

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG MÁY LẠNH GHEP TẦNG TRONG KỸ THUẬT BẢO QUẢN MÁU VÀ CÁC CHẾ PHẨM TỪ MÁU

STUDY OF CASCADE REFRIGERATION APPLICATIONS TO TECHNOLOGY OF PRESERVING BLOOD AND BLOOD PRODUCTS

Hoàng Ngọc Đồng^{1*}, Nguyễn Thành Văn¹, Lê Minh Trí²

¹Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; *hndong@dut.udn.vn

²Trường Cao đẳng Công nghiệp Huế; lmtri@hueic.edu.vn

Tóm tắt - Máu và các chế phẩm từ máu là những sản phẩm đặc biệt, nó đòi hỏi một quy trình bảo quản lạnh khắt khe với nhiều chế độ nhiệt khác nhau (từ 24°C đến -196°C). Các bệnh viện có trung tâm bảo quản máu đều dùng nhiều loại thiết bị lạnh để bảo quản nhiều loại chế phẩm từ máu. Các thiết bị lạnh này đều hoạt động độc lập với chế độ nhiệt cố định được các nhà sản xuất thiết kế sẵn. Việc sử dụng đồng thời nhiều thiết bị lạnh có nhiều chế độ nhiệt khác nhau làm cho chi phí vận hành cao, thụ động trong quản lý, lãng phí trong đầu tư, chồng chéo chức năng giữa các thiết bị. Bài báo này phân tích và đề xuất ứng dụng máy lạnh ghép tầng để thiết kế một hệ thống lạnh có nhiều chế độ nhiệt phục vụ nhu cầu lạnh tại các bệnh viện.

Từ khóa - thiết bị lạnh cryo; tế bào gốc; chu trình lạnh Pictet; sản xuất nitơ lỏng; hệ thống lạnh ghép tầng.

Abstract - Blood and blood products are special products which require a rigorous process of preservation with the temperature ranging from 24°C to -196°C. Therefore, blood preserving centers of hospitals use multiple refrigeration equipment to preserve multiple kinds of blood products. The equipment is operated independently with fixed temperature modes designed by manufacturers. The simultaneous use of those devices is the cause of high operating cost, passive management, wasteful investment and overlapping functions among devices. This paper proposes applying a cascade refrigeration equipment in order to design a refrigeration system whose multiple temperature modes can serve the need for refrigeration of hospitals.

Key words - cryogenic equipment; stem cell; Pictet refrigeration cycle; produce liquid nitrogen; cascade refrigeration system.

1. Đặt vấn đề

Để bảo quản máu và các chế phẩm từ máu, Bộ Y tế đã ban hành “Quyết định về việc ban hành quy chế truyền máu, số 06/ 2007/ QĐ- BYT ngày 19 tháng 01 năm 2007”. Trong đó các chế phẩm từ máu sẽ có các yêu cầu bảo quản lạnh khác nhau, cụ thể là [1]:

- Huyết tương tươi, chế phẩm tiểu cầu được bảo quản ở nhiệt độ 20 đến 24°C;
- Máu toàn phần, khối hồng cầu được bảo quản ở nhiệt độ từ 2 đến 6°C;
- Huyết tương tươi đông lạnh, tủa lạnh được làm đông và bảo quản ở nhiệt độ thấp hơn -18°C.
- Khối hồng cầu đông lạnh 40% glycerol được bảo quản ở nhiệt độ thấp hơn -80°C;
- Khối hồng cầu đông lạnh 20% glycerol được bảo quản ở nhiệt độ thấp hơn -120°C.

Việc nghiên cứu, xây dựng một chu trình lạnh thống nhất có nhiều chế độ nhiệt phục vụ cho các bệnh viện không những là nhu cầu cần thiết của đơn vị sử dụng mà còn là cơ sở thiết kế, chế tạo các thiết bị lạnh Cryo.

