

產業用電子膨脹閥

原文刊載於一丞通訊 VOL.21. 1997.12.

1. 前言

電子膨脹閥大致區分為使用在空調設備用途的產品和使用在產業用冷凍設備用途的產品上，本文將為各位介紹產業用電子膨脹閥。有關產業用電子膨脹閥，希望能在低溫領域內更具有信賴性與控制性。

本文敘述有關 Danfoss 公司生產的電磁驅動方式之電子膨脹閥，並簡介其操作原理，性能和省能方面。

這次進行的試驗為 Effic. Energ. Refrig. Impact Effect Service 在 1993 年由 J.Buntinx, Danfoss ERC Division 所發表的論文題目「冷凍系統中藉由使用電子噴射閥節省能源」(Energy savings induced by making use of electronic injection valves in refrigeration circuits)，使用於產業用冷凍設備的電子膨脹閥，進行各項省能試驗。J.Buntinx 的論文中，比較使用溫度式膨脹閥與電子膨脹閥，結果證實電子膨脹閥蒸發盤管的總傳熱係數增加約 25%。故筆者使用電子膨脹閥，設計實際省能試驗。

2. 產業用電子膨脹閥

2.1 構造

電磁驅動方式產業用電子膨脹閥的構造如圖 1 所示。

閥本身是由驅動用電磁線圈 (coil)、孔口 (orifice)、電樞 (armature)、彈簧 (spring)、套管 (sleeve)、過濾器 (filter) 和調節閘 (damper) 等所構成。與電磁閥的結構相同原理，為避免開關頻率數過多而產生損壞並保持耐久性，同時為吸收 Danfoss 公司製造的電磁驅動方式電子膨脹閥在於開關時的震盪 (shock)，閥本身具備調節閘 (damper) 的機能，利用電樞和電樞管之間微細的間隙進出系統冷媒的原理。最大容許開關頻率數為 5 千萬次。

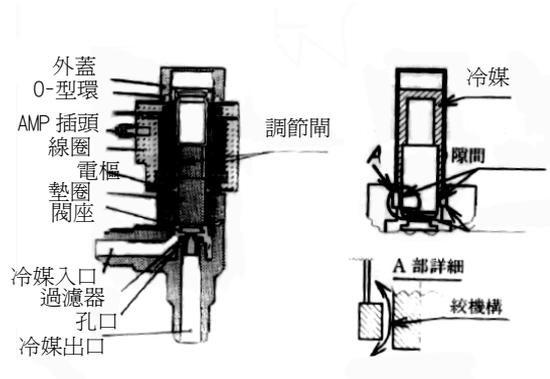


圖 1 電子膨脹閥的構造

2.2 控制

電磁驅動的電子膨脹閥有全開或全關兩個位置控制。

冷媒流量控制利用控制脈衝循環 pulse cycle 的時間幅來進行 (Pulse Wide Modulation 即 PWM 控制)。PWM 控制通常以 3 秒或 6 秒作為 1 週期 (圖 2 斜線部份為電子膨脹閥打開的時

間幅)。



圖 2 電子膨脹閥的開關週期

3. 電子膨脹閥的控制

在此介紹 MSS 控制 (Minimum Stable Superheat 最小穩定過熱) 作為控制電子膨脹閥的方法。MSS 控制方法是 Danfoss 公司所提倡的控制方式。蒸發器最適當的過熱度隨負荷不同而異，可由實驗結果求得。

