



國家運輸安全調查委員會

重大運輸事故

調查報告

中華民國 109 年 2 月 24 日

達和水泥專用船

於桃園觀音工業區外海處機艙火災

報告編號：TTSB-MOR-22-09-001

報告日期：民國 111 年 9 月 13 日

依據中華民國運輸事故調查法及國際海事組織第 84 次海事安全委員會決議文(International Maritime Organization Resolution MSC.255(84))通過之海難事故調查章程(Casualty Investigation Code)，本調查報告僅用於改善海上航行安全之用。

中華民國運輸事故調查法第 5 條：

運安會對於重大運輸事故之調查，旨在避免運輸事故之再發生，不以處分或追究責任為目的。

國際海事組織海難事故調查章程第 1 章第 1.1 節：

Marine safety investigations do not seek to apportion blame or determine liability. Instead a marine safety investigation, as defined in this Code, is an investigation conducted with the objective of preventing marine casualties and marine incidents in the future.

摘要報告

民國 109 年 2 月 24 日 0812 時，達和航運股份有限公司所屬之達和水泥專用船，船舶總噸位 9037，IMO 編號 9279824，船籍港基隆港。於宜蘭縣蘇澳港裝貨完畢後啟航往臺中港，航行過程一切正常。2011:35 時全船火警警報響起；2012:54 時船長下令減俾，2013:11 時船長下令停俾。輪機長確認發電機停俾、關閉快關閥門與通風檔板、撤離機艙內輪機人員後，約 2014 時即釋放固定式二氧化碳系統滅火；約 2033 時火勢熄滅，船舶失去動力。次日 1334 時，由拖船拖帶達和前往臺中港，於 1930 時完成靠泊。

事故期間，駕駛臺當值航行員 2 人（三副及幹練水手），機艙無人當值。機艙主層火災造成 1 號發電機、2 號發電機及該層周遭區域燒損，2 號發電機進油管減震器（pulse absorber）與回油管減震器破裂，及 3 號發電機回油管減震器破裂。本事故船上 22 名船員均安，無環境污染情況。

依據中華民國運輸事故調查法及國際海事組織海難事故調查章程相關內容，國家運輸安全調查委員會為負責本次運輸事故調查之獨立機關。受邀參與本次調查之機關（構）包括：交通部航港局、中國驗船中心、台灣國際造船股份有限公司及達和航運股份有限公司。

本事故「調查報告草案」於 111 年 5 月完成，依程序於 111 年 8 月 5 日經運安會第 41 次委員會議審議通過後函送相關機關（構）提供意見；於 111 年 9 月 13 日發布調查報告。

本事故調查經綜合事實資料及分析結果，獲得之調查發現共計 13 項，改善建議共計 5 項，如下所述。

壹、調查發現

與可能肇因有關之調查發現

1. 2 號發電機上方滑油管之殘餘滑油從法蘭連接處洩漏，接觸到 2 號發電機渦輪增壓機排氣側引起火災，火勢延燒至發電機監控儀錶板及燃油管。
2. 法蘭螺栓斷裂導致殘餘滑油洩漏可能原因，包括：船舶震動、安裝不當、螺栓受力不均，及金屬疲勞。

3. 3 具減震器破裂為內部壓力過大造成快速破壞形貌，內部壓力過大是因內部氮氣受熱膨脹，或可能燃油滲入減震器內部發生自燃爆炸。

與風險有關之調查發現

1. 達和機艙發電機上方的滑油管路以法蘭連接，法蘭連接處未遮蔽或予適當防護。
2. 達和 4 部發電機使用時間超過 76,000 小時，達和航運未按 DAIHATSU 提供之維修保養規定及技術通報，更換減震器，檢查或更換燃油壓力錶連通管。
3. 達和航運船上維修保養程序書、發電機保養計畫、技術通報處理機制欠周延，增加船舶航行風險。
4. IMO 國際法規及我國航政主管機關未要求發電機製造商應主動發布技術通報給船舶所有人及船舶製造商，以共同確保船舶航行安全。
5. DAIHATSU 可能未主動提供發布 DK 系列柴油發電機技術通報內容予台船公司及達和航運，導致達和未更換及包覆減震器。

其他調查發現

1. 排除天氣及海象因素、人為縱火、電氣故障起火、摩擦生熱起火、靜電起火及外力撞擊減震器起火之可能性。
2. 達和燃油總管、釋壓閥、控制閥及安全閥均運行正常，排除燃油總管壓力異常增高，導致 3 具減震器破裂之可能性。
3. 達和於民國 109 年 2 月 10 日完成最近一次年度檢查，達和航運之符合文件及船舶安全管理證書均於效期內，且發電機檢驗無異常的登錄。
4. 中國驗船中心根據 ISM Code 評鑑稽核達和船上維修保養程序書及保養計畫；另檢驗紀錄包含機器設備與管路系統，及其附屬配件與功能等。

5. 達和航運民國 106 年以前以紙本保存各輪相關文件，且逾 5 年保存期限之文件已依規定辦理焚銷，無法確認達和發電機燃油系統關鍵組件是否曾經更換或測試之紀錄。

貳、運輸安全改善建議

致 DAIHATSU DIESEL MFG. CO., LTD

1. 研擬辦法並主動發布發電機技術通報給船舶製造商及船舶所有人。
(TTSB-MSR-22-09-001)

致達和航運股份有限公司

1. 落實船舶安全管理制度，確實依據製造商技術文件制定保養計畫，並據以執行。(TTSB-MSR-22-09-002)

致財團法人中國驗船中心

1. 執行船舶稽核或檢驗時，確保國輪參照 DAIHATSU 技術通報內容，進行 DK 系列柴油發電機之減震器更換或保養，以降低潛在風險。
(TTSB-MSR-22-09-003)

致交通部航港局

1. 督導達和航運股份有限公司提出具體維修作為，以落實船舶安全管理制度。(TTSB-MSR-22-09-004)
2. 要求國輪船舶所有人，應參照 DAIHATSU DK 系列柴油發電機之技術通報內容，進行 DK 系列柴油發電機之減震器更換或保養，以降低潛在風險。(TTSB-MSR-22-09-005)

目 錄

第1章 事實資料	1
1.1 事故經過	1
1.2 天氣及海象資料	2
1.3 人員配置及資料	2
1.4 船舶建造基本資料	3
1.5 船舶損害情形	3
1.6 發電機系統	5
1.6.1 發電機維修保養規定及紀錄	6
1.6.1.1保養手冊及保養時程文件	6
1.6.1.2維修保養規定及紀錄	6
1.6.2 滑油系統	7
1.6.3 燃油系統	8
1.6.3.1燃油管路減震器	10
1.6.3.2燃油管路減震器技術通報	11
1.6.3.3燃油管路減震器受熱之特性	13
1.6.4 機艙警報資料	14
1.7 航行資料紀錄器資料	15
1.8 測試與研究	17
1.8.1 減震器破損分析報告	17
1.8.2 內政部消防署臺中港務消防隊火災調查報告	19
1.8.3 斷裂螺栓分析報告	19
1.8.4 釋壓閥檢測報告	20
1.8.5 中國驗船中心分析報告	20
1.9 訪談紀錄	21
1.9.1 達和船長訪談摘要	21
1.9.2 達和輪機長訪談摘要	22

1.9.3	達和大管輪訪談摘要	24
1.9.4	達和二管輪訪談摘要	24
1.9.5	達和航運工務部襄理訪談摘要	25
1.9.6	中國驗船中心技術處主管訪談摘要	26
1.10	組織與管理	28
1.10.1	船舶安全管理	28
1.10.2	船舶檢驗規則及發證	29
1.10.3	中國驗船中心之鋼船建造與入級規範 2020	30
1.11	事件序	32
第2章	分析	34
2.1	減震器破裂與火災原因	34
2.1.1	釋壓閥、控制閥、安全閥	34
2.1.2	減震器破裂	35
2.1.3	火災原因	36
2.2	船舶保養計畫與保養標準	37
2.2.1	台船交付達和航運之船舶保養文件	38
2.2.2	達和航運之維修保養程序及保養計畫	39
2.2.3	船舶檢驗及適航證書	40
2.3	2號發電機上方滑油管鬆脫	41
第3章	結論	43
3.1	與可能肇因有關之調查發現	43
3.2	與風險有關之調查發現	43
3.3	其他調查發現	44
第4章	運輸安全改善建議	45
4.1	改善建議	45
4.2	達和航運進行中之改善措施	45

附 錄

附錄1	金屬中心減震器分析報告	49
附錄2	內政部消防署臺中港務消防隊火災調查報告	66
附錄3	達和輪螺栓斷裂破損機制分析技術報告	86
附錄4	釋壓閥及安全閥檢測報告	109
附錄5	中國驗船中心之減震器爆裂分析報告	124
附錄6	達和船上維修保養規定及機器持續檢驗項目紀錄	128

表 目 錄

表 1 釋壓閥檢測結果	20
表 2 事件順序表	32
表 3 3具減震器之硬度、罐體受損及伸縮摺管受損比較圖	36

圖目錄

圖1 達和機艙主層側視圖及平面圖	1
圖2 達和2號發電機火災受損外觀圖	2
圖3 達和1/3/4號發電機火災受損外觀圖	4
圖4 達和2號發電機火損對照圖	5
圖5 達和滑油管路示意圖	7
圖6 達和滑油管路現場配置圖（修復後）	8
圖7 達和發電機配置與燃油系統圖	9
圖8 達和發電機燃油管路配置圖	10
圖9 原廠減震器技術通報資訊	12
圖10 減震器剖面圖	13
圖11 氮氣受熱膨脹特性圖	14
圖12 達和機艙控制室警報紀錄畫面	15
圖13 受損減震器與正常減震器比較圖	18
圖14 斷裂螺栓與正常螺栓比較圖	20
圖15 輪機長及二管輪訪談所稱滑油管及紅光位置圖	23

英文縮寫對照簡表

CBM	Condition Based Maintenance	狀態保養
DOC	Document of Compliance	公司符合文件
DPA	Designated Person Ashore	岸上指定人員
ISM	International Safety Management Code	國際安全管理章程
IACS	International Association of Classification Societies Procedure Requirements	國際船級協會聯合會的程序要求
MCS	Machinery Continuous Survey	機器連續檢驗
NC	Non-Conformity	不符合
PMS	Planned Maintenance System	船舶維修保養計畫
SMC	Safety Management Certificates	船舶安全管理證書
SMS	Safety Management System	安全管理系統
SOLAS	International Convention for the Safety of Life at Sea	海上人命安全國際公約
VDR	Voyage Data Recorder	航行資料紀錄器

本頁空白

第 1 章 事實資料

1.1 事故經過

民國 109 年 2 月 24 日 0812 時¹，達和航運股份有限公司（以下簡稱達和航運）所屬之達和水泥專用船（以下簡稱達和），船舶總噸位 9037²，IMO³ 編號 9279824，船籍港基隆港。於宜蘭縣蘇澳港裝貨完畢後啟航往臺中港，航行過程一切正常。2011:35 時全船火警警報響起；2012:54 時船長下令減俾，2013:11 時船長下令停俾。輪機長確認發電機停俾、關閉快關閥門與通風擋板、撤離機艙內輪機人員後，約 2014 時即釋放固定式二氧化碳系統滅火；約 2033 時火勢熄滅，船舶失去動力。次日 1334 時，由拖船拖帶達和前往臺中港，於 1930 時完成靠泊。

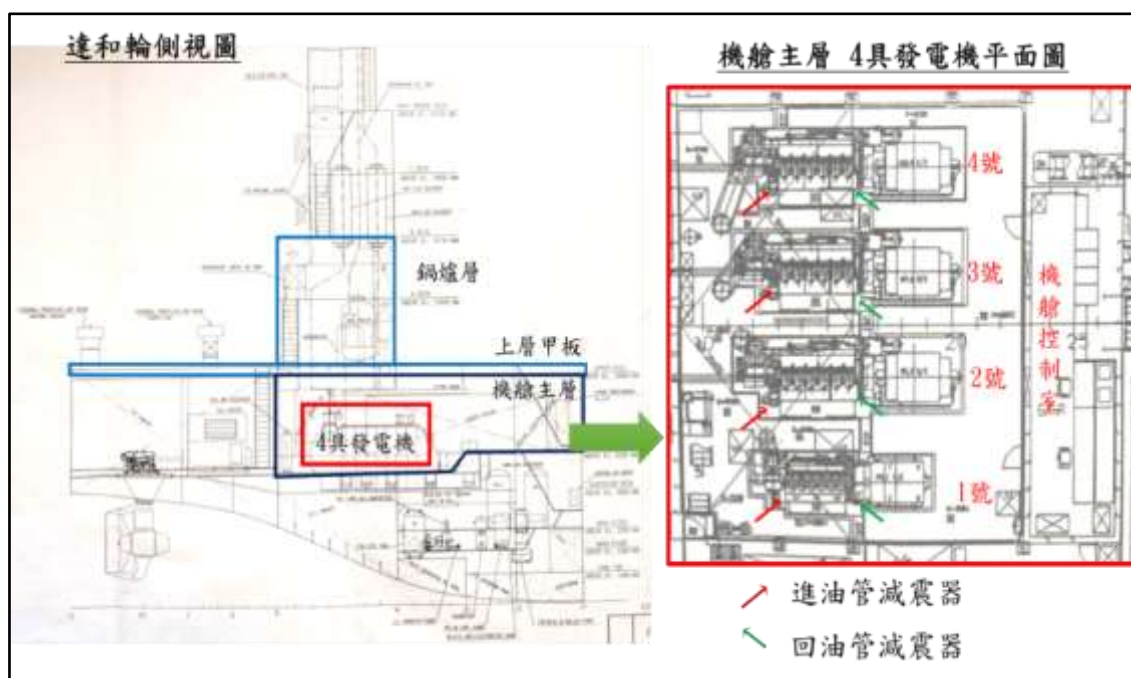


圖 1 達和機艙主層側視圖及平面圖

¹ 本報告所列時間均為臺北時間 (UTC+8 小時)。

² 船舶總噸位是指船舶所有圍蔽艙間之總體積，容積噸沒有單位。

³ 國際海事組織 (International Maritime Organization, IMO)。

事故期間，駕駛臺當值航行員 2 人（三副及幹練水手），機艙無人當值。機艙主層火災造成 1 號發電機、2 號發電機及該層周遭區域燒損，2 號發電機進油管減震器（pulse absorber）與回油管減震器破裂（詳圖 2），及 3 號發電機回油管減震器破裂。本事故船上 22 名船員均安，無環境污染情況。



圖 2 達和 2 號發電機火災受損外觀圖

1.2 天氣及海象資料

依據中央氣象局新屋氣象觀測站及竹圍潮位站資料，事故當時水域風向西南風，蒲福風力為 1 級，浪向 22 度，浪高 0.68 公尺，能見度約 10 哩。

1.3 人員配置及資料

根據達和之船員最低安全配額證書，該輪船員總額為 15 人。其中，甲級船員 6 人，乙級船員 9 人。事故航次，達和船上配置計有船長 1 人，及其他船員 21 人，共計 22 人，均為中華民國籍。

本航次船長與船員值勤時間及休息時間正常。達和船長持有一等船長證書，輪機長持有一等輪機長證書，其他 20 名船員皆具海上服務經歷及有效證書。

1.4 船舶建造基本資料

達和由財團法人聯合船舶設計發展中心負責規劃、設計及監造；台灣國際造船股份有限公司（以下簡稱台船）負責生產製造，民國 93 年 1 月 13 日交船。達和機艙主層配置 4 部發電機，發電機渦輪增壓機（turbocharger）、排氣總管外部均包紮隔熱材料。1 號與 2 號發電機水平參考距離約 1.6 公尺；進油管減震器位於渦輪增壓機下方約 1.1 公尺。

達和維修保養主要依據，包含：台船提供之發電機製造廠商保養手冊⁴，船上維修保養程序書及相關工作指導書（含發電機保養計畫、說明書及相關表單）。

1.5 船舶損害情形

調查小組於 109 年 2 月 28 日、3 月 3 日及 6 月 29 日登輪勘查達和受損情況（詳圖 2、圖 3）；調查小組另於 111 年 2 月 22 日登輪勘查達和修復後情況（詳圖 4），初步發現：

- (1) 船體結構無損害；機艙主層裝置有 4 部柴油發電機，其中 1 號發電機、2 號發電機及該層周遭區域燒損；發電機上方鍋爐層的輔助鍋爐⁵（auxiliary boiler）和焚化爐⁶（incinerator）區域及所屬控制盤與附屬配件部分燒損；
- (2) 1 號發電機：監控儀錶板遭受火燒損壞；排氣總管保護罩受燒燻黑；進油管及回油管減震器無損壞；

⁴ 1. Main Diesel Generator Engine Set, drawing no.:D5111130（民國 92 年 5 月 20 日）；2. Machinery articulators, drawing no.: K4000101（民國 92 年 12 月 19 日）。

⁵ 用於提供蒸氣，加熱船用重燃油至適當黏度及提供熱源供船上使用。

⁶ 依據防止船舶污染國際公約，船上配置燃燒垃圾設備。

- (3) 2 號發電機：監控儀錶板遭受火燒損壞；進油管減震器及回油管減震器破裂；鄰近之發電機機匣、渦輪增壓機及排氣總管因火損變色；排氣總管根部殘留油漬痕跡；2 具減震器表面沾附燃油燃燒痕跡；
- (4) 3 號發電機燃油：監控儀錶板完好；回油管減震器破裂，表面未沾附燃油漬，未遭受火損；

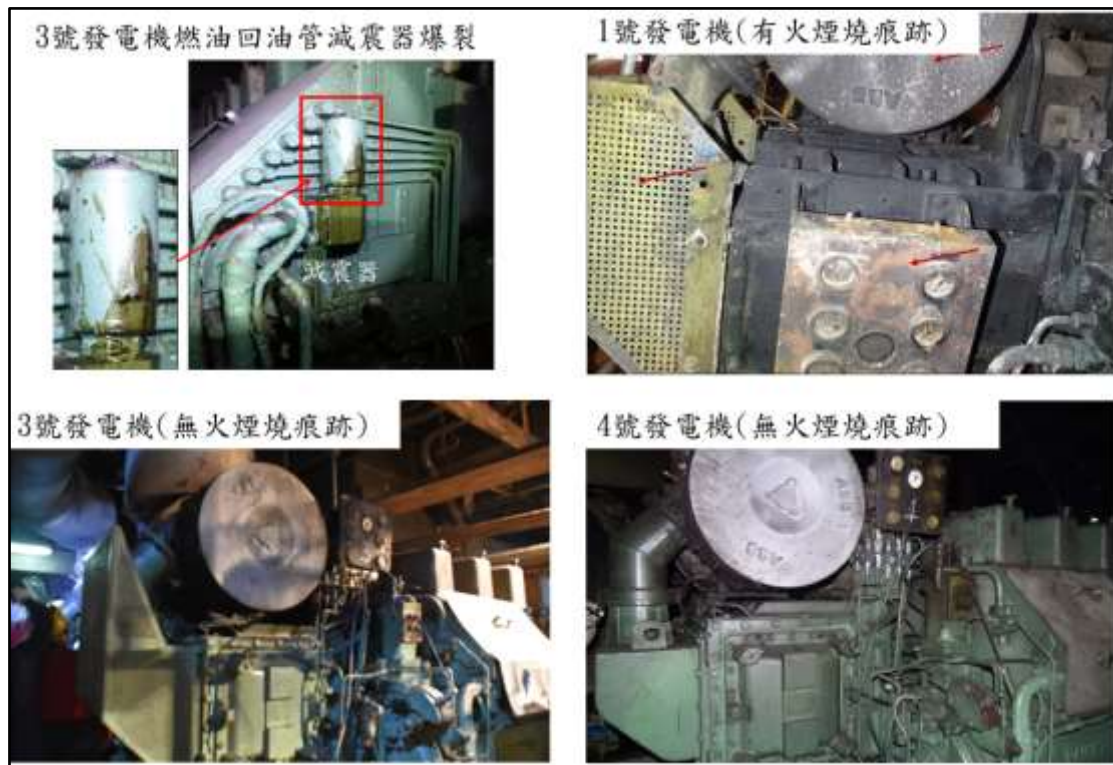


圖 3 達和 1/3/4 號發電機火災受損外觀圖

- (5) 4 號發電機：監控儀錶板完好，進油管及回油管減震器完好；
- (6) 外部添加滑油管路位於機艙頂部，該管橫跨四具發電機渦輪增壓機上方。於 2 號發電機渦輪增壓機上方之滑油管路連接一組法蘭，該法蘭連接處有火燒燻黑痕跡；
- (7) 燃油系統管路壓力相當於柴油供應泵、燃油供應泵、燃油循環泵出口壓力錶所顯示壓力，壓力錶查無校準紀錄；
- (8) 事故後數日達和船上人員於 2 號發電機燃油進油管旁下方，拾獲 3

個斷裂螺栓，並於 109 年 3 月 3 日交給本會調查小組。

(9) 本案無人員傷亡及環境污染情況。

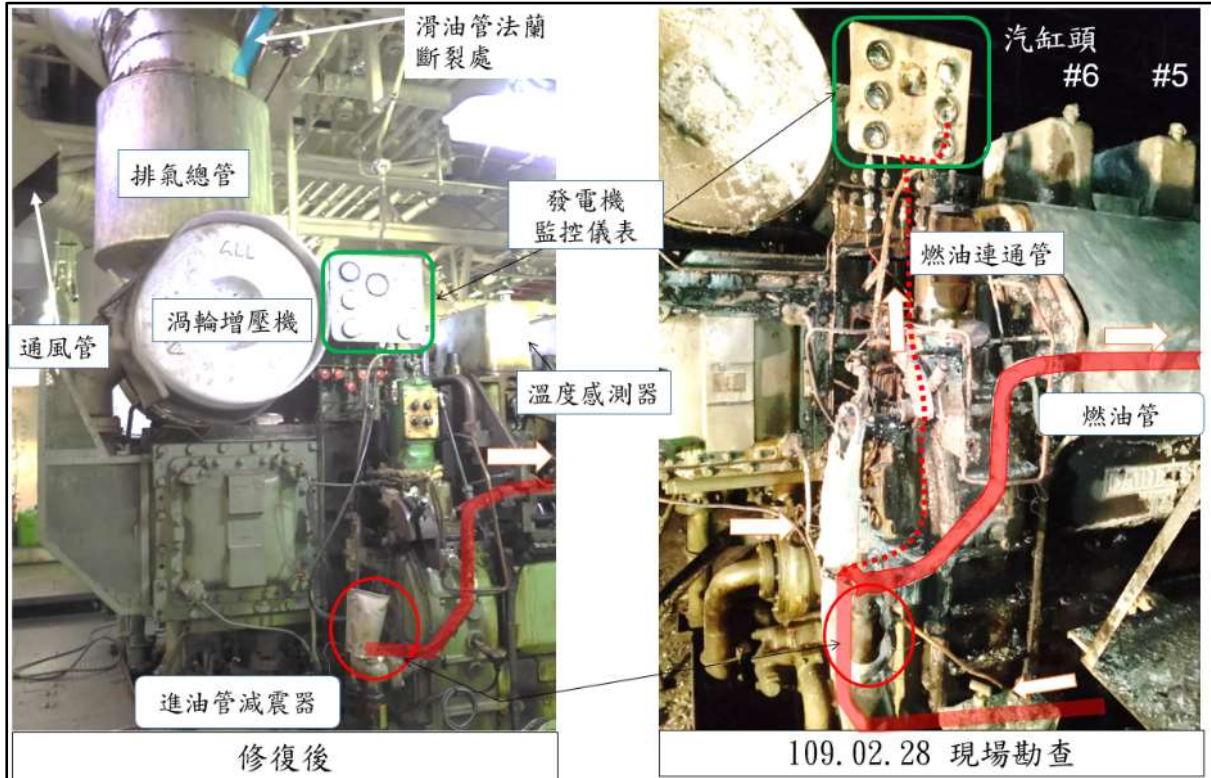


圖 4 達和 2 號發電機火損對照圖⁷

事故後，達和維修項目包含：4 部發電機機體（曲軸連桿、缸套、活塞、活塞環、淡水泵、滑油冷卻器、渦輪增壓機）、發電機電頭大修、檢修發電機層上方滑油管路、發電機層至排氣總管間 A-60 防火材更新、受損之滅火設備檢修更新、受損電纜更新等。

1.6 發電機系統

達和船舶動力系統配置 4 部 3.3 kV 柴油引擎發電機，產生電力以供應 2 部電動馬達驅動 2 具 2,000 呎噴嘴螺槳（Kort Nozzle）。製造商為日本大

⁷ 註：紅色為燃油管路，藍色為滑油管路

發工業株式會社 (DAIHATSU)，1 號發電機為 6DK-20 型，2、3、4 號發電機為 6DK-26 型。

1.6.1 發電機維修保養規定及紀錄

1.6.1.1 保養手冊及保養時程文件

根據台船提供給達和 DAIHATSU 原廠保養手冊及保養時程文件⁸，規定達和之燃油系統組件每 8,000 至 12,000 工作小時，或 2 至 3 年需進行拆解檢查或更新，燃油系統組件包括：燃油釋壓閥 (fuel oil relief valve)、燃油供給泵 (fuel oil feed pump)、燃油斷開裝置 (fuel oil shutdown device)、主燃油管之壓力減震器 (pressure damper of mail fuel oil pipe)；燃油壓力錶連通管⁹ (fuel oil pressure gauge hose) 每 16,000 至 24,000 工作小時，或 4 至 5 年需換新，詳附錄 6。

1.6.1.2 維修保養規定及紀錄

直至 109 年 1 月 20 日止，達和發電機維護保養紀錄顯示，4 具發電機總使用時數分別為 79,477、79,659.8、76,139 及 77,019 小時。自民國 108 年 10 月至民國 109 年 1 月期間，發電機相關保養僅每月工況測試及發電機保養紀錄。

事故前，達和船上保養計畫未規定燃油釋壓閥、燃油壓力錶連通管、燃油系統循環泵安全閥及控制閥為保養與檢測項目。前述組件自達和於民國 93 年 1 月出廠後查無拆解、更換與測試紀錄。調查小組檢視保養紀錄，達和最近一次添加滑油為 109 年 1 月 9 日¹⁰。

⁸ “Maintenance Schedule Table,” 5.6 DK-26 (ch.1, item 2)

⁹ 用於連接壓力錶及測量設備或管道之管路。

¹⁰ 超重級船用機油 (HB-40) 8,000 LE；車用機油 (CH4) 1 DM；極壓機油 (HD 220) 2 DM；空壓機油 (PD 100) 5 CN。

本事故發生後，達和航運於 110 年 11 月 30 日修訂輪機部維修保養計畫及工作報告，新增列保養項目包含：減震器每 8,000 小時更新、發電機進氣閥及排氣閥每 6 個月檢查、發電機燃油釋壓閥每 8,000 小時檢測。

1.6.2 滑油系統

依據滑油管路圖及現場勘查，滑油管路分布於機艙頂部及艙底，滑油管路可分為三路，第一路為位於機艙頂部，該滑油管係供外部添加滑油至儲存櫃及日用櫃使用（詳圖 5 橘色標示，圖 6 藍色標示），該管橫跨 4 部發電機渦輪增壓機上方。

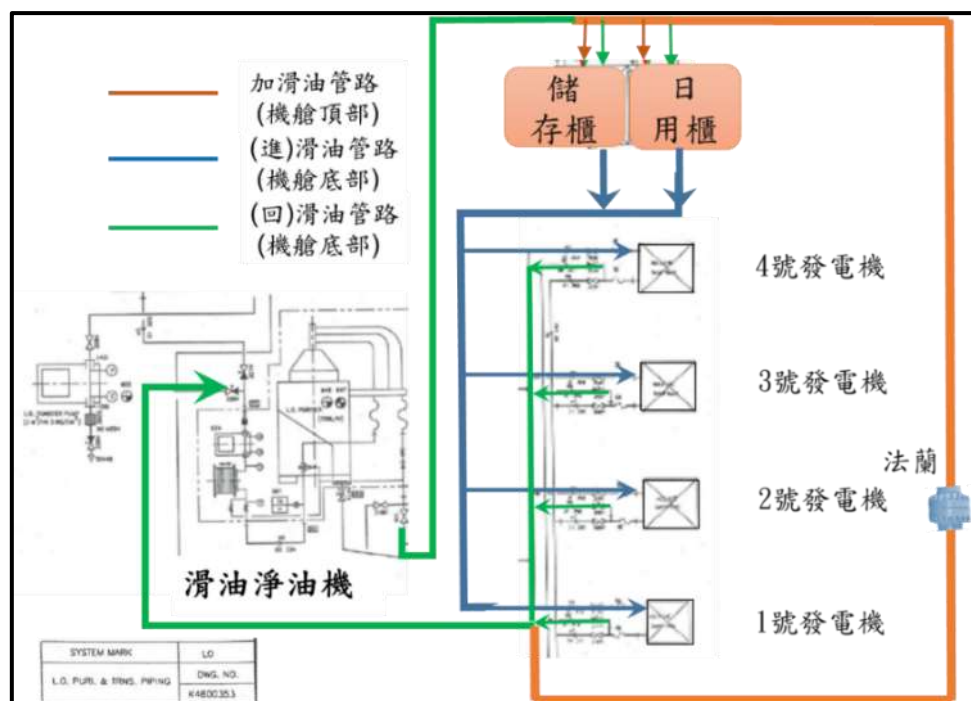


圖 5 達和滑油管路示意圖

第二路為自滑油儲存櫃及日用櫃出口，添加至發電機滑油之管路，該管路位於艙底（詳圖 5 藍色標示）；第三路是將發電機髒污滑油，經滑油淨油機（以下簡稱淨油機）淨油處理後，返回滑油儲存櫃及日用櫃之回油管路，於淨油機前端之管路位於艙底，淨油機後端之管路位於機艙頂部，與

外部添加滑油之滑油管連接，使用同一條管路返回滑油儲存櫃及日用櫃(詳圖 5 綠色標示，圖 6 藍色標示)。

根據中油提供之船用機油資料表 (HB-40)，閃火點¹¹ (flash point) 溫度為 266 度¹²。

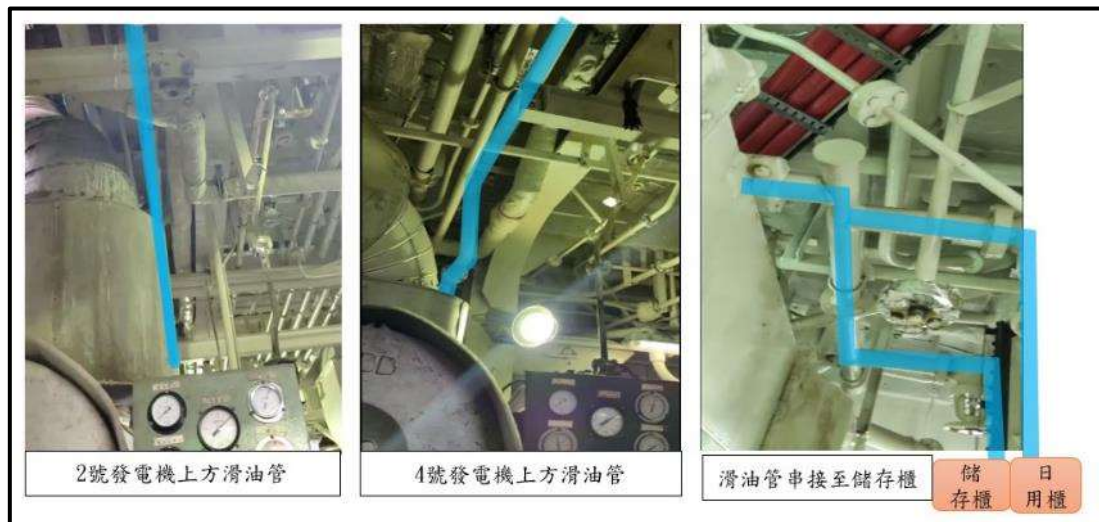


圖 6 達和滑油管路現場配置圖 (修復後)

