

船舶中央空調故障實例分析與探討

前言

船舶正航行於大海之中，當值輪機員聽見“碰”的一聲後水聲嘩啦啦，開始以為是廚房在準備早餐的用水聲，但是走到廚房門口發現聲音的原來不是這裡，似乎是從樓上所傳來，於是到樓上空調間一看，中央空調冰水系統的冰水膨脹櫃掉落，地板充滿咖啡色的油泥。

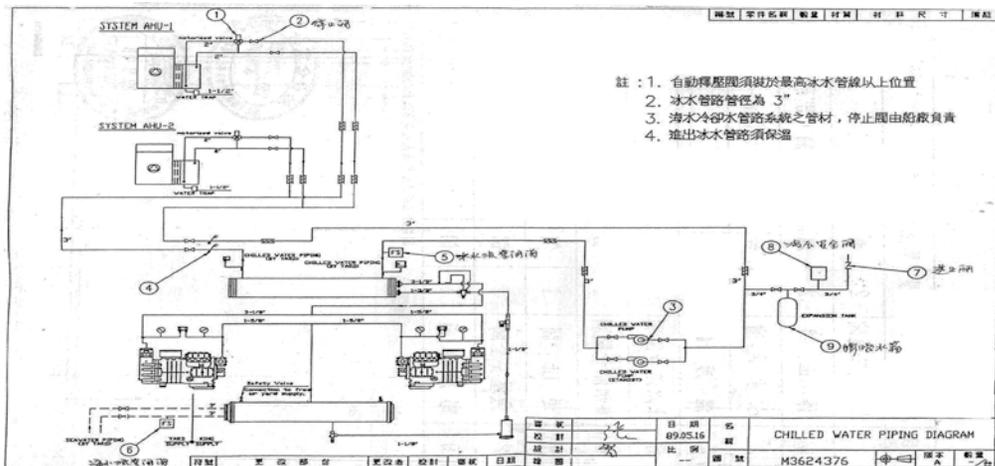
第一時間的處理，先將冰水膨脹櫃的進出口閥關閉，但空調系統已經無法啟動，只能開通風，於是等船靠碼頭後先採購冰水膨脹櫃，等冰水膨脹櫃送到船上重新安裝，運轉了一小段時間後，空調亦跳脫無法運轉，本來以為是空調系統的冰水流量開關故障，先將控制系統的冰水流量開關旁通也無法運轉，也就是說問題並非控制系統；切換了壓縮機運轉後，也只

持續了一小段時間後停止，仔細觀察系統的變化，冰水系統的壓力每隔一段時間後持續升高，沒多久船上反應水龍頭內的出水都是咖啡色，而且有油油的狀況，於是在海上連續三天沒有空調的航行，等靠碼頭後仔細檢查系統，才發現真正問題的所在。

本文將此次所遇到的船舶中央空調問題做個整理，並針對故障發生點的第一時間處理方式做個檢討。

中央空調系統

此中央空調可分成三大系統，分別為冷媒系統、冰水系統及海水系統；冷媒系統的四大元件為蒸發器(Evaporator)、壓縮機(Compressor)、冷凝器(Condenser)及膨脹閥(Expansive Valve)，附屬元件計有乾燥器(Drier)、窺視孔(Sight Glass)、電



圖一 船舶中央空調管路圖

磁閥(Solenoid Valve)、高低壓開關(Hi-Lo Pressure Swatch)等。

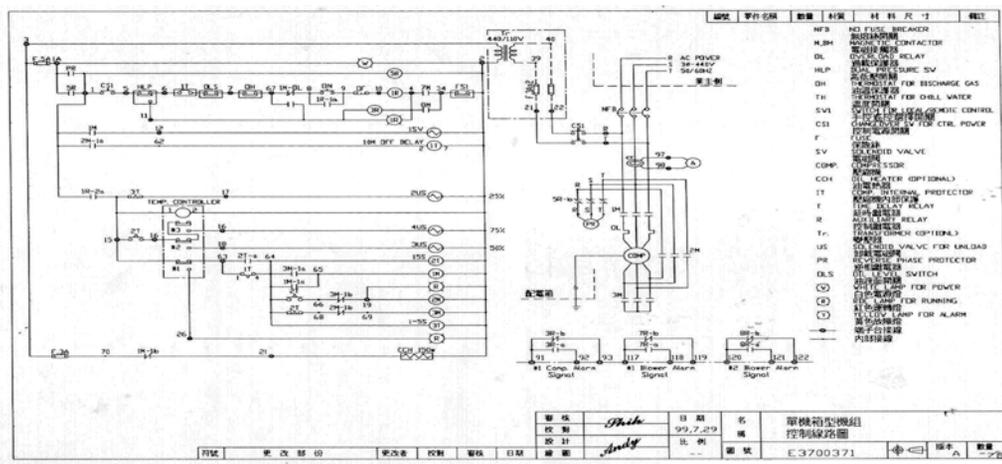
冷煤系統中以R-404a環保冷煤為媒介，冷煤在蒸發器中使低壓冷煤蒸發以吸收汽化潛熱，壓縮機再將低壓的氣體冷煤壓縮成高溫高壓冷煤，高溫高壓的氣體冷煤於冷凝器中冷凝，將冷煤系統中的熱量排出，後流經停止閥、乾燥器、窺視孔等，當壓縮機要運轉時，電磁閥開啓，冷煤流入膨脹閥使其降壓後，進入蒸發器完成一個冷煤循環。