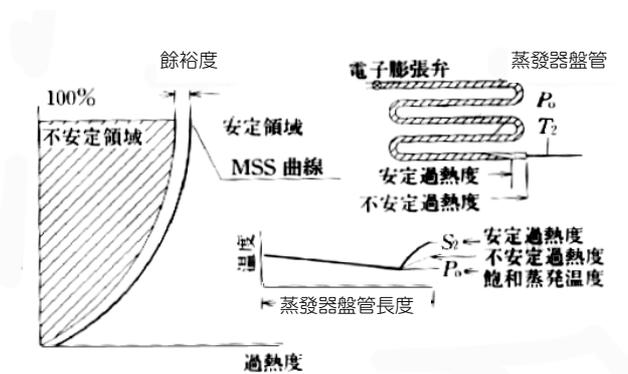


圖 3 過熱度與蒸發器的負荷

這個控制方式的原理為：若蒸發器負荷增加，過熱度亦變大；若負荷減少，過熱度亦變小。

根據實驗結果發現，蒸發器可以安定運轉並且可描繪界限點和 MSS 曲線 (圖 3)。

沿著 MSS 曲線來控制蒸發器，在界限過熱度內作最適當的控制。所謂電子膨脹閥控制器，若計劃考慮採用 MSS 曲線，過熱度無需手動設定，會隨著負荷變動，自動地可變設定。

4. 試驗設備

比較電子膨脹閥 (EEV) 和溫度式膨脹閥 (TEV) 的相對性能，並進行實驗設備的配管系統圖，如圖 4 所示。本設備是將溫度式膨脹閥和電子膨脹閥合併設置在同一條件下，利用手動方式來切換開關並且比較各項性能。

4.1 設備的概要

系統方式	機械式氨蒸氣壓縮 冷凍系統：兩段壓縮，一段膨脹
預製冷藏庫	11.7m × 6.35m × 4.0m 保溫：尿烷（氨基甲酸乙酯）t=100mm
氨冷凍機	長谷川鐵工 VM21 22kW 能力：18300 kcal/hr (CT35°CET-35°C)
蒸發冷凝器	20A 盤管 21.2 m ² 風扇 600Φ0.4 kW 1台 循環泵 40A 0.4kW 壓縮機冷卻兼用
蒸發器	床置式 20A 黃鏟（yellow fin） 12 排 × 11 支 × 盤管長 2.5m 傳熱面積 298 m ² 風扇 0.75kW × 2 台
電子膨脹閥	Danfoss 廠牌 AKVA10-7 控制器 AKC24P2 能力 Nor.37000kcal/hr
溫度膨脹閥	Danfoss 廠牌 TEA20-12 能力 32000kcal/hr
數據計測機	Danfoss 廠牌 AKL25 界面（interface）：AKA24：PC-gate way 計測軟體：Danfoss AKM4 for MS-Windows 95

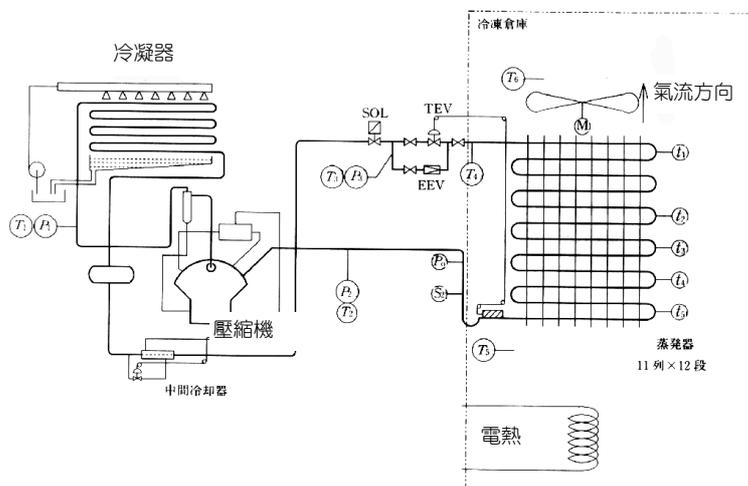


圖 4 試驗設備的系統圖

5. 試驗內容和結果

5.1 降溫（cooldown）試驗和其結果

取電子膨脹閥和溫度式膨脹閥作試驗，將庫內溫度從 0°C 左右冷卻至 -25°C 時，分別測定所需冷卻時間。

圖 5 顯示為降溫的過程。由圖 5 中得知， $65 \text{ 分} \div 85 \text{ 分} = 0.76$ 倍，電子膨脹閥的冷凍機運轉時間約可縮短 34%。

