

MÔI CHẤT LẠNH CHO BƠM NHIỆT VÀ NHỮNG ỨNG DỤNG CỤ THỂ

REFRIGERANTS FOR HEAT PUMPS AND CONCRETE APPLICATIONS

Nguyễn Đức Lợi¹

Tóm tắt: Bài báo giới thiệu 3 loại môi chất lạnh ứng dụng cho bơm nhiệt. Thứ nhất là loại thân thiện với môi trường (môi chất lạnh thế hệ 4), thứ 2 là môi chất thường dùng hiện nay cho bơm nhiệt nhiệt độ thường (nhiệt độ không khí hoặc nước nóng $50 \div 60^{\circ}\text{C}$), và thứ 3 là loại cho nhiệt độ cao ($80 \div 90^{\circ}\text{C}$) cũng như rất cao ($120 \div 165^{\circ}\text{C}$). Bài báo cũng giới thiệu các chu trình cũng như các sản phẩm và ứng dụng cụ thể trong khu vực gia đình, thương mại và công nghiệp.

Summary: The article introduces 3 types of refrigerants used for heat pumps. The first type is environmentally friendly (refrigerants of 4th generation). The second type is the commonly used for normal heat pumps at medium temperature (air or hot water outlet temperature $50 \div 60^{\circ}\text{C}$). And the third type is for heat pumps at high temperatures ($80 \div 90^{\circ}\text{C}$) as well as very high ($120 \div 165^{\circ}\text{C}$). The article also introduces concrete cycles as well as specific products and applications in the home, commercial and industrial areas.

1. Mở đầu

Môi chất dùng cho bơm nhiệt cũng tương tự như môi chất dùng cho máy lạnh; Khác biệt cơ bản là nó phải làm việc ở cấp nhiệt độ cao hơn. Đối với các bơm nhiệt thông thường, thì nhiệt độ ngưng tụ khoảng $60 \div 70^{\circ}\text{C}$; đối với bơm nhiệt nhiệt độ cao $80 \div 95^{\circ}\text{C}$; và đối với các bơm nhiệt nhiệt độ rất cao thì nhiệt độ ngưng tụ có thể lên tới $100 \div 130^{\circ}\text{C}$; do đó chúng cũng có những yêu cầu rất đặc biệt.

Hiện nay, vấn đề bảo vệ môi trường, hạn chế sự nóng dần lên của trái đất, hạn chế sự biến đổi khí hậu là vô cùng bức thiết nên một thế hệ môi chất lạnh mới đang được nghiên cứu và ứng dụng. Đó là thế hệ thứ 4 của môi chất lạnh. Do sự khan hiếm của các lựa chọn khả thi, môi chất lạnh thế hệ 4 cần được xem xét đồng thời tất cả các yêu cầu như an toàn, kinh tế, hiệu suất năng lượng, khả năng tiết kiệm năng lượng và đặc biệt là yêu cầu về môi trường với ODP=0 (hoặc thấp) và GWP thấp (≤ 150), và cần phải được đánh giá tổng thể và lồng ghép để đi đến quyết định lựa chọn chính xác môi chất lạnh của tương lai.

Hàng loạt các quy định thắt chặt việc sử dụng và phát thải môi chất lạnh làm ô nhiễm môi trường đã được ban hành trên phạm vi toàn thế giới. Hội đồng châu Âu EU đã ra thông báo soát xét lại Quy chế Môi chất lạnh và các loại ga gây ô nhiễm môi trường, trong đó có những quy chế mới về cấm sử dụng hoàn toàn các chất có GWP >150 trong các xe ô tô mới từ năm 2017. Các nhà chế tạo ô tô Đức đã loại bỏ hoàn toàn R134a và thay thế bằng CO₂ ngay từ năm 2006. Quốc Hội Úc đã thông qua luật thuế mới đánh vào các môi chất lạnh gây ô nhiễm môi trường và gây hiệu ứng lồng kính làm trái đất nóng lên, luật này đã chính thức có hiệu lực ngay từ năm 2012.

Tuy các nhà khoa học đã bỏ ra rất nhiều công sức để nghiên cứu và tìm kiếm các môi chất lạnh thay thế nhưng cho đến nay vẫn chưa tìm ra được môi chất lạnh hoàn hảo nào đáp ứng được đầy đủ các yêu cầu đã nêu ở trên. Trong bài báo này chúng tôi giới thiệu các loại môi chất lạnh thân thiện môi trường cần phải hướng tới. Ngoài ra chúng tôi cũng giới thiệu các môi chất vẫn được sử dụng cho đến hiện nay cũng như các loại môi chất lạnh nhiệt độ cao sử dụng cho bơm nhiệt cùng các ứng dụng cụ thể của chúng.

2. Môi chất lạnh thân thiện môi trường

Trong hàng loạt các môi chất lạnh thay thế được công bố nổi bật lên hiện nay là các ứng viên: R32, HFO-1234yf, R290 và CO₂. Bảng 1 giới thiệu những tính chất vật lý, an toàn và môi trường cơ bản của các ứng viên môi chất lạnh thay thế đó.

Bảng 1.

Môi chất lạnh		R32	HFO-1234yf	R290 (propan)	R744 (carbon dioxide)
Công thức hóa học		CH ₂ F ₂	CH ₂ CFCF ₃	C ₃ H ₈	CO ₂
Tính chất vật lý	Phân tử lượng M, kg/kmol	52,02	114	44,10	44,01
	Nhiệt độ sôi thường, °C	-51,7	-29,3	-42,1	-78,4
	Nhiệt độ tới hạn, °C	78,2	94,7	96,7	31,1
	Áp suất tới hạn, bar	57,8	33,8	42,5	73,8
Tính chất an toàn	TLV-TWA	1000	-	2500	5000
	LFL	13,3	6,2	2,3	none
	HOC	9,4	10,7	50,3	-
	Nhóm an toàn, Std 34	A2	A1L	A3	A1
Tính chất môi trường	Vòng đời (thời gian tồn tại trong khí quyển), năm	5,6	0,05 (11 ngày)	-	>50
	ODP	0,000	0,000	0,000	0,000
	GWP (100 năm)	880	4	20	1

GWP (Global Warming Potential): Tiềm năng làm nóng địa cầu. chỉ số tương đối chỉ khả năng (hiệu ứng lồng kính) của một chất khí ảnh hưởng tới sự nóng lên của Trái Đất lấy chuẩn quy ước của CO₂ là bằng 1 cho thời hạn 100 năm.