1.6.3 燃油系統

依據達和發電機配置與燃油系統(詳圖 7)，燃油自重油¹³日用櫃(H.F.O. service tank)或柴油日用櫃(D.O. service tank)透過燃油供應泵(F.O. supply pump)經燃油除氣櫃(F.O. vent box)後，由燃油循環泵(F.O. circular pump)至燃油加熱器(main F. O. heater)，透過系統燃油管路供應至發電機使用。供應泵、循環泵與燃油加熱器同屬燃油加壓單元(F.O. booster unit)。

¹¹ 材料或製品與外界空氣形成混合氣與火焰接觸時，發生閃火且立刻燃燒之最低溫度。

¹² 本調查報告之溫度皆為攝氏度。

¹³ 一般商船使用之燃油為重油(Heavy Oil)及柴油(Diesel Oil)，航行使用重油，進出港及靠泊使用柴油。

燃油供應泵由重油或柴油日用櫃抽取燃油，經燃油循環泵至加熱器加熱至適當黏度後供應至 4 具發電機進油管（詳圖 7 藍線標示）。燃油循環泵出口壓力為 8 kgf/cm²，其安全閥設定壓力為 8.8 kgf/cm²，出口壓力超出 8.8 kgf/cm²時開啟安全閥（safety valve），釋放燃油壓力。

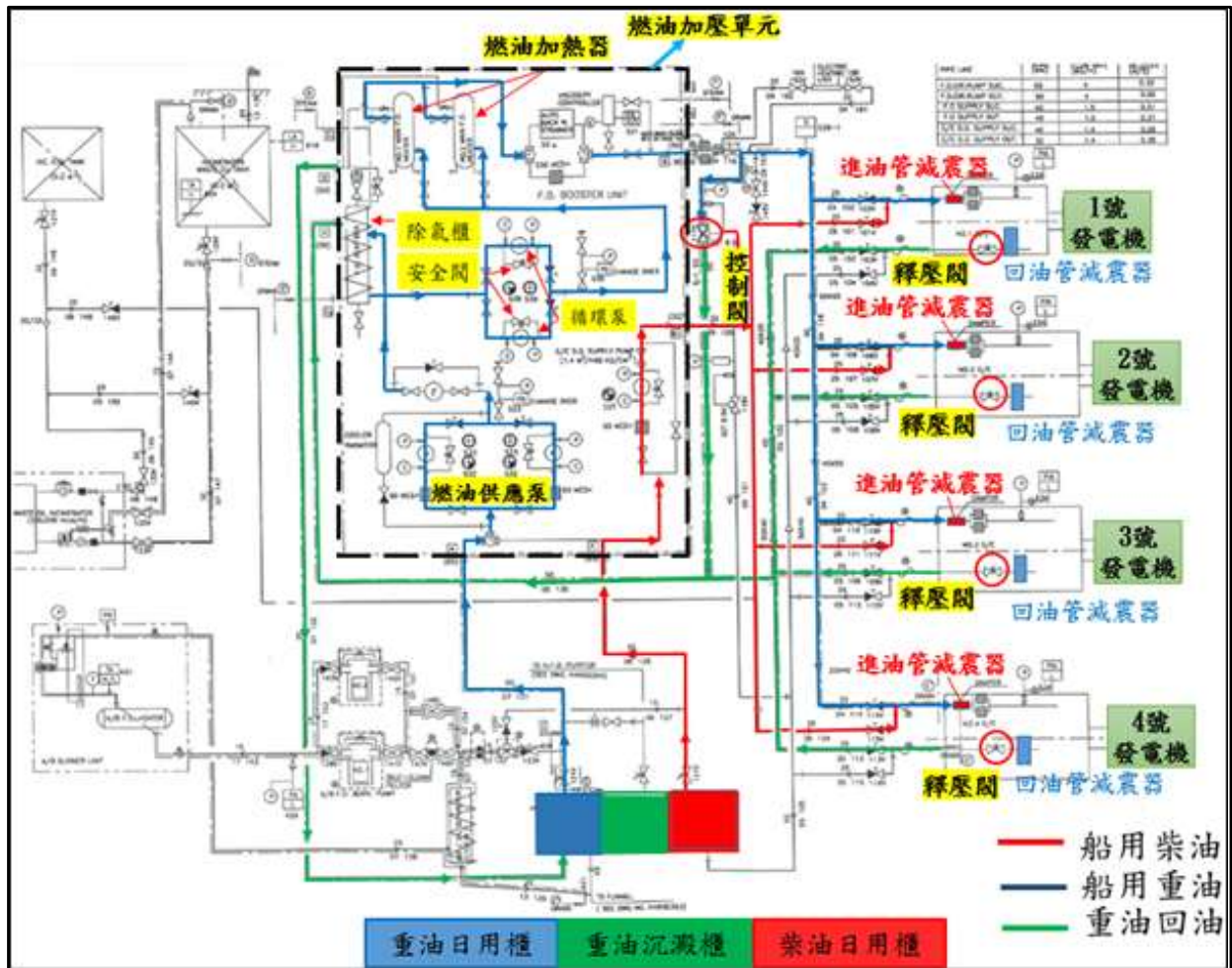


圖 7 達和發電機配置與燃油系統圖

燃油自進油管（H.O/D.O. INLET）通過進油管減震器進入至發電機高壓油泵（詳圖 8）。發電機氣缸高壓泵依負荷高低噴射燃油至汽缸，多餘燃

油循回油管 (F.O. OUTLET) 返回除氣櫃，於回油管減震器後端裝置有燃油釋壓閥 (F.O. relief valve) 避免發電機的回油壓力過高及過低。

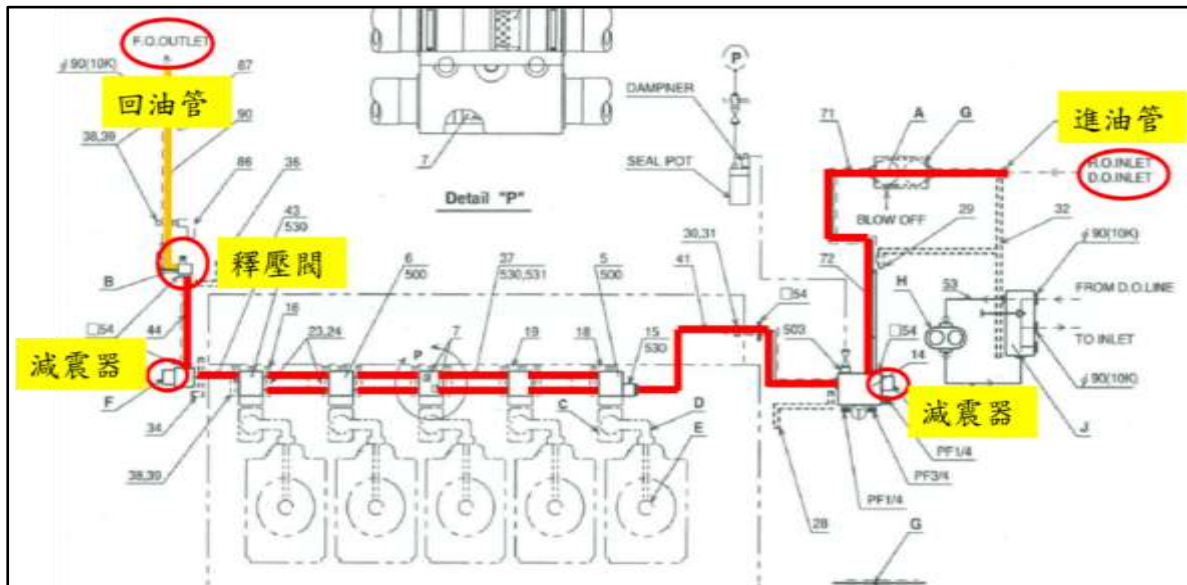


圖 8 達和發電機燃油管路配置圖

燃油系統管路有一控制閥¹⁴ (control valve)，其設定調整壓力為 8.5 kgf/cm²，當燃油於燃油管內壓力超過 8.5 kgf/cm²，則調節燃油流量使燃油壓力不超過設定壓力 8 kgf/cm²。燃油加熱器設有安全閥，其設定壓力為油氣壓力超過 15 kgf/cm²則釋放壓力至除氣管路排放。按製造商手冊規定，安全閥應每年檢查其壓力設定¹⁵。

1.6.3.1 燃油管路減震器

根據發電機製造商 (DAIHATSU) 之技術文件¹⁶，達和燃油系統管路共配置 8 具減震器，分別安裝於發電機的進油管與回油管。一般情況下，燃油溫度約攝氏 115 度經過減震器。根據中油提供之船用燃油 (MF-180) 安全資料表閃火點溫度為 60 度，自燃溫度為 407 度。

¹⁴ 製造商 Mt. H control valves Co., LTD；依據達和技術手冊文件，該閥英文為 control valve。

¹⁵ Instruction manual Doc. No.: IM642B, "once every year the safety valves must checked for correct setpoint."

¹⁶ DAIHATSU CH.4 ITEM 2.6 Damper for fuel oil, Pulse Absorber part no.: E268180030.

減震器技術規格，包括：使用最高溫度為 150 度；常用壓力 3 至 6 kgf/cm²；設計最大壓力 50 kgf/cm²；耐壓試驗壓力 75 kgf/cm²。

1.6.3.2 燃油管路減震器技術通報

本事故發生後，本會調查人員從其他航運公司取得 DK 系列柴油發電機的技術文件。民國 104 年 4 月 17 日，DAIHATSU 發布 3 份技術通報，編號（GS09-11B、GS09-24B 及 GS14-014B），重點摘錄如下：

- GS09-11B 使用 DK 系列燃油系統的船舶使用人，於 2009 年期間發生減震器使用超過 7 年未更換而造成意外事故（由於燃油洩漏可能引起火災等嚴重失事）。DAIHATSU 通知業者應於發電機運轉 8,000 至 12,000 小時，或每 2 至 3 年期間定期更換減震器。若減震器使用已超過更換期限強烈建議盡早更換（詳圖 9）。
- GS09-24B，係為 GS09-11B 施工步驟與安全提示。
- GS14-014B DAIHATSU 要求使用 DK 系列船舶使用人，定期更換減震器及提高可靠度。為確保減震器的可靠性，要求自 2010 年起修改新型減震器並配有防護罩，防止減震器破裂時造成燃油潑濺。

1-2 Maintenance Schedule Table

(○ : Periodical inspection, ▲ : The 1st inspection after the initial operation, and after overhaul and maintenance, ◎ : Replacement)


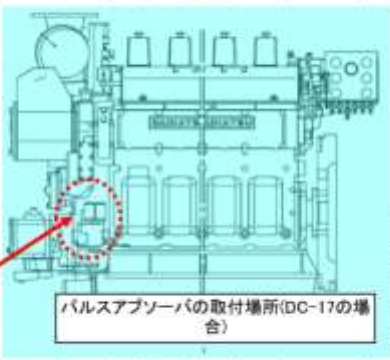
Parts to be overhauled and maintained	Work contents	Work man-hour (No. of workers x hours)	Overhaul / maintenance Period Table					Reference (14-1)	Remarks
			1000 - 1500 3 mos.	2000 - 3000 6 mos.	4000 - 6000 1yr.	8000 - 12000 2to 3yrs	16000 - 24000 4to 5yrs		
Cylinder									
									
Governor drive								friction annual	
Air Tur								friction annual	
Air cc									
Air									
Fuel valve									
Pulse absorber	Replacement	1 X 0.5				◎	14-1		
Lubricating oil pump	Disassemble, check and clean Check and replace the bearing and oil seal	2 X 1.5				○ ◎	15-2 15-2		

圖 9 原廠減震器技術通報資訊

直至民國 109 年 1 月 20 日止，達和發電機維護保養紀錄顯示，4 具發電機總使用時數分別為 79,477、79,659.8、76,139 及 77,019 小時，調查小組查無減震器更換與保養紀錄。達和航運自民國 93 年交船後，達和航運未建立機制處置發電機製造商 DAIHATSU 之技術通報，不曾更換 8 具減震器。

本事故發生後，達和航運於 108 年 11 月 18 日曾收到 DAIHATSU 技術通報編號 GS08-27D。經查，該技術通報 Daihatsi 於 108 年 9 月 4 日發布，標題為「Instruction for Replacement of Crank Shaft Bearing Shell」，與本案無關。

台船參與調查人員表示，設備製造商（在此指 DAIHATSU 公司）在船舶交船後之一年保固期滿後，僅對終端使用者提供技術服務，除非設備製造商主動通知，建造船廠（在此指台船）無從得知其技術通報，亦無依據可提供保養或更換建議給船舶所有人。

本會調查小組詢問建中貿易有限公司（DAIHATSU 公司代理商），該公司主管表示：「DAIHATSU 公司的技術通報是拜訪客戶時提供。」

1.6.3.3 燃油管路減震器受熱之特性

根據減震器技術資料，為減少燃油管路的脈衝壓力，減震器內部核心充填氮氣並有一伸縮摺管 (bellow)，伸縮摺管藉由壓蓋與氮氣之可壓縮特性來吸收管路內脈衝壓力 (詳圖 10)。正常情況下，燃油經過減震器被壓蓋隔離不會進入伸縮摺管內。長時間使用下，伸縮摺管與壓蓋間隙會變大，燃油可能滲入。當減震器遭遇高溫時，其內部的氮氣受熱會膨脹。

減震器最高使用溫度為 150 度，於周遭高溫環境下，減震器因溫度升高導致內部壓力急遽上升，於有限空間內可能會撐破罐體。經驗表明¹⁷：「壓力會因溫度變化產生物理變化，溫度每上升或下降 10 度，壓力會上升或下降約 3.5% (詳圖 11)」。亦即，減震器如遭遇 250 度高溫 (增溫 100 度)，氮氣受熱膨脹 35%。

財團法人中國驗船中心 (簡稱中國驗船中心) 參與調查人員表示，依據中油之燃油安全資料表，燃油自燃溫度為 407 度，當罐內溫度高於 407 度時，可能產生自燃現象，因減震器內燃油自燃後爆炸，造成高壓撐破罐體。

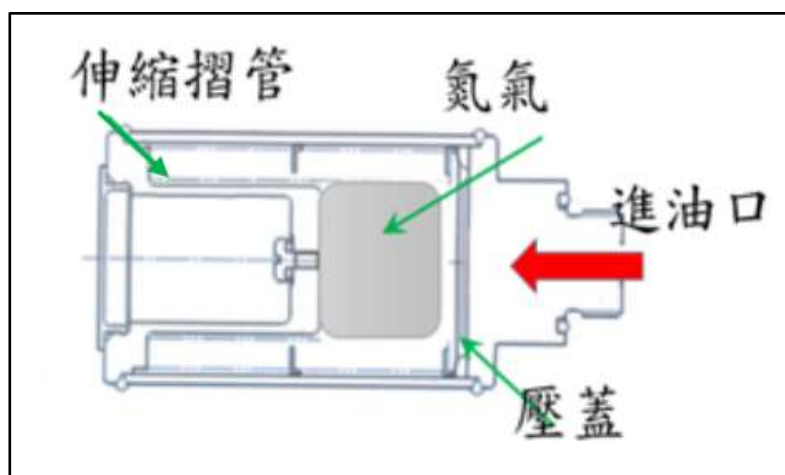


圖 10 減震器剖面圖

¹⁷ 氮氣缸壓力計算方法 <http://www.supersen.com.tw/ej03xu3/update/201911081118009722.pdf>

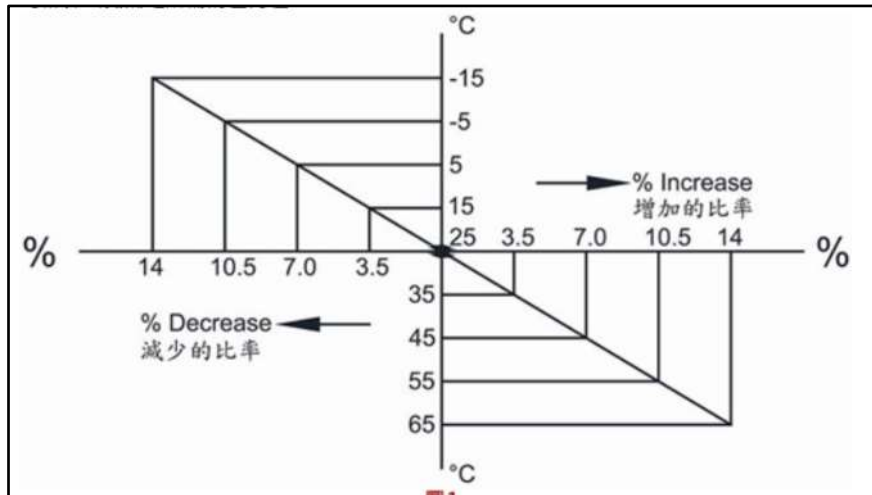


圖 11 氮氣受熱膨脹特性圖

1.6.4 機艙警報資料

調查小組取得事故當日達和機艙控制室之監控警報系統（monitoring alarm system）16 筆資料（詳圖 12），紀錄摘要如下：

1. 2013 時，右舷推進器馬達頻率與電壓異常，2 號發電機第 5 缸排氣溫度異常。註：警報觸發設定超過正/負 6% 之差異（正常電壓 3,300 伏特，頻率 60 Hz），系統出現「推進馬達頻率與電壓異常」警示訊號。
2. 2014 時，3 部發電機第五缸排氣高溫，排氣高溫警報作動依序為 2 號，1 號，3 號。註：警報觸發溫度設定為 500 度。
3. 2014 時，7 項裝備異常警報，涉及主電力盤、機艙控制室、區域監控單元（local unit）。

ALARM HISTORY		SYS		02-02-20 11:53	
CH#	CHANNEL NAME	OCCURRENCE		RECOVERY	
CH2416	LU-2 (F) LOCAL UNIT	24-02	20:14	--/--	--:--
CH2406	LOCAL TRAYS LINE A	24-02	20:14	--/--	--:--
CH2415	LU-1B (E) LOCAL UNIT	24-02	20:14	--/--	--:--
CH2414	LU-1A (D) LOCAL UNIT	24-02	20:14	--/--	--:--
CH2412	LU-EOC (B) LOCAL UNIT	24-02	20:14	--/--	--:--
CH2413	LU-MSB (C) LOCAL UNIT	24-02	20:14	--/--	--:--
CH2411	LU-EOC (A) LOCAL UNIT	24-02	20:14	--/--	--:--
CH1205	#2 D/G EXH GAS CYL 5 TEMP	24-02	20:14	--/--	--:--
CH1305	#3 D/G EXH GAS CYL 5 TEMP	24-02	20:14	--/--	--:--
CH1120	#1 D/G EXH GAS T/C IN TEMP	24-02	20:14	--/--	--:--
CH1205	#2 D/G EXH GAS CYL 5 TEMP	24-02	20:14	24-02	20:14
CH1305	#3 D/G EXH GAS CYL 5 TEMP	24-02	20:14	24-02	20:14
CH1105	#1 D/G EXH GAS CYL 5 TEMP	24-02	20:14	--/--	--:--
CH1205	#2 D/G EXH GAS CYL 5 TEMP	24-02	20:13	24-02	20:13
CH0304	STBD PROP MOTOR FREQUENCY	24-02	20:13	--/--	--:--
CH0303	STBD PROP MOTOR VOLTAGE	24-02	20:13	--/--	--:--

圖 12 達和機艙控制室警報紀錄畫面

當日達和手寫 LOG BOOK 紀錄如下：

手寫時間	VDR 時間	內容
2017	2011:35	Fire alarm (engine room)
2018	2013:02	Generator on fire, stop engine, & noticed to master & all crews
2019	2013:48	C/E inform bridge 準備封閉機艙釋放 CO ₂
2020	2014:00	CO ₂ 釋放 fire fighting team standby

1.7 航行資料紀錄器資料

達和裝置一套 Highlander 航行資料紀錄器 (Voyage Data Recorder, VDR), 型號 HLD-B2/S2。VDR 原始紀錄資料是由達和船上人員下載後提供調查小組攜回。語音紀錄顯示, 民國 109 年 2 月 24 日 2011:35 時, 全船火警警報響起, 船速 9.3 節, 航向 211 度。2012:54 時船長下令減俾, 船速 9.3 節, 航向 211 度。2013:11 時船長下令停俾, 船速 9.3 節, 航向 212 度。2013:38 時船副回報已停俾, 船速 8.7 節, 航向 211 度。

火災警報致動至船員停俾完畢經歷 2 分 3 秒。2013 時，4 部發電機停俾，船舶失去電力供應，VDR 停止紀錄，此期間航速從 9.3 節降至 6.9 節。

註：比對 VDR 通話紀錄與海事報告，VDR 時間與駕駛臺時間約差 6 分鐘，即 VDR 時間 + 360 秒=駕駛臺時間。

事故期間相關語音紀錄抄件如下：

VDR 時間	VDR 資料		VDR 駕駛臺聲音抄件
	UTC + 8hr	船速 (節)	
2011:00	9.2	211	正常航行
2011:35 2011:43	9.3	211	全船火警警報響起 全船火警警報響起
2011:44	9.3	211	全船火警警報關閉 機艙警報聲響
2012:54	9.3	211	機艙警報聲響 船長下令“減俾 減俾”
2013:02	9.3	212	機艙警報聲響 機艙打電話至駕駛臺“嘩嘩”
2013:05	9.3	212	機艙警報聲響 船副 “slow 已經到 slow”
2013:11	9.3	212	機艙警報聲響 船長“趕快來停俾停俾停俾”
2013:17	9.2	212	機艙警報聲響 船副“停俾”
2013:33	8.9	212	機艙警報聲響 另一電話聲響
2013:38	8.7	212	機艙警報聲響 船副“停俾 好已經停俾了”

VDR 時間	VDR 資料		VDR 駕駛臺聲音抄件
	UTC + 8hr	船速 (節)	
2013:38	8.7	212	機艙警報聲響 船副“停俾 好已經停俾了”
2013:48	8.5	212	機艙警報聲響 "廣播提示音響"
2013:53	8.3	212	船副“各位同仁請注意各位同仁請注意 發電機失火 發電機失火”
2014:23	7.6	212	機艙警報及尖銳警報聲響 (疑似煙霧偵測警報)
2014:35	7.4	211	機艙警報及尖銳警報聲響 (疑似煙霧偵測警報)
2014:36	7.3	211	機艙警報聲響
2014:59	6.9	205	機艙警報聲響 不確定發話者 “發電機”
2015:00	VDR 停止紀錄		

1.8 測試與研究

1.8.1 減震器破損分析報告

事故後，調查小組取得達和 2 號發電機進油管及回油管減震器、3 號回油管減震器，與 1 個未破裂之正常減震器，共 4 具減震器 (詳圖 13)。4 具減震器於民國 109 年 7 月 17 日送至金屬工業研究發展中心 (以下簡稱金屬中心) 進行破損分析。調查小組於民國 109 年 8 月 12 日收到金屬中心編號 L09SE030-0043 之減震器分析報告 (詳附錄 1)。

摘錄減震器分析報告之討論與結果如下：

- (1) 檢視減震器整體外觀，2 號發電機進油端、回油端減震器與 3 號發電機回油端有縱向裂痕生成，減震器斷裂面呈現快速破壞形貌。

- (2) 減震(2號進油端、2號回油端、3號回油端與正常品)材質相同，符合 CNS 9278 G3195 SPCC 規範規定，此材質屬於低碳鋼材質。
- (3) 硬度測試，2號進油端破裂處硬度(201HV)稍低於其餘六處硬度(213-218HV)約17HV以下。
- (4) 金相組織分析，比對四具減震器金相組織，2號進油端、2號回油端、3號回油端之破裂處現撕裂狀破壞型態，晶粒變形伸長，2號進油端的波來鐵有輕微球化現象，正常處皆為肥粒鐵與波來鐵組織。而正常品組織為肥粒鐵與波來鐵組織，波來鐵為無球化現象。
- (5) 由上述測試結果顯示為減震器受到外部火源燃燒後，其機械性質並無衰減現象，顯示減震器無受高溫火源而影響其強度；至於2號發電機進油端、回油端減震器與3號發電機回油端之縱向裂痕顯示應由於內部壓力過大所造成快速破壞形貌。



圖 13 受損減震器與正常減震器比較圖

1.8.2 內政部消防署臺中港務消防隊火災調查報告

調查小組於民國 109 年 4 月 23 日收到內政部消防署臺中港務消防隊火災調查報告（詳附錄 2），該報告有三部份：內政部消防署臺中港務消防隊提供火災調查資料內容，編號：中港消預字第 1090400098 號（內含現場照片圖），及相關位置圖。

根據消防隊火災調查報告，起火處為「輪機艙層編號 2 號發電機南側上方廢氣排氣管處」；起火原因為「無法排除編號 2 發電機南側廢氣排氣管上方滑油管鬆脫後，管內殘留之滑油灑落至發電機廢氣排氣管引火之可能性。」

1.8.3 斷裂螺栓分析報告

調查小組收集達和 2 號發電機上方滑油管的 3 根斷裂螺栓，與 1 個正常螺栓，共 4 根螺栓（詳圖 14），後送國立臺灣大學機械工程學系疲勞與斷裂實驗室檢測與分析（詳附錄 3），摘錄分析報告如下：

- (1) 斷件 S1 極可能為疲勞條紋（fatigue striations）（第 8 頁）。
- (2) 斷件 S2 觀察到疲勞條紋，局部地方韌窩組織與疲勞條紋夾雜存在（第 13 頁）。
- (3) 斷件 S3 觀察到疲勞條紋，沒有延伸很遠，破斷面上的特徵就轉變成韌窩組織，韌窩的邊緣仍相當銳利，沒有受到嚴重的腐蝕或氧化破壞（第 13 頁）。
- (4) 結論：1.螺栓外層有鍍上一層富含鋅的鍍層，此鍍層有發生剝裂的現象。 2.斷裂螺栓的破壞可能過程與機制為：應力集中較嚴重位置的鋅鍍層上萌生裂縫，這些裂縫導致進一步應力集中，在循環應力下往內成長，最後以微孔洞擴張、串連形成韌窩組織而斷裂。



圖 14 斷裂螺栓與正常螺栓比較圖

1.8.4 釋壓閥檢測報告

本事故發生後，111 年 2 月 8 日達和至台船進塢檢查期間，取下達和 7 件釋壓閥，由躍燦五金有限公司負責檢測，檢測結果均作動正常，檢測條件如下表 1，檢測報告詳附件四。

表 1 釋壓閥檢測結果

檢測組件	銘牌設定壓力(kgf/cm ²)	結果
釋壓閥(43RV)	3.5	作動正常
釋壓閥(V10)	4.5	作動正常
釋壓閥(V15)	2.0	作動正常
釋壓閥(V27)	15.0	作動正常
釋壓閥(V46)	10.0	作動正常
釋壓閥(V117)	8.5	作動正常
釋壓閥(V118)	8.5	作動正常

1.8.5 中國驗船中心分析報告

本事故發生後，中國驗船中心於 109 年 10 月及 111 年 4 月技術會議後提出 2 份書面意見（詳附件 5），摘錄重點如下：

- 減震器內的 bellow 為減少管路脈衝壓力而設計，bellow 內部核心充填氮氣，bellow 藉由壓蓋與氮氣之可壓縮特性吸收管路內脈衝壓力。正常情況下燃油被壓蓋隔離不會進入罐體內，但長時間使用後，罐體與壓蓋圓周間隙變大，燃油滲入罐體內，在火場溫度急遽上升情況下，罐內溫度與壓力也急遽上升。
- 根據中油提供之船用燃油安全資料表，船用燃油自燃溫度為 407 度，廠家規定減震器（指 DAIHATSU）之最高使用溫度為 150 度，研判減震器在火場高溫環境下壓力急遽上升，甚至溫度達到自燃溫度，在很小的空間內瞬間自燃而撐破罐體；此現象亦可同時說明減震器破裂並未造成燃油大量流出，發電機並未因燃油進口失壓而自動停俾。
- 減震器極有可能因他處起火點造成火場高溫導致破裂，而非先破裂而導致失火，建議運安會參酌台中港務消防隊及台北航港科之調查結果並進一步調查釐清。
- 考慮理想氣體方程式 $PV=nRT$ ，於溫度 500 度與 20 度的環境下，同容積之壓力比為 2.64 倍，遠低於減震器設計最大壓力 50 kgf/cm²、耐壓試驗壓力 75 kgf/cm²（最低爆裂壓力）。即使考慮 500 度時碳鋼強度下降為 70-80%，在溫度 500 度下，膨脹之氮氣亦不可能撐爆減震器。
- 外部火災造成升溫後，減震器內部有些許燃油也有空氣，燃油自燃爆炸才導致爆裂，非本案火災起因，而是結果，更換減震器無法預防本案發生。

1.9 訪談紀錄

1.9.1 達和船長訪談摘要

受訪者表示海上資歷約 20、30 年，服務於達和輪擔任船長約 7 年，非常熟悉這條船。該航次從蘇澳港滿載出港，儀器無故障。

24日晚上8點上去駕駛臺巡班是三副的班；晚上8點17分火災警報器響起，不到1分鐘，機艙打電話上來說是機艙緊急事故，提到是發電機失火，要求立即停俾。隨後，受訪者下令立即停俾，將所有轉速調到零，並衝到外面查看，發現煙囪全部冒煙。隨後，受訪者請三副廣播全船甲板部集合，成立滅火小組，不到2分鐘就啟動二氧化碳(CO₂)滅火系統，關掉機艙的逃生通風孔，人員都撤離機艙。

事故後，CO₂打完後機艙溫度還很高，無法馬上進入查看。船沒有動力，船體結構目視勘查無變形。受訪者按SOP向公司回報，當時離岸約3.8浬，火災已經撲滅且船沒有動力，沒有立即危險，全員從機艙安全撤離，貨物也安全，請公司派拖船協助。25日早上，船受東北風流影響一直飄，船離岸越來越近，先往西南後往東。事後輪機長向受訪者回報，配電盤都燒黑，損壞嚴重無法搶修，請求公司拖船協助，公司之後安排拖船將達和拖到臺中港。