若比較溫度式膨脹閥的比例控制，電子膨脹閥的 MSS 控制可使蒸發管內濡濕面積增加，故總傳熱係數亦會增加。

藉由安裝於蒸發器盤管內各階段中之溫度檢知器的溫度變化得知。

溫度檢知器如圖 4 所示安裝於蒸發器盤管各彎曲部位，而圖 6 表示電子膨脹閥在 $t_4 \sim t_5$ 間出現過熱度。圖 7 表示溫度式膨脹閥在 $t_3 \sim t_4$ 間出現過熱度。從冷媒過熱度的發生點得知，電子膨脹閥較偏向蒸發器盤管的下流側。

圖 8 為運轉時間和其過熱度的變化，自閥開起的所有經過時間。電子膨脹閥因有 MSS 控制，過熱度都控制在較接近界限的狀態。

溫度式膨脹閥的平均過熱度為 19.53°C ，而電子膨脹閥的平均過熱度為 9.94°C 。若蒸發器以低過熱度的方式運轉時，冷凍機的吸入氣體溫度會變低，吸入氣體的比容積會變小，冷凍機的吐出量增加，吐出氣體溫度就會變低。

註) 如圖 7 所示計測過熱度，將蒸氣壓力換算為溫度之值 S_1 ，而蒸發器出口的冷媒溫度為 S_2 ，過熱度 $= S_2 - S_1$ 表之，和溫度式膨脹閥的靜止過熱度不同。