HOC (Heat of Combustion): Nhiệt trị (của ga lạnh).

LFL (Lower Flammability Limit): Giới hạn bắt lửa dưới, giới hạn nồng độ dưới mà ga lạnh trong không khí có thể lây lan lửa, thường tính theo thể tích % trong không khí.

ODP (Ozone Depletion Potential): Tiềm năng làm suy giảm ozone, chỉ số tương đối xác định khả năng phá hủy tầng ozone với quy ước ODP của R11 là bằng 1.

TLV-TWA (Threshold Limit Value – Time – weighted Average): Nồng độ giới hạn trung bình lâu dài, giá trị nồng độ giới hạn trong không khí mà với điều kiện làm việc 8h/ngày và 5 ngày/ tuần, tất cả các công nhân tiếp xúc lâu dài với ga lạnh không bị đe dọa bởi ảnh hưởng có hại.

R32 là môi chất thuộc nhóm HFC, do không có thành phần clo nên $ODP = 0$, nhưng do có flo nên $GWP = 750$, cao hơn so với yêu cầu của EU là $GWP \leq 150$, có nhiệt độ sôi ở áp suất thường là $-51,7$, có đặc tính nhiệt động và nhiệt lạnh rất tốt và được coi là môi chất lạnh tương lai, là thành phần cơ bản trong các hỗn hợp môi chất như R407C, R410A, R504, R507... Khi sử dụng R32, có thể tiết kiệm được khoảng 30% lượng nạp. Nhật là nước tiên phong sử dụng R32. Và hiện nay R32 đã được sử dụng rộng rãi trên thế giới. Tuy nhiên R32 có tính cháy nhẹ nên lượng nạp lớn nhất cho một đơn vị máy vẫn bị hạn chế, do đó chủ yếu R32 vẫn chỉ được sử dụng trong điều hòa, bơm nhiệt nhỏ năng suất dưới 7 kW (24000 Btu/h), mà chưa ứng dụng được cho các loại máy lớn hơn như VRF, VRV và các loại khác.

HFO-1234yf có ký hiệu khá xa lạ với các loại môi chất freon khác nhưng thực chất nó cũng là một loại freon nhóm **HydroFluoroOlefin** công thức hóa học $CH_2=CF-CF_3$. HFO-1234yf là một trong rất nhiều đồng phân khi flo hóa propen $CH_2=CH-CH_3$. Nếu theo quy tắc ký hiệu môi chất lạnh thì HFO-1234yf có ý hiệu là R1234yf, số 1 là để chỉ olefin (có một liên kết đôi), số 2 để chỉ 3 nguyên tử cacbon ($2+1=3$), số 3 để chỉ 2 nguyên tử hydro ($3-1=2$) và số 4 để chỉ 4 nguyên tử flo (như quy tắc ký hiệu môi chất lạnh thông thường) trong phân tử, yf là để phân biệt cấu trúc phân tử đồng phân, chữ cái y đầu là để chỉ nguyên tử liên kết với nguyên tử các bon trung tâm là flo (nếu là Clo thì ký hiệu là x và là Hydro thì ký hiệu là z), chữ cái f đứng sau để chỉ sự liên kết của các nguyên tử với nguyên tử cacbon ghép đôi ngoài cùng là CH_2 (nếu CCl_2 ký hiệu là a, $CClF$ ký hiệu là f, CF_2 ký hiệu là c, $CHCl$ ký hiệu là d, CHF ký hiệu là e). Ưu điểm đặc biệt của môi chất này là thân thiện với môi trường, không phá hủy tầng ozone $ODP = 0$ và hầu như không làm nóng địa cầu với $GWP = 4$ (do thời gian tồn tại trong khí quyển rất ngắn, chỉ khoảng 11 ngày). Cộng đồng Châu Âu đã ra văn bản cấm sử dụng các môi chất có tiềm năng gây nóng toàn cầu GWP lớn hơn 150 trong các xe ô tô mới từ năm 2011 và cấm hoàn toàn trong tất cả các xe ô tô từ năm 2017. Cơ quan bảo vệ môi trường của Mỹ (EPA) đã đề xuất sử dụng HFO-1234yf là môi chất dùng trong máy điều hòa cho ô tô để thay thế cho môi chất R134a.

HFO-1234yf không những có thể được sử dụng làm môi chất lạnh thay thế cho R134a và một số môi chất khác mà còn có thể được sử dụng trong chu trình Rankine. Chính vì vậy chất này gần đây thu hút được sự quan tâm của nhiều nhà khoa học, hiện nay đã có nhiều nghiên cứu thực nghiệm để xác định áp suất bão hòa, khối lượng riêng của lỏng bão hòa và các thông số khác. HFO-1234yf là một môi chất mới đầy hứa hẹn nhưng vẫn phải chờ đợi những kết quả nghiên cứu tiếp theo về các đặc tính nhiệt động, nhiệt lạnh, vật lý, hóa học, an toàn... của nó như phản ứng hóa học với vật liệu chế tạo máy kim loại và phi kim loại, phản ứng với dầu bôi trơn, với ẩm trong hệ thống lạnh và đặc biệt là đặc tính trao đổi nhiệt, hệ số tỏa nhiệt khi sôi và khi ngưng tụ...

Hiện nay, không chỉ HFO-1234yf mà hàng loạt đồng phân của nó (ví dụ R1234yc, R1234ye(E), R1234ye(Z), R1234zc, R1234ze(E), R1234ze(Z) và hàng loạt các đồng phân của R1225, R1243...) đang được nghiên cứu vì $ODP = 0$ và GWP rất thấp chỉ bằng 3÷4 do thời gian tồn tại trong khí quyển chỉ từ 10 đến 20 ngày. Ở đây ta thấy xuất hiện thêm các ký hiệu chữ cái để trong ngoặc (E) và (Z). (E) là dạng “trans” còn (Z) là “cis” để chỉ vị trí không gian của nguyên tử H và F trong phân tử.