1.9.2 達和輪機長訪談摘要

受訪者表示，海上資歷逾20年，斷斷續續在達和輪服務10多年，擔任達和輪輪機長5年多。達和輪是電動船是綠能環保船，本船配兩具馬達當推進器，機艙4臺發電機以3,300伏特的電力驅動舵機，屬可變螺距雙俾操控舵。近期，達和輪的失火區域都沒有施工，當日巡班未發現滴油現象。機艙的log book以前是用電腦紀錄，最近電腦故障沒有紀錄，目前沒有發電機的溫度與壓力紀錄。

達和輪機艙是無人當值，24日白天狀況一切正常，晚上6點多，大管輪巡班後回報機艙正常，晚上8點多，受訪者在房間收到二管輪電話通知機艙失火，並通知駕駛臺機艙失火並應急救火，需要用到二氧化碳，要從快關閥門去斷油。火警警報聲響後，三管輪最先到機艙隨後是二管輪，發現2號發電機的渦輪增壓機(turbocharger)附近有紅光(詳圖15)，煙很大無法靠近。



圖 15 輪機長及二管輪訪談所稱滑油管及紅光位置圖

二管輪進入控制室內以電話通知駕駛臺減俾，最好是停俾，準備關閉發電機，當時控制室的門已經伸手不見五指，濃煙很大。受訪者趕到機艙門外時，發現煙霧很大，已經無法進入。二管輪去關鍋爐門時發現濃煙一直出來。受訪者隨後去關閉快關閥燃油後，確認機艙所有人都出來，通知駕駛臺要放二氧化碳。按程序規定，施放二氧化碳 6 小時才能進入機艙檢查。事後勘查機艙發現，1 號及 2 號發電機機匣、壓力錶及氣壓計都燒壞，旁邊線路因高溫都燒熔了，天花板都燻黑。事後勘查發現，火源在發電機上方一條滑油管分開，滑油管就在增壓機上方法蘭¹⁸的接口，四根螺栓也不見了，整個法蘭分開了。受訪者認為，是滑油管的油滴下來接觸到高溫的發電機排氣管引起火災，就是進氣的地方造成燃燒。之後熱氣在密閉的機艙空間，油霧迅速燃燒而燒到天花板。

¹⁸ 法蘭 (Flange) 一種盤狀零件，連接管道、容器或固定軸類機械部件所用的對稱盤狀結構，通常有螺栓、螺紋結構以資固定。

1.9.3 達和大管輪訪談摘要

受訪者表示海上資歷逾 10 年，大管輪資歷約 3 年。本船相關的維修手冊都是紙本放在船上，沒有電子檔。當日上午與三管輪一起更換發電機的滑油，保養時一切正常。晚上 6 點半巡視機艙一切正常。

當日晚上 8 點在房間休息，聽到火警警報聲響後立即趕到現場，樓梯間遇到與二管輪及三管輪，三人一起下到主甲板的走道，二管輪及三管輪衝去機艙。受訪者往救火站去預判斷警報的位置，儀錶顯示是機艙二層甲板，緊接著是很多個警報都亮了，受訪者往外衝出來。隨後，三管輪上來回報二號發電機失火，他試著打開機艙門發現濃煙已經竄上來無法進入，兩人往後甲板水密門移動，發現火焰也延燒到後甲板。

受訪者再度回到救火站時，發現老軌（意指輪機長）已在內執行切斷通風檔板及快關閥門的動作。隨後老軌說要用二氧化碳滅火，受訪者再度前往後甲板去關閉水密門，並回救火站與老軌進入二氧化碳間，使用二氧化碳滅火。受訪者表示，當時火勢很大無法進入機艙，無法判斷火源位置及失火原因。滅火後，第二天早上進入火場，當時發現 1 號及 2 號發電機都受損，電路都燒了，無法恢復電力。

1.9.4 達和二管輪訪談摘要

受訪者表示，擔任達和輪二管輪職務約 4 個月，負責船上發電機，鍋爐，空調等保養事宜。事故前，4 臺發電機都開啟無異常，大臺輸出功率約 1,600 瓩，小臺輸出功率約 800 瓩，平均每臺發電機負載 50%。航行中約需要 2,500 到 3,000 瓩，平常保養都在蘇澳港，例行性保養是按照說明書。

受訪者去機艙處查看起火點應該在渦輪機（註：指 2 號發電機的增壓渦輪機，詳圖 15），渦輪機運轉溫度約 500 度至 600 度，當時儀錶板燒得最嚴重，尤其上半部最嚴重。當時火警警報後 4 臺發電機的安全裝置都有啟動，緊急開關閥都有關閉。緊急逃生之前，4 臺發電機都已經斷油關閉狀

態。發電機本身沒有問題，表面殘留炭渣。滑油管路的法蘭在渦輪機正上方，管路內滑油是常溫，而法蘭長期受熱，處於時冷時熱狀態，加上長期機器震動影響，尤其是發電機啟動、換油及停俾期間震動更大，可能使法蘭的間距鬆開造成漏油。

現場勘查後發現，火災後第二天早上下去機艙查看發現，本事故與加油管路及電氣損壞有關連。2 號渦輪機正上方有一根加滑油的管路，那個法蘭的 4 根螺栓全部鬆脫不見，應該是管路裡面殘留的滑油潑下來，整個氣化然後燃燒起來。

平常巡班時沒發現滴油，很難去注意天花板滑油管路法蘭的狀態。這根滑油管路用途為添加發電機的滑油，它從外面的左右舷連接到儲存櫃（storage tank），再從發電機正上方通過。這根滑油管路是裸露出來，不是包覆在天花板內。

受訪者認為，火災原因是滑油潑下來可能造成高溫起火。現場儀錶板燒得最嚴重，合理懷疑火災往儀錶板方向燒過去，有一個燃油管緩衝器（意指減震器）受熱膨脹整個爆開，爆開後燃油失去壓力又大量溢出加劇火勢。

1.9.5 達和航運工務部襄理訪談摘要

達和於主、輔裝備保養部分，如發電機、舵機等重要裝備，係依維修保養計劃定期執行。於發電機運行期間，透過持續監控燃油系統壓力，確認發電機運轉工況正常，藉此判斷燃油管路系統調壓閥維修與否。且近期發電機燃油系統壓力均於正常範圍，可滿足發電機運轉需求，尚無檢測更換需求，依達和公司依據狀態保養（condition based maintenance, CBM）原則進行船舶保養作業。

受訪者針對達和航運之技術通報及船舶維修保養計畫（planned maintenance system, PMS），於 111 年 4 月 13 日及 4 月 19 日技術會議後提供書面意見，摘錄重點如下：

- 有關報告提及我司引擎維護保養紀錄均為例行性保養乙節，由於我司均依原廠建議定期保養時間（如 8,000、16,000 小時保養），委商實施保養，非僅實施例行性保養。
- 有關 DAIHATSU 廠家技術通報 GS09-11B、GS09-24B、GS14-014B，經查公司相關紀錄並洽詢原廠，均無相關收發紀錄可查，斯時是否送達我司參考，無從考稽。查近年紀錄，我司於收獲原廠所發技術通報，均就內容進行研析評估，並層轉船隊列管參用，如 2019 年 11 月 18 日轉 DAIHATSU 技術通報 GS08-27D。
- 我司 ISM 內稽表單係依據既有輪機、甲板兩部 PMS 進行勾稽，故上揭 3 項觀察結果均為「是」，係依所見佐證記載。有關執行成效查核機制係以每季 PMS 計畫表，對照相關表單紀錄核實，並利用訪船時機登輪抽查成效。我司 PMS 保養計畫悉依規定將重要裝備(critical equipment)納入保養項目，並列管實施時程及成效，迄今執行狀況良好。
- 我司於 106 年前均以紙本保存各輪相關文件，且逾 5 年保存期限之文件已依規定辦理焚銷，故無法確認貴會所問是否曾經更換或測試之紀錄，目前我司已逐步推動電子化管理作法，近年各輪修理項目亦均已建檔列管，俾利未來保修參據。
- 我司願意提供保險公司的報告¹⁹給貴會參考。

1.9.6 中國驗船中心技術處主管訪談摘要

受訪者表示，中國驗船中心的稽核員是按照國際船級協會聯合會（International Association of Classification Societies，IACS）的程序要求（IACS PR）執行檢查。ISM 安全管理手冊及保養計畫以大方向為主，細部

¹⁹ 中華海事檢定社股份有限公司，OREF.: MS-C-20014，Date: March 17, 2020。

項目因每條船不同，須由船公司自行列管。針對航運公司 ISM 的內部稽核報告，為中國驗船中心進行稽核的查看文件之一。

事故前，達和的調壓閥或釋壓閥都不在維修保養計畫內，驗船師就不會檢查。驗船師於船上檢查時，燃油系統會進行檢查，但不會在檢查報告中提到這麼細。

事故後，達和航運將 2015 年 DAIHATSU 的技術通報提供給中國驗船中心。達和航運有將燃油管路系統及部件納入維修程序書與保養計畫，並將修訂後的書面資料提供給中國驗船中心品管處。達和從 109 年 2 月至 7 月處於停航狀態，持續進行維修與保養。

109 年 7 月達和航運已經將 8 具減震器換掉，並新增為保養項目。達和更換減震器後，中國驗船中心的檢驗有查驗這個項目。事故後，達和航運有更新保養計畫，最新的版本是 110 年 11 月 30 日。

船上壓力錶的部分，若船員日常巡檢時發現異常將直接進行更換，一般而言，壓力錶不一定會列入維修保養計畫。據查，達和預計於 111 年 2 月進塢檢驗時，有規劃執行燃油管路及相關閥件的測試。

針對運安會調查報告草案，中國驗船中心的相關意見已於 109 年 9 月的技術討論會議後提供書面意見。那具減震器的適用溫度為攝氏 150 度，超過那個溫度就不行了。

受訪者於 110 年 12 月 23 日及 111 年 4 月 13 日技術會議提出書面意見：通常，原廠的技術通報會直接提供航商不會提供給船級社，不清楚達和航運的岸上管理人員是否提供給達和的輪機人員。本事故發生前，中國驗船中心不知道 DAIHATSU 原廠有關減震器的技術通報資訊。

受訪者另於 111 年 4 月 21 日提出書面意見：事故前，達和的調壓閥或

釋壓閥雖不在維修保養計畫內，稽核員²⁰不會現場檢查這些閥，但驗船師於船上檢查時，燃油系統部件會進行系統功能性檢查，並於檢驗報告留有紀錄²¹。另外，減震器的適用溫度為攝氏 150 度，使用環境溫度不應超過 150 度。

1.10 組織與管理

1.10.1 船舶安全管理

以下摘錄國際船舶安全營運與防止污染管理章程（International Safety Management Code, ISM Code）「10 船舶及設備之維修保養」

10.1 「公司應建立程序書，以確保其船舶維修保養符合各種相關的規則與規範，及公司可能制定之額外要求。」

10.2 「為符合此等要求，公司應確保下列事項」

10.2.1 「在適當期間施行檢查;」

10.2.2 「報告任何不符合連同其已知之可能原因;」

10.2.3 「採取適當之矯正行動;及」

10.2.4 「保存該等實施紀錄。」

10.3 「公司在安全管理制度中，應認明突發之操作故障而可能造成危害狀況之設備與技術系統，該安全管理制度應針對增進該等設備或系統之可靠度提供特別措施。該等措施應包括對非持續使用之備用裝置及設備或技術系統之定期測試。」

²⁰ 稽核由稽核員依 ISM 程序及保養計畫等執行;現場檢查或檢驗則由驗船師執行。

²¹ 驗船師於每年定期檢驗及 MCS 檢驗均會確認燃油系統管路運作正常性，相關檢驗紀錄已於 2022/04/13 及 2022/04/19 提供貴會參考。

根據達和航運 108 年 9 月 11 日內部稽核檢查表發現：(1) 10-1 第 6 項「輪機/甲板機器的維修保養計畫根據公司/廠家所制訂之維修保養指引/手冊訂定之，按時執行?」；(2) 10-1 第 14 項「是否依照既定的保養計劃來保養船體與設備?」；(3) 10-1 第 15 項「執行保養工作都有確實的記錄?」，3 項觀察結果都是「是」。

達和航運之安全管理系統 (safety management system, SMS) 經中國驗船中心評鑑，符合國際船舶安全營運與防止污染管理章程 (ISM Code) 之規定，持有之公司符合文件 (document of compliance, DOC) 有效期至民國 111 年 10 月 22 日。持有之船舶安全管理證書 (safety management certificate, SMC) 有效期限至民國 113 年 6 月 22 日。

本事故發生前，達和執行安全管理制度相關規定約 16 年。達和航運之船舶安全管理證書 (SMC) 需要每 5 年進行一次換證，達和航運之公司符合文件證書每年均需要經由中國驗船中心評鑑後簽署。

1.10.2 船舶檢驗規則及發證

我國交通部根據船舶法第 84 條規定，委託中國驗船中心執行達和之船舶檢驗及證書之發給，並將認可機構章程所列實地督導查核及船舶驗證調查業務委任由航港局辦理。中國驗船中心依據國際公約，及中國驗船中心出版的鋼船建造與入級規範等執行船舶檢驗及發證工作。

中國驗船中心依國際公約規定確認所有航運公司建立品質管理系統之安全手冊、程序書及保養計畫；稽核員依照 ISM Code 規定審查達和航運的品管文件，且遵守國際船級協會聯合會之程序要求 (IACS PR) 執行評鑑。

依據中國驗船中心提供之機器連續檢驗 (machinery continuous survey, MCS) 文件，MCS 檢驗是船東申請船舶機器連續檢驗時，經過中國驗船中心認可並將 MCS 紀錄簿提供給船上，由船上輪機長執行機器拆檢，再由驗船師審驗確認。

調查小組取得 107 年達和船上執行機器連續檢驗的原始紀錄，詳附錄 6。根據 MCS 紀錄，達和 1 號與 2 號燃油供應泵、燃油駁油泵、1 號與 2 號燃油循環泵，以及管路系統 (code no.:248~256, 364)，曾於 107 年 12 月 7 日完成檢驗，下次應完成之檢驗日期為 112 年 12 月 16 日。達和安全構造 (SC) 年度檢驗於 109 年 2 月 10 日完成，檢驗紀錄²²包含：機器、管路系統及其裝具，相關證書有效性均正常，由驗船師於相關證書上簽證。

事故發生後，中國驗船中心驗船師於 109 年 2 月 27 日登輪實施機器偶發檢驗，並且於 109 年 7 月 1 日完成檢查，共有 2 份檢驗報告 (903-20-102, 903-20-103)。火災後，驗船師登輪檢查發現之船體損壞如下：

機艙：(1) 4 組發電機故障；(2) 火災偵測系統故障；(3) 現場滅火裝置失效；(4) 所有電力系統損壞，包含電纜、警報系統、通風、推進控制系統、照明系統、壓艙水系統及艙底水系統；(5) A-60 防火隔離材損壞。

發電機機殼：輔鍋爐、焚化爐、機側滅火、通風及火災偵測等控制系統損壞；(2) A-60 防火隔離材損壞。達和維修後發現之缺陷，包含：(1) 4 組發電機之 PLC 主控制盤損壞；(2) 火焰檢測器 (flame detector) 損壞。中國驗船中心建議前揭缺陷應於 109 年 9 月 30 日前完成改善。

1.10.3 中國驗船中心之鋼船建造與入級規範 2020

摘錄如下：

第 I 篇第 2 章

2.5.2 歲驗— 機器

每次歲驗時，應符合下列規定：

²² report no.744-20-062。

(a) 每次歲驗應對推進機器及重要輔機作一般性檢驗。驗船師認為必要時，得要求機器之某些項目作拆開檢驗，以確定其處於良好之工作狀況。

2.5.3 歲驗—自動及遙控系統(CAS, CAU 及 CAB)

(c) 發電機組之安全裝置

2.7 特別檢驗 (特驗)

(a) 泵與泵系統包括閘、旋塞、管路及過濾器應予以檢查。液壓動力裝置應檢查液壓油更換紀錄。本中心得要求其進行油品取樣分析。其他系統認為必要時，應予以試驗。

第 IV 篇 3.8.1 燃油裝置

「項目 (c) 表面溫度超過 220 度 C 有可能受燃油系統損壞時噴濺者，必須予以適當的絕緣。(d) 燃油管路應予遮蔽或予適當防護，以避免油噴灑或油漏至熱表面或流入機器之進氣管，或其他易燃源頭。該等管路之接頭應減至最少。」

事故前，達和機艙壓力錶燃油連通管均依照 CR 規範第 IV 篇 3.8.1(d)規定，包覆 FN 貼布以避免油噴灑或油漏出。

第 IX 篇 火災防護、探測與滅火第 2 章 2.1.2 節 燃油的佈置

「(e) 燃油管路第 (iii) 項燃油管線不得位於緊靠高溫裝置的上方和附近。此類裝置包括鍋爐、蒸汽管線、排氣歧管、消音器或本篇 2.1.2 (f) 要求加以隔熱的其他設備。... (略) 2.1.2 (f) 高溫表面的防護項目 (i) 對因燃油系統故障而可能接觸到的溫度超過 220 度 C 的表面應進行適當的隔熱。(ii) 應採取預防措施防止在壓力作用下可能從任何油泵、過濾器或加熱器逸出的任何油類接觸到熱表面。」

1.11 事件序

本事故發生之重要事件順序內容如表 2。

表 2 事件順序表

日期時間	說明	資料來源
93.01.13	台船完成達和生產建造，交船給達和航運	達和航運公司
104.04.17	DAIHATSU 發電機原廠發布 3 份技術通報編號（GS09-11B、GS09-24B 及 GS14-014B）	其他航運公司
108.09.11	達和航運對達和之內部稽核無異常登錄	內部稽核檢查表
109.02.10	達和最近一次完成年度檢查，相關證書有效性均正常，由驗船師於相關證書上簽證	中國驗船中心紀錄
109.01.09	達和最近一次添加滑油	維護保養紀錄
109.01.20	達和 4 具發電機總使用時數逾 76,000 小時	維護保養紀錄
109.02.24 0812:00	達和從蘇澳港啟航	VDR 軌跡資料
109.02.24 1830:00	達和大管輪機艙巡查正常	訪談
109.02.24 2011:35	全船火警警報響起	VDR 語音抄件

日期時間	說明	資料來源
109.02.24 2012:54	機艙警報聲響，船長下令“減俾 減俾”	VDR 語音抄件
109.02.24 2013:11	機艙警報聲響，船長“趕快來停俾停俾停俾”；機艙監控警報紀錄”推進馬達頻率與電壓異常”	VDR 語音抄件 機艙警報資料
109.02.24 2013:53	船副“各位同仁請注意各位同仁請注意發電機失火 發電機失火”	VDR 語音抄件
109.02.24 2014:00	機艙監控警報紀錄“3部發電機第5缸排氣高溫(高於500度)” 達和機艙施放CO ₂ 滅火	機艙警報資料 訪談
109.02.24 2014:23	機艙警報及尖銳警報聲響 (疑似煙霧偵測警報)	VDR 語音抄件
109.02.24 2014:36	機艙警報聲響	VDR 語音抄件
109.02.24 2033:00	達和火勢熄滅，船舶失去動力	訪談
109.02.25 1930:00	拖船拖帶達和前往臺中港完成靠泊	訪談

第 2 章 分析

根據事實資料，事故前達和船員之工作與休息正常、所有船員持有合格有效證書。調查小組排除天氣及海象因素、人為縱火、電氣故障起火、摩擦生熱起火、靜電起火及外力撞擊減震器起火之可能性。

本次事故分析之議題包括：減震器破裂與火災原因、船舶保養計畫與保養標準、2 號發電機上方滑油管鬆脫，分述如下。

2.1 減震器破裂與火災原因

事故前，調查小組查無減震器故障紀錄，查無機艙漏油紀錄；現場未發現釋壓閥、安全閥及控制閥失效證據。事故後，2 具減震器破裂且表面沾附燃油燃燒痕跡；另 1 具減震器破裂，表面無沾附燃油燃燒痕跡。

減震器破裂與火災原因涉及釋壓閥、控制閥、安全閥、減震器破裂、及火災可能原因。其中，減震器破裂存在四種可能性，包括：燃油總管壓力超過耐壓試驗壓力、減震器結構材質瑕疵、減震器內部的氮氣膨脹、減震器內部自燃爆炸。金屬中心對減震器的檢測報告已排除減震器結構材質瑕疵的可能性；燃油總管壓力超過耐壓試驗壓力即檢測釋壓閥、控制閥及安全閥，相關分析如下。

2.1.1 釋壓閥、控制閥及安全閥

本事故發生前，調查小組查無達和更換減震器及燃油壓力錶連通管之紀錄。針對燃油循環泵出口壓力之設定，達和航運未保留當時變更燃油循環泵出口壓力之紀錄，管理部門亦不知壓力調降原因。事故後，達和機艙勘查及維修紀錄文件未發現燃油系統故障、未發現燃油壓力錶連通管、釋壓閥、控制閥，及安全閥故障紀錄。

為確認燃油系統壓力是否正常運行，調查小組於 109 年 12 月 23 曾與達和航運、中國驗船中心及台船討論後續的實驗規劃及期程。110 年 12 月達和航運及中國驗船中心告知調查小組，達和將於 111 年 2 月安排進塢檢查，檢查項目包含：釋壓閥、控制閥及安全閥，檢測結果均正常作動（詳附錄 4）²³。據此，調查小組研判達和燃油總管、釋壓閥、控制閥及安全閥均運行正常，排除燃油總管壓力異常增高，導致 3 具減震器破裂之可能性。

2.1.2 減震器破裂

根據現場勘查紀錄及檢測報告，兩具減震器遭受火災燒黑，及其內部伸縮摺管破損，惟未發現減震器內部自燃爆炸的證據。3 具破裂減震器外觀呈現縱向裂痕（半月型），由內往外爆開。

經檢視達和 4 部發電機維護保養紀錄發現，達和發電機使用時間均超過 76,000 小時。達和燃油管路 8 具減震器持續使用，未按台船提供之維修與保養手冊進行檢查及更新，也未按 DAIHATSU 的技術通報更新或包覆。

金屬中心之減震器破損分析報告結論：「(5)由上述測試結果顯示為減震器受到外部火源燃燒後，其機械性質並無衰減現象，顯示減震器無受高溫火源而影響其強度；至於 2 號發電機進油端、回油端減震器與 3 號發電機回油端之縱向裂痕顯示應由於內部壓力過大所造成快速破壞形貌。」

根據中國驗船中心之減震器爆裂分析報告，減震器設計壓力為 50 kgf/cm²，耐壓試驗壓力 75 kgf/cm²，船上燃油系統及泵設計無法達此壓力（註：正常燃油壓力約 8 kgf/cm² 以下）。減震器內部的伸縮摺管計算承受 500 度高溫，氮氣膨脹之壓力為 2.64 倍，低於減震器設計最大壓力 50 kgf/cm²，即不可能撐破減震器。燃油自燃溫度為 407 度，當罐內溫度高於 407 度時，可能產生自燃現象，瞬間在極小空間內造成高壓撐破罐體。

²³ 測試報告中釋壓閥、控制閥及安全閥皆寫為釋壓閥。

綜上述，調查小組排除燃油管路壓力異常增高及減震器結構材質瑕疵造成破裂之可能性。3 具減震器破裂為內部壓力過大造成快速破壞形貌，呈現縱向裂痕且內往外爆開。減震器內部壓力過大可能為氮氣受熱膨脹，或可能發生自燃爆炸。

2.1.3 火災原因

事故前，達和四部發電機渦輪增壓機之進氣端均包覆絕熱材料（或稱絕熱棉），2 號發電機及渦輪增壓機附近沾附多少油垢或油漬無從查證。針對減震器破裂、減震器罐體與減震器內部伸縮摺管受損型態整理如表 3 所示。

表 3 3 具減震器之硬度、罐體受損及伸縮摺管受損比較圖

	減震器硬度分析 正常硬度 218 HV	減震器罐體受損	伸縮摺管受損
2 號進油管減震器	平均值 218 HV 破裂處 201 HV	半月形破裂口 燃燒碳化油垢 罐體外側有火燒痕跡	破損變形且透光；內側無火燒痕跡；外側沾附黑色油垢
2 號回油管減震器	平均值 214 HV 破裂處 214 HV	半月形破裂口 燃燒碳化油垢 罐體外側有火燒痕跡	
3 號回油管減震器	平均值 213 HV 破裂處 213 HV	半月形破裂口 燃燒碳化油垢 罐體外側無火燒痕跡	

事故當日 1830 時機艙巡查時，查無洩漏滑油及燃油紀錄。根據 VDR、機艙發電機監控、火災警報資料、訪談摘要，事故當日 2011:35 時駕駛臺出現之機艙火警警報，船長聽到機艙火警警報以電話通知駕駛臺，船長即刻要求船副先減俾後停俾；2013:38 時，船副回報船長已停俾，因發電機停機，

無法持續正常供電給推進馬達，而觸發「右舷推進馬達頻率與電壓異常」警報。

根據臺中港務消防隊火災調查報告，起火處為「輪機艙層編號 2 號發電機南側上方廢氣排氣管處」；起火原因為「無法排除編號 2 發電機南側廢氣排氣管上方滑油管鬆脫後，管內殘留之滑油灑落至發電機廢氣排氣管引火之可能性。」

根據機艙警報資料及 VDR 資料，2013 時至 2014 期間，機艙火災警報持續存在，船長要求船副先減俾後停俾後，依序 2 號，1 號，3 號發電機第五缸溫度逾 500 度。約 2014 時機艙人員完全撤離，輪機長通報駕駛台「準備封閉機艙釋放 CO₂」。綜合研判，2011 時至 2014 時期間，機艙發生火災並接續觸發 7 項裝備異常警報，包含主電力盤、機艙控制室、區域監控單元等。2015 時之後，VDR 停止紀錄，調查小組無從判斷火勢情況，推測 2 號進油管及回油管減震器可能先破裂；於 4 部發電機停止運轉後，3 號回油管減震器才破裂，其破裂無燃油洩漏及燃燒跡證。

綜上，調查小組研判機艙火災可能原因：滑油管內殘餘滑油從法蘭連接處洩漏並接觸到 2 號發電機渦輪增壓機排氣側引起火災，火勢延燒至發電機監控儀錶板及燃油管。

2.2 船舶保養計畫與保養標準

國際安全管理章程第 10 章有關船舶及設備之維修保養規定，船舶航運公司應建立程序書，以確保其船舶維修保養符合各種相關的規則與規範，及公司可能制定之額外要求。船舶所有人應依據此規定建立程序書並依據廠家說明書、公約/章程及公司維修政策/指南之要求，訂定有關船體、設備及機器所有項目之維修保養計畫標準，制定「船舶定期保養計畫」。

相關文件表單與記錄要據以落實定期保養及記錄其結果。各紀錄表應按時交回公司，並於船上保存備查，例如：船體定期保養計畫表、機器定期

保養計畫表、重要機器設備測試表、重要儀器或設備測試及校正表、安全設備保養紀錄表、油料使用紀錄表。

達和於民國 109 年 2 月 10 日完成最近一次年度檢查，達和航運之符合文件及船舶安全管理證書均於效期內，且發電機檢驗無異常登錄。

本節分析內容包含台船交付達和航運之保養文件、達和航運之維修保養程序及保養計畫、船舶檢驗及適航證書，分述如下。

2.2.1 台船交付達和航運之船舶保養文件

台船交船時提供給達和航運的船舶保養文件，包含船體、管路、船艙、設備布置等圖說資料，以及各裝備儀器說明書。達和之保養計畫及時程應遵照說明書之規定，確實執行裝備保養及零配件更換。達和出廠後，達和公司持續委託台船進行達和之進塢保養工作，歷次達和進塢保養時，達和也未按 DAIHATSU 技術通報及台船提供之船舶保養文件規定，更換減震器與檢查或更換發電機監控儀錶及其連通管。

台船參與調查人員表示本事故發生前，不曾收到製造商之技術通報，也不曾收到達和航運提供之技術通報（本案係指 DAIHATSU 製造商），故無法依據技術通報提供保養或更換建議給船舶所有人（本案係指台船客戶使用 DAIHATSU 製造商之船舶設備，包括達和航運及其他航運公司）。

綜上，達和 4 部發電機使用時間超過 76,000 小時，達和航運未按台船提供之保養規定及 DAIHATSU 技術通報，更換減震器，檢查或更換燃油壓力錶連通管。

2.2.2 達和航運之維修保養程序及保養計畫

事故前，達和 4 部發電機總使用時數均超過 76,000 小時，達和船上維修保養程序書規定，應依據廠家（DAIHATSU 製造商）說明書之要求實施保養計畫及維修保養標準。大副/大管輪應根據此長期計畫標準，執行月維修計畫。機艙部維修保養計畫及工作報告，每月呈送工務部，保養紀錄至少應保存 5 年。

事故前，達和的調壓閥或釋壓閥都不在維修保養計畫內，調查小組取得 1 份中國驗船中心驗船師於船上檢查時，曾對達和燃油系統部件進行系統功能性檢查之紀錄（完成年度檢驗日期 109 年 2 月 10 日），檢驗紀錄包含：機器、管路系統及其裝具，未發現異常登錄。

根據達和航運 108 年 9 月 11 日內部稽核檢查表，調查小組認為該稽核檢查表未能確實反映達和船上的實際維修保養狀態。因為「輪機/甲板機器的維修保養計畫根據公司/廠家所制訂之維修保養指引/手冊訂定之，按時執行?」、「是否依照既定的保養計劃來保養船體與設備?」、「執行保養工作都有確實的記錄?」，3 項觀察結果都是「是」。

達和航運表示，事故前達和機艙維修紀錄文件（log book）是用電腦紀錄，因電腦故障故查無電腦維修紀錄，且查無紙本的發電機的溫度與壓力紀錄。達和工務部門主管表示，達和航運民國 106 年以前以紙本保存各輪相關文件，且逾 5 年保存期限之文件已依規定辦理焚銷，無法確認達和發電機燃油系統關鍵組件²⁴是否曾經更換或測試之紀錄。達和航運不曾收到 DAIHATSU 製造商更換減震器的技術通報，惟 108 年 11 月 18 日曾收到一份技術通報（與本案無關）。

據此，調查小組發現達和航運的船舶保養缺失，包括：

²⁴ 經查包含：減震器、燃油釋壓閥、燃油壓力錶連通管、循環泵安全閥與控制閥。

- (1) 達和航運之船上維修保養程序書及維修計畫欠周延。保養紀錄未按規定保存；未確實按照台船提供文件保養發電機系統相關組件。
- (2) 達和航運未確實建立機制處置 DAIHATSU 發電機製造商之技術通報，亦未按技術通報更換減震器並包覆防護罩，可能因減震器破裂而助長火災之風險（由於燃油洩漏可能引起火災等嚴重失事，請參技術通報GS09-11B）。