當然可從蒸發器的運轉，觀察實際的過熱度。

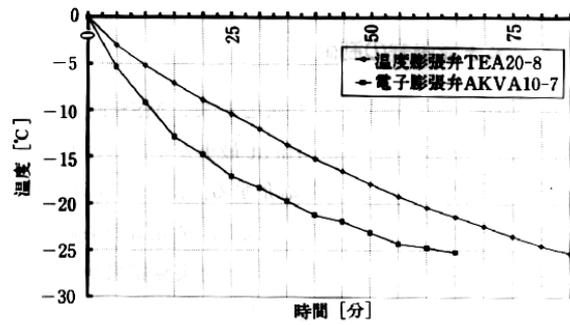


圖 5 降溫特性

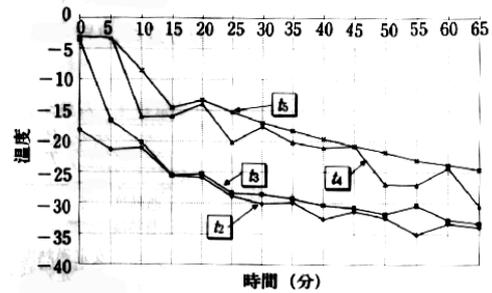


圖 6 電子膨脹閥在蒸發盤管上的溫度變化

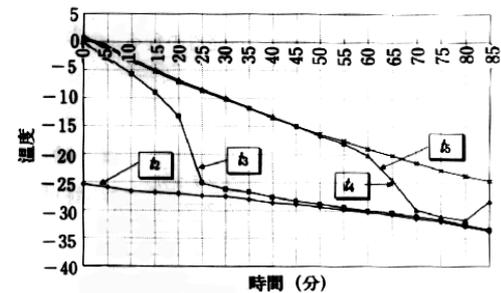


圖 7 溫度式膨脹閥在蒸發盤管上的溫度變化

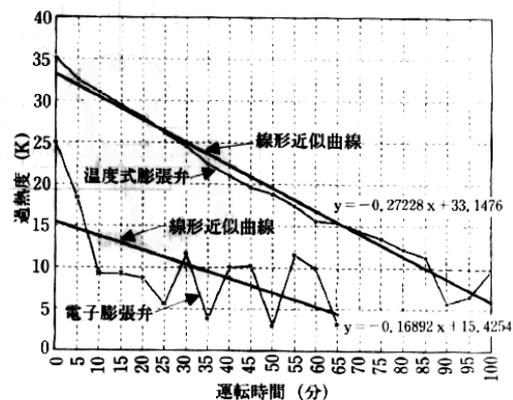


圖 8 比較電子膨脹閥和溫度式膨脹閥的過熱度

5.2 定溫試驗

5.2.1 比較蒸發器冷風溫度

將冷凍倉庫從常溫降溫至-25℃，庫內裝設電熱器作為庫內負荷，當連續通電時，計測蒸發器出入口溫度的變化。

表 1 和表 2 所顯示的計測值為蒸發器出入口冷氣的溫度差。

表 1 電子膨脹閥使用時蒸發器出入口的溫度差

測試資料	蒸發器入口氣溫℃	蒸發器出口氣溫℃	蒸發器出入口溫差℃
測試 1	-24.50	-28.93	4.43
測試 2	-25.16	-28.61	3.45
測試 3	-24.83	-28.47	3.46
測試 4	-24.71	-28.52	3.81
測試 5	-24.70	-28.30	3.60
平均			3.79

表 2 溫度式膨脹閥使用時蒸發器出入口的溫度差

測試資料	蒸發器入口氣溫℃	蒸發器出口氣溫℃	蒸發器出入口溫差℃
測試 1	-24.16	-27.61	3.45
測試 2	-24.57	-27.48	2.91
測試 3	-24.40	-27.63	3.23
測試 4	-24.25	-27.70	3.45
測試 5	-24.30	-27.67	3.37
測試 6	-24.93	-27.93	3.00
平均			3.24

從上述的結果得知，電子膨脹閥比溫度式膨脹閥， $3.79 \div 3.24 = 1.17$ 倍，可冷卻庫內空氣。但事實上，通過蒸發器的冷氣，並非完全環繞庫內一週，從出口直接返回入口的冷氣亦有存在，因有許多複雜的流動形態，故其倍數不作為考慮蒸發器能力差異的基準。

5.2.2 消耗能量的比較試驗

(1) 計測結果

這次的定溫試驗是使用兩段壓縮，一段膨脹系統的氨冷凍設備來進行的，結果如表 3 所示，試驗中為避免外氣溫度、濕度條件影響溫度式膨脹閥和電子膨脹閥的運轉結果，每個閥在接近時間帶中相互地切換。

為提高採集數據的信賴性，採用地板混凝土，牆壁防熱材，庫內機器等完全冷卻後的數據。

試驗數據每間隔 1 分鐘收集至電腦中，由於資料量大，無法全部列表於書面上，表 3 的數據顯示利用庫內檢知器。從冷凍機啟動開始至自動停止為止，各個試驗的平均值。

(2) 比較結果

在表 3 中，溫度式膨脹閥的平均運轉時間為 26.5 分，電子式膨脹閥的平均運轉時間為 18 分， $18 \div 26.5 \times 100 = 67.9\%$ ，電子膨脹閥可縮短 32.1% 的運轉時間。

就平均壓縮機消耗電力而言，溫度式膨脹閥為 13.8kW，而電子膨脹閥為 14.13kW。溫度式膨脹閥所消耗的電力較小之原因是溫度式膨脹閥的過熱度比電子膨脹閥高約 3.64K，另外，壓縮機吸入氣體的比重較小。