2. Kết quả nghiên cứu và khảo sát

2.1. Giới thiệu thực trạng

Qua thực tế, tại các bệnh viện Việt Nam đang sử dụng các thiết bị lạnh có nhiều chế độ nhiệt khác nhau để bảo quản các chế phẩm từ máu cụ thể gồm:

- Kho điều hòa (24°C): dùng bảo quản khối tiểu cầu đậm đặc;
- Kho lạnh (4°C): dùng bảo quản hồng cầu khối;
- Kho đông (-35°C): dùng bảo quản huyết tương, tủa lạnh;
- Tủ đông âm sâu (-86°C): dùng bảo quản huyết tương tươi đông lạnh, các chế phẩm thuộc nhóm máu quý hiếm ít gặp;

- Bình bảo quản lạnh Cryo (-196°C): dùng bảo quản tế bào gốc, bảo quản noãn trứng và hộp xương sọ.

Các thiết bị trên đều hoạt động độc lập, riêng lẻ gây khó khăn trong việc quản lý, điều hành và lãng phí đầu tư.

2.2. Đề xuất giải pháp

Giải pháp đưa ra là sử dụng một hệ thống lạnh thống nhất có nhiều chế độ nhiệt với phạm vi từ lạnh trung bình đến lạnh Cryo phục vụ nhu cầu nhiều cấp nhiệt độ trong bảo quản tế bào.

Để hệ thống tạo được nhiệt độ lạnh Cryo về lý thuyết có thể dùng một trong ba phương pháp làm lạnh: Pictet, Linde hay Claude [7]. Tuy nhiên, tại các bệnh viện có nhu cầu lạnh nhiều cấp nhiệt độ lạnh khác nhau, nên lựa chọn chu trình Pictet là hợp lý nhất.

Hệ thống lạnh Cryo tại các bệnh viện Việt Nam có những đặc điểm sau:

Phòng điều hòa 24°C: Sử dụng máy điều hòa không khí để làm mát.

Kho lạnh, kho đông, tủ đông âm sâu và bình lạnh Cryo: Sử dụng chu trình Pictet để cấp lạnh cho 4 cấp nhiệt độ: 4°C; -35°C, -85°C và -190°C với 4 tầng, cụ thể:

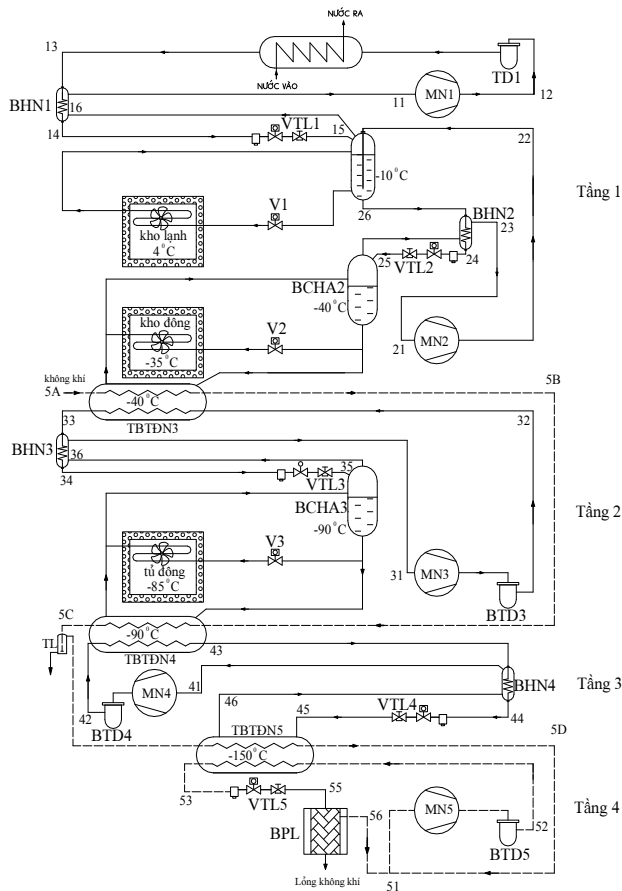
- Tầng 1: Sử dụng máy nén 2 cấp, cung cấp lạnh cho kho lạnh 4°C và kho đông -35°C;
- Tầng 2: Sử dụng máy lạnh ghép tầng, trong tầng 2 sẽ có thêm tủ đông hoạt động ở nhiệt độ -85°C;
- Tầng 3: Sử dụng máy lạnh ghép tầng tạo ra nhiệt độ trung gian. Do độ chênh lệch nhiệt độ giữa tầng 2 (-85°C) và nhiệt độ cần đạt tại tầng 4 (-190°C) rất lớn, nên cần có tầng 3 làm tầng trung gian;
- Tầng 4: Sử dụng máy lạnh ghép tầng. Trong tầng 4 sẽ sản xuất ra lỏng không khí và sử dụng lỏng không khí cấp lạnh cho bình bảo quản lạnh Cryo.