R290 có tên hóa chất quen thuộc là propan, công thức hóa học là C_3H_8 , có nhiệt độ sôi ở áp suất thường là $-42,1^\circ C$, là chất khí không màu, không tan trong nước, có mùi thơm rất nhẹ gần như không mùi, được khai thác từ dầu mỏ, khí mỏ... Propan thường được khai thác là hỗn hợp với butan để làm khí đốt và được hóa lỏng và đóng vào chai bằng thép. Loại chai 12 kg được sử dụng rất thịnh hành trong khu vực gia đình. Ở nhiệt độ $20^\circ C$, áp suất trong chai khoảng 1 bar. Propan khá thân thiện với môi trường, không phá hủy tầng ozone, hầu như không gây hiệu ứng lồng kính với $GWP = 20$. Propan có tính chất nhiệt động tốt, không tác dụng với vật liệu chế tạo máy. Nhược điểm lớn nhất của propan là dễ cháy và dễ nổ, nên phải có biện pháp an toàn cháy nổ cao trong nhà máy chế tạo cũng như tại thiết bị gây tăng giá thành sản phẩm. Với sự giúp đỡ của GIZ (German Agency for International Cooperation), Trung Quốc đã sản xuất RAC vận hành với môi chất R290. Trung

Quốc cũng đã hoàn thành dự án đánh giá độ an toàn môi chất R32 để triển khai việc ứng dụng R32 cho các thiết bị lạnh và điều hòa không khí thương nghiệp cỡ nhỏ.

R744 chính là khí cacbonic hay cacbon dioxide, có công thức CO_2 , là chất khí không màu, không mùi, vị hơi chua, nặng hơn không khí khoảng 1,5 lần, khối lượng riêng $1,98 \text{ kg/m}^3$, ít tan trong nước. CO_2 chiếm khoảng 0,03% thể tích hoặc 0,05% khối lượng trong khí quyển. Trong quá trình quang hợp ban ngày, thực vật hấp thụ CO_2 và nhả ôxi trở lại vào khí quyển. Động vật khi hô hấp sẽ tiêu thụ ôxi và nhả ra CO_2 . CO_2 được sử dụng rất nhiều trong công nghiệp nói chung và trong công nghiệp thực phẩm nói riêng. Ngoài sử dụng trong kỹ thuật lạnh và bơm nhiệt, CO_2 còn được sử dụng để sản xuất soda, urê, nạp vào nước giải khát có ga, nạp vào bia, bình chữa cháy. CO_2 được khai thác từ mỏ, từ khối lò của các lò đốt than, khí, từ các tầng lên men bia, rượu..., được hóa lỏng hoặc hóa rắn (gọi là đá khô hoặc băng khô) để làm lạnh hoặc kết đông và bảo quản thực phẩm.

CO_2 có tính chất nhiệt động tốt, không độc hại đối với cơ thể sống, con người chỉ bị ngạt vì thiếu dưỡng khí khi nồng độ CO_2 lên quá cao. CO_2 không cháy nổ, rất an toàn nên được dùng làm chất dập lửa. Nhược điểm của CO_2 là nhiệt độ tới hạn quá thấp ($31,05^\circ\text{C}$) áp suất tới hạn quá cao (73,8 bar). Khi làm việc với nhiệt độ dàn bay hơi là 5°C thì áp suất bay hơi là 39,7 bar, và với nhiệt độ dàn ngưng 55°C (để đảm bảo có nước nóng 50°C) thì áp suất ngưng tụ phải là khoảng 100 bar. Thực ra trạng thái CO_2 lúc này nằm trên điểm tới hạn nên không phải là quá trình ngưng tụ mà chỉ là quá trình thải nhiệt cho môi trường (ích nhiệt). Trạng thái trước van tiết lưu CO_2 vẫn là dạng khí cao áp. Chỉ sau khi qua van tiết lưu, mới có CO_2 lỏng trong dàn bay hơi. Tỷ số nén khoảng 2,5 nên chỉ cần máy nén một cấp, nhưng áp suất rất cao trong cả hệ thống (cả bên hạ áp và cao áp) gây khó khăn cho việc thiết kế, chế tạo thiết bị và dịch vụ lắp đặt, vận hành, bảo dưỡng, sửa chữa. Đường ống dẫn, ống trao đổi nhiệt của các thiết bị trao đổi nhiệt phải đủ dày để chịu được áp lực đặc biệt cao đó.

CO_2 đang được sử dụng rất rộng rãi không chỉ ở Nhật mà cả ở Mỹ và châu Âu cho bơm nhiệt. Hàng năm Nhật sản xuất hàng triệu bơm nhiệt đun nước nóng gia đình trong hệ thống Eco-Cut, còn ở Đức, từ 2006, toàn bộ máy điều hòa lắp trên ô tô đều dung CO_2 .

3. Các môi chất lạnh thông thường

Sau khi các loại và các cặp môi chất chứa clo như CFC (R11, R12, R502...) bị cấm, cơ chế môi chất lạnh đã có những thay đổi cơ bản. Đối với các bơm nhiệt (điều hòa hai chiều) nhỏ RAC, ngoài các môi chất thân thiện môi trường như đã giới thiệu ở trên (ví dụ R32, R290) thì hiện nay các loại như R407C và R410A vẫn còn được sử dụng tiếp tục. Ở Việt Nam, môi chất R22 dù còn hạn đến 2040 nhưng cũng hầu như không còn được sử dụng. Các máy PAC và chiller vẫn sử dụng tiếp các loại môi chất như R134a, R407C. Cũng vẫn còn chiller li tâm sử dụng R123. Bảng 2 giới thiệu tính chất cơ bản của một số môi chất cho bơm nhiệt hiện nay.