根據訪談紀錄及歷次技術會議討論，並查閱 DAIHATSU 網站，DAIHATSU 可能未主動提供發布，DK 系列柴油發電機技術通報內容予台船公司及達和航運，導致達和未更換及包覆減震器。

綜上，達和航運船上維修保養程序書、發電機保養計畫、技術通報處理機制欠周延，增加船舶航行風險。

2.2.3 船舶檢驗及適航證書

達和為國籍船舶，其適航性船舶檢查及各項國際公約規定之船舶檢驗及證書之發給由交通部委託中國驗船中心執行達和之檢驗與發證。

依據中國驗船中心提供之機器連續檢驗（MCS）文件紀錄，中國驗船中心根據 ISM Code 評鑑稽核達和船上維修保養程序書及保養計畫；另檢驗項目紀錄包含機器設備與管路系統及其附屬配件與功能等減震器、發電機燃油釋壓閥、燃油壓力錶連通管、燃油系統循環泵安全閥與控制閥等。

事故前，達和機艙燃油管路所配置之減震器於船舶建造時即依當時發電機製造商 DAIHATSU 規劃裝設原始舊型減震器而無保護套；自 104 年以來，達和航運又未依 DAIHATSU 技術通報之建議更換減震器並安裝保護套予以適當防護。當減震器破裂時燃油可能噴灑至熱表面/高溫表面，或其他易燃源頭引起火災或爆炸。如果達和航運及台船掌握 DAIHATSU 發電機製

造商之技術通報，按其規定將減震器換新，並加上保護套，或許可以降低機艙火災燃燒情況。

本案究其根源，IMO 國際法規及我國航政主管機關未要求發電機製造商（本案指 DAIHATSU）應主動發布技術通報給船舶所有人，及船舶製造商（本案指台船），以共同確保船舶航行安全。

航港局參與技術會議代表於 111 年 4 月 22 日提供書面意見：航政機關 ISM 管理之主體應為船舶所有人，對於發電機製造商尚無直接管理權責，且船上主、輔機及設備廠商眾多，逐一要求主動發布技術通報給船舶所有人及船舶製造商尚不可行，建議將「航政主管機關」改為「我國法令」，避免敘述現況致生航政主管機關無積極作為之慮。

綜上，我國航政主管機關應重視 DAIHATSU DK 系列發電機技術通報衍生之隱患，可能導致國籍船舶於運行中遭遇發電機失效之風險。

2.3 2 號發電機上方滑油管法蘭鬆脫

109 年 1 月 9 日至 2 月 24 日期間，達和輪機員巡查時未發現機艙洩漏滑油現象，亦無機艙異常登錄事項。事故數日後達和船上人員，在 2 號發電機下方找到 3 根斷裂螺栓並交給本會調查小組。

依據訪談紀錄及機艙勘查紀錄，達和機艙發電機上方的滑油管路以法蘭連接，法蘭連接處未遮蔽或予適當防護，事故前查無滑油管路及法蘭維修紀錄。調查小組查無螺栓原始設計規範，斷裂螺栓硬度差異頗大。

依據國立臺灣大學「達和輪螺栓斷裂破損機制分析」報告，螺栓表面有一層防蝕鍍鋅層，惟此鍍層有剝裂或是消失，以致螺紋面有局部剝落鏽蝕現象。3 根螺栓破壞型態相似，在螺紋根部發現疲勞裂紋，然而有些區域之疲勞裂紋僅深數百 μm ，緊鄰韌窩組織，有些區域之疲勞裂紋則較深入，甚至與韌窩夾雜存在的情況，經研判應為延性的穿晶斷裂。3 根螺栓斷裂面之

金相組織未出現再結晶現象，顯示未受高溫影響；另無螺栓原始設計及製造品管資料，且斷裂螺栓硬度差異頗大，無法斷定螺栓的原始機械性質。

綜上，達和機艙發電機上方的滑油管路以法蘭連接，法蘭連接處未遮蔽或予適當防護。調查小組研判，2 號發電機上方滑油管之殘餘滑油從法蘭連接處洩漏，法蘭螺栓斷裂導致滑油洩漏可能原因，包括：船舶震動、安裝不當、螺栓受力不均，及金屬疲勞。

第 3 章 結論

3.1 與可能肇因有關之調查發現

1. 2 號發電機上方滑油管之殘餘滑油從法蘭連接處洩漏，接觸到 2 號發電機渦輪增壓機排氣側引起火災，火勢延燒至發電機監控儀錶板及燃油管。
(1.5、1.7、1.8、1.9、2.1)
2. 法蘭螺栓斷裂導致殘餘滑油洩漏可能原因，包括：船舶震動、安裝不當、螺栓受力不均，及金屬疲勞。(1.5、2.3)
3. 3 具減震器破裂為內部壓力過大造成快速破壞形貌，內部壓力過大是因內部氮氣受熱膨脹，或可能燃油滲入減震器內部發生自燃爆炸。(1.6.3、1.8.1、1.8.5、2.1.2)

3.2 與風險有關之調查發現

1. 達和機艙發電機上方的滑油管路以法蘭連接，法蘭連接處未遮蔽或予適當防護。(1.5、2.3)
2. 達和 4 部發電機使用時間超過 76,000 小時，達和航運未按 DAIHATSU 提供之維修保養規定及技術通報，更換減震器，檢查或更換燃油壓力錶連通管。(1.6.1、1.6.3、2.2.1)
3. 達和航運船上維修保養程序書、發電機保養計畫、技術通報處理機制欠周延，增加船舶航行風險。(1.4、1.6.3、2.2.2)
4. IMO 國際法規及我國航政主管機關未要求發電機製造商應主動發布技術通報給船舶所有人及船舶製造商，以共同確保船舶航行安全。(1.4、1.10、2.2.3)
5. DAIHATSU 可能未主動提供發布 DK 系列柴油發電機技術通報內容予

台船公司及達和航運，導致達和未更換及包覆減震器。(1.6.3、1.9.5、1.9.6、2.2.3)

3.3 其他調查發現

1. 排除天氣及海象因素、人為縱火、電氣故障起火、摩擦生熱起火、靜電起火及外力撞擊減震器起火之可能性。(1.2、1.4、1.8.1、2.1)
2. 達和燃油總管、釋壓閥、控制閥及安全閥均運行正常，排除燃油總管壓力異常增高，導致3具減震器破裂之可能性。(1.4、1.8.4、1.8.5、2.1)
3. 達和於民國109年2月10日完成最近一次年度檢查，達和航運之符合文件及船舶安全管理證書均於效期內，且發電機檢驗無異常的登錄。(1.9、1.10、2.2.2)
4. 中國驗船中心根據ISM Code評鑑稽核達和船上維修保養程序書及保養計畫；另檢驗紀錄包含機器設備與管路系統，及其附屬配件與功能等。(1.9、1.10、2.2.3)
5. 達和航運民國106年以前以紙本保存各輪相關文件，且逾5年保存期限之文件已依規定辦理焚銷，無法確認達和發電機燃油系統關鍵組件是否曾經更換或測試之紀錄。(1.9、2.2.1、2.2.2)

第 4 章 運輸安全改善建議

4.1 改善建議

致 DAIHATSU DIESEL MFG. CO., LTD

1. 研擬辦法並主動發布發電機技術通報給船舶製造商及船舶所有人。
(TTSB-MSR-22-09-001)

致達和航運股份有限公司

1. 落實船舶安全管理制度，確實依據製造商技術文件制定保養計畫，並據以執行。(TTSB-MSR-22-09-002)

致財團法人中國驗船中心

1. 執行船舶稽核或檢驗時，確保國輪參照 DAIHATSU 技術通報內容，進行 DK 系列柴油發電機之減震器更換或保養，以降低潛在風險。
(TTSB-MSR-22-09-003)

致交通部航港局

1. 督導達和航運股份有限公司提出具體維修作為，以落實船舶安全管理制度。(TTSB-MSR-22-09-004)
2. 要求國輪船舶所有人，應參照 DAIHATSU DK 系列柴油發電機之技術通報內容，進行 DK 系列柴油發電機之減震器更換或保養，以降低潛在風險。(TTSB-MSR-22-09-005)

4.2 達和航運進行之改善措施

1. 達和航運所屬船隊所用各項裝備秉「狀態保養(CBM)」原則，檢討列管；並已建立電子化保養記錄，以利存管及後續維修參據運用。

2. 加強訪船力度，積極輔導船端落實各類應急演習與裝備故障處理程序，俾有效提升船隊安全管理成效。

船舶資料

船名：	達和
IMO 編號：	9279824
電臺呼號：	BNJH
船舶管理公司：	達和航運股份有限公司
船舶所有人：	達和航運股份有限公司
船旗國：	中華民國
船籍港：	基隆港
船舶用途：	水泥專用船
船體質料：	鋼材
船長：	123.47 公尺
船寬：	24 公尺
舳部模深：	10 公尺
總噸位：	9037
船舶建造完成日：	民國 93 年 1 月
檢查機構：	財團法人中國驗船中心
發電機種類/馬力：	DAIHATSU 6DK-20 /860 瓩 x 900 RPM x 1 DAIHATSU 6DK-26 /1710 瓩 x 720 RPM x 3
發電機出廠日：	民國 92 年 6 月
船員最低安全配額：	15 人
安全設備人員配置：	25 人

附 錄

附錄 1 金屬中心減震器分析報告

附錄 2 內政部消防署臺中港務消防隊火災調查報告

附錄 3 達和輪螺栓斷裂破損機制分析技術報告

附錄 4 釋壓閥及安全閥檢測報告

附錄 5 中國驗船中心之減震器爆裂分析報告

附錄 6 達和船上維修保養規定及機器持續檢驗項目紀錄

附錄 1 金屬中心減震器分析報告

工令編號(Job No.):L09SE030-0043



金屬工業研究發展中心

檢測技術發展組

減震器分析

工令編號:L09SE030-0043

中華民國 109 年 8 月

一、前言

國家運輸安全調查委員會送來達和輪 2 號發電機進油端及回油端、3 號發電機回油端及正常品的減震器(照片一),運安會欲了解此減震器原因,遂委託本中心進行破損分析。



照片一：減震器外觀

二、測試項目

(1) 外觀檢視、(2) 化學成分分析、(3) 硬度分析 (4) 金相組織、

三、試驗結果

(1) 外觀檢視

由減震器外觀顯示, 2 號發電機進油端、回油端減震器與 3 號發電機回油端有縱向裂痕生成, 減震器斷裂面呈現快速破壞形貌 (照片二至照片六)



照片二：2號發電機進油端與回油端減震器外觀



照片三：3號發電機回油端與正常品整體外貌



照片四：2號發電機進油端減震器斷面呈現快速破壞形貌



照片五：2號發電機回油端減震器斷面呈現快速破壞形貌



照片六：3 號發電機回油端減震器斷面呈現快速破壞形貌

(2) 化學成分分析

使用分光分析儀進行減震器之成分分析，其結果如下表所示。此四個減震器（2 號進油端、2 號回油端、3 號回油端與正常品）材質皆相同，符合 CNS 9278 G3195 SPCC 規範規定，此材質屬於低碳鋼材質。

樣品編號	C	Si	Mn	P	S
2號進油端	0.11	0.07	0.48	0.01	0.003
2號回油端	0.11	0.07	0.47	0.01	0.003
3號回油端	0.11	0.06	0.47	0.01	0.003
正常品	0.11	0.07	0.47	0.01	0.003
SPCC	≤0.15	-	≤1.0	≤0.1	≤0.035

(3) 硬度分析

使用維氏硬度機進行減震器（破裂處與正常處）之硬度測試，結果如下表所示。由表顯示 2 號進油端破裂處硬度（201HV）稍低於其餘六處硬度（213-218HV）約 17HV 以下。

樣品編號	硬度值(HV0.3)					平均值(HV0.3)
2號進油端破裂處	198	199	197	205	208	201
2號進油端正常處	220	209	225	218	219	218
2號回油端破裂處	207	219	214	218	210	214
2號回油端正常處	219	213	211	210	219	214
3號回油端破裂處	211	217	204	215	216	213
3號回油端正常處	219	200	208	218	219	213
正常品	218	217	220	219	216	218

(4) 金相組織

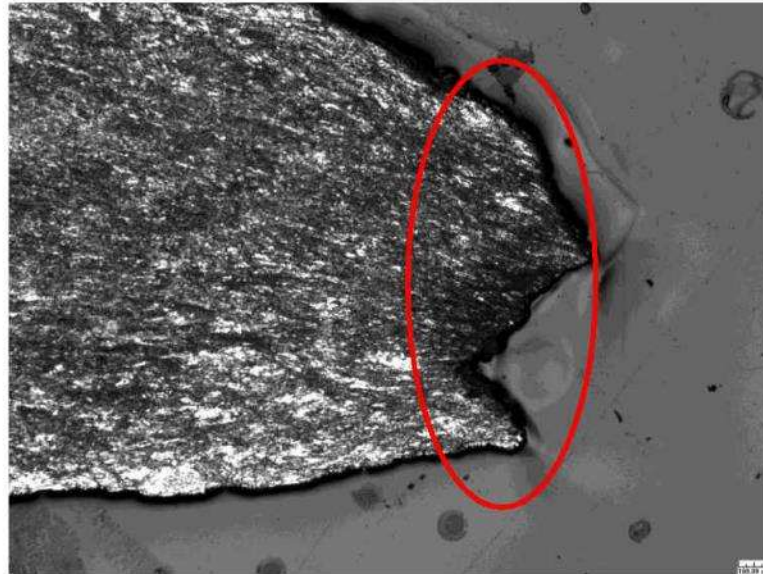
取減震器破裂面與正常處(破裂面之180°方位)以及正常品進行金相組織分析,2號進油端破裂處呈現撕裂狀破壞型態,晶粒變形伸長(照片七與照片八),心部組織為肥粒鐵與波來鐵組織,波來鐵有輕微球化趨勢(照片九與照片十);正常處為肥粒鐵與波來鐵組織(照片十一與照片十二)。

2號回油端破裂處呈現撕裂狀破壞型態,晶粒變形伸長(照片十三與照片十四),心部組織為肥粒鐵與波來鐵組織,(照片十五與照片十六);正常處為肥粒鐵與波來鐵組織(照片十七與照片十八)。

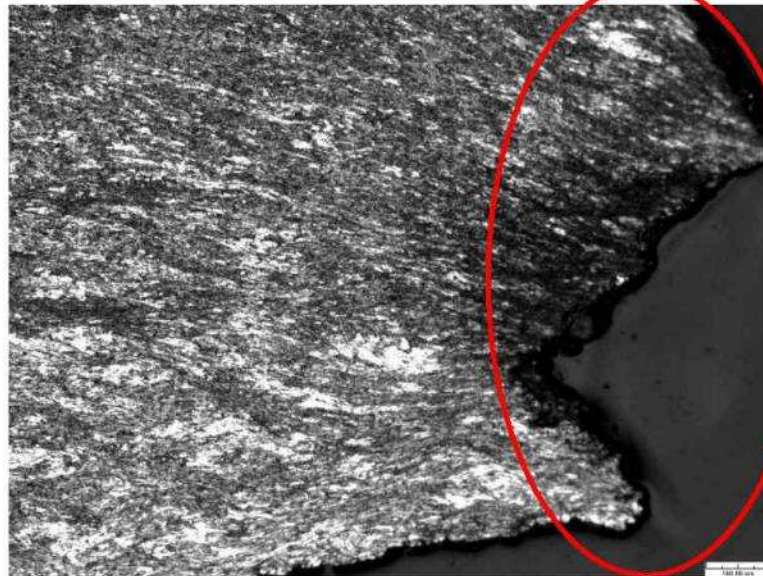
3號回油端破裂處呈現撕裂狀破壞型態,晶粒變形伸長(照片十九與照片二十),心部組織為肥粒鐵與波來鐵組織(照片二十一與照片二十二);正常處為肥粒鐵與波來鐵組織(照片二十三與照片二十四)。

正常品心部組織為肥粒鐵與波來鐵組織(照片二十五與照片二十六)。

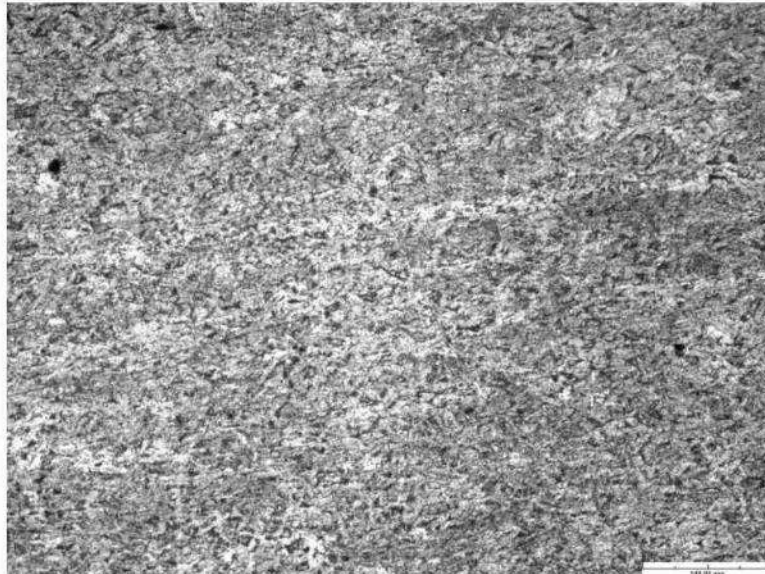
比對四個減震器金相組織,2號進油端、2號回油端、3號回油端之破裂處現撕裂狀破壞型態,晶粒變形伸長,2號進油端的波來鐵有輕微球化現象,正常處皆為肥粒鐵與波來鐵組織。而正常品組織為肥粒鐵與波來鐵組織,波來鐵為無球化現象。



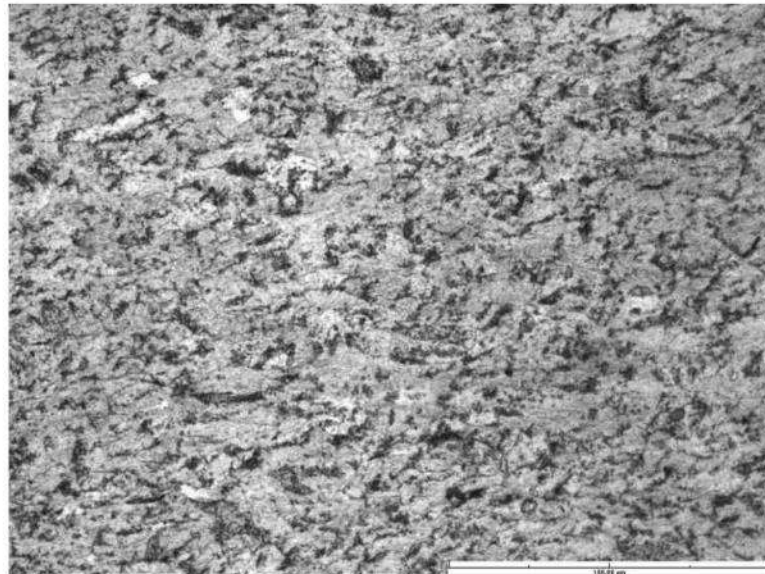
照片七：2 號進油端破裂處呈現撕裂狀破壞型態，晶粒變形伸長(圓圈處)，倍率 50X



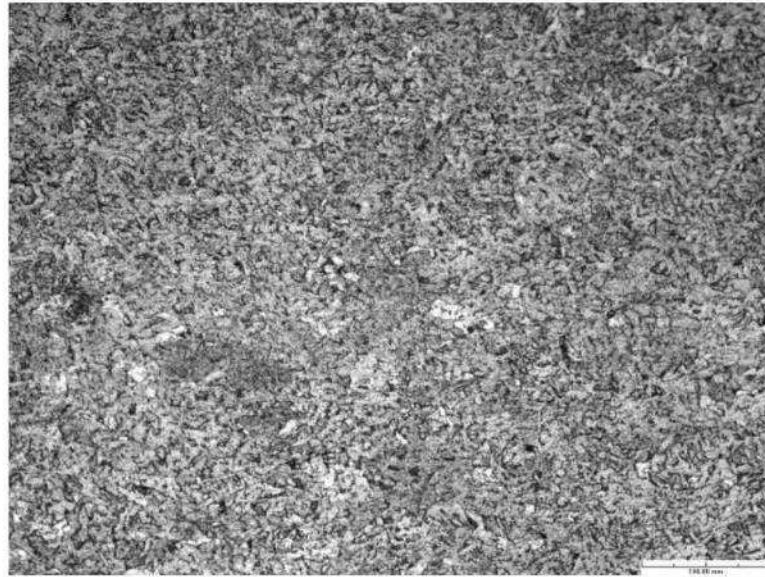
照片八：2 號進油端破裂處呈現撕裂狀破壞型態，晶粒變形伸長(圓圈處)，倍率 100X



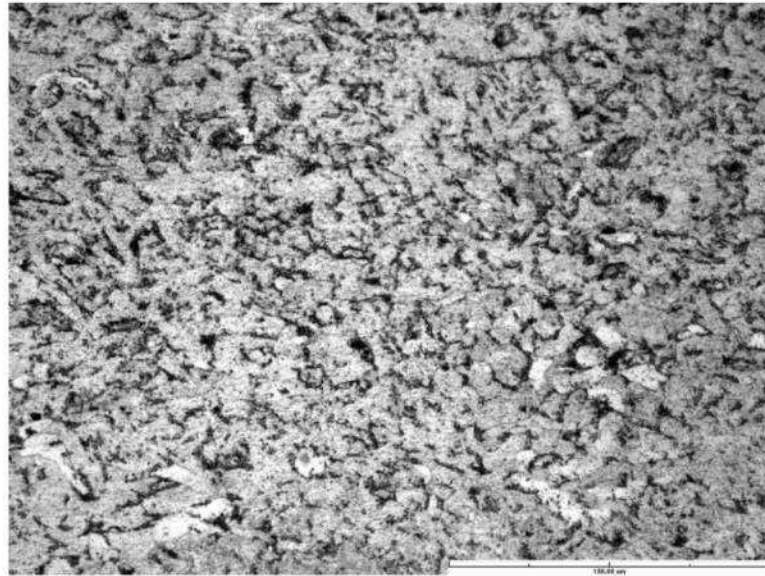
照片九：2 號進油端破裂處為肥粒鐵與波來鐵組織，波來鐵輕微球化，倍率 200X



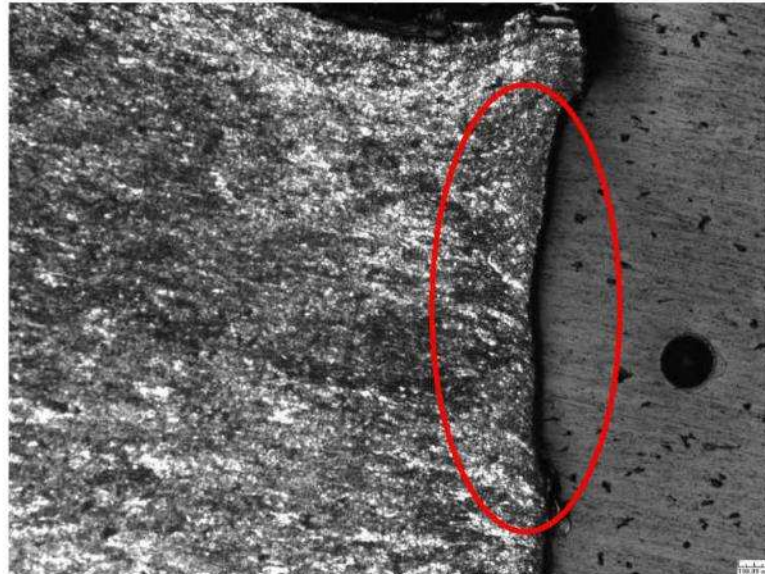
照片十：2 號進油端破裂處為肥粒鐵與波來鐵組織，波來鐵輕微球化，倍率 500X



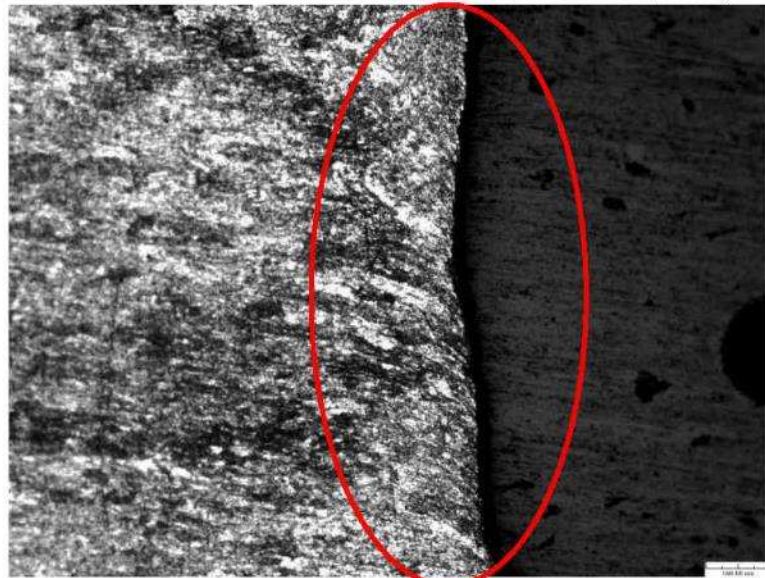
照片十一：2 號進油端正常處為肥粒鐵與波來鐵組織，波來鐵輕微球化，倍率 200X



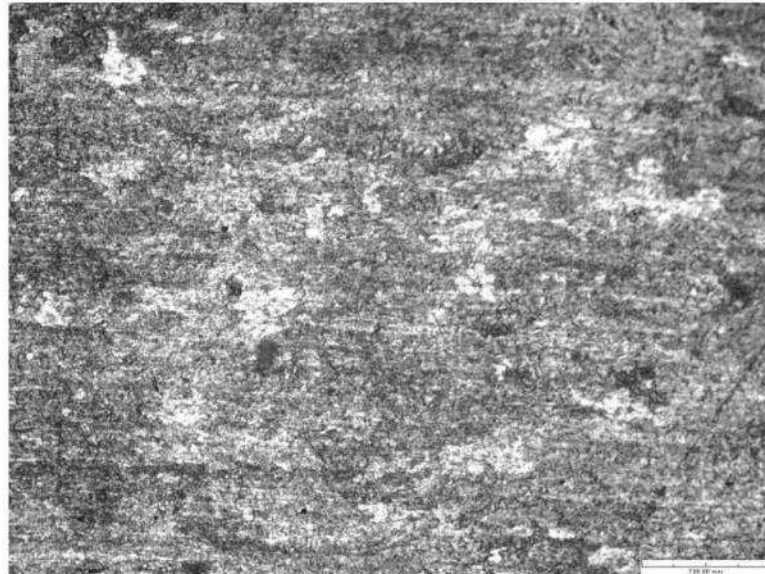
照片十二：2 號進油端正常處為肥粒鐵與波來鐵組織，波來鐵輕微球化，倍率 500X



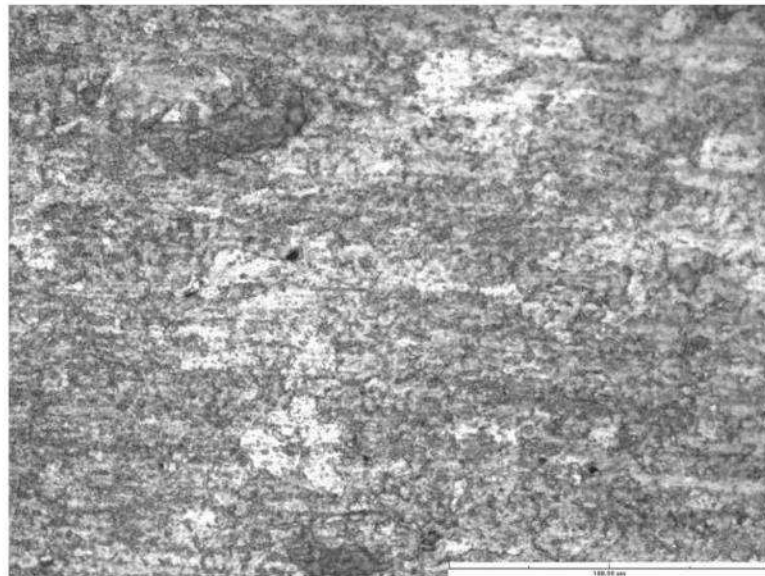
照片十三：2 號回油端破裂處為肥粒鐵與波來鐵組織，晶粒變形伸長(圓圈處)，倍率 50X



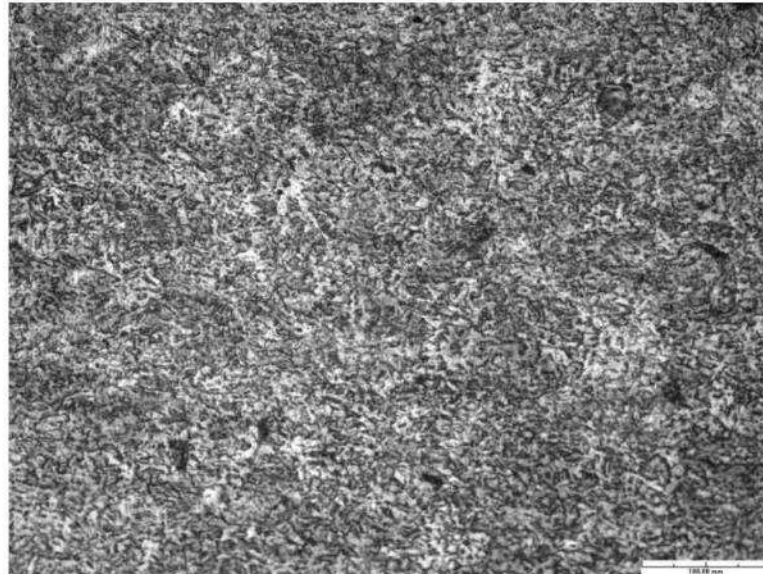
照片十四：2 號回油端破裂處呈現撕裂狀破壞型態，晶粒變形伸長(圓圈處)，倍率 100X