海水系統以機艙之海水泵將將海水送入冷凝器，將冷煤系統中的高溫熱量帶走，冷卻後的海水排出船外，冷凝器出口安裝流量開關(Flow Switch)，以確定海水流量。

冰水系統中的入口安裝冰水膨脹櫃(Expansion Tank)，以調節冰水系統的壓力，膨脹閥上安裝一個安全閥(Safety Valve)，避免冰水系統壓力過大時自動洩壓，再以冰水泵

(chilled water pump)泵送冰水至蒸發器，由於冷煤在蒸發器內汽化，此時冰水的熱量將會被冷煤吸收，使冰水溫度降低，蒸發器的冰水入口設置溫度開關(Thermostat)，出口設置防凍開關(Freeze Protection)，避免冰水溫度過低造成結冰，當冰水進入風箱(AHU)前利用冰水流量開關控制進入風箱的流量，當進入風箱的冰水流量越高則溫度越低，流量越少則溫度越高，則可利用此來控制室內溫度，風箱中的低溫冰水與空氣接觸時，因為溫度差產生凝結水，此冷凝水再利用排水管排出船外；冰水系統為一閉合循環系統，裡面的冰水不與外界接觸，一直循環利用，倘若冰水系統中之冰水有短缺時，則可再利用船上的淡水系統補充之。

冷煤系統中的壓縮機具有保護開關，當壓縮機要啓動之前，必須確定保護開關並未作動，其為過載保護



圖二 空調控制線路圖

器、高低壓開關、油溫保護器、溫度開關、防凍開關、冰水流量開關、冷卻水流量開關、壓縮機內部保護等，控制系統將其串聯在一起，倘若有一個保護開關作動，致控制系統斷路，則壓縮機無法啓動。

此中央空調冷煤系統具有兩部壓縮機、共用蒸發器、冷凝器及膨脹閥；冰水系統中具有兩組風箱及兩部冰水泵；海水系統之海水則可利用空調設備海水泵、日用海水泵及通用泵相互切換使用，必要時尚可利用消防泵來供應海水。

空調系統故障檢測

回顧空調系統發生問題時所發生的現象，首先是冰水膨脹櫃掉落，更換冰水膨脹櫃後注入新的冰水，持續運轉一段時間，發現冷煤系統中的低壓過低，可能是系統某處的冷煤洩漏，由於冷煤洩漏的可能位置眾多，管路接頭或墊片處都有可能，主管指示先灌冷煤等回到碼頭後再行檢查，經重新灌了冷煤之後，運轉一小段時間亦無法運轉，且冰水壓力持續升高，經檢查後逐步縮小可能故障的範圍，最後與同仁討論故障的原因，最有可能的原因是蒸發器盤管破裂，導致冷煤漏入冰水系統，導致冰水系統壓力逐漸升高，而冰水壓力高過於淡水系統，於是當利用淡水系統灌入冰水系統中時，冷煤漏入淡水系統中，

導致水龍頭流出的淡水呈現咖啡色的油水，即為冷凍油。

接下來找原廠檢修，先將蒸發器中的冰水漏光，水側已經發現油膜，幾乎已經可以確定是蒸發器的盤管破裂，再將膨脹閥拆除，冰水流出量更多，電磁閥、乾燥器與冷凝器海水側亦同，最後將壓縮機的滑油旋塞打開，除滑油外還含有水分，於是廠商說壓縮機確定進水，等招標之後另行維修，蒸發器盤管破裂的主要可能原因是冰水在蒸發器盤管結冰，將盤管撐破。

待主管針對故障後續處置方式做出指示，由於同型船中亦有發生這種狀況，已經將間接冰水膨脹式改為直接膨脹式，亦即取消冰水系統卻沒有發出技術通報，壓縮機與蒸發器故障檢修為此次維修重點，經招標後亦由原廠得標，更改為直接膨脹式另有一優點，未來蒸發器若有發生盤管破裂時，頂多是冷煤漏出，僅需維修蒸發盤管並重新灌入冷煤，不會有冰水漏入冷煤系統之虞。

故障發生後招標經過了一段時間，得標之後廠商將各項元件拆回工廠檢修，當打開壓縮機後發現裡面由於有水份，造成壓縮機內部的各項機件均已經生鏽，包括活塞、氣缸、連桿、拉桿等均嚴重破壞，難以修復。由於此款壓縮機已經停產，維修料件無法取得，即便取得料件後仍需保固