Bảng 2

Môi chất lạnh		R22	R123	R134a	R407C	R410A
Công thức hóa học		CHClF_2	CHCl_2CF_3	CH_2FCF_3	R32/125/134a (23/25/52)	R32/125 (50/50)
Tính chất vật lý	Phân tử lượng M, kg/kmol	86,47	152,93	102,03	86,20	72,58
	Nhiệt độ sôi thường, $^\circ\text{C}$	-40,8	27,8	-26,1	-43,8 -36,3	-51,6
	Nhiệt độ tới hạn, $^\circ\text{C}$	96,2	183,8	101,1	87,3	72,5

	Áp suất tối hạn, bar	49,9	36,6	40,6	4,63	49,5
Tính chất an toàn	TLV-TWA	1000	50	1000	1000	1000
	LFL	none	none	none	none	none
	HOC	2,2	21	4,2	-4,9	-4,4
	Nhóm an toàn, Std 34	A1	B1	A1	A1/A1	A1/A1
Tính chất môi trường	Vòng đời (thời gian tồn tại trong khí quyển), năm	11,8	1,5	13,6	-	-
	ODP	0,034	0,012	0,000	0,000	0,000
	GWP (100 năm)	1900	120	1600	1980	2340
Xem chú thích ở bảng 1						

R22 là một trong những ga lạnh truyền thống quan trọng nhất được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật điều hòa không khí và cả trong các máy lạnh công nghiệp từ hơn 80 năm qua nên có công nghệ ổn định. Tuy nhiên R22 là thuộc nhóm HCFC, có ODP và GWP nhỏ nên được coi là ga lạnh quá độ. Đối với các nước đang phát triển như Việt nam, R22 được sử dụng đến năm 2040. Các máy đã nạp R22 được phép sử dụng đến hết tuổi thọ máy. Đó là ân huệ của Liên Hợp Quốc cho các nước nghèo mà chúng ta nên tận dụng vì R22 có công nghệ ổn định, có hiệu quả năng lượng cao và đã quá quen thuộc trong lắp đặt, vận hành, bảo dưỡng và sửa chữa. Trong tương lai gần R22 sẽ được thay thế bởi R407C và R410A.

R123 cũng thuộc nhóm HCFC nên có tính chất vật lý, hóa học, nhiệt động và môi trường gần giống như R22 nhưng có nhiệt độ sôi cao hơn nên hầu như chỉ dùng cho chiller ly tâm thay thế cho R11 là môi chất đã bị cấm. R123 cũng phải được loại bỏ vào 2030 nhưng thực tế đến nay các nhà khoa học cũng chưa tìm được môi chất khả dĩ nào có thể thay thế được R123. **R134a**

R134a là ga lạnh thay thế quan trọng cho R12 với ODP = 0. Nhưng do GDP = 1600 là quá lớn nên nó cũng sẽ bị thay thế trong tương lai. Tính chất vật lý, hóa học nhiệt động là gần giống với R12 và có thể thay thế cho R12 trong tất cả các loại thiết bị từ tủ lạnh gia đình, máy điều hòa ô tô, bơm nhiệt, chiller với máy nén pittông, trục vít, xoắn ốc và cả ly tâm trong điều hòa không khí trung tâm, trong máy lạnh thương nghiệp và trong vận tải lạnh.

R407C là một hỗn hợp môi chất không đồng sôi, nhiệt độ sôi thường đầu quá trình sôi -43,8°C và cuối quá trình sôi -36,3°C, độ trượt nhiệt độ ngưng tụ và bay hơi là khoảng 7K, tương đối thuận tiện cho thiết kế các chu trình bơm nhiệt Lorenz. R407C gồm các đơn chất R32/R125/R134a với thành phần khối lượng 23/25/52%. R407C dự định để thay thế cho R22 nên được hòa trộn để có tích chất nhiệt lạnh tương thích với R22.

R410A hỗn hợp môi chất gần đồng sôi, nhiệt độ sôi thường ở đầu quá trình sôi là -51,6°C và cuối quá trình

sôi là $-51,5^{\circ}\text{C}$, nên có thể coi R410A là môi chất lạnh đồng sôi, có thể nạp bổ sung mà hông cần tháo xả hết ga cũ, tuy nhiên khi nạp ga vẫn nên nạp lỏng không nên nạp hơi. R410A là bao gồm từ hai thành phần R32 và R125 với thành phần khối lượng 50/50% dùng để thay thế cho R22 và R13B1 trong các máy lạnh, máy điều hòa không khí, bơm nhiệt và cả các máy lạnh sâu.

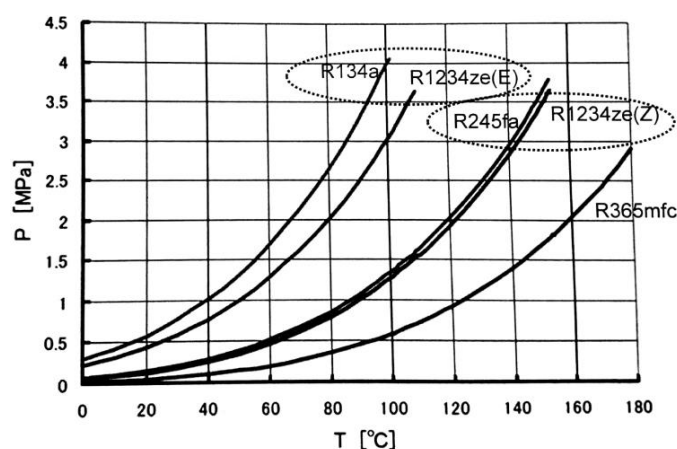
4. Môi chất cho bơm nhiệt ở nhiệt độ cao

Khi làm việc ở cấp nhiệt độ cao từ $80 \div 120^{\circ}\text{C}$, yêu cầu phải có một số môi chất phù hợp, ngoài yêu cầu về tính thân thiện với môi trường $\text{ODP} = 0$; GWP thấp, an toàn không cháy nổ, thì áp suất ngưng tụ không quá cao để độ dày thiết bị không yêu cầu quá lớn cũng là yêu cầu rất đặc biệt.

Bảng 3 giới thiệu thông số một môi chất đang được sử dụng cho bơm nhiệt nhiệt độ cao tại Nhật nói riêng và trên thế giới nói chung. Hình 1 giới thiệu đường cong áp suất bão hòa của các môi chất đó.