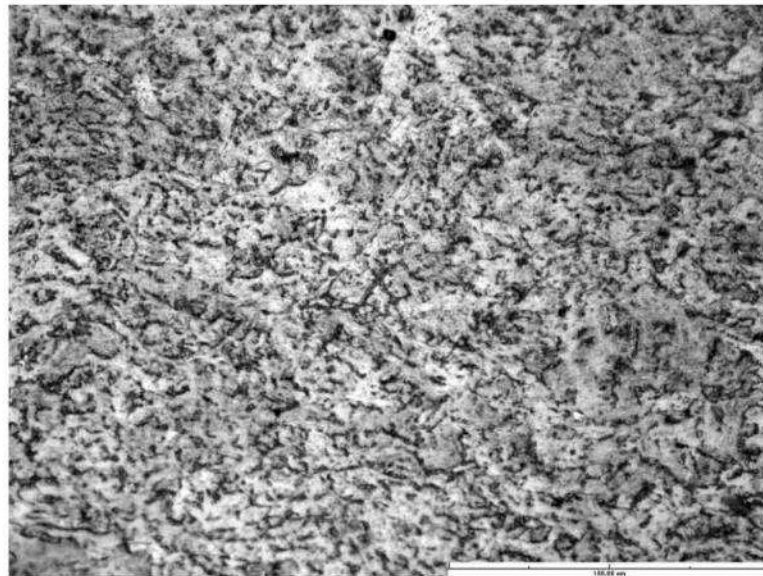
照片十五：2 號回油端破裂處為肥粒鐵與波來鐵組織，倍率 200X



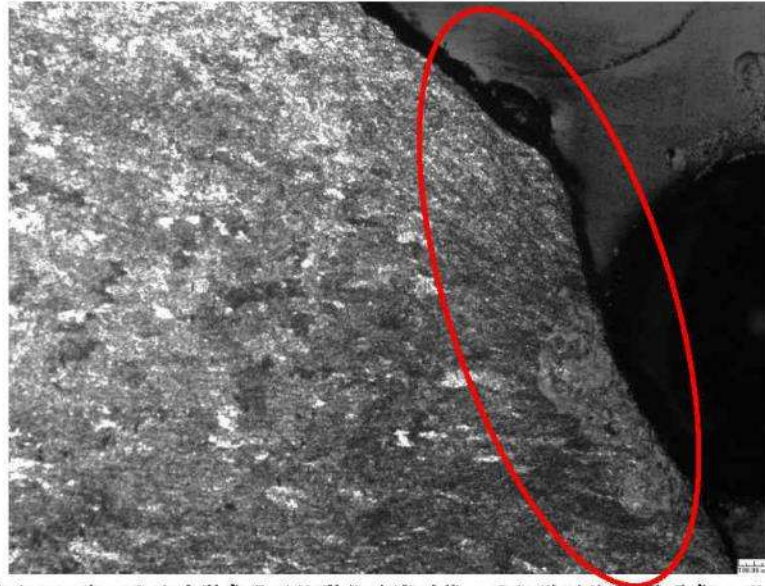
照片十六：2 號回油端破裂處為肥粒鐵與波來鐵組織，倍率 500X



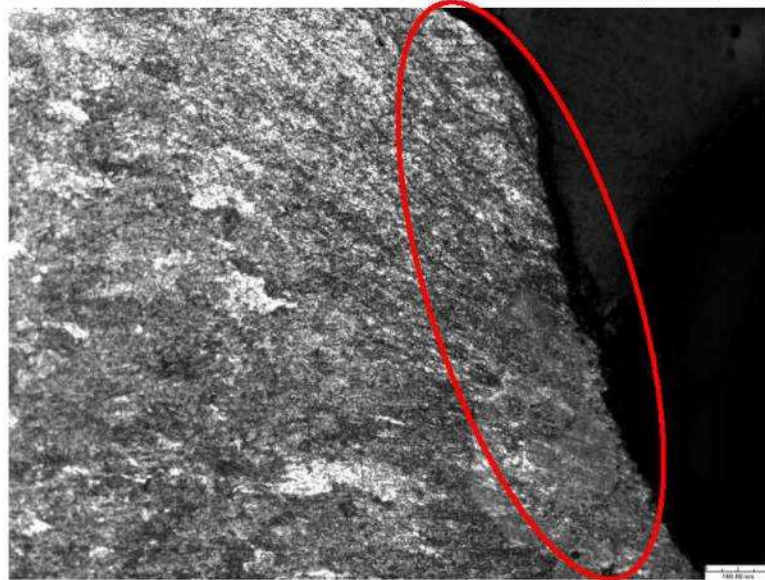
照片十七：2 號回油端正常處為肥粒鐵與波來鐵組織，倍率 200X



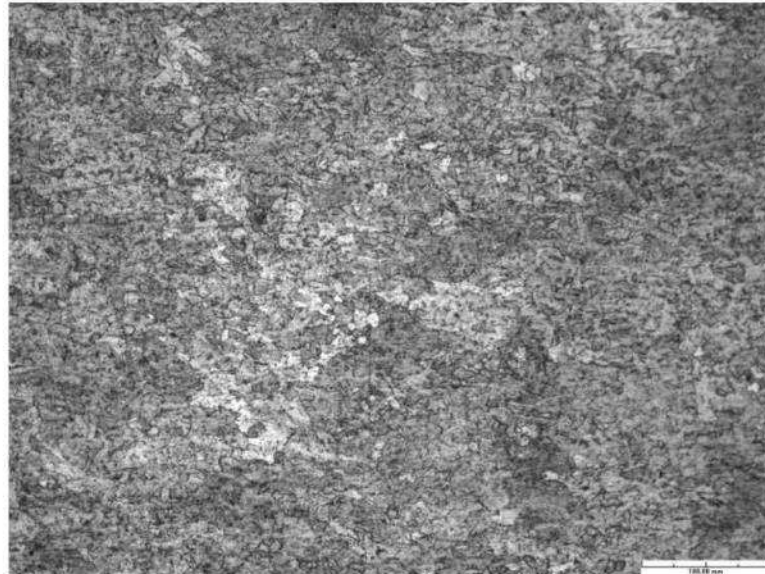
照片十八：2 號回油端正常處為肥粒鐵與波來鐵組織，倍率 500X



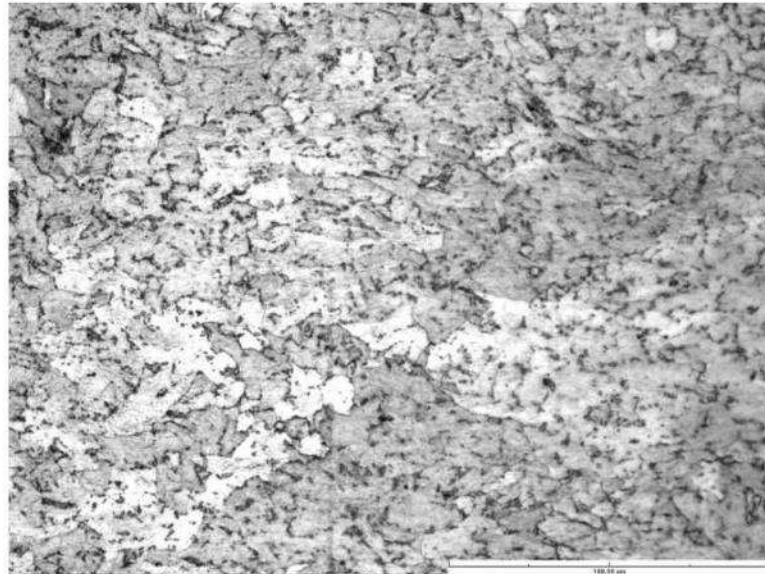
照片十九：3 號回油端破裂處呈現撕裂狀破壞型態，晶粒變形伸長(圓圈處)，倍率 50X



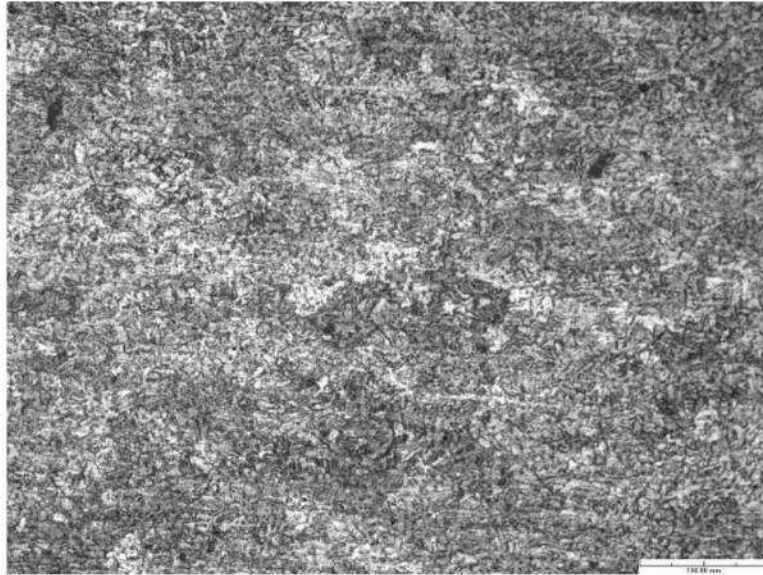
照片二十：3 號回油端破裂處呈現撕裂狀破壞型態，晶粒變形伸長(圓圈處)，倍率 100X



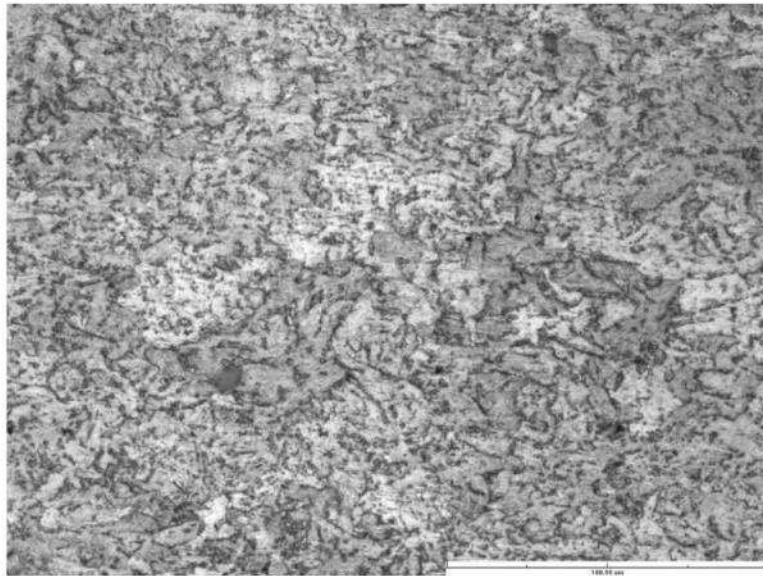
照片二十一：3 號回油端破裂處為肥粒鐵與波來鐵組織，倍率 200X



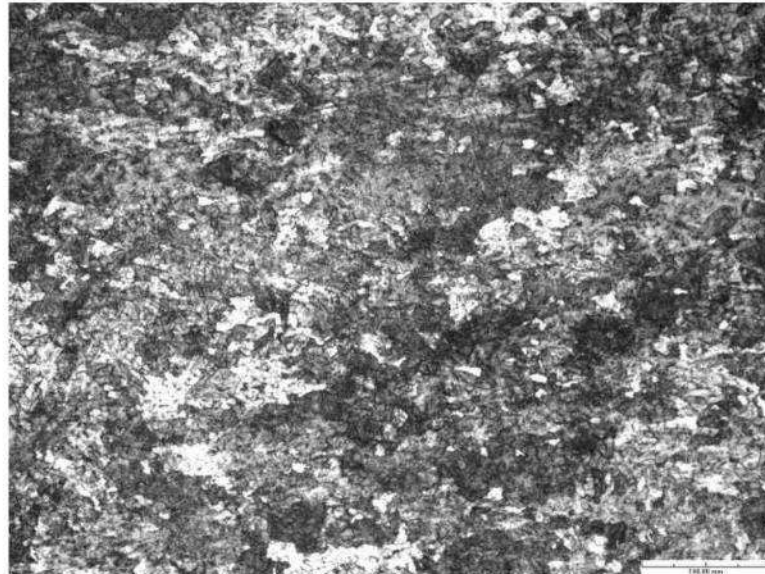
照片二十二：3 號回油端破裂處為肥粒鐵與波來鐵組織，倍率 500X



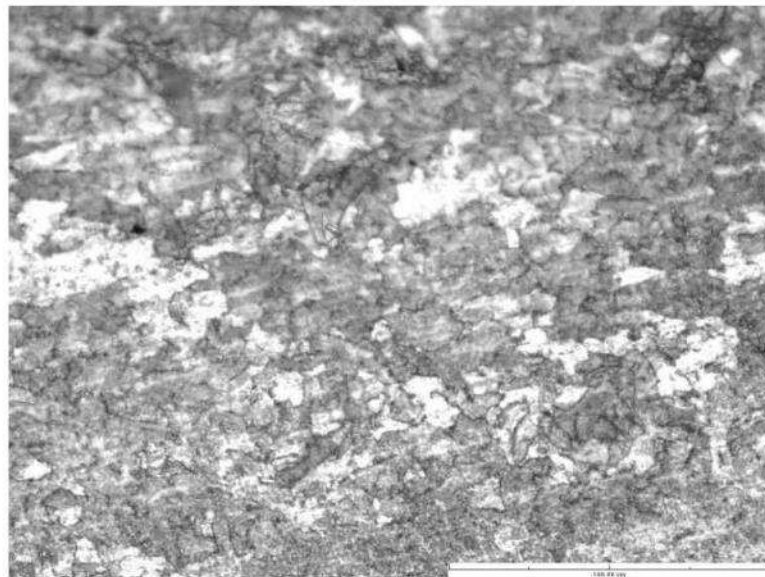
照片二十三：3 號回油端正常處為肥粒鐵與波來鐵組織，倍率 200X



照片二十四：3 號回油端正常處為肥粒鐵與波來鐵組織，倍率 500X



照片二十五：正常品心部為肥粒鐵與波來鐵組織，倍率 200X



照片二十六：正常品心部為肥粒鐵與波來鐵組織，倍率 500X

四、結果與討論

- (一) 檢視減震器整體外觀，2 號發電機進油端、回油端減震器與 3 號發電機回油端有縱向裂痕生成，減震器斷裂面呈現快速破壞形貌。
- (二) 減震(2 號進油端、2 號回油端、3 號回油端與正常品)材質皆相同，符合 CNS 9278 G3195 SPCC 規範規定，此材質屬於低碳鋼材質。
- (三) 硬度測試，2 號進油端破裂處硬度(201HV)稍低於其餘六處硬度(213-218HV)約 17HV 以下。
- (四) 金相組織分析，比對四個減震器金相組織，2 號進油端、2 號回油端、3 號回油端之破裂處現撕裂狀破壞型態，晶粒變形伸長，2 號進油端的波來鐵有輕微球化現象，正常處皆為肥粒鐵與波來鐵組織。而正常品組織為肥粒鐵與波來鐵組織，波來鐵為無球化現象。
- (五) 由上述測試結果顯示為減震器受到外部火源燃燒後，其機械性質並無衰減現象，顯示減震器無受高溫火源而影響其強度；至於 2 號發電機進油端、回油端減震器與 3 號發電機回油端之縱向裂痕顯示應由於內部壓力過大所造成快速破壞形貌。

— 本文結束 —

附錄 2 內政部消防署臺中港務消防隊火災調查報告

內政部消防署臺中港務消防隊提供火災調查資料內容

編號：中港消預字第 1090400098 號

起火地點	達和輪
起火處	輪機艙層編號 2 號發電機南側上方廢氣排氣管處
起火原因	無法排除編號 2 發電機南側廢氣排氣管上方滑油管鬆脫後，管內殘留之滑油灑落至發電機廢氣排氣管引火之可能性。
「火災調查資料」項目如上。	
109 年 4 月 15 日	

填載說明：

- 1.起火時間以第一次受理報案時間為原則。
- 2.起火地點係指實際發生火災地為原則。

內政部消防署臺中港務消防隊現場照相資料用紙



照片 1 由東往西

說明:起火船舶為停靠 12 號碼頭，達和航運公司水泥專用船達和輪，勘查達和輪東側船體，無火煙受燒痕跡。



照片 2 由南往北

說明:勘查達和輪鍋爐間南側水密門呈現開啟狀態且門內面無火煙受燒痕跡(圖圈處)，經詢問船上人員，該門航行時為通風原因未於航行中關閉。

內政部消防署臺中港務消防隊現場照相資料用紙



照片 3 由南往北

說明:勘查達和輪鍋爐間配電盤，內部塑件受熱軟化，內部無煙熏痕跡，火災時呈現關閉狀態。



照片 4 由南往北

說明:勘查達和輪鍋爐間鍋爐，火煙受燒痕跡呈現右下向左上方向(箭頭處)。

內政部消防署臺中港務消防隊現場照相資料用紙



照片 5 由北往南

說明: 勘查發電機室往鍋爐間樓梯棧板, 其外觀受燒隆起變形(上方圓圈處), 下方棧板旁管路油漆受燒嚴重氧化變色(下方圓圈處)。



照片 6 由東往西

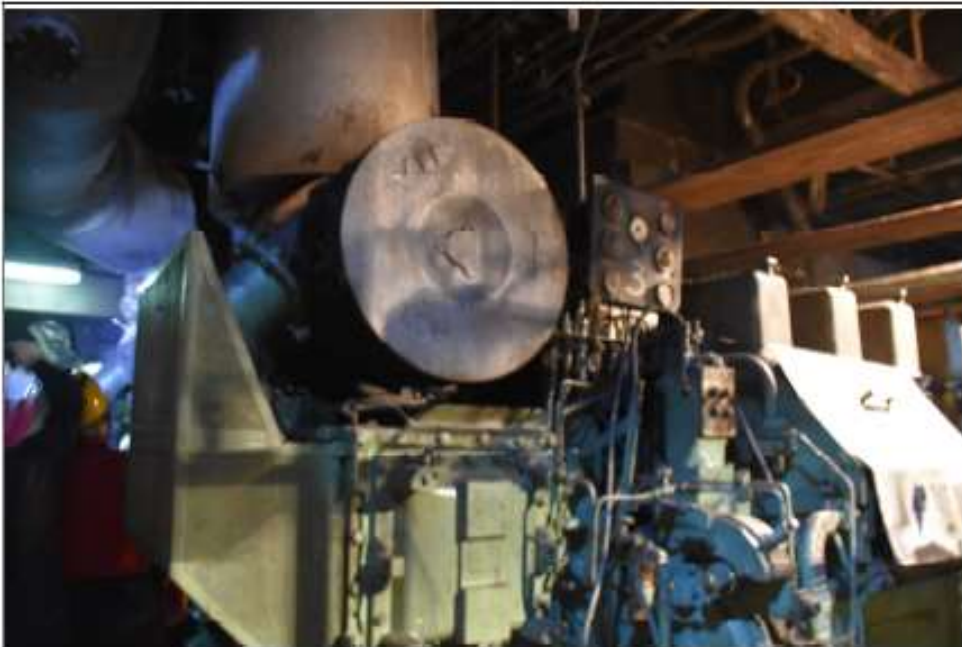
說明: 勘查發電機室往鍋爐間樓梯, 受燒氧化變色。

內政部消防署臺中港務消防隊現場照相資料用紙



照片 7 由東南往西北

說明：勘查輪機艙層之發電機室編號 4 發電機東側，整台發電機機身無火煙受燒痕跡。



照片 8 由東南往西北

說明：勘查發電機室編號 3 發電機東側，整台發電機機身無火煙受燒痕跡。

內政部消防署臺中港務消防隊現場照相資料用紙



照片 9 由西北往東南

說明：勘查發電機室編號 3 發電機北側，外觀無明顯受燒痕跡。比較編號 2 與編號 3 發電機，發現編號 2 發電機(左箭頭處)較編號 3 發電機(右箭頭處)受燒嚴重。



照片 10 由東南往西北

說明：勘查發電機室編號 2 與編號 1 發電機中間走廊，靠南側上方照明燈受燒脫落且照明燈塑膠材質及燈管已燒失(箭頭處)。

內政部消防署臺中港務消防隊現場照相資料用紙



照片 11 由北往南

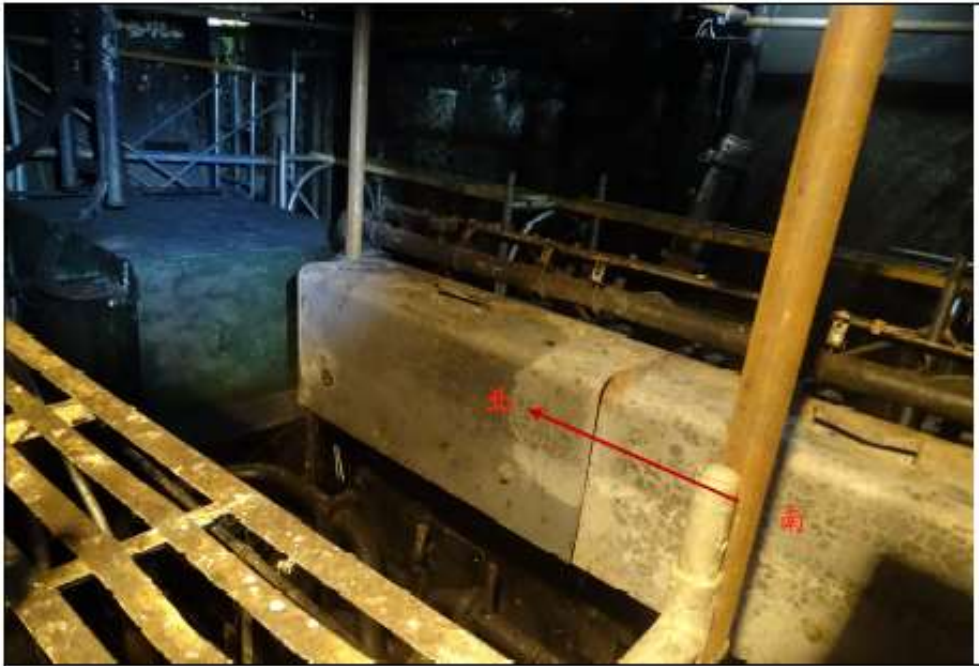
說明：勘查發電機室編號 1 發電機北側機體，無明顯受燒痕跡。



照片 12 由西往東

說明：勘查發電機室編號 1 發電機北側機體靠南處(左箭頭處)，為油漆煙燒黑處。南側機體欄杆處有燒銹痕跡(右箭頭處)。

內政部消防署臺中港務消防隊現場照相資料用紙



照片 13 由西南往東北

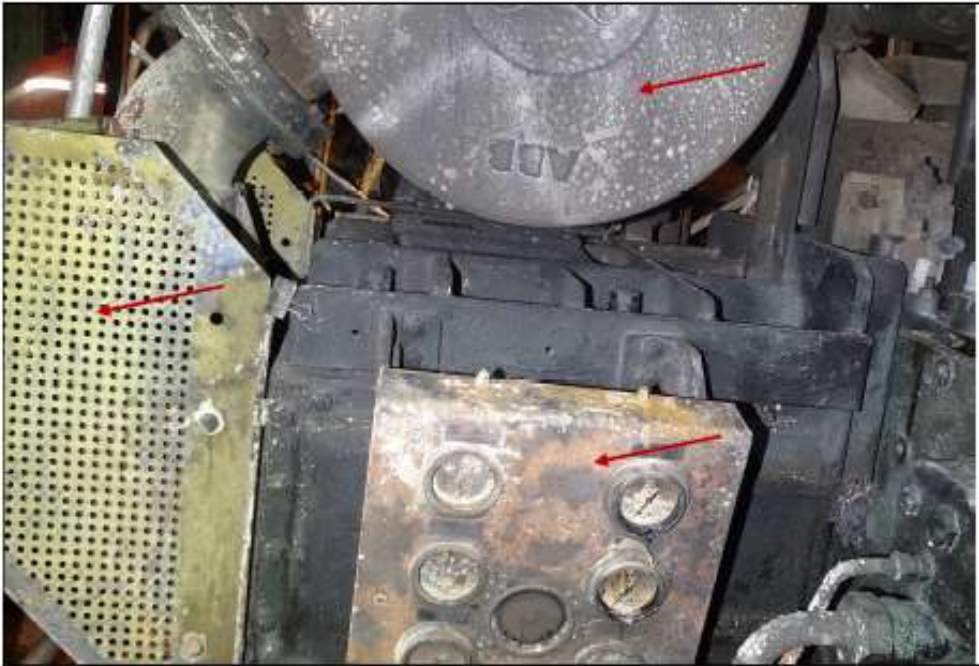
說明：勘查發電機室編號 1 發電機西側機體，機體受燒痕跡南側較北側受燒嚴重（箭頭方向）。



照片 14 由西南往東北

說明：勘查發電機室編號 1 發電機西側機體，廢氣排氣管（左箭頭處）無受燒痕跡及油漬痕跡，西南側保護鐵柵受燒變色（右箭頭處）。

內政部消防署臺中港務消防隊現場照相資料用紙



照片 15 由東往西

說明：勘查發電機室編號1發電機東側機體，儀表板受燒變色(下方箭頭處)，東南側保護鐵柵受燒後保有原油漆色(左箭頭處)，排氣濾網保護罩受燒燻黑(上方箭頭處)。



照片 16 由東往西

說明：勘查發電機室編號2發電機東南側機體，儀表板儀表受燒變形變色(右箭頭處)，南側排氣濾網保護罩下方受燒變色(圓圈處)。

內政部消防署臺中港務消防隊現場照相資料用紙



照片 17 由南往北

說明：勘查發電機室編號 2 發電機西側機體，受燒變色(右箭頭處)，編號 3 發電機東側機體無受燒痕跡(左箭頭處)，兩機中間走廊上方照明燈塑膠材質受燒後已燒失(圓圈處)。



照片 18 由西北往東南

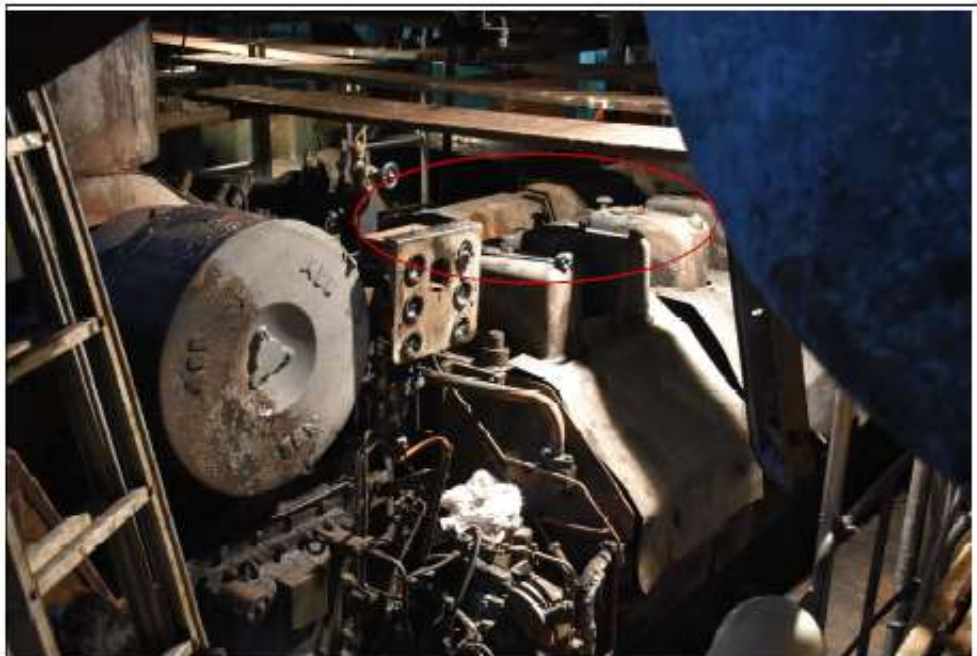
說明：勘查發電機室編號 2 發電機西北側上方照明燈，塑膠材質受燒後燒熔(圓圈處)。

內政部消防署臺中港務消防隊現場照相資料用紙



照片 19 由西南往東北

說明：勘查發電機室編號 2 發電機西側機體，上方處受燒變色(圓圈處)，下方處無明顯受燒痕跡(箭頭處)。



照片 20 由東南往西北

說明：勘查發電機室編號 2 發電機東側機體，儀表板儀表受燒變形變色，西側上方汽缸蓋受燒燒蝕(圓圈處)。

內政部消防署臺中港務消防隊現場照相資料用紙



照片 21 由東南往西北

說明: 勘查發電機室編號 2 發電機東側機體，汽缸保護蓋受燒燒鏽及變形(圓圈處)。



照片 22 由北往南

說明: 勘查發電機室編號 2 發電機北側機體，發電機燃油壓力調整球破裂(圓圈處)。

內政部消防署臺中港務消防隊現場照相資料用紙



照片 23 由東北往西南

說明：勘查發電機室編號 2 發電機北側機體，發電機燃油壓力調整球破裂(圓圈處)。



照片 24 由東南往西北

說明：勘查發電機室編號 2 發電機北側配電箱，有發電機燃油壓力調整球破裂後燃油噴濺痕跡(圓圈處)。

內政部消防署臺中港務消防隊現場照相資料用紙



照片 25 由東往西

說明：勘查發電機室編號2發電機南側儀表板下方，發現另一發電機燃油壓力調整球亦有破裂情形(圓圈處)。



照片 26 由上往下

說明：勘查發電機室編號2發電機南側儀表板另一發電機燃油壓力調整球下方地板發現受燒燒鏽痕跡(圓圈處)。

內政部消防署臺中港務消防隊現場照相資料用紙



照片 27 由南往北

說明：勸查發電機室編號 2 發電機廢氣排氣管處，發現汽缸保護蓋受燒燒銹痕跡(圓圈處)。



照片 28 由東往西

說明：勸查發電機室編號 2 發電機南側廢氣排氣管處，有受燒燒銹痕跡(圓圈處)。

內政部消防署臺中港務消防隊現場照相資料用紙



照片 29 由西往東

說明：勘查發電機室編號 2 發電機南側廢氣排氣管處，有殘留油漬痕跡(圓圈處)。



照片 30 由西往東

說明：勘查發電機室編號 3 發電機南側廢氣排氣管處，未發現殘留油漬痕跡(圓圈處)。

內政部消防署臺中港務消防隊現場照相資料用紙



照片 31 由西往東

說明：勸查發電機室編號4發電機南側廢氣排氣管處，未發現殘留油漬痕跡(圓圈處)。



照片 32 由下往上

說明：勸查發電機室編號2發電機南側廢氣排氣管處上方，發現鬆脫的滑油管管路(圓圈處)。

內政部消防署臺中港務消防隊現場照相資料用紙



照片 33 由下而上

說明：勘查發電機室編號 2 發電機南側廢氣排氣管處上方，發現鬆脫的滑油管管路(圓圈處)。



照片 34 由下而上

說明：發電機室編號 2 發電機南側廢氣排氣管處上方，鬆脫的滑油管管路鄰近的未鬆脫管路(箭頭處)。

內政部消防署臺中港務消防隊現場照相資料用紙



照片 35 由下往上

說明：二氧化碳滅火設備放射後情形(箭頭處)。



照片 36 由下往上

說明：二氧化碳滅火設備放射後情形(箭頭處)。



照片 37 由上往下

說明：輪機長於消防間啟動二氧化碳滅火系統之機艙釋放控制箱。



照片 38 上往下

說明：消防間啟動二氧化碳滅火系統之機艙釋放控制箱，啟動鋼瓶內壓力已使用完畢。

附錄 3 達和輪螺栓斷裂破損機制分析技術報告

國立臺灣大學嚴慶齡工業發展基金會合設工業研究中心
國立臺灣大學機械工程學系疲勞與斷裂實驗室

國家運輸安全調查委員會

『達和輪螺栓斷裂破損機制分析』技術報告

委託人：國家運輸安全調查委員會

試驗分析：



民國一百零九年八月

1. 分析標的

委託單位提供的分析標的為三根已斷裂的螺栓，另有四根表面看來完整未斷裂、連螺帽之同類螺栓以供比較。已斷裂的螺栓只有一半斷件，均各帶螺帽。剛拿到的螺栓表面沾滿油垢髒污，如圖 1 所示。三根螺栓斷件下文分別以 S1, S2 及 S3 命名。



