2×10 ⁻²	2	$P = \frac{1}{2} \lambda T$, T 為測試週期, (每週) Demand failure
Pump Fail to Start			1.86×10 ⁻²	2	Demand failure
Pump Fail to Run	104×10 ⁻⁶	168	8.7×10 ⁻³	2	$P = \frac{1}{2} \lambda T$, T 為測試週期, (每週)

					Demand failure
Discharge Valve 無法作動			1×10^{-4}	1	Demand failure
即時監測器系統故障	1.6×10^{-4}	720	5.76×10^{-2}	1	$P = \frac{1}{2} \lambda T$, T 為校正週期, (每月) Demand failure
人為操作(矯正)錯誤 閥門調整錯誤					
			3.24×10^{-3}	1	最大: 1×10^{-2} 平均: 3.24×10^{-3} , 詳見人為可靠度分析 最小: 1×10^{-3}
未正確檢查管件有無洩漏			1×10^{-1}	1	
水氣長期累積且未被偵測出			3×10^{-5}		
CH ₄ 濃度異常上升未被偵測出(取樣分析)			1×10^{-6}		詳見 IBS 取樣程序風險評估
緊急應變失敗			1×10^{-1}	1	
操作人員未監控/記錄排水狀況致水位累積			3×10^{-3}	1	最大: 1×10^{-2} 平均: 3×10^{-3} 最小: 1×10^{-3}
現場巡檢 壓力紀錄計不確實			1×10^{-1}	1	
定期/不定期測露點未確實執行			3×10^{-3}	1	最大: 1×10^{-2} 平均: 3×10^{-3} 最小: 1×10^{-3}
IBS 壓力上升, Membrane 受損			1.3×10^{-10}		
IBS 不保壓, 水氣侵入結冰導致 Membrane 受損			2.6×10^{-7}		
Membrane 材料疲勞			1×10^{-15}		
Heater 故障且礫石層中未被抽出之水結冰導致 Membrane 受損			2.85×10^{-8}		

表 8 風險投資比照表

改善建議	改善前不可靠度	改善後不可靠度
1.現場加強要求壓力錶 PG 的紀錄	1×10^{-1}	1×10^{-3}
2.確認安全閥 SRV 的 Design Spec.以決定 Success Criteria	4×10^{-5}	4×10^{-5}
3.加裝 CH ₄ On-Line Detection System 確認其功能及操作模式(須具 Suction 功能)	1×10^{-6}	1.48×10^{-8}
4. On Line Detection Sensor 的校準程序及適當之校對週期	1×10^{-6}	1.48×10^{-8}
5. PCV-5601 前加裝 Strainer,後加裝一安全閥 PSV	9.4×10^{-3}	1.9×10^{-6}
6.確認 CH ₄ 濃度過高時之 ERP 的存在與適切性	1×10^{-1}	1×10^{-3}
7. Liquid N ₂ Supply	3.3×10^{-2}	0
8. Level Sensor 備品	-	-
9.自動檢查紀錄中加流量計 FQ(深水井抽水累積量)	1×10^{-1}	1×10^{-3}
10.確認會造成 Membrane 失效之 IBS 水含量	-	-