Bảng 3

Môi chất lạnh	Công thức hóa học	GWP	Tính cháy	$t_c, ^{\circ}\text{C}$	p_c, MPa	$t_s, ^{\circ}\text{C}$
R744	CO_2	1	Không cháy	30,98	7,377	-78,4
R1234yf	$\text{CF}_3\text{CF}=\text{CH}_2$	4	Cháy yếu	94,7	3,382	-29,48
R134a	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$	1430	Cháy yếu	101,06	4,059	-26,07
R1234ze(E)	$\text{CFH}=\text{CHCF}_3$	6	Cháy yếu	109,37	3,636	-18,96
R1234ze(Z)	$\text{CFH}=\text{CHCF}_3$	<10	Không cháy	153,7	3,97	9,76
R245fa	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHF}_2$	1030	Không cháy	154,01	3,651	15,14
R365mfc	$\text{CF}_2\text{CH}_2\text{CF}_2\text{CH}_3$	794	Cháy yếu	186.85	3,266	40,19



Hình 1

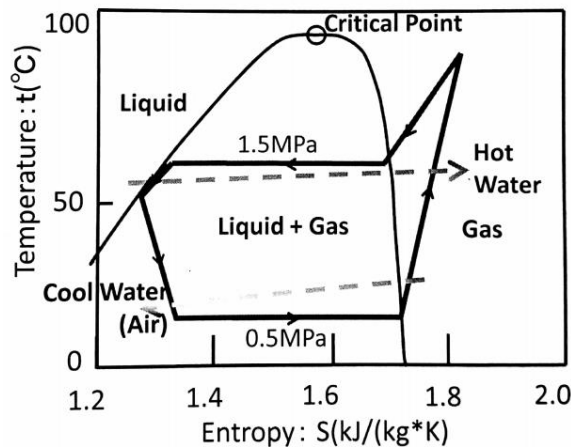
Trên bảng, hiệu ứng nhà kính của R134a và R245fa là khá cao nên cần phải loại bỏ. Trên đồ thị có

thể thấy đường cong áp suất hơi của R1234ze(Z) rất gần với R245fa, tương tự, R1234ze(E) rất gần R134a, nên trong tương lai R1234ze(Z) và R1234ze(E) sẽ thay thế cho R245fa và R134a.

5. Những ứng dụng bơm nhiệt cụ thể

5.1. Đun nước nóng nhiệt độ trung bình $50 \div 60^\circ\text{C}$

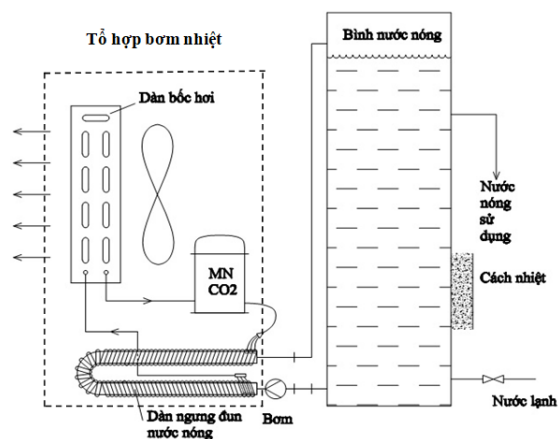
Hình 2 giới thiệu chu trình bơm nhiệt thông thường biểu diễn trên đồ thị T-s của các loại môi chất như R22, R410A, R134a...; nhiệt độ nước hoặc không khí vào dàn bay hơi khoảng $10 \div 30^\circ\text{C}$, nhiệt độ nước nóng ra $50 \div 60^\circ\text{C}$; COP đạt 4 đến 5 hoặc hơn, thực hiện trao đổi nhiệt ngược chiều.



Hình 2

5.2. Đun nước nóng nhiệt độ cao $80 \div 90^\circ\text{C}$

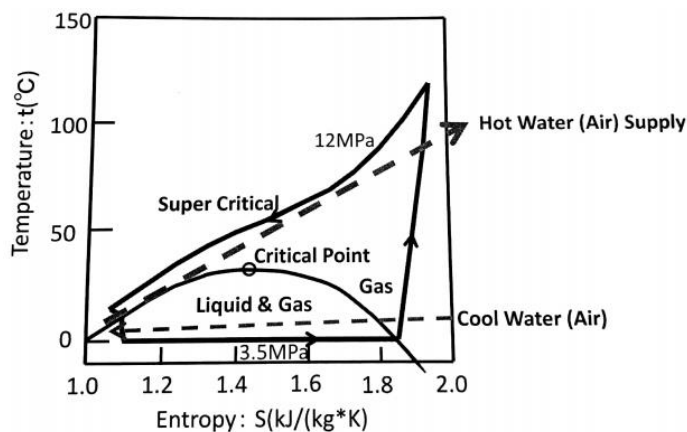
Khi cần nhiệt độ nước nóng cao đến 90°C hoặc hơn, cần thiết phải sử dụng chu trình CO_2 , chu trình 2 cấp hoặc ghép tầng. Các chu trình này được đặc biệt phát triển tại Nhật [3-7]. Khi sử dụng CO_2 làm môi chất lạnh như hầu hết các loại bơm nhiệt gia dụng và thương nghiệp xuất xứ từ Nhật, áp suất ngưng tụ rất cao trên 120 bar, nên không thể sử dụng kiểu ống lồng ống mà phải sử dụng một loại thiết bị trao đổi nhiệt đặc biệt đối với dàn ngưng tụ, ở đây giới thiệu qua sơ đồ nguyên lý của bơm nhiệt ECO-CUT, dạng vòng nước gia dụng (Hình 3).



Hình 3.