圖 1 剛收到未經處理的螺栓斷件及完整螺栓。

2. 宏觀觀察

對三根斷件在剛收到未處理 (as-received) 及以丙酮配合超音波振盪清洗後，分別利用立體顯微鏡作低倍率觀察，圖 2 顯示宏觀下斷件 S1，破斷處距螺帽約 3 圈多螺紋。其破斷面法線方向與螺栓長軸約呈 50° 之夾角。清洗後的螺紋面上呈局部塊狀區域剝落鏽蝕 (圖 2(b) 箭頭所指區域)，螺紋表面尚有廣泛周向裂隙 (圖 3 箭頭所指處)。斷件 S2 的破斷面幾乎在螺帽位置，也與螺栓長軸呈一夾角 (圖 4)。

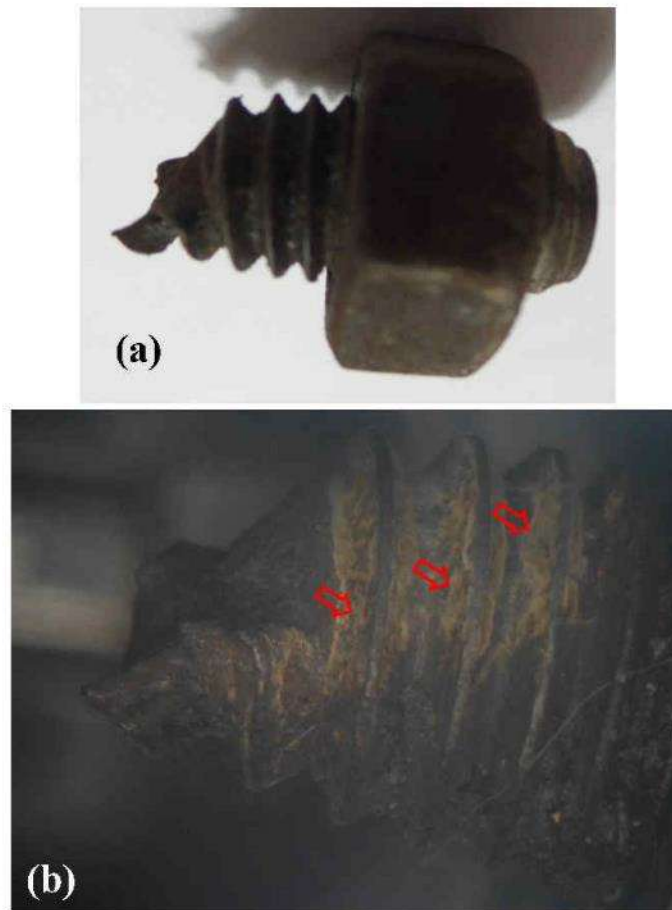


圖 2 (a) 未經處理；(b) 經丙酮清洗之斷件 S1，破斷面與螺栓長軸呈 45° 夾角。螺紋面上呈局部塊狀區域剝落鏽蝕。



圖 3 斷件 S1 顯示螺紋表面有廣泛周向裂隙（箭頭所指處）。



圖 4 (a) 未經處理；(b) 經丙酮清洗之斷件 S2。

斷件 S3 (圖 5) 情況與 S1 類似，破斷面與螺栓長軸約呈 45° 夾角 (圖 5(a))。螺紋面上呈局部塊狀區域剝落鏽蝕 (圖 5(b))。這些塊狀鏽蝕，似乎顯示螺紋上原有一層防蝕鍍層，鍍層局部剝落或耗盡處就出現鏽蝕。

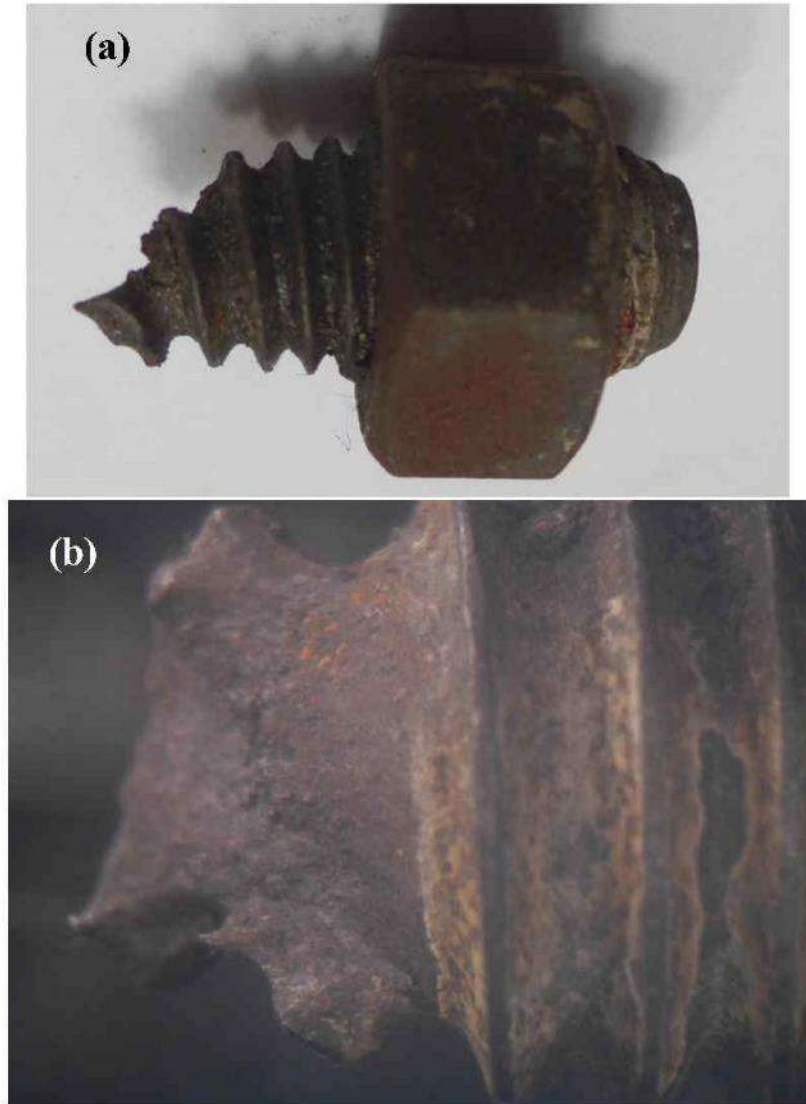


圖 5 (a) 未經處理；(b) 經丙酮清洗之斷件 S3，破斷面與螺栓長軸呈 45° 夾角。螺紋面上呈局部塊狀區域剝落鏽蝕。

以低倍率掃瞄式電子顯微鏡 (Scanning Electron Microscope, SEM) 觀察未斷裂之螺栓表面，也可以看到局部位置有表層剝裂 (圖 6 箭頭所指處)。此與上述防蝕鍍層局部剝落而使螺紋上呈現塊狀鏽蝕之推論吻合。為進一步證實此推論，將利用電子顯微鏡的能量色散 X 射線譜 (Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy, EDS) 進行螺紋表面與螺栓心部的材料化學成分比較分析，以資確認。

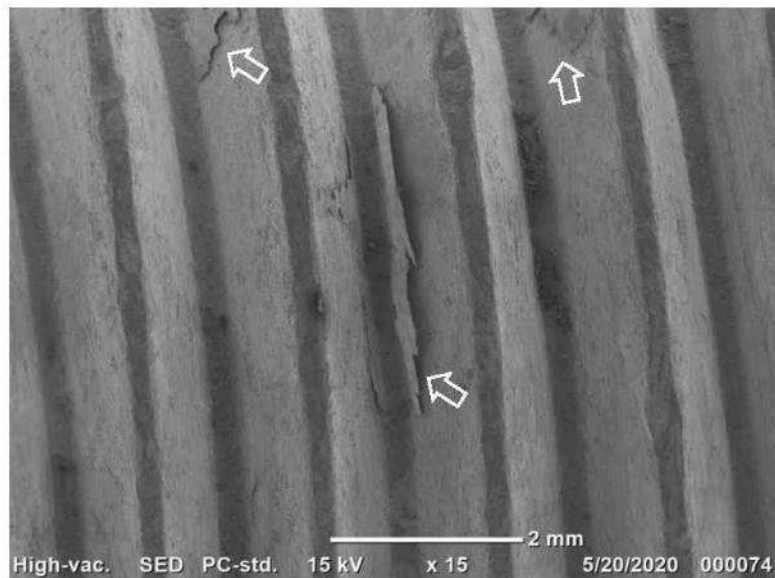


圖 6 未斷裂螺栓表層局部呈現剝裂。

3. 能量色散 X 射線譜 (EDS) 分析

針對斷件 S1 的螺紋表面以及螺栓破斷面，進行了能量色散 X 射線譜分析，螺栓破斷面代表螺栓心部，選擇一個位置進行分析，分析位置及所得頻譜如圖 7。螺紋表面因疑似有局部剝落，故選取了三個位置進行分析，分析位置及所得頻譜如圖 8。

分析結果整理如表 1。代表螺栓心部的破斷面上幾乎不含鋅，而三個螺紋表面位置卻平均含 18-28% 鋅，考慮到前文所觀察到 S1 的表層剝落，則原來的鋅含量將更高，因此可以確認螺栓表面原應一層防蝕的鋅鍍層。

表 1 螺栓心部與螺紋表面的材料化學成分比較

Element	Weight %			
	破斷面 (心部)	螺紋位置 1	螺紋位置 2	螺紋位置 3
C K	21.23	18.36	37.55	25.55
O K	35.26	33.54	20.93	25.05
Mg K	0.79	0.27	0.30	0.91
Al K	0.38	0.17	0.15	0.50
Si K	0.81	0.32	0.43	1.52
S K	0.16	0.50	2.36	1.37
Cl K	0.20	0.39	0.41	0.55
Ca K	1.92	1.09	0.69	1.32
Ti K	0.94	0.51	0.27	0.57
Fe K	36.38	26.15	14.73	14.23
Zn K	1.94	18.70	22.20	28.43
Totals	100.00	100.00	100.00	100.00

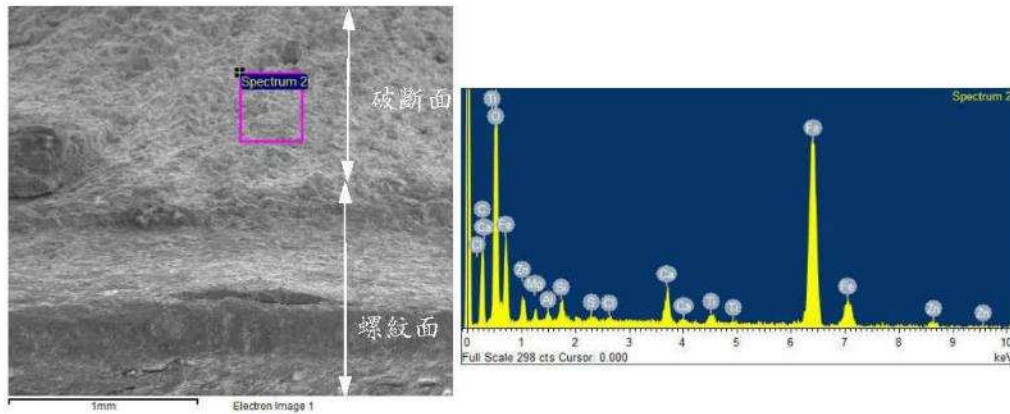


圖 7 破斷面 EDS 成分分析。

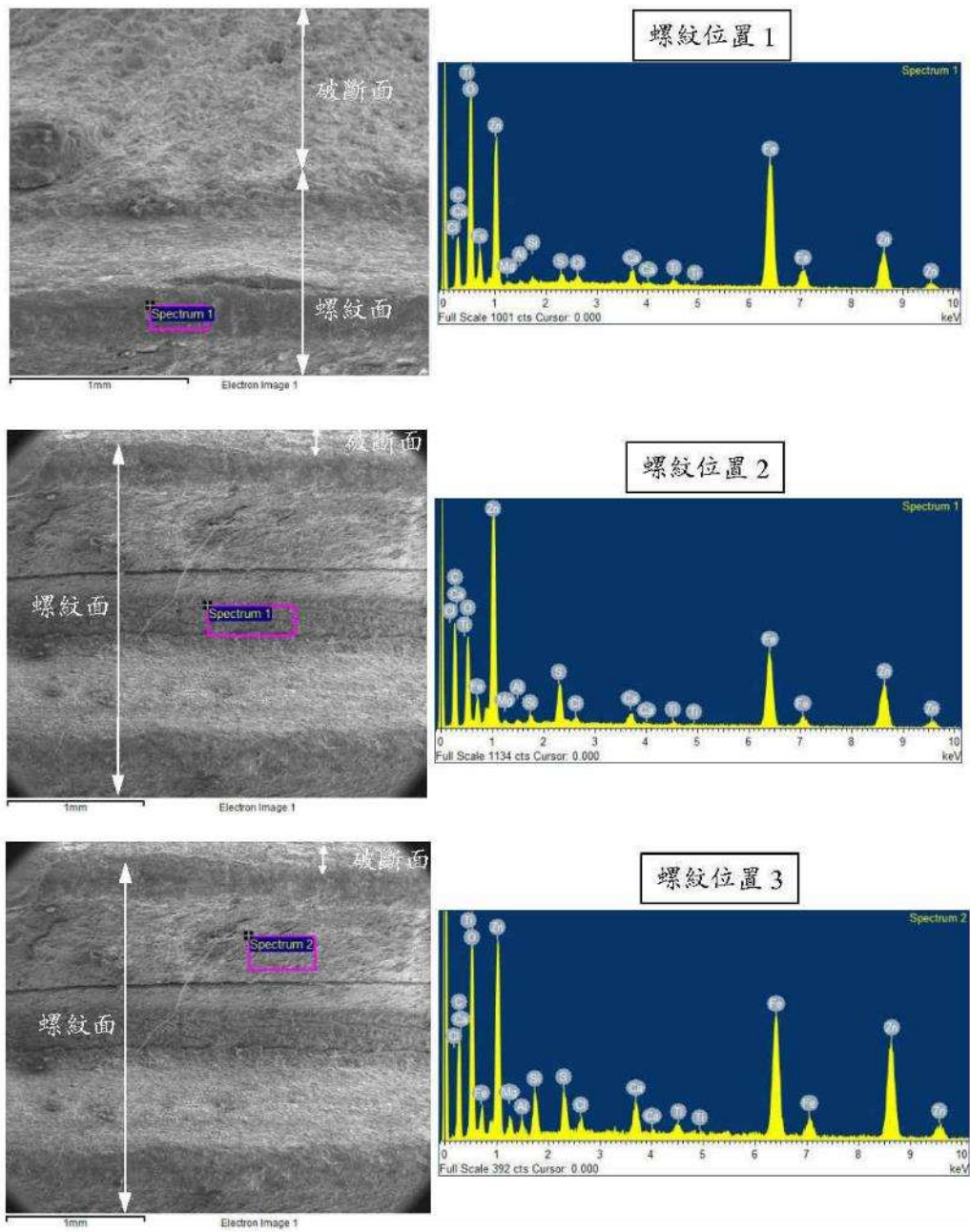


圖 8 螺紋面三個位置的 EDS 成分分析。

4. 破斷面掃描式電子顯微鏡 (SEM) 觀察

斷件 S1 的低倍率 SEM 照片 (圖 9) 中, 可以看到宏觀觀察發現沿螺紋面上的一些裂隙。圖 10 至圖 12 各為前一圖中虛線方框的放大觀察。在這緊鄰螺紋面的一系列逐步放大的破斷面上, 可以看到破斷面已受到一定程度的氧化, 但一些條紋狀的地貌仍清晰可見, 由圖 12 看到條紋的間隔約為 μm 的量級, 從條紋的樣貌以及尺寸, 判斷其極可能為疲勞條紋 (fatigue striations)。圖 13 至圖 16 系列逐步放大圖顯示螺紋面上裂隙內的破斷面, 同樣可以看到前述判斷極可能為疲勞條紋的地貌。圖 17 及圖 18 則顯示緊鄰疲勞條紋地貌附近有韌窩 (dimples) 組織。

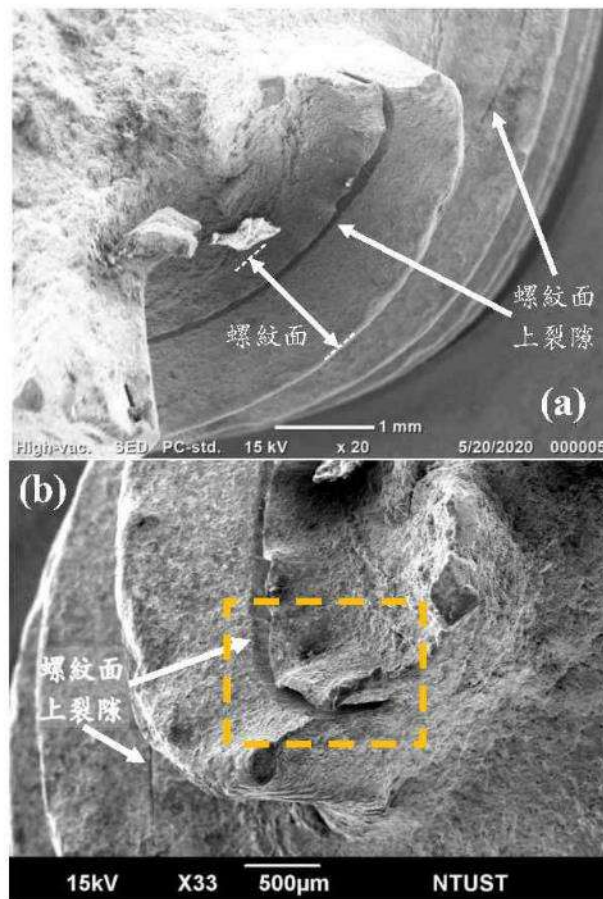


圖 9 斷件 S1 低倍率 SEM 破斷面觀察。

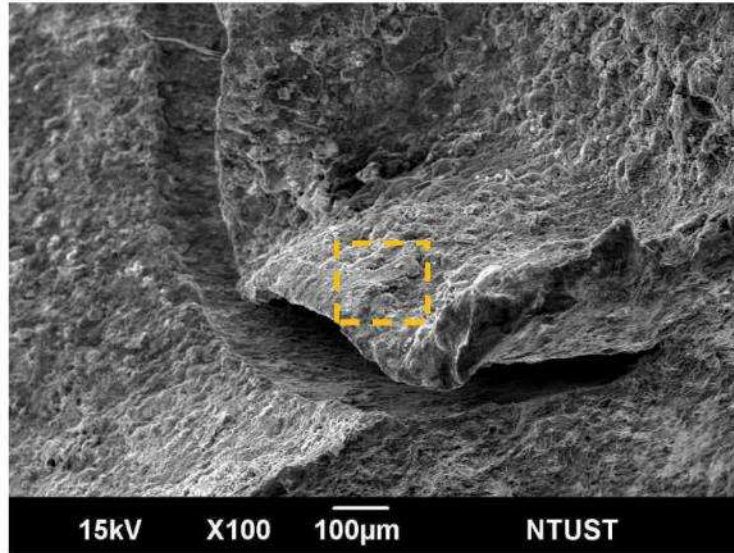


圖 10 圖 9(b) 中虛線方框之放大。

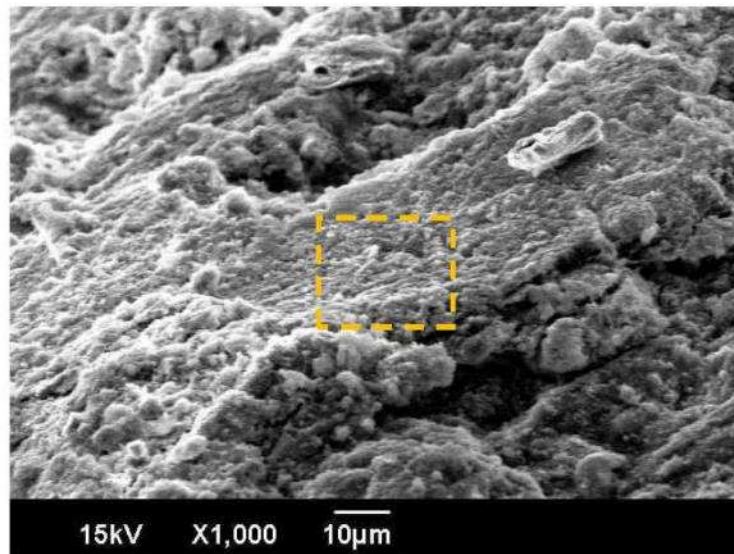


圖 11 圖 10 中虛線方框之放大。

表 1 螺栓心部與螺紋表面的材料化學成分比較

Element	Weight %			
	破斷面 (心部)	螺紋位置 1	螺紋位置 2	螺紋位置 3
C K	21.23	18.36	37.55	25.55
O K	35.26	33.54	20.93	25.05
Mg K	0.79	0.27	0.30	0.91
Al K	0.38	0.17	0.15	0.50
Si K	0.81	0.32	0.43	1.52
S K	0.16	0.50	2.36	1.37
Cl K	0.20	0.39	0.41	0.55
Ca K	1.92	1.09	0.69	1.32
Ti K	0.94	0.51	0.27	0.57
Fe K	36.38	26.15	14.73	14.23
Zn K	1.94	18.70	22.20	28.43
Totals	100.00	100.00	100.00	100.00

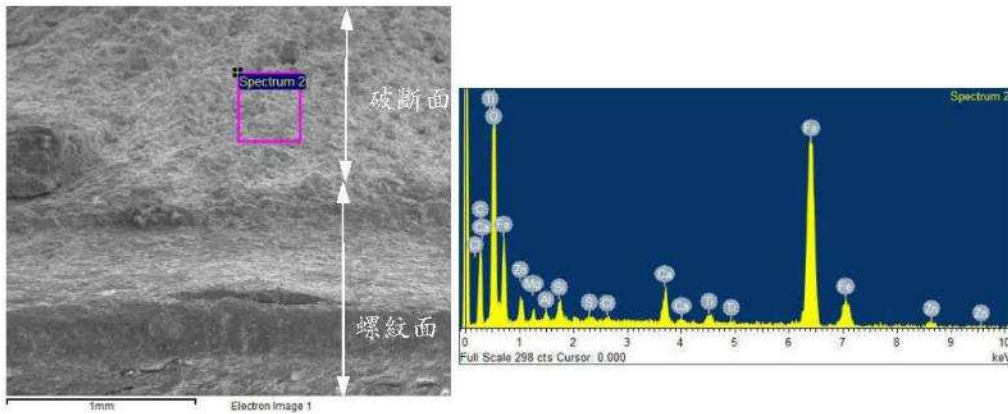


圖 7 破斷面 EDS 成分分析。

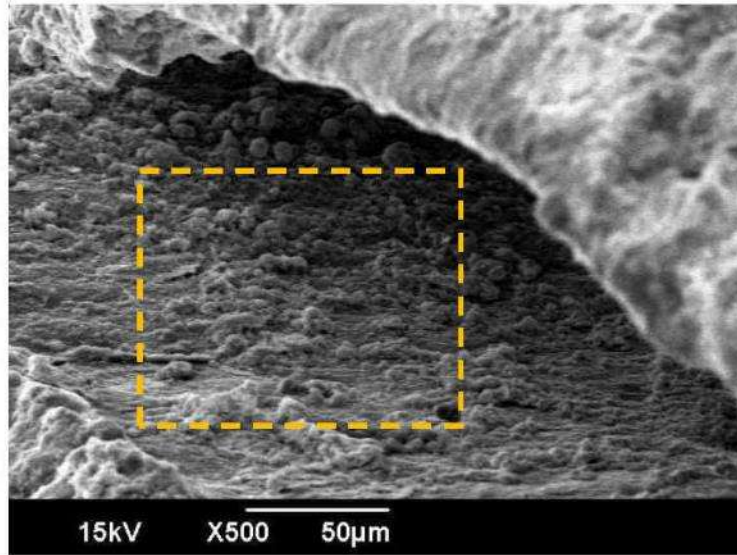


圖 14 圖 13 中虛線方框之放大。

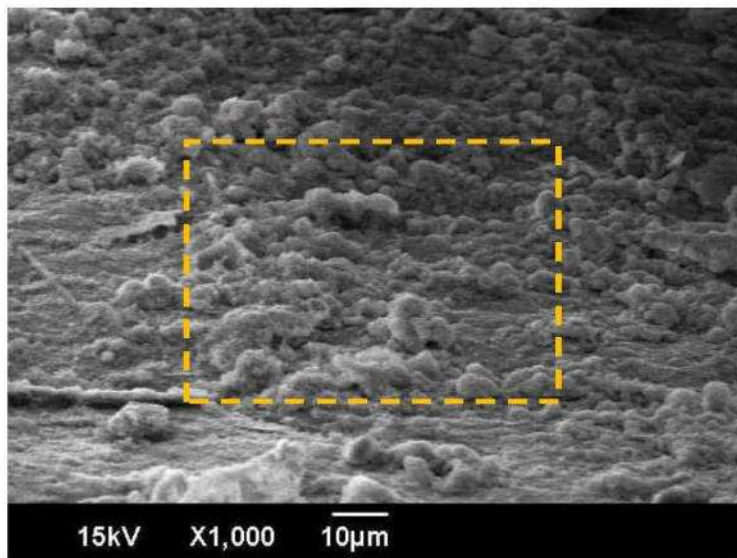


圖 15 圖 14 中虛線方框之放大。

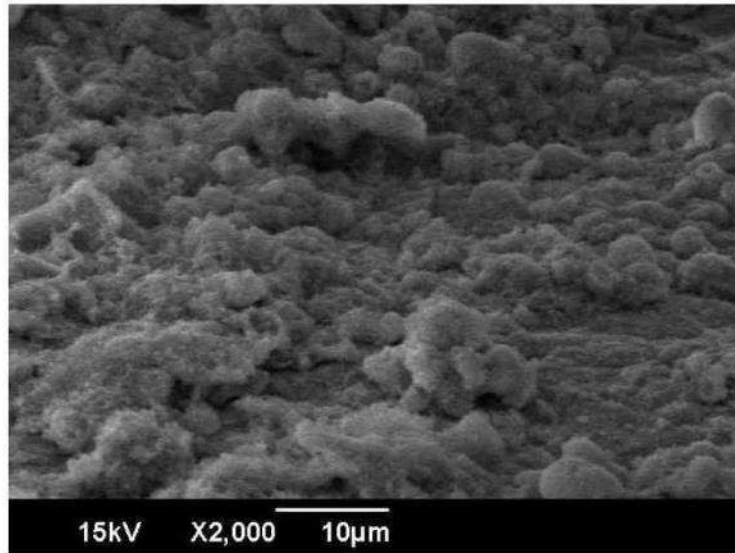


圖 16 圖 14 中虛線方框之放大。

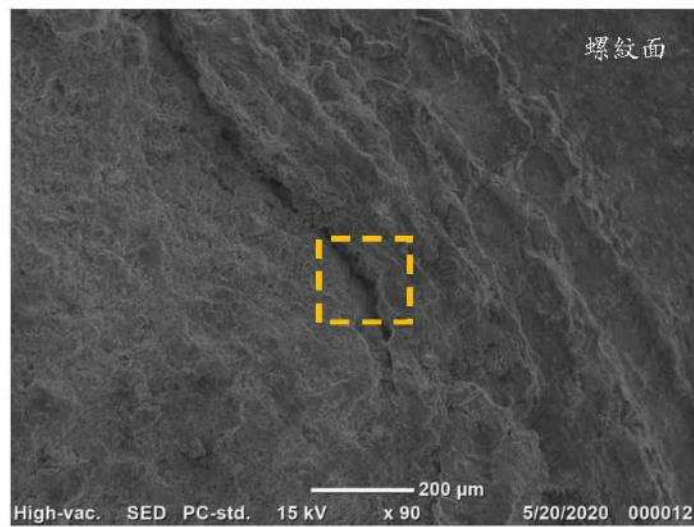


圖 17 斷件 S1 破斷面上疑似韌窩 (dimples) 的組織。

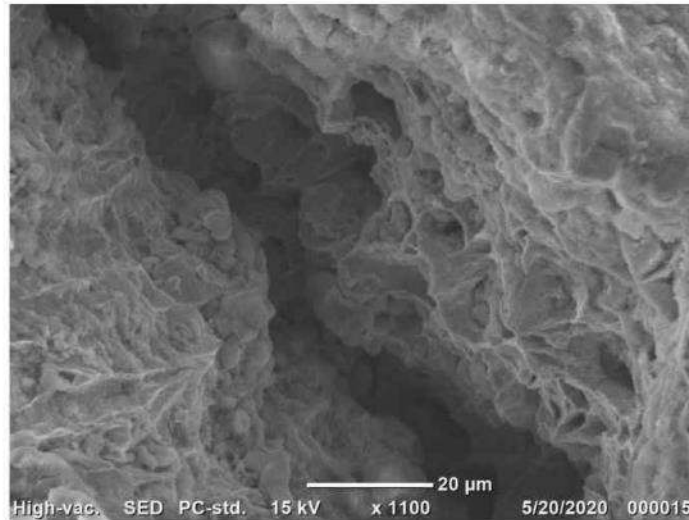


圖 18 圖 17 中虛線方框之放大明確顯示韌窩 (dimples) 組織。

斷件 S2 的螺紋面上也觀察到裂隙如圖 19 所示。在緊鄰螺紋面的破斷面 (圖 20) 上, 可以觀察到疲勞條紋如圖 21。疲勞條紋的表面顯示有一定程度的氧化。圖 22 至圖 24 為靠近中心凸起處之破斷面, 圖 22 顯示此螺栓中心位置的破斷面上主要為滿佈韌窩組織, 但從接下來幾張逐步放大的 SEM 照片中, 可以看到在局部地方韌窩組織與疲勞條紋夾雜存在。

斷件 S3 緊鄰螺紋面的破斷面上 (圖 25 及圖 27), 放大觀察均分別可看到疲勞條紋 (圖 26 及圖 28), 疲勞條紋的表面同樣顯示有一定程度的氧化。疲勞條紋的區域沒有延伸很遠, 破斷面上的特徵就轉變成韌窩組織 (圖 29 及圖 30)。韌窩的邊緣仍相當銳利, 沒有受到嚴重的腐蝕或氧化破壞。另各韌窩大致呈等軸的近乎圓形, 顯示是宏觀上在軸向拉伸應力下發生的斷裂而非在剪切下破裂。