時間	電壓 (V)	主機					冷卻水溫度				室外溫度 ℃	室內溫度 ℃		
		電流 A	高壓 PSI	低壓 PSI	卸載 %	冷凍油量	進風 ℃	出風 ℃	進水 ℃	出水 ℃				
11:20	440	73	235	55	100	●	27.5	14.6	29.6	35.4			32	27.5
11:40	440	73.2	236	55	100	●	27.2	14.3	29.6	35.5			32	27.2
12:15	440	73.2	236	55	100	●	27.0	14.1	29.6	35.5			32	27.0
12:28	440	73.3	236	54	100	●	26.8	13.9	29.6	35.5			32	26.8
12:43	440	73.4	235	54	100	●	26.3	13.7	29.6	35.4			33	26.3
13:15	440	73.4	235	54	100	●	26.2	13.6	29.6	35.4			33	26.2
13:36	440	73.4	235	54	100	●	26.2	13.6	29.6	35.4			33	26.2
13:47	440	73.3	235	53	100	●	26.2	13.5	29.6	35.3			33	26.2
14:17	440	73.1	234	53	100	●	26.2	13.5	29.6	35.3			32.5	26.2
14:35	440	73.1	234	53	100	●	26.1	13.4	29.6	35.2			32.5	26.1
14:52	440	73	232	52	100	●	26.1	13.4	29.6	35.2			32.3	26.1
15:18	440	73	233	52	100	●	26.0	13.2	29.6	35.1			32.3	26.0

圖三 維修完畢測試紀錄表

一年，所以廠商變更維修契約，將原本的維修兩部往復式壓縮機改為更新一部螺旋式壓縮機(RC2)，其他維修項目不變。

維修完工後，測試運轉後仍發現低壓逐漸降低，經追查發現是電磁閥洩漏，於是將電磁閥重新上墊片膠，運轉一段時間後均可保持操作壓力，持續正常運轉。出航後，發現壓縮機油壓保護開關經常作動，導致壓縮機停止，因此在控制系統中安裝延遲開關，設定90秒後才作動，使壓縮機能在海上航行時，避免因船舶的搖擺與俯仰差，造成壓縮機保護裝置的作動。

結論

原次空調故障主要是蒸發器盤管破裂，導致冷煤漏入冰水系統中，導致冰水壓力過高，且冰水系統壓力高

過淡水壓力，導致船上淡水遭冷煤冷凍油污染。

此空調冷煤系統中之蒸發器、冷凝器與膨脹閥為共用，僅壓縮機為兩部替換，當壓縮機偵測回風溫度達設定值時，電磁閥打開壓縮機開始運轉，由於壓縮機不可同時運轉，停用的一部壓縮機之高低壓進出口均須關閉，因此此次故障第一時間的處理，檢討後唯一敗筆即為更換過壓縮機運轉，倘若能在更早的時間發現為蒸發器盤管破裂，將蒸發器內的冰水排出，不切換壓縮機的情況之下，可降低的損失，保住一部壓縮機，但壓縮機只要有冰水進入，則無法挽救。

希德·馬丁公司前董事長、知名危機處理專家諾爾曼·奧古丁(Norman R. Aqustine):「預防是控制危機最省錢，也最簡單的方式，

但令人驚訝的是這個步驟通常完全被省略。」輪機員服務於船舶在大海上航行，遇緊急突發的狀況，倘若先前無類似的經驗，則會花費很多的時間追查故障原因，當追查的時間越長，原本小毛病卻可能造成大問題，而機艙必須具備的技術卻很繁多，如高速車床、燒電焊、鉗工、電工、氣油壓等，往往輪機員能將任何一項技能熟練就很不容易，更別提是在沒經驗的機型追查沒遇過的毛病。

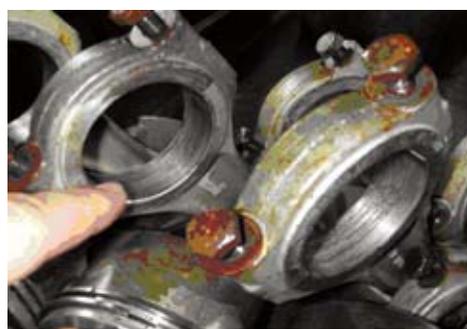
服務於海上的輪機員有一個問題，交接的時候僅一、二日，甚至有只在碼頭碰個面就算交接完成，倘若遇到問題變成考驗輪機員能力的時候，而輪機長往往以此做為考核。目

前有許多制度上軌道的船公司，都會將經常遇到的故障與解決方式，以技術通報的方式整理成冊，甚至將海上經驗老道的資深輪機長安排在岸上服務，當船上有任何技術問題一時無法解決時立即提供建議，一個輪機員的養成必定是經過許多淬煉，但是這些過程往往是公司花費大筆維修鈔票換來的，如能在技術手冊之外，不定時的增加教育訓練，能提供更大的成效，而教育訓練卻是許多公司為節省開銷而不實施，以實際海上故障維修經驗換來的代價與教育訓練所需的花費相比較，差距甚鉅。

<作者現任職於海巡署>



照片一 壓縮機內部鏽蝕



照片二 連桿鏽蝕



照片三 壓縮機內部零組件鏽蝕



照片四 壓縮機缸頭鏽蝕