Bơm nhiệt đun nước nóng ECOCUT gồm cụm bơm nhiệt (máy nén, dàn ngưng, ống mao, dàn bay hơi và quạt gió) và bình nước nóng có cách nhiệt. Môi chất lạnh là CO_2 . Cụm ngoài nhà trông tương tự

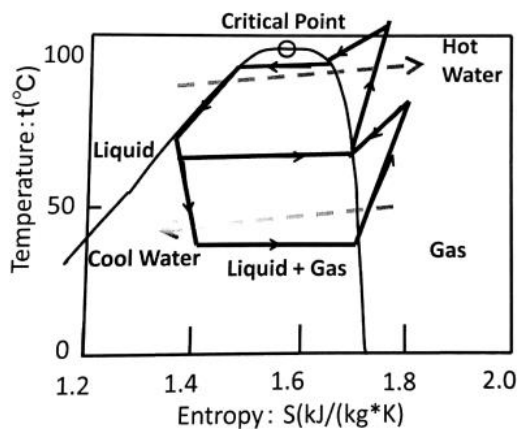
như OU của máy điều hòa 2 cụm, dàn bốc hơi ống xoắn có quạt hướng trục. Riêng dàn đun nước nóng là loại trao đổi nhiệt ngược chiều được cấu tạo đặc biệt. Nước đi trong ống xoắn có kích thước khá lớn, khoảng $14 \div 16$ mm, CO₂ đi trong các ống nhỏ đường kính khoảng 3mm quấn chung quanh ống nước. Tùy theo lưu lượng yêu cầu, số ống có thể nhiều hoặc ít. Do ống nhỏ nên ống không cần quá dày vẫn có thể chịu được áp suất ngưng tụ lên đến 120 bar của CO₂. Để tạo tiếp xúc tốt, người ta cán các rãnh thích hợp trên ống nước sao cho vừa khít với ống CO₂. Sau khi lắp ống CO₂ lên ống nước, cần phải tráng thiếc để tạo tiếp xúc tốt hơn giữa ống nước và ống CO₂. Nước được bơm qua dàn ngưng để thu nhiệt ngưng tụ rồi đưa lên bình nước nóng để đưa đi tiêu thụ. Lợi ích của chu trình bơm nhiệt trên tới hạn của CO₂ là nhiệt độ nước nóng có thể đạt được khá cao khoảng 90°C so với chu trình Rankin ngược chiều tiến hành dưới điểm tới hạn. Hình 4 giới thiệu chu trình trên điểm tới hạn CO₂ biểu diễn trên đồ thị T-s. Khi cho nước đi ngược chiều với dòng CO₂ áp suất 120 bar, nhiệt độ nước có thể đạt 80; 90 thậm chí 100°C.



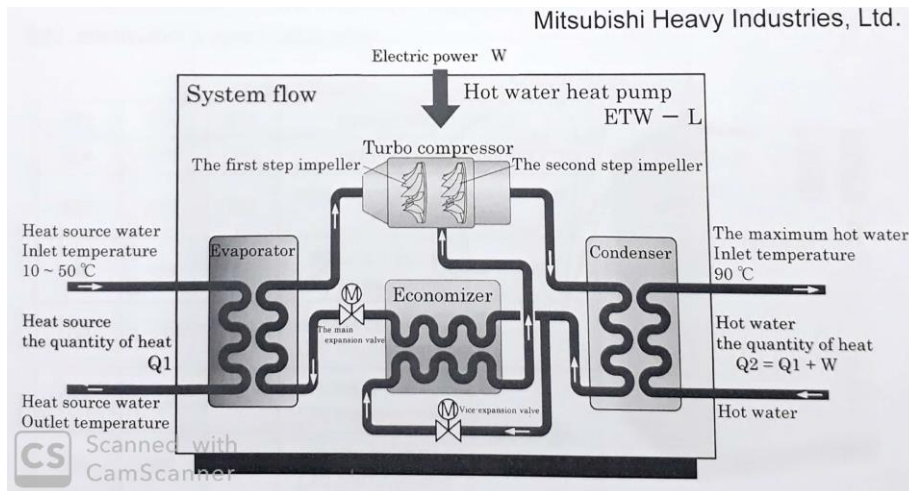
Hình 4. Chu trình trên điểm tới hạn của CO₂

Do áp suất dàn nóng chu trình CO₂ rất cao, 120 bar, nên để giữ an toàn cho thiết bị, năng suất bơm nhiệt chỉ giới hạn ở mức nhỏ, lắp nhiều modul mới đạt khoảng $5 \div 10$ m³ nước nóng/24h. Đối với các nhu cầu nước nóng công suất lớn với nhiệt độ cao khoảng 90°C, các công ty Nhật phát triển loại bơm nhiệt 2 cấp nén tuabin, môi chất R134a. Khi sử dụng môi chất R245fa còn có thể sản xuất hơi nhiệt độ 120°C, áp suất dư 1 bar và hơi 165°C, áp suất dư 6 bar (xem Mục 9.4 Chương 9).

Hình 5 và 6 giới thiệu chu trình trên đồ thị T-s và sơ đồ bơm nhiệt 2 cấp đun nước nóng tuabin môi chất R134a.



Hình 5. Chu trình bơm nhiệt 2 cấp đun nước nóng tuabin môi chất R134a



Hình 6. Sơ đồ bơm nhiệt 2 cấp đun nước nóng tuabin môi chất R134a

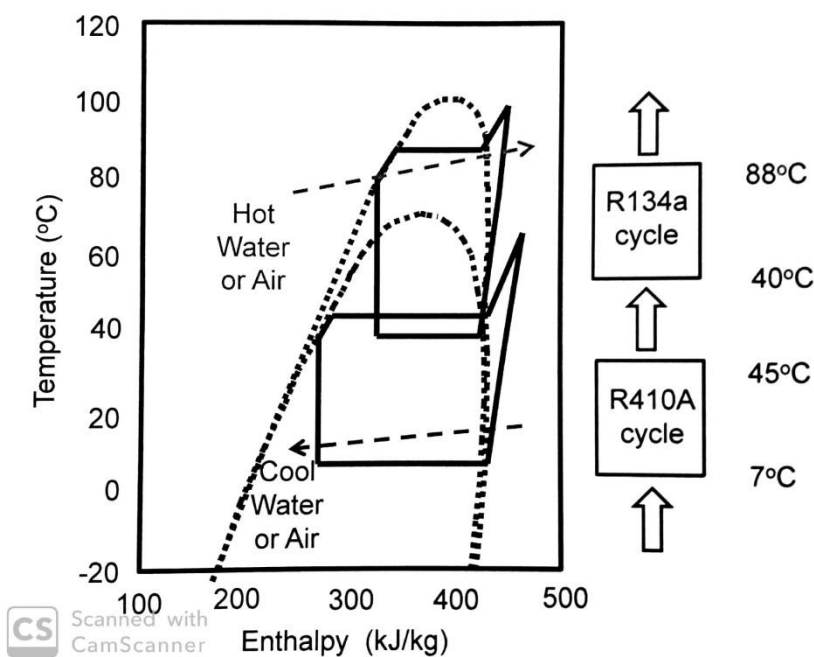
Bảng 4 giới thiệu thông số kỹ thuật 3 loại bơm nhiệt kiểu này của Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