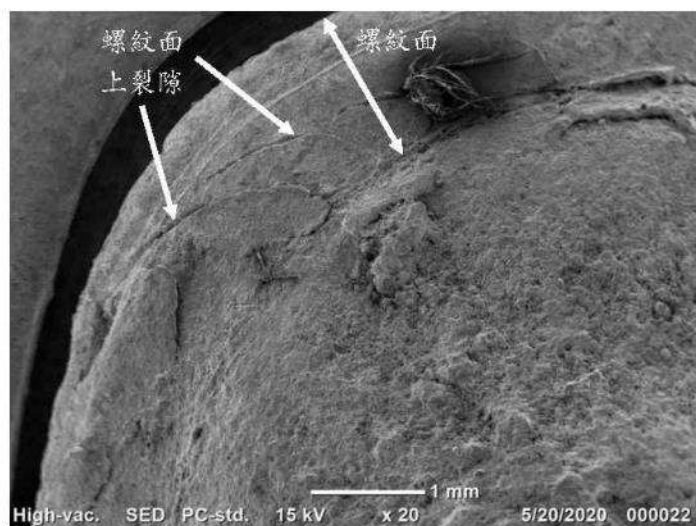


圖 19 斷件 S2 低倍率 SEM 觀察顯示螺紋面上裂隙。

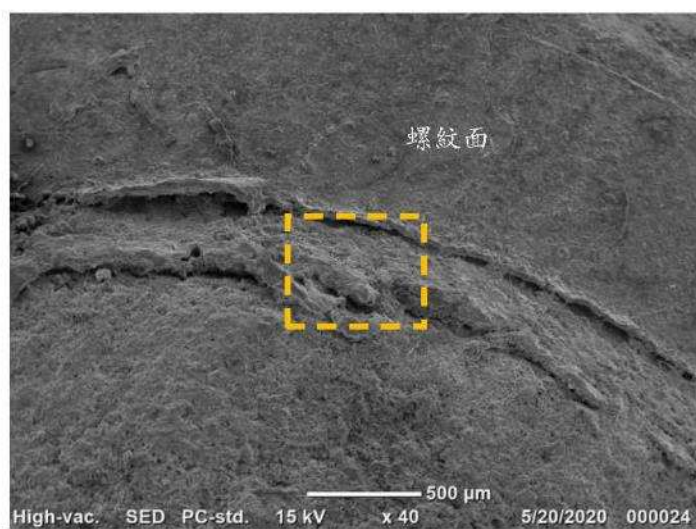


圖 20 斷件 S2 低倍率 SEM 顯示螺紋面與緊鄰之破斷面。

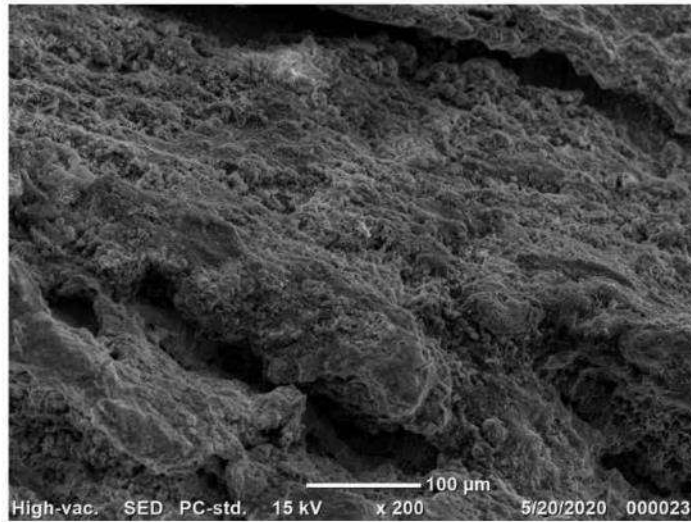


圖 21 圖 20 中虛線方框之放大顯示疲勞條紋組織。

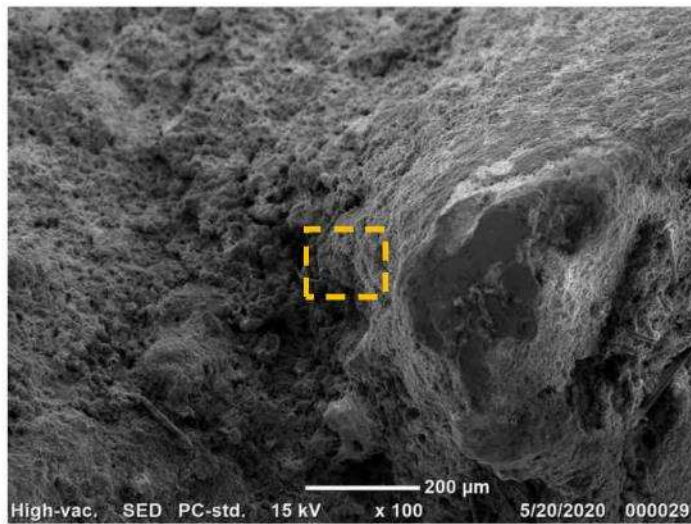


圖 22 斷件 S2 靠近中心凸起處之破斷面顯示韌窩組織。

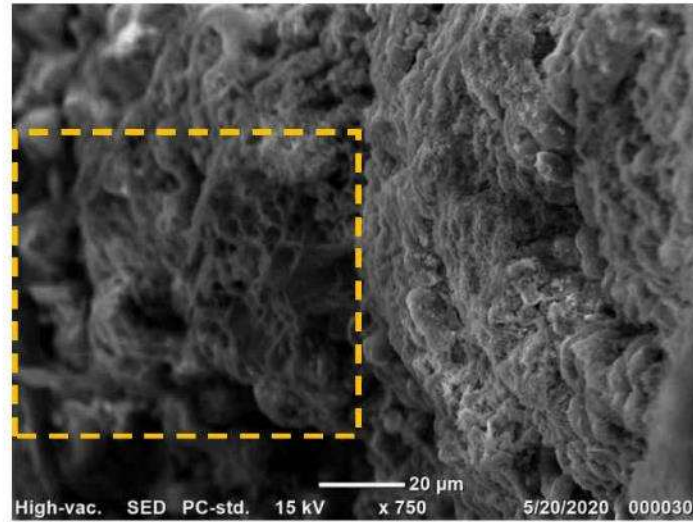


圖 23 圖 22 中虛線方框之放大顯示疲勞條紋與韌窩組織夾雜存在。

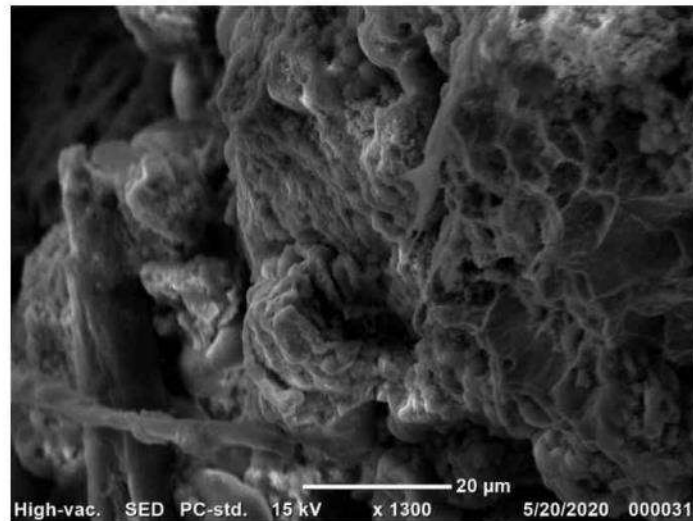


圖 24 圖 23 中虛線方框之放大顯示疲勞條紋與韌窩組織夾雜存在。

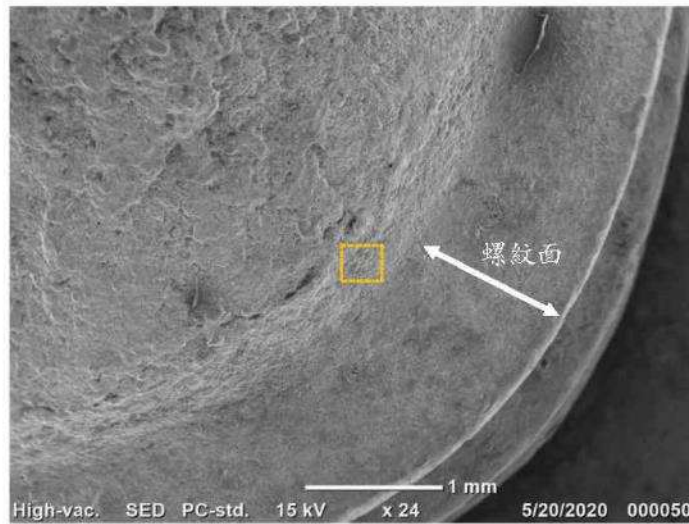


圖 25 斷件 S3 低倍率 SEM 顯示螺紋面與緊鄰之破斷面。

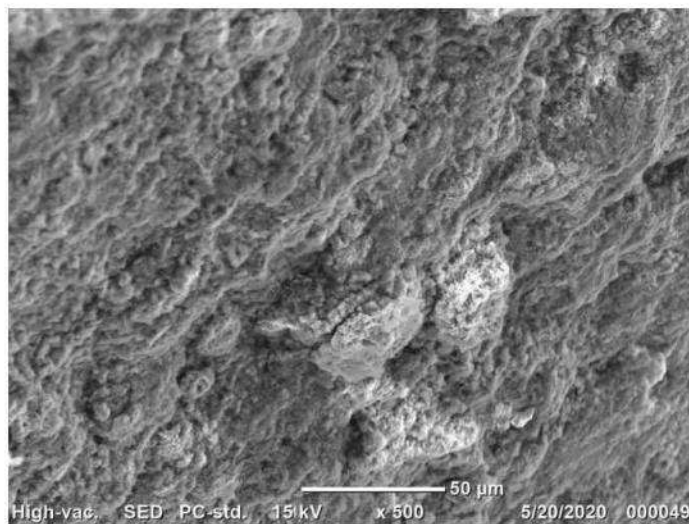


圖 26 圖 25 中虛線方框之放大顯示疲勞條紋組織。

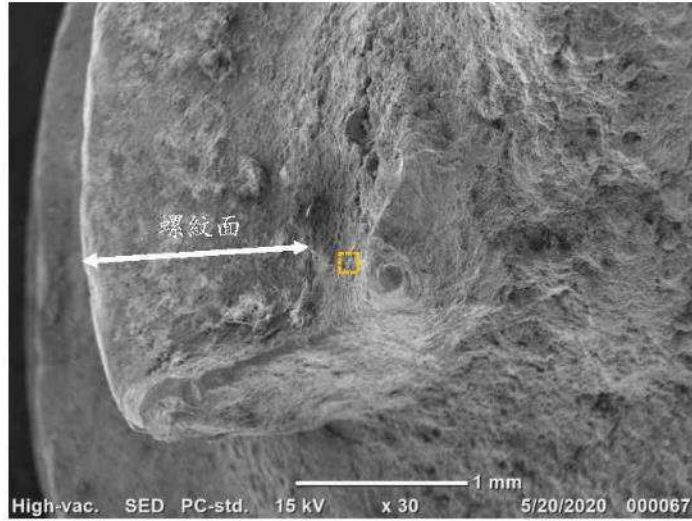


圖 27 斷件 S3 低倍率 SEM 顯示螺紋面與緊鄰之破斷面。

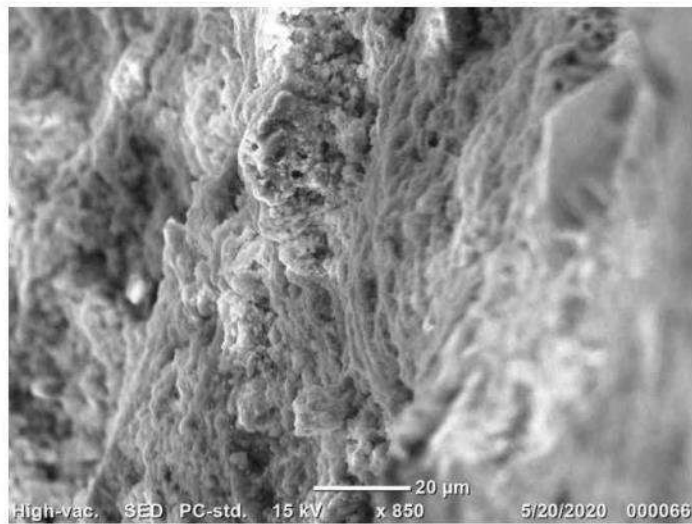


圖 28 圖 27 中虛線方框之放大顯示疲勞條紋組織。

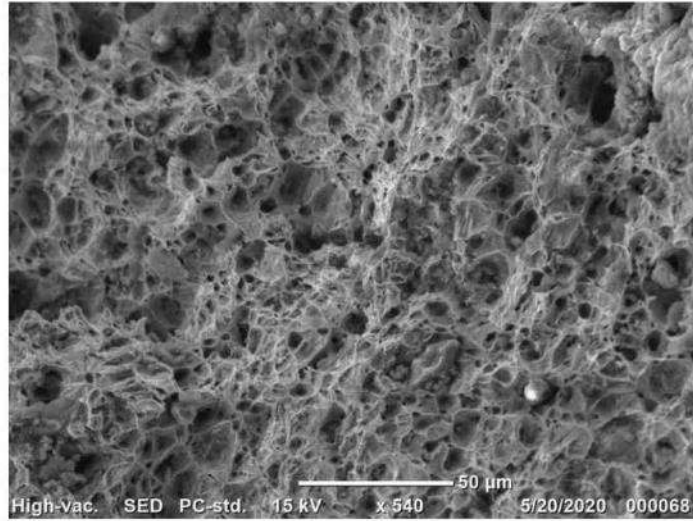


圖 29 斷件 S3 緊鄰疲勞條紋區域之破斷面顯示韌窩組織。

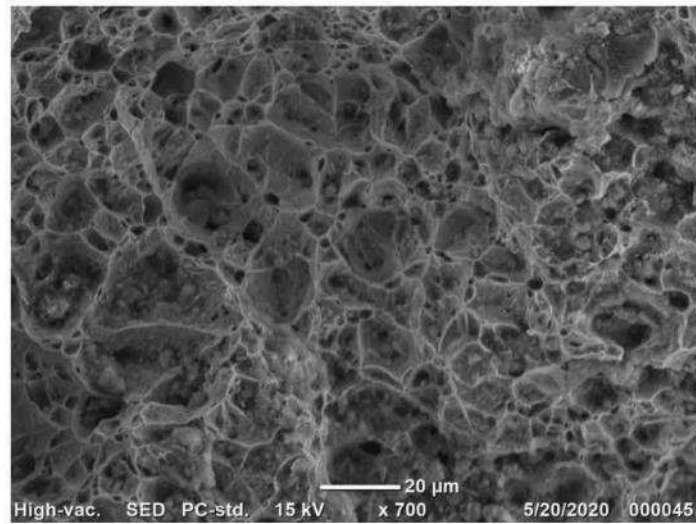


圖 30 斷件 S3 緊鄰疲勞條紋區域之破斷面顯示韌窩組織。

5. 螺栓破壞機制討論

從破斷面觀察，三個螺栓斷裂件破壞的型態均十分相似：在緊接螺紋面（即螺紋根部前方），可觀察到一環呈現疲勞條紋的區域，有些地方此疲勞條紋區域僅深入到螺紋根部前方數百 μm ，緊鄰此區域為韌窩組織，有些地方則較深入，甚至有韌窩與疲勞條紋夾雜存在的情況。破斷面上沒有沿晶（intergranular）斷裂的跡象，基本應為穿晶（transgranular）的破裂。螺栓的斷裂機制應為（1）裂縫的起始，（2）裂縫透過往復應力疲勞而成長，（3）最終以微孔洞擴張、串連（microvoid coalescence）形成韌窩組織而斷裂。

能量色散 X 射線譜分析顯示這些螺栓應有一層富含鋅的鍍層，這類螺栓常採用熱浸鍍鋅作為防蝕的方法。推測鋅鍍層應是為提供犧牲陽極作為腐蝕防護用。鋅鍍層的強度通常比不上螺栓本體的鋼材。從斷件 S1 及 S2，以及從一根完整的螺栓看，鍍層表面容易產生裂隙。這些裂隙可能是螺紋表面應力超過鍍層的強度所導致，也有可能是因往復變動的循環應力所引發萌生的疲勞裂縫。目前觀察到螺紋面上的剝裂並非在應力集中最嚴重的位置，在螺紋根部應力集中嚴重處推測將更容易產生類似的裂隙。裂隙一旦產生，在進一步循環應力的作用下，就會繼續成長，穿越鍍層而延伸到螺栓的本體材料內。不同位置的裂縫萌生的時間點通常不會完全相同，先出現的裂縫會先往內發展，因此沿著螺栓斷面一周有些地方的疲勞裂縫只有數百 μm ，有些地方深入較多。

宏觀觀察螺栓的斷面與螺栓長軸成 $40-50^\circ$ 左右的夾角。一般圓柱體假如材料為脆性，而圓柱體受扭矩作用而斷裂，則斷面傾向沿螺旋線，與長軸成 45° 夾角。本案斷面呈韌窩組織而非脆性的劈裂，顯然材料非脆性。另以其安裝狀況，設備在操作運轉過程應無扭力對螺栓施加。本案破斷面傾斜與長軸成夾角，其可能之原因為原始裂縫大概是斷續沿螺紋根部螺旋線萌生。例如在某螺紋 4 點鐘到 8 點鐘在位置萌生裂縫，同時另在往前轉兩圈的螺紋裂縫出現在 11 點鐘到 1 點鐘的位置，這兩個裂縫同時分別往螺栓內部發展，最後因剩餘截面的強度不足使兩個裂縫連接在一起，其連接方式就有可能形成與長軸成夾角的斜面。

6. 螺栓金相與硬度

附錄為三根斷裂及一根完好的螺栓的維式硬度 (Vicker's hardness) 與金相分析結果。樣品 1-3 為斷裂螺栓之試樣，樣品 4 為完整螺栓之試樣。相同的樣品中，三個面各取六個點量測硬度，這 6 個點是兩兩軸對稱，相互距離頗近，均在中心點 0.15mm 的範圍內，不同點的硬度差異可視為實驗的離散度。各樣品不同量測面的平均硬度整理如表 2。

同一樣品中，面 1 與面 3 均為螺栓的橫剖面，但面 1 的硬度均顯著高於面 3，可能是製程中不同位置之受到的變形量及殘留應力不同所致。4 個樣品中以樣品 1 的硬度最高，其次為完整螺栓之樣品 4，再次為樣品 2 及樣品 3，後二者硬度差異不大，但均顯著低於樣品 1。三根斷裂螺栓的硬度差異頗大，明顯比同一樣品同一面上硬度的離散度來得顯著。完整螺栓試樣的硬度，同樣與硬度最高的樣品 1 及硬度最低的樣品 2、3，也有顯著的差異，4 個樣品的差異有可能來自於原始螺栓間即存在的差異，也有可能來自於使用過程所經歷過的環境因素如經歷溫度之不同所造成，然在缺乏螺栓原始數據可供比對，也不瞭解原始螺栓製造使品管之情形，不同批次間及同一批次不同螺栓間的離散度等，對目前看到硬度差異的狀況的成因，無法作出明確的判斷。

表 2 螺栓維式硬度 (Vicker's hardness)

	面 1 (螺栓末端橫剖面)	面 2 (縱剖面)	面 3 (螺栓頭端橫剖面)
樣品 1	212.1	197.2	197.1
樣品 2	180.2	165.7	131.1
樣品 3	157.1	168.7	122.9
樣品 4(完整螺栓)	198.7	176	159.4

金相方面，理論上在高溫下長時間，晶顆會有所謂再結晶的現象，從新結晶的晶顆在各方向的尺寸會傾向類似，另一方面剛開始的再結晶，晶顆會非常小，隨著在高溫的時間越長，晶顆會生長使尺寸變大，晶顆數目變小。再結晶現象牽涉到固體中原子從新排列，從一個位置轉移到另一個位置，所以需要適當的高溫同時有足夠的時間。目前不同樣品間晶顆形狀與大小沒有明顯差別，橫剖面上晶顆各方向的尺寸差異不大，

縱剖面上則有顯著拉長的情形，沒有顯示明確的再結晶，但如前所述，再結晶過程需要足夠高的溫度與足夠長的時間，時間較短或溫度不夠高，也不會造成明顯的再結晶現象，因此，以目前金相的觀察，無法藉以對其所經歷過的溫度歷程作明確的判斷。

7. 結論

對本案完整與斷裂螺栓的觀察，可歸納以下幾點：

1. 螺栓外層有鍍上一層富含鋅的鍍層，推測為防蝕用，此鍍層有發生剝裂的現象。
2. 斷裂螺栓的破壞可能過程與機制為：應力集中較嚴重位置的鋅鍍層上萌生裂縫，這些裂縫導致進一步應力集中，在循環應力下往內成長，最後以微孔洞擴張、串連形成韌窩組織而斷裂。
3. 斷件 S1 與 S3 破斷面法線方向與螺栓長軸約呈 40-50° 之夾角。斷件 S2 部份破斷面也是與螺栓長軸成一夾角，其可能成因是裂縫斷續在沿螺紋不同位置萌生，其往內發展時不同位置的裂縫串連在一起所導致。
4. 斷件的金相顯示晶顆未有明顯的再結晶現象。
5. 不同斷件的硬度有顯著差異，惟因為缺乏原始螺栓樣本與機械性質數據可供比對，也不瞭解原始螺栓製造使品管之情形，對目前看到硬度差異的狀況的成因，無法作出明確的判斷。

附錄 4 釋壓閥及安全閥檢測報告

檢測日期：111 年 2 月 25 日

檢測單位：躍燦五金有限公司

檢測結果：7 件釋壓閥均作動正常

檢測組件	銘牌設定壓力(kgf/cm ²)	結果
釋壓閥(43RV)	3.5	作動正常
釋壓閥(V10)	4.5	作動正常
釋壓閥(V15)	2.0	作動正常
釋壓閥(V27)	15.0	作動正常
釋壓閥(V46)	10.0	作動正常
釋壓閥(V117)	8.5	作動正常
釋壓閥(V118)	8.5	作動正常

釋壓閥性能測試結果報告表

事業單位		達和輪 印				
設備名稱		最高使用壓力		kgf/cm ²		
設備編號		打印號碼				
安全閥 (製) 編號	閥徑 mm	銘牌 設定壓力 kgf/cm ²	測試日期	性能測試結果(kgf/cm ²)		測試結果及註記 (備註3)
				設定(初噴)壓力 (備註1)	停噴壓力 (備註2)	
43RV	1" x2"	3.5	111.02.25			作動正常
測試單位：環璽五金有限公司 印						
地 址：高雄市大寮區潮寮路 18 巷 11 號						(委外測試時填寫)

測試人員： XXXXXXXXXX

設備部門主管： XXXXXXXXXX

備註：

- (1) CNS9969.7.2.1(a) 設定(初噴)壓力：與銘牌設定壓力之許可差±3%或 0.15bar 取其大者
 CNS7248 表 11 LPG 運輸槽設定(初噴)壓力：該槽體之耐壓試驗壓力之 80%以下值
 CNS12655.9.4.(2) 冷媒設備設定(初噴)壓力：高壓部為設計壓力之 1.15 倍之壓力以下
 低壓部為設計壓力之 1.1 倍之壓力以下
- (2) CNS9969.7.2.1(d) 停噴壓力= 設定(初噴)壓力-噴降壓力




噴降壓力	與設定(初噴)壓力之許可差
可壓縮流體(氣體)	最小 2% ， 最大 15%或 0.3 bar 取其大者
不可壓縮流體(液體)	最小 2.5% ， 最大 20%或 0.6 bar 取其大者

CNS7248 表 11 LPG 運輸槽停噴壓力：依罐裝內容物之氣密試驗壓力以上之壓力

- (3) 如安全閥銘牌設定壓力與考量背壓及/或溫度修正之冷差試驗壓力(CDTP)兩項不同數值時，得於測試結果欄加註原廠考量背壓及/或溫度修正之冷差試驗壓力(CDTP)。

表單編號 SSP034 2021.01

單位：達和輪

閥種類	釋壓閥	編號&閥徑	43RV
※分解		※檢修前測試	
 A photograph showing the disassembly of a valve. Various components, including a valve body, a spring, and a seal, are laid out on a workbench. A white label with red text is visible in the upper left corner of the image.		 A photograph showing a pressure gauge and a valve assembly on a test rig. A whiteboard with handwritten text is visible in the background.	
※檢修後測試			
 A photograph showing a pressure gauge and a valve assembly on a test rig after repair. A whiteboard with handwritten text is visible in the background.			

釋壓閥性能測試結果報告表

事業單位		達和輪 印				
設備名稱		最高使用壓力		kgf/cm ²		
設備編號		打印號碼				
安全閥 (製) 編號	閥徑 mm	銘牌 設定壓力 kgf/cm ²	測試日期	性能測試結果(kgf/cm ²)		測試結果及註記 (備註3)
				設定(初噴)壓力 (備註1)	停噴壓力 (備註2)	
V10	1-1/2"	4.5	111.02.25			作動正常
測試單位：環璣五金有限公司				印		
地 址：高雄市大寮區潮寮路 18 巷 11 號				(委外測試時填寫)		

測試人員： XXXXXXXXXX

設備部門主管： XXXXXXXXXX

備註：

- (1)CNS9969.7.2.1(a)設定(初噴)壓力：與銘牌設定壓力之許可差±3%或 0.15bar 取其大者
 CNS7248 表 11 LPG 運輸槽設定(初噴)壓力：該槽體之耐壓試驗壓力之 80%以下值
 CNS12655.9.4.(2)冷媒設備設定(初噴)壓力：高壓部為設計壓力之 1.15 倍之壓力以下
 低壓部為設計壓力之 1.1 倍之壓力以下
- (2)CNS9969.7.2.1(d)停噴壓力= 設定(初噴)壓力-噴降壓力

噴降壓力	與設定(初噴)壓力之許可差
可壓縮流體(氣體)	最小 2% · 最大 15%或 0.3 bar 取其大者
不可壓縮流體(液體)	最小 2.5% · 最大 20%或 0.6 bar 取其大者

CNS7248 表 11 LPG 運輸槽停噴壓力：依罐裝內容物之氣密試驗壓力以上之壓力

- (3)如安全閥銘牌設定壓力與考量背壓及/或溫度修正之冷差試驗壓力(CDTP)兩項不同數值時·得於測試結果欄加註原廠考量背壓及/或溫度修正之冷差試驗壓力(CDTP)。

表單編號 SSP034 2021.01

單位：達和輪

閥種類	釋壓閥	編號&閥徑	V10
※分解		※檢修前測試	
			
※檢修後測試			
			

釋壓閥性能測試結果報告表

事業單位		達和輪 印				
設備名稱		最高使用壓力		kgf/cm ²		
設備編號		打印號碼				
安全閥 (製) 編號	閥徑 mm	銘牌 設定壓力 kgf/cm ²	測試日期	性能測試結果(kgf/cm ²)		測試結果及註記 (備註3)
				設定(初噴)壓力 (備註1)	停噴壓力 (備註2)	
V15	1-1/2"	2.0	111.02.25			作動正常
測試單位：瓊瓏五金有限公司		印				
地 址：高雄市大寮區潮寮路 18 巷 11 號		(委外測試時填寫)				

測試人員： XXXXXXXXXX

設備部門主管： XXXXXXXXXX

備註：

- (1) CNS8969. 7. 2. 1(a) 設定(初噴)壓力：與銘牌設定壓力之許可差±3%或 0.15bar 取其大者
 CNS7248 表 11 LPG 運輸槽設定(初噴)壓力：該槽體之耐壓試驗壓力之 80%以下值
 CNS12655. 9. 4. (2) 冷媒設備設定(初噴)壓力：高壓部為設計壓力之 1.15 倍之壓力以下
 低壓部為設計壓力之 1.1 倍之壓力以下
- (2) CNS8969. 7. 2. 1(d) 停噴壓力= 設定(初噴)壓力-噴降壓力



噴降壓力	與設定(初噴)壓力之許可差
可壓縮流體(氣體)	最小 2% · 最大 15%或 0.3 bar 取其大者
不可壓縮流體(液體)	最小 2.5% · 最大 20%或 0.6 bar 取其大者

CNS7248 表 11 LPG 運輸槽停噴壓力：依罐裝內容物之氣密試驗壓力以上之壓力

- (3) 如安全閥銘牌設定壓力與考量背壓及/或溫度修正之冷差試驗壓力(CDTP)兩項不同數值時，得於測試結果欄加註原廠考量背壓及/或溫度修正之冷差試驗壓力(CDTP)。

表單編號 SSP034 2021.01

單位：達和輪

閥種類	釋壓閥	編號&閥徑	V15
※分解		※檢修前測試	
			
※檢修後測試			
			

釋壓閥性能測試結果報告表

事業單位		達和輪			印	
設備名稱		最高使用壓力		kgf/cm ²		
設備編號		打印號碼				
安全閥 (製) 編號	閥徑 mm	銘牌 設定壓力 kgf/cm ²	測試日期	性能測試結果(kgf/cm ²)		測試結果及註記 (備註3)
				設定(初噴)壓力 (備註1)	停噴壓力 (備註2)	
V27	1/2"	15	111.02.25			作動正常
測試單位：環璣五金有限公司				印		
地 址：高雄市大寮區潮寮路18巷II號				(委外測試時填寫)		



測試人員： [Redacted]

設備部門主管： [Redacted]

備註：

- (1) CNS9969.7.2.1(a) 設定(初噴)壓力：與銘牌設定壓力之許可差±3%或0.15bar 取其大者
 CNS7248 表 11 LPG 運輸槽設定(初噴)壓力：該槽體之耐壓試驗壓力之 80% 以下值
 CNS12655.9.4.(2) 冷媒設備設定(初噴)壓力：高壓部為設計壓力之 1.15 倍之壓力以下
 低壓部為設計壓力之 1.1 倍之壓力以下
- (2) CNS9969.7.2.1(d) 停噴壓力 = 設定(初噴)壓力 - 噴降壓力




噴降壓力	與設定(初噴)壓力之許可差
可壓縮液體(氣體)	最小 2% · 最大 15% 或 0.3 bar 取其大者
不可壓縮液體(液體)	最小 2.5% · 最大 20% 或 0.6 bar 取其大者

CNS7248 表 11 LPG 運輸槽停噴壓力：依罐裝內容物之氣密試驗壓力以上之壓力

- (3) 如安全閥銘牌設定壓力與考量背壓及/或溫度修正之冷差試驗壓力(CDTP)兩項不同數值時，得於測試結果欄加註原廠考量背壓及/或溫度修正之冷差試驗壓力(CDTP)。