各個運轉時間內的平均消耗電力 (kWh) 為：

溫度式膨脹閥 $13.81 \times 26.5 \div 60 = 6.10\text{kWh}$

電子膨脹閥 $4.24 \div 6.10 \times 100 = 69.5\%$

估計可節省 30.5% 的能量。

表 3 試驗結果

	運轉時間	壓縮機出口溫度	膨脹閥入口液溫	蒸發器出口空氣溫度	蒸發器入口空氣溫度	壓縮機出口冷媒壓力	壓縮機消費電力	蒸發溫度	蒸發器出口液溫	量測過熱	膨脹閥開度
	分鐘	°C	°C	°C	°C	bar	kW	°C	°C	K	%
溫度式膨脹閥											
TEST1	27	119.08	3.74	-24.40	-27.63	11.98	13.13	-37.95	-28.46	9.48	--
TEST2	28	119.92	3.31	-24.32	-27.73	11.91	13.27	-38.77	-27.91	10.86	--
TEST3	24	120.27	2.30	-24.40	-27.93	11.90	13.47	-37.95	-28.18	9.77	--
TEST4	27	94.73	4.06	-24.26	-27.67	12.35	15.36	-37.40	-27.15	10.25	--
平均	26.5	113.50	3.35	-24.35	-27.74	12.04	13.81	-38.02	-27.93	10.09	--
電子式膨脹閥											
TEST1	15	120.59	7.89	-25.19	-28.51	12.07	13.83	-37.88	-30.87	7.01	23.00
TEST2	18	118.06	10.17	-24.64	-28.25	12.02	13.70	-37.71	-31.32	6.39	19.68
TEST3	16	118.14	4.15	-24.59	-28.29	11.90	13.55	-37.11	-29.82	7.29	21.76
TEST4	23	97.55	10.65	-24.62	-28.07	12.38	15.42	-36.77	-31.65	5.10	22.00
平均	18	113.59	8.22	-24.76	-28.28	12.09	14.13	-37.37	-30.92	6.45	21.61

6. 結論

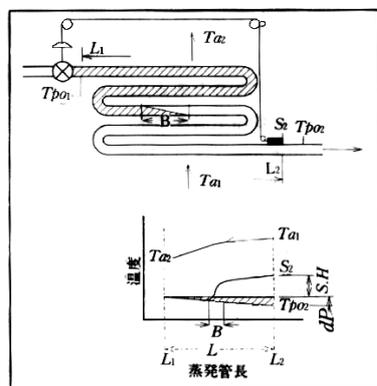
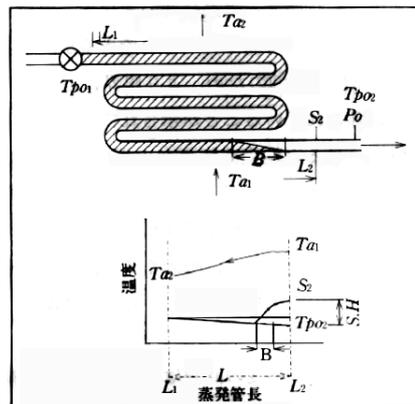


圖 9(a)溫度式膨脹閥



9(b)電子式膨脹閥

圖 9 (a) 和圖 9 (b) 為將蒸發器內冷媒狀態模型化。圖中蒸發盤管斜線部份的冷媒，幾

乎都以液態存在，而其他部份的冷媒，才以氣體狀態存在。

在 **B** 的範圍內，則以氣液混合狀態存在，這個範圍區域會呈現過熱度 (S.H)， T_{po1} 和 T_{po2} 是將蒸發壓力換算為蒸發溫度。

圖 9(a) 是以出口側的感溫筒來進行過熱度 (S.H) 的調節，圖示檢測出來的過熱度 (S.H)，在蒸發管內壓力損失微分相當於溫度微分 (dP) 是無法補正的。

電子膨脹閥是藉由設置在出口側的壓力檢知器和溫度檢知器來檢測過熱度，在圖 9(b) 所示，以過熱度 (S.H) 運轉可能必須考慮蒸發器內的壓力損失微分。

溫度式膨脹閥的控制是比例控制，主要特色是靜止，有 Superheat (SS) 和 Opening Superheat (OS) 兩種。這次實驗採取 Danfoss 公司的標準設定值：SS=5K，但因產生液體回流現象，故 SS=6K。

表 3 中溫度式膨脹閥的平均實際過熱度為 10.09K。

實際上，以 6K (SS) + 4.09K (OS) = 10.09K 過熱度運轉。溫度式膨脹閥的感溫筒，為防止控制追逐 (hunting) 可緩慢應對，選擇時定數較大者。時定數是安定控制的重要因素。

原則上，電子膨脹閥是以比例積分微分控制 (PID 控制)，控制上沒有 off-set，可以快速地應對，以低追逐 (hunting) 振幅來運轉，故會形成低過熱度的運轉，不會有液體逆流的現象。本實驗以實際過熱度為 6.45°C 安定地運轉。🌀