Bảng 4

Năng suất nhiệt, kW		376	545	547
Năng suất lạnh, kW		266	400	405
Công suất tiêu thụ, kW		104	136	133
Dàn ngưng	Nhiệt độ nước vào, oC	50	65	80
	Nhiệt độ nước ra, oC	60	75	90
Dàn bay hơi	Nhiệt độ nước vào, oC	15	35	50
	Nhiệt độ nước ra, oC	10	30	45

Ngoài máy nén 2 cấp, các công ty Nhật còn phát triển cả loại ghép tầng, tầng dưới dùng R410A và tầng trên dùng R134a.

Cụm tầng dưới R410A nối với cụm tầng trên R134a là vòng ga; còn cụm tầng trên R134a nối ra bình nước nóng là vòng nước. Giải pháp này khắc phục được nhược điểm áp suất thiết bị quá cao của môi chất CO_2 . Hình 7 giới thiệu chu trình bơm nhiệt ghép tầng đun nước nóng.



Hình 7

Hình 8 giới thiệu sản phẩm bơm nhiệt ghép tầng của Toshiba. Bơm nhiệt gồm 2 cụm riêng biệt là cụm tầng thấp R410A và cụm tầng cao R134a. Sản phẩm của Daikin có tên MEGA-Q.



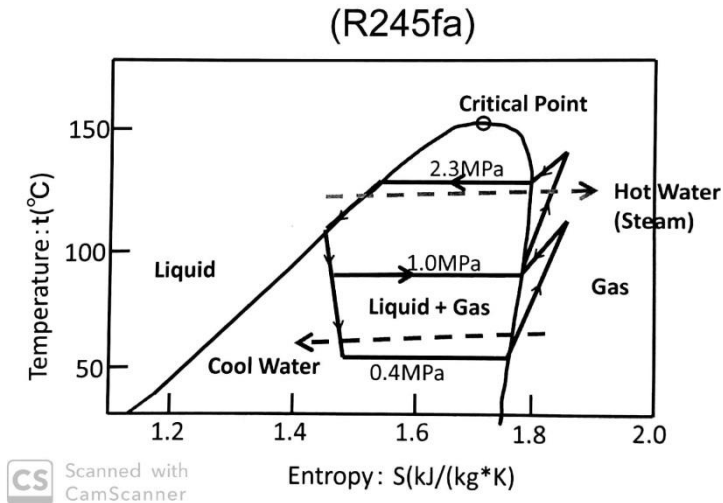
Hình 8

Do Nhật là nước nằm trong vùng khí hậu ôn đới, mùa đông giá lạnh, nhiệt độ nước cấp mùa đông chỉ khoảng $6 \div 7^\circ\text{C}$; nhiệt độ ngoài trời xuống dưới 0°C , cũng do tổn thất nhiệt nhiều trên đường ống, nên mới phải sử dụng đến chu trình CO_2 , chu trình 2 cấp và chu trình ghép tầng để có nước nóng có nhiệt độ cao, đến 90°C , COP chỉ đạt trên dưới 3,0. Việt Nam có thời tiết nhiệt đới nóng ẩm, Miền Nam không có mùa đông, nhiệt độ nước cấp $20 \div 30^\circ\text{C}$, nhiệt độ nước nóng yêu cầu chỉ $50 \div 60^\circ\text{C}$, COP có thể đạt $5,0 \div 6,0$; thậm chí cao hơn nên không phải sử dụng chu trình CO_2 , hai cấp cũng như chu trình ghép tầng. Việt Nam chỉ nên sử dụng chu trình dạng này khi kết hợp đồng thời với sử dụng được cả nguồn lạnh để bảo quản lạnh chẳng hạn.

5.3. Bơm nhiệt nổi hơi $120 - 165^\circ\text{C}$

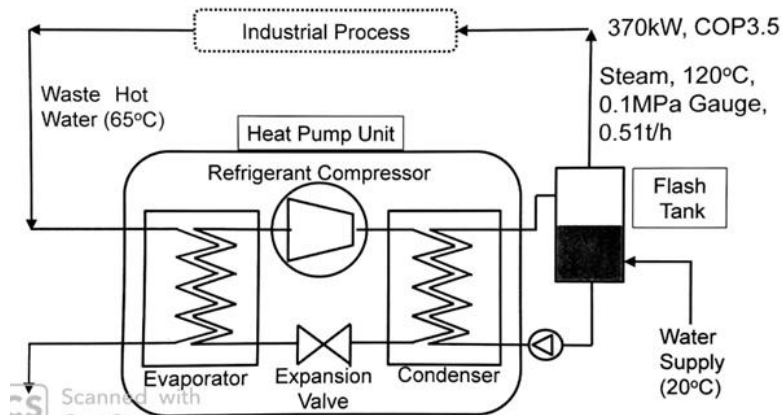
Một số bơm nhiệt nổi hơi có nhiệt độ rất cao $120 \div 165^\circ\text{C}$ dùng để sản xuất hơi nước đã được lắp đặt và vận hành mang lại hiệu quả kinh tế cao tại nhà máy thép Kobe Nhật. Hình 9 giới thiệu chu trình bơm nhiệt 2 cấp máy nén tuabin, có Economizer làm mát trung gian, môi chất lạnh R245fa để sản

xuất hơi nước; Sơ đồ bơm nhiệt này tương tự như đã giới thiệu trên Hình 6. Môi chất R245fa có công thức hóa học $\text{CHF}_2\text{CH}_2\text{CF}_3$; phân tử lượng 134,05 kg/kmol; nhiệt độ sôi thường ở $15,1^\circ\text{C}$; nhiệt độ tới hạn $154,1^\circ\text{C}$; áp suất tới hạn 4,43 MPa; nhóm an toàn A1; thời gian tồn tại trong khí quyển 8,8 năm; ODP = 0; GWP = 1030. Nguồn nhiệt là nước thải có nhiệt độ $55 \div 60^\circ\text{C}$. Ra từ bình ngưng là nước nóng hoặc hơi nước trên 100°C .