表單編號: SSP034 2021.01

單位：達和輪

閥種類	釋壓閥	編號&閥徑	V27
※分解		※檢修前測試	
			
※檢修後測試			
			

釋壓閥性能測試結果報告表

事業單位		達和輪 印				
設備名稱		最高使用壓力		kgf/cm ²		
設備編號		打印號碼				
安全閥 (製) 編號	閥徑 mm	銘牌 設定壓力 kgf/cm ²	測試日期	性能測試結果(kgf/cm ²)		測試結果及註記 (備註3)
				設定(初噴)壓力 (備註1)	停噴壓力 (備註2)	
V46	1/2"	10	111.02.25			作動正常
測試單位：環璣五金有限公司		印				
地 址：高雄市大寮區潮寮路 18 巷 11 號		(委外測試時填寫)				

測試人員： XXXXXXXXXX

設備部門主管： XXXXXXXXXX

備註：

- (1) CNS9969. 7. 2. 1(a) 設定(初噴)壓力：與銘牌設定壓力之許可差±3%或 0.15bar 取其大者
 CNS7248 表 11 LPG 運輸槽設定(初噴)壓力：該槽體之耐壓試驗壓力之 80%以下值
 CNS12655. 9. 4. (2) 冷媒設備設定(初噴)壓力：高壓部為設計壓力之 1.15 倍之壓力以下
 低壓部為設計壓力之 1.1 倍之壓力以下
- (2) CNS9969. 7. 2. 1(d) 停噴壓力 = 設定(初噴)壓力 - 噴降壓力

噴降壓力	與設定(初噴)壓力之許可差
可壓縮流體(氣體)	最小 2% · 最大 15% 或 0.3 bar 取其大者
不可壓縮流體(液體)	最小 2.5% · 最大 20% 或 0.6 bar 取其大者

CNS7248 表 11 LPG 運輸槽停噴壓力：依罐裝內容物之氣密試驗壓力以上之壓力

- (3) 如安全閥銘牌設定壓力與考量背壓及/或溫度修正之冷差試驗壓力(CDTP)兩項不同數值時·得於測試結果欄加註原廠考量背壓及/或溫度修正之冷差試驗壓力(CDTP)。

表單編號 SSP034 2021.01

單位：達和輪

閥種類	釋壓閥	編號&閥徑	V46
※分解		※檢修前測試	
			
※檢修後測試			
			

釋壓閥性能測試結果報告表

事業單位		達和輪 印				
設備名稱		最高使用壓力		kgf/cm ²		
設備編號		打印號碼				
安全閥 (製) 編號	閥徑 mm	銘牌 設定壓力 kgf/cm ²	測試日期	性能測試結果(kgf/cm ²)		測試結果及註記 (備註3)
				設定(初噴)壓力 (備註1)	停噴壓力 (備註2)	
V117	2"	8.5	111.02.25			作動正常
測試單位：曜臻五金有限公司		印				
地 址：高雄市大寮區潮寮路 18 巷 11 號		(委外測試時填寫)				

測試人員： XXXXXXXXXX

設備部門主管： XXXXXXXXXX

備註：

- (1) CNS9969.7.2.1(a) 設定(初噴)壓力：與銘牌設定壓力之許可差±3%或 0.15bar 取其大者
 CNS7248 表 11 LPG 運輸槽設定(初噴)壓力：該槽體之耐壓試驗壓力之 80%以下值
 CNS12655.9.4.(2) 冷媒設備設定(初噴)壓力：高壓部為設計壓力之 1.15 倍之壓力以下
 低壓部為設計壓力之 1.1 倍之壓力以下
- (2) CNS9969.7.2.1(d) 停噴壓力= 設定(初噴)壓力-噴降壓力




噴降壓力	與設定(初噴)壓力之許可差
可壓縮液體(氣體)	最小 2% ， 最大 15%或 0.3 bar 取其大者
不可壓縮液體(液體)	最小 2.5% ， 最大 20%或 0.6 bar 取其大者

CNS7248 表 11 LPG 運輸槽停噴壓力：依罐裝內容物之氣密試驗壓力以上之壓力

- (3) 如安全閥銘牌設定壓力與考量背壓及/或溫度修正之冷差試驗壓力(CDTP)兩項不同數值時，得於測試結果欄加註原廠考量背壓及/或溫度修正之冷差試驗壓力(CDTP)。

表單編號 SSP034 2021.01

單位：達和輪

閥種類	釋壓閥	編號&閥徑	117
※分解		※檢修前測試	
			
※檢修後測試			
			

釋壓閥性能測試結果報告表

事業單位		達和輪 印				
設備名稱		最高使用壓力			kgf/cm ²	
設備編號		打印號碼				
安全閥 (製) 編號	閥徑 mm	銘牌 設定壓力 kgf/cm ²	測試日期	性能測試結果(kgf/cm ²)		測試結果及註記 (備註3)
				設定(初噴)壓力 (備註1)	停噴壓力 (備註2)	
V118	1-1/2"	8.5	111.02.25			作動正常
測試單位：環璣五金有限公司 印 地 址：高雄市大寮區潮寮路 18 巷 11 號 (委外測試時填寫)						

測試人員： XXXXXXXXXX

設備部門主管： XXXXXXXXXX

備註：

- (1)CNS9969.7.2.1(a)設定(初噴)壓力：與銘牌設定壓力之許可差±3%或 0.15bar 取其大者
 CNS7248 表 11 LPG 運輸槽設定(初噴)壓力：該槽體之耐壓試驗壓力之 80%以下值
 CNS12655.9.4.(2)冷媒設備設定(初噴)壓力：高壓部為設計壓力之 1.15 倍之壓力以下
 低壓部為設計壓力之 1.1 倍之壓力以下
- (2)CNS9969.7.2.1(d)停噴壓力= 設定(初噴)壓力-噴降壓力

噴降壓力	與設定(初噴)壓力之許可差	
可壓縮流體(氣體)	最小 2%	最大 15%或 0.3 bar 取其大者
不可壓縮流體(液體)	最小 2.5%	最大 20%或 0.6 bar 取其大者

CNS7248 表 11 LPG 運輸槽停噴壓力：依罐裝內容物之氣密試驗壓力以上之壓力

- (3)如安全閥銘牌設定壓力與考量背壓及/或溫度修正之冷差試驗壓力(CDTP)兩項不同數值時,得於測試結果欄加註原廠考量背壓及/或溫度修正之冷差試驗壓力(CDTP)。

表單編號: SSP034 2021.01

單位：達和輪

閥種類 釋壓閥 編號&閥徑 V118

※分解



※檢修前測試



※檢修後測試



附錄 5 中國驗船中心之減震器爆裂分析報告

提交日期：109 年 10 月 13 日

本中心收到運安會水路組通知，於9/30上午0930參與達和輪事故調查報告草案外部技術審查會議，本中心與會人員：

總驗船師

品管處

技術處輪機組

茲因下列意見或說明未能及時在會議中充分表達，且除調查報告、台中港務消防隊提供火警調查內容、VDR解讀內容外，未能獲得其他相關資料，為正確研判事故原因，故以此書面意見提請運安會重新慎重考量，建議進一步調查釐清事故原因。

依調查報告草案之失火原因，「研判2號機燃油進油管減震器發生爆裂，由爆裂處噴出之高溫燃油在高壓下噴濺霧化與緊鄰高溫表面之渦輪增壓機及排氣管接觸後引起火勢，該火勢經機艙通風送至後方燃油回油管處；2 號機燃油回油管減震器同時發生爆裂，由爆裂處噴出之高溫霧化燃油遭遇前述火勢後亦開始起火。」

疑點 1:

若2號發電機因減震器爆裂且燃油大量外漏將致使燃油瞬間壓降，導致停機無法正常供應電力，全船斷電且推進動力應會立即下降或停俾。但依VDR資料，先產生fire alarm而後減俾降速，20時11分35秒船速9.3節，20時13分38秒船速8.9節，20時15分船速6.9節，證明燃油系統並未失壓，柴油發電機組尚在運轉。

本中心在未獲充分資料情況下，經多次與製造廠家聯繫，由其提供之減震器(罐)構造圖(附件一)，bellow為減少管路脈衝壓力而設計，bellow內部核心充填氮氣，bellow藉由壓蓋與氮氣之可壓縮特性吸收管路內脈衝壓力。正常情況下燃油被壓蓋隔離不會進入罐體內，但長時間使用後，罐體與壓蓋圓周間隙變大，燃油滲入罐體內，在火場溫度急遽上升情況下，罐內溫度與壓力也急遽上升；根據中油提供之船用燃油安全資料表(附件二)，船用燃油自燃溫度為407°C，而附件一明

載廠家規定減震器之最高使用溫度為150°C，因此研判減震器在火場高溫環境下壓力急遽上升，甚至溫度達到自燃溫度，在很小的空間內瞬間自燃而撐破罐體；此現象亦可同時說明減震器破裂並未造成燃油大量流出，發電柴油機並未因燃油進口失壓而自動停機。會議中，調查官說明bellow並未破裂，據此更可進一步研判減震器破裂時壓蓋仍停滯在燃油口，因此未有大量燃油洩漏現象，並未造成柴油機燃油進口失壓停車。又此現象與金工中心減震器分析報告結果相符：「2號發電機進油端、回油端減震器與3號發電機回油端之縱向裂痕顯示應由於內部壓力過大所造成快速破壞形貌。」

疑點 2:

柴油機進油需經過機器本身所附之高壓油泵將燃油加壓至相當壓力後，進入噴油嘴(俗稱油頭)霧化後在汽缸燃燒，多餘未燃燒的油經由回油管回到燃油除氣櫃(FO VENT BOX)。高壓油泵與噴油嘴都是相當密合的柱塞(plunger)構造，回油量有限而且燃油經過後油壓驟降，回油管壓力遠低於進油管(附件三)，因此2號機燃油回油管減震器經過高壓油泵與噴油嘴隔絕後，燃油循環泵出口壓力不可能到達回油管，故不可能被循環泵出口壓力撐破。

因此2、3號機燃油回油管減震器，研判應該都是個別在火場高溫環境下壓力急遽上升，甚至溫度達到自燃溫度，瞬間自燃而撐破罐體。再者，3號機回油管減震器破裂，但進油減震器未破，亦未有鼓脹現象，可說明進油與回油減震器所受內部壓力源並非來自燃油循環泵。

綜上所述，減震器極有可能因他處起火點造成火場高溫導致破裂，而非先破裂而導致失火，建議運安會參酌台中港務消防隊及台北航港科之調查結果並進一步調查釐清。

船舶安全管理文件審查與評鑑說明：

1. 達和公司所屬國輪與外籍船隊均使用相同的安全管理手冊、程序書及維修保養計劃，亦經外籍船之主管機關賴比瑞亞、巴拿馬授權之ABS、NK等驗船機構認可並通過公司及船上評鑑；本中心執行ISM評鑑完全依國際相關規定(IACS PR)進行，與他國主管機關或國際驗船機構評鑑方式及結果一致，確認「達和」輪符合ISM相關規定。舉例說明如下：

- a. 2018.11.9 遠和航運公司安全管理系統通過賴比瑞亞主管機關評鑑，取得公司的安全管理證書(DOC)，詳附件四。
- b. 2019.12.26 通過賴比瑞亞主管機關稽核公司之安全管理系統，評鑑報告結果符合 ISM Code 規定，詳附件五。
- c. 2019.8.5 “TAHO AMERICA” 通過賴比瑞亞授權的美國驗船協會 (ABS) 評鑑，2020.2.12 取得船舶安全管理證書(SMC)，詳附件六。
- d. 2020.8.25 賴比瑞亞籍船舶 “TAHO AUSTRALIA” 通過 ABS 評鑑，取得 SMC，詳附件七。
- e. 2020.1.20 通過巴拿馬授權的日本海事協會(NK) 評鑑，取得 DOC，評鑑報告結果符合 ISM Code 規定，詳附件八。
- f. 2018.7.28 巴拿馬籍船舶 “TAHO ASIA” 通過 NK 評鑑取得 SMC，詳附件九。

以上顯見皆符合國際公約ISM Code相關規定。

2. 所有航運公司均與遠和公司以相同模式建立品質管理系統之安全手冊、程序書及保養計畫，所有驗船機構均依ISM Code規定審查其品質文件，且依IACS PR程序執行評鑑。其中如長榮、陽明公司所屬逾百艘船隊依此相同模式外，其中國輪共13艘更連續兩年獲得美國USCG Qualship 21優質船舶之殊榮。由此可證，遠和公司品質文件之建立及本中心對於品質文件之審閱與評鑑完全符合ISM Code及IACS PR評鑑程序，完全符合國際公約相關規定。舉例說明如下：
 - a. 2020.7.29長榮海運公司安全管理系統通過巴拿馬、新加坡、香港等國主管機關授權ABS年度評鑑，DOC證書詳附件十。
 - b. 2019.8.15 陽明海運公司安全管理系統通過賴比瑞亞授權 DNV GL 年度評鑑，DOC 證書詳附件十一。

建議：

推測減震器之破裂並非失火原因，而是失火導致之後果，且本中心對於船舶檢驗與評鑑均符合國際法規，建議運安會參酌本中心於外部技術審查會議所提之書面意見陳述及此會後書面意見，進一步調查釐清失火原因，並審酌刪除對於本中心之建議事項。

提交日期：110 年 4 月 13 日

1. 減震器氮氣空間 24cm^3 ，填充 60cm^3 氮氣，壓力為 2.5Atm （表壓 1.5kgf/cm^2 ）。當氮氣爆開後， 60cm^3 氮氣釋出，和 185cm^3 的空氣混合，合計 245cm^3 ，此混合氣體共同充斥於 209cm^3 的體積內，此時壓力為 1.17Atm （表壓 0.17kgf/cm^2 ）。
另考慮理想氣體方程式 $PV=nRT$ ，攝氏 500 度與 20 度的環境下，同容積，壓力比為 $(500+273)/(20+273)=2.64$ 倍。 $1.17*2.64=3.09\text{Atm}$ ，等於表壓 2.09kgf/cm^2 。遠低於減震器設計最大壓力 50kgf/cm^2 、耐壓試驗壓力 75kgf/cm^2 （最低爆裂壓力）。
即使考慮攝氏 500 度時碳鋼強度下降為 70-80%，氮氣爆開在攝氏 500 度下亦不可能撐爆減震器。
2. 外部火災造成升溫後，減震器內部有些許燃油也有空氣，爆炸才導致爆裂，非本案火災起因，而是結果。更換減震器無法預防本案發生。

附錄 6 達和船上維修保養規定及機器持續檢驗項目紀錄

(1) 台船提供之 Equipment Arrangement and Maintenance Schedule

Equipment Arrangement and Maintenance Schedule	5.6DK-26	CHAPTER 1
Maintenance Schedule Table		ITEM 2


Overhaul and maintenance places	Work contents	Work man-hour No. of workers Hours	Overhaul and maintenance period (hr)					Reference	Remarks
			1000	2000	4000	8000	16000		
			1 1500 3 mths	1 3000 6 mths	1 6000 1 yr.	1 12000 2 to 3 yr.	1 24000 4 to 5 yr.		
Crankshaft	Deflection measurement	2x1.0	▲	○				Separate volume	"Operation" 5-4.5
	Balance weight bolt tightening check								
	• Wiring inspection	1x0.5		○			7-3		
	• Inspection by torque wrench	2x3.0				○	7-3		
Timing gear	Tightening bolt check (idle gear and idle gear shaft)	2x2.0				○		8-1	
	Gear tooth contact and backlash inspection	1x0.5				○		8-1	
	Idle gear overhaul and bush inspection and measurement	1x1.0				○		8-1	
Cam gear	Cam gear disassembly and inspection	2x2.0				○		8-1	
Camshaft	Cam gear disassembly, inspection, and measurement	3x3.0				○		8-2	
Camshaft bearing shell	Camshaft bearing shell disassembly, inspection, and measurement	2x1.0				○		8-2	
Fuel oil injection pump	Injection timing check	• 2x1.0		▲	○			8-2	
	Injection pump disassembly and inspection	• 1x2.0			○			9-4	
	• Oil seal and O-ring replacement				○			9-4	
	• Deflector inspection and replacement				○	○		9-4	
	• Plunger assembly and delivery valve replacement					○		9-4	
	• Tappet spring replacement					○		9-4	
Fuel oil injection valve	Extraction inspection, cleaning and injection pressure adjustment	• 1x1.0	○					Separate volume	"Operation"
Fuel oil piping system	O-ring replacement	2x4.0			○	○			
Valve operating device	Swing arm disassembly, roller and bush inspection	• 1x1.0			○			10	
☆ Governor	Disassembly and inspection							Separate volume	Instruction manual
Governor driving device	Disassembly, inspection and cleaning	1x2.0				○		11	
☆ Turbocharger	Disassembly, inspection and cleaning							Separate volume	Instruction manual
Air cooler	Disassembly, inspection, cleaning and hydrostatic test	2x3.0			○			12-3	
Starting air valve	Disassembly, inspection and O-ring replacement	1x2.0				○/⊗		13-2	
Starting air rotary valve	Disassembly and inspection	1x1.5				○		13-3	
☆ Air motor	Disassembly and inspection							Separate volume	Instruction manual
Fuel oil relief valve	Disassembly and inspection	1x1.5				○		14-2	
Fuel oil feed pump	Disassembly and inspection, bearing inspection and replacement	1x2.0				○/⊗		14-3	
Lubricating oil pump	Disassembly, inspection and cleaning	2x1.5				○		15-2	
	• Bearing and oil seal replacement					⊗		15-2	
Lubricating oil cooler	Inspection, cleaning and hydrostatic test	2x3.0			○			15-3	
Lubricating oil relief valve	Disassembly and inspection	1x1.5				○		15-4	

DAIHATSU

5.6DK26 E 10-07

CHAPTER 1	Equipment Arrangement and Maintenance Schedule
ITEM 2 5-6DK-26	Maintenance Schedule Table

1-2 Maintenance Schedule Table

This table covers the periodic disassembly and maintenance items of the engine. For the items related with daily maintenance and inspection, refer to a separate volume. ( : "Operation")

(○ : Periodical inspection, ▲ : The 1st inspection after the initial operation, and after overhaul and maintenance, ⊙ : Replacement.)

Overhaul and maintenance places	Work contents	Work man-hour No. of workers X Hours	Overhaul and maintenance period (hr)					Reference 	Remarks
			1000 ↓ 1500 3 mths	2000 ↓ 3000 6 mths	4000 ↓ 6000 1 yr.	8000 ↓ 12000 2 to 3 yr.	16000 ↓ 24000 4 to 5 yr.		
Cylinder head	Checking and retightening cylinder head bolt	*2×0.25		▲		○		3-1	
	Overhaul of cylinder head (top hole)	*2×1.0				○		3-1	
	○ Cylinder head inspection and cleaning	*1×1.5				○		3-1	
	○ Intake and exhaust valve disassembly, inspection and facing-up	*1×2.0				○		3-2	
	○ Valve rotator disassembly and inspection	*1×1.0		▲		○		3-2	
	○ Valve spring and cotter inspection	*1×0.25		▲		○		3-2	
	○ Starting valve disassembly and inspection	*1×1.0				○		3-3	
	○ Rocker arm disassembly and inspection	*1×1.0				○		3-4	
	○ Indicator and safety valve disassembly and inspection	*1×1.5				○		3-5	
	○ Exhaust valve seat and O-ring replacement	*1×2.0					⊙	3-1	
○ Overhaul of jacket section and removal of scale	*1×1.0				○		3-1		
Piston	Piston extraction (including connecting rod small end part)	*2×1.0				○		4-3	
	○ Piston inspection, cleaning, and measurement	*1×0.5				○		4-4	
	○ Piston ring replacement	*1×0.5				⊙		4-4	
	○ Piston pin inspection and measurement	*1×0.25				○		4-4	
	○ Piston pin bush inspection	*1×0.25				○		4-4	
Protection ring	Extraction, inspection, cleaning, and measurement	*1×0.25				○	⊙	4-3/5-3	
Connecting rod	Connecting rod bolt inspection and retightening	*2×1.0		▲	○			4-5	
	Crankpin bearing overhaul inspection, and bearing shell replacement	*2×1.5				○	⊙	4-4	
	○ Crankpin inspection and measurement	*1×0.5				○		4-4/7-3	
	○ Connecting rod bolt inspection and replacement	*2×1.0				○	⊙	4-4	
Cylinder liner	Cylinder liner inner surface inspection and measurement	*1×1.0				○		5-3	
	Cylinder liner extraction	*2×2.0					○	5-4	
	○ Inspection on jacket side and replacement of O-ring	*1×1.0					○ ⊙	5-5	
Main bearing	Main bearing bolt tightening check	*2×0.5				○		6-3	
	Main bearing a disassembly and inspection, replacement of bearing shell	*2×2.0				○	⊙	6-3	

CHAPTER	1	Equipment Arrangement and Maintenance Schedule
ITEM	2 5.6DK-26	Maintenance Schedule Table

Overhaul and maintenance places	Work contents	Work man-hour No. of workers x Hours	Overhaul and maintenance period(hr)					Reference	Remarks
			1000 ↓ 1500 3 mths	2000 ↓ 3000 6 mths	4000 ↓ 6000 1 yr.	8000 ↓ 12000 2 to 3 yr.	16000 ↓ 24000 4 to 5 yr.		
Lubricating oil temperature control valve	Disassembly, inspection, cleaning and pellet replacement	1 x 1.0				○	⊙	15-5	
Cooling water pump	Disassembly, inspection and cleaning ○ Oil seal, mechanical seal replacement ○ Bearing replacement	2 x 2.5				○ ⊙ ⊙		16-2 16-2 16-2	
★ Cooling water temperature control valve	Disassembly, inspection, cleaning and element replacement	1 x 1.0				○	⊙	16-3	
Fuel oil shut-down device	Disassembly, inspection and O-Ring replacement	1 x 1.0				○	⊙	17	
Gauges	Replacement of pressure gauge rubber hose and vibration insulating rubber	1 x 1.0					⊙	18	
	Inspection of pressure gauge and tachometer (Calibration) Replacement of F.O. pressure gauge ethylene glycol (in case of heavy fuel oil specifications)	1 x 0.5	○		⊙		{○}	18 18	
Pressure damper of main fuel oil pipe	Accumulator assembly replacement (including the O-Ring)	1 x 0.5				⊙			

Notes:

- The above table shows the standard values of the man-hour as well as the overhaul and maintenance period under the conditions of general use of the heavy fuel oil.
In servicing an actual engine, initially set the work man-hour larger, and set the overhaul and maintenance interval smaller than those shown in the table.
Later reset the work man-hour as well as the overhaul and maintenance interval to the most appropriate values, according to the operating conditions, work environment, and the results of the overhaul.
- The work man-hour is based on the standard values for the experienced workers who are also skilled in restoration. Therefore, please plan to have extra times for those with in experience.
- The mark "★" given in the work-hour column indicates the man-hour per unit (one cylinder or one bearing). When the number of the objects is "n" pieces, multiply the value by "n".
- Have the work marked with "☆" executed by a professional technician of the manufacturer or maintenance company, or conduct the work under his guidance.

(2) 107 年達和輪機長執行檢驗之機器連續檢驗項目報告

輪機長執行檢驗之機器連續檢驗項目報告
 REPORT OF MACHINERY CONTINUOUS SURVEY
 CARRIED OUT BY SHIP'S CHIEF ENGINEER

船名： Ship Name	達和 TA HO	船級登記編號： CR-Registered No.	4733
輪機長姓名： Name of Chief Engineer	張希良 JANG, SHI-LIANG	服務年資： Years of Service as Chief Engineer	7 年
執照號碼及簽發機構： License No. and Issuing Authorities	中華民國交通部 輪字第 212572 號 Ministry of Transport and Communications R. O. C. No. 212572		

茲證明下列各機器項目已在簽署人即本船輪機長之監督下拆檢完成
 This is to certify, that following items of the machineries have been opened-up, inspected under the supervision of the undersigned, the Chief Engineer of the ship.

項目 Code	檢驗項目名稱及結果 Text of Item Surveyed and Results	檢驗日期 Date of Survey	檢驗地點 Place of Survey
180	NO.1 AUX INT COMB ENG FOR GENERATOR (PORT USE)	2018/10/8	AT AN-PING
180	MAIN AIR COMPRESSOR NO.1	2018/9/25	AT TAI-CHUNG
191	MAIN AIR COMPRESSOR NO.2	2018/9/28	AT TAI-CHUNG
210	F.O. PURIFIER WITH HEATER NO.1	2018/9/27	AT TAI-CHUNG
211	F.O. PURIFIER WITH HEATER NO.2	2018/9/27	AT TAI-CHUNG
218	L.O. PURIFIER WITH HEATER	2018/9/29	AT TAI-CHUNG
223	MAIN SEA WATER COOLING PUMP NO.1	2018/9/16	AT TAI-CHUNG
224	MAIN SEA WATER COOLING PUMP NO.2	2018/9/14	AT TAI-CHUNG
229	CENTRAL COOLING FRESH WATER PUMP NO.1	2018/11/18	AT KAOHSIUNG
230	CENTRAL COOLING FRESH WATER PUMP NO.2	2018/11/18	AT KAOHSIUNG
240	PRE-LUB. OIL PUMP FOR G/E, NO.1	2018/11/19	AT KAOHSIUNG
241	PRE-LUB. OIL PUMP FOR G/E, NO.2	2018/11/19	AT KAOHSIUNG
242	PRE-LUB. OIL PUMP FOR G/E, NO.3	2018/11/19	AT KAOHSIUNG
243	PRE-LUB. OIL PUMP FOR G/E, NO.4	2018/11/19	AT KAOHSIUNG
247	LUB. OIL TRANSFER PUMP	2018/11/18	AT SU-AO
248 ✓	FUEL OIL SUPPLY PUMP NO.1	2018/11/15	AT SU-AO
249 ✓	FUEL OIL SUPPLY PUMP NO.2	2018/11/15	AT SU-AO
250 ✓	FUEL OIL TRANSFER PUMP	2018/11/12	AT AN-PING
251 ✓	DIESEL OIL TRANSFER PUMP	2018/10/08	AT SU-AO

上列項目檢驗結果滿意
 23
 Classification Society

[Redacted Signature Area]

輪機長
 Chief Engineer

輪機長執行檢驗之機器連續檢驗項目報告
 REPORT OF MACHINERY CONTINUOUS SURVEY
 CARRIED OUT BY SHIP'S CHIEF ENGINEER

船名： Ship Name	達和 TA HO	船級登記編號： CR-Registered No.	4733
輪機長姓名： Name of Chief Engineer	張秀良 SHI-LIANG, JANG	服務年資： Years of Service as Chief Engineer	7年
執照號碼及簽發機構： License No. and Issuing Authorities	中華民國交通部 輪字第 212572 號 Ministry of Transport and Communications R. O. C. No. 212572		

茲證明下列各機器項目已在簽署人即本船輪機長之監督下拆檢完成
 This is to certify, that following items of the machineries have been opened-up,
 inspected under the supervision of the undersigned, the Chief Engineer of the ship.

項目 Code	檢驗項目名稱及結果 Text of Item Surveyed and Results	檢驗日期 Date of Survey	檢驗地點 Place of Survey
363	BILGE SYSTEM	2018/8/31	AT SU-AO
364 ✓	PIPING SYSTEM	2018/9/3	AT TAI-CHUNG
370	MAIN CIRCUIT	2018/9/5	AT TAI-CHUNG
371	EMERGENCY CIRCUIT	2018/9/7	AT SU-AO
372	CIRCUIT BREAKER	2018/9/11	AT TAI-CHUNG
373	CABLE INSTALLATION	2018/8/30	SU-AO
374	MEASUREMENT OF INSULATION RESISTANCE	2018/8/30	SU-AO
375	RUNNING TEST OF GENERATOR	2018/9/28	AT TAI-CHUNG
376	REMOTE CONTROL CIRCUIT OF F.O. PUMPS & FANS	2018/9/29	AT TAI-CHUNG
378	E/R REMOTE CONTROL QUICK CLOSING V. FOR F.O. TANK	2018/10/06	AT AN-PING
380	BOW THRUSTER	2018/10/09	AT AN-PING
	上述項目檢驗結果滿意		

Surveyor to CR Classification Society

輪機長
Chief Engineer

Form No. XM27 / 06 2014
MCS-CE REPORT

輪機長執行檢驗之機器連續檢驗項目報告
 REPORT OF MACHINERY CONTINUOUS SURVEY
 CARRIED OUT BY SHIP'S CHIEF ENGINEER

船名： Ship Name	達和 TA HO	船級登記編號： CR-Registered No.	4733
輪機長姓名： Name of Chief Engineer	張希良 SHI-LIANG JANG	服務年資： Years of Service as Chief Engineer	7年
執照號碼及發證機構： License No. and Issuing Authorities	中華民國交通部 輸字第 212572 號 Ministry of Transport and Communications R. O. C. No. 212572		

茲證明下列各機器項目已在簽署人即本船輪機長之監督下拆檢完成
 This is to certify, that following items of the machineries have been opened-up, inspected under the supervision of the undersigned, the Chief Engineer of the ship.

項目 Code	檢驗項目名稱及結果 Text of Item Surveyed and Results	檢驗日期 Date of Survey	檢驗地點 Place of Survey
255 ✓	FUEL OIL CIRCUL PUMP NO.1	2018/09/21	AT SU-AO
256 ✓	FUEL OIL CIRCUL PUMP NO.2	2018/09/23	AT TAI-CHUNG
257	G/E D.O. SUPPLY PUMP	2018/09/24	AT TAI-CHUNG
260	BOILER FEED PUMP NO.1	2018/10/04	AT AN-PING
261	BOILER FEED PUMP NO.2	2018/10/04	AT AN-PING
290	BILGE PUMP	2018/10/09	AT AN-PING
295	FIRE, BILGE, G.S/BALLAST PUMP	2018/10/09	AT AN-PING
296	EMERGENCY FIRE PUMP	2018/11/10	AT TAI-CHUNG
297	FIRE, BILGE & BALLAST PUMP	2018/10/15	AT Su-AO
298	SLUDGE PUMP	2018/10/04	AT AN-PING
302	FUEL OIL SETTLING TANK	2018/10/16	AT Su-AO
305	FUEL OIL SERVICE TANK	2018/10/16	AT Su-AO
330	DRAIN COOLER	2018/10/22	AT KAO-HSIUNG
332	CENTRAL COOLING FRESH WATER COOLER NO.1	2018/10/23	AT KAO-HSIUNG
333	CENTRAL COOLING FRESH WATER COOLER NO.2	2018/10/23	AT KAO-HSIUNG
340	HEATER FOR G/E F.O. NO.1	2018/9/10	AT TAI-CHUNG
341	HEATER FOR G/E F.O. NO.2	2018/9/11	AT TAI-CHUNG
361	STEERING GEAR SYSTEM	2018/10/11	AT KAO-HSIUNG
362	WINDLASS	2018/10/11	AT Su-AO

上述項目檢驗結果

輪機長
Chief Engineer