Hình 9

Hình 10 và 11 giới thiệu sơ đồ thiết bị và hình ảnh bơm nhiệt 2 cấp môi chất R245fa kiểu SGH 120 tại Nhà máy thép Kobe để sản xuất hơi nước ở nhiệt độ 120°C , áp suất dư 1 bar, năng suất 0,51 tấn hơi/h, năng suất nhiệt 370 kW, nhiệt độ nguồn nước thải 65°C . Bình bốc bay Flash Tank làm nhiệm vụ tách pha hơi khỏi pha lỏng; lỏng được bơm quay trở lại dàn ngưng còn hơi được đưa đến hệ tiêu thụ của quá trình công nghiệp.

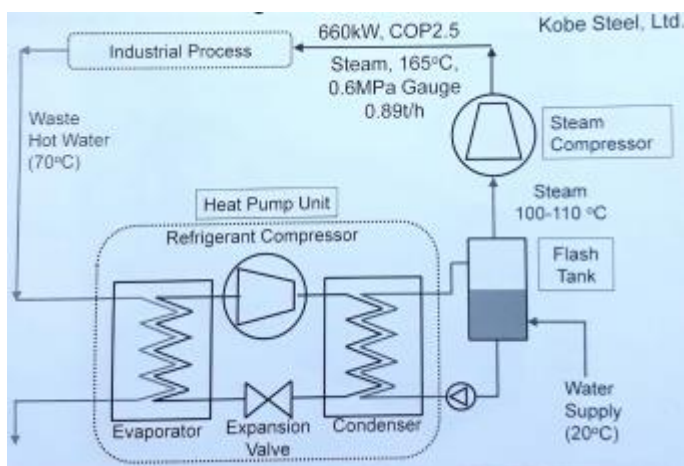


Hình 10



Hình 11

Hình 12 và 13 giới thiệu sơ đồ thiết bị và hình ảnh bơm nhiệt 2 cấp môi chất R245fa kiểu SGH 165 tại Nhà máy thép Kobe để sản xuất hơi nước ở nhiệt độ 165°C, áp suất dư 6 bar, năng suất 0,89 tấn hơi/h, năng suất nhiệt 660 kW, nhiệt độ nguồn nước thải 70°C, COP = 2,5. Bơm nhiệt SGH 165 đạt được nhiệt độ và áp suất cao hơn nhờ có máy nén hơi lắp nối tiếp trên đường hơi ra.



Hình 12



Hình 13

6. Kết luận

Bơm nhiệt đã và đang được ứng dụng rộng rãi không những trong khu vực gia đình, thương nghiệp và cả trong các ngành công nghiệp khác nhau như sưởi ấm, đun nước nóng, sấy lạnh, bay hơi cô đặc, chưng cất, tách chất... và thực tế đã mang lại hiệu quả kinh tế rõ ràng. Bơm nhiệt có hiệu suất đặc biệt cao khi sử dụng với nhiệt độ nguồn nóng trung bình $50 \div 60^{\circ}\text{C}$. Khi sử dụng cả hai nguồn nóng và lạnh kết hợp như trong các nhà máy chế biến thực phẩm, nguồn nóng dùng để tẩy rửa vệ sinh, nguồn lạnh để bảo quản thì hiệu suất tăng lên gấp 2 lần vì COP khi đó là tổng của COP lạnh và COP nóng. Đối với bơm nhiệt nhiệt độ cao và rất cao cần tận dụng được nguồn nhiệt thải phù hợp. Khi sử dụng chu trình 2 cấp hoặc ghép tầng như đã giới thiệu cần chứng minh được lợi ích kinh tế.

Các môi chất lạnh CO_2 , R245fa... cũng như các chu trình 2 cấp và ghép tầng chỉ phù hợp với nhu cầu đun nước nóng nhiệt độ cao 90°C tại Nhật. Nó không phù hợp để ứng dụng với nhu cầu đun nước nóng ở Việt Nam, do khí hậu Việt Nam khá nóng nên nhiệt độ nước nóng yêu cầu chỉ từ $50 \div 60^{\circ}\text{C}$ là đủ. COP bơm nhiệt đun nước nóng tại Việt Nam vì thế cũng lớn hơn cùng loại ở Nhật tới $1,5 \div 2$ lần. Việc lựa chọn môi chất cần tuân thủ tính kinh tế, hiệu quả cũng như môi trường như đã giới thiệu ở trên.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Đức Lợi. Bơm Nhiệt. Nxb Giáo Dục 2020.
2. Nguyễn Đức Lợi. Các thể hệ môi chất lạnh và bảo vệ môi trường sống. Tạp chí năng lượng Nhiệt số 122 (01/2015) tr. 9-13.
3. Choyu Watanabe. Pioneering Industrial Heat Pump Technology in Japan. Proceedings of the 3rd Conference of Asian Heat Pump and Thermal Storage Technologies Network, HUST 8th October 2013.
4. Zhang Shicong. The Development of Heat Pump and Thermal Storage in China. Proceedings of the 3rd Conference of Asian Heat Pump and Thermal Storage Technologies Network, HUST 8th October 2013.
5. Koji Sgiyama. Heat Pump Technology and Case Study for Commercial Usage. Workshop Heat Pump Hot Water Heaters and Thermal Storage System Technologies and Dissemination Support Policies of Japan. Hanoi, November 21th, 2019.
6. 68. Vũ Huy Khôi. Vietnam Hot Water System Business. Workshop Heat Pump Hot Water Heaters and Thermal Storage System Technologies and Dissemination Support Policies of Japan. Hanoi, November 21th, 2019.
7. Toshiro Asahina. Introduce of Hot Water Supply Heat Pump UNIMO. Workshop Heat Pump Hot Water Heaters and Thermal Storage System Technologies and Dissemination Support Policies of Japan. Hanoi, November 21th, 2019.

¹⁾GS.TS, Giảng viên Viện Nhiệt Lạnh ĐHBK Hà Nội. Liên hệ dt 0966 849 568; loidhbk@gmail.com.