Hệ thống sử dụng không khí chứ không phải nitơ vì để sử dụng nitơ yêu cầu hệ thống phải lắp thêm hệ thống phân ly dùng để tách nitơ ra khỏi không khí lỏng, rất phức tạp, trong lúc chỉ sử dụng chúng làm chất trung gian làm lạnh các chế phẩm đã được đóng gói cẩn thận. Mặc dù không khí lỏng có nhiệt độ bay hơi cao hơn một ít so với nitơ (-190°C so với $-195,8^{\circ}\text{C}$), nhưng vẫn đảm bảo độ lạnh Cryo và không làm ảnh hưởng đến các thiết bị.

Để điều chỉnh năng suất lạnh linh hoạt và phù hợp, hệ thống sử dụng thiết bị powerboss cho các máy nén ở mỗi cấp.

2.3. Nguyên lý làm việc hệ thống lạnh Cryo

Sơ đồ hệ thống lạnh Cryo cho các bệnh viện Việt Nam được biểu diễn ở Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hệ thống lạnh

TBTDN- Thiết bị trao đổi nhiệt MN- máy nén

VTL- Van tiết lưu BHN- Bình hồi nhiệt

BCHA- Bình chứa hạ áp TL- Tách lỏng

2.3.1. Nguyên lý làm việc của chu trình lạnh tại tầng 1

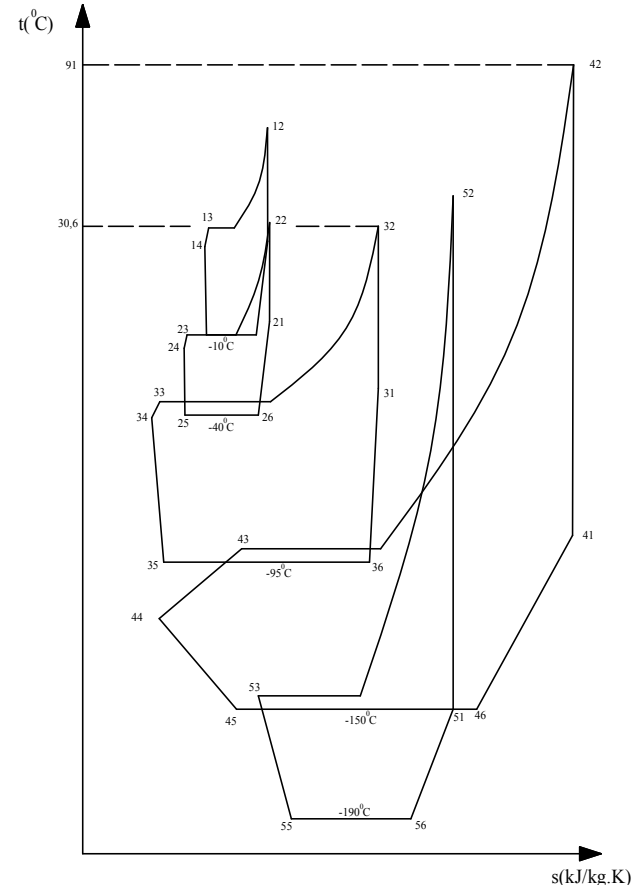
Tầng 1 là hệ thống lạnh 2 cấp, làm mát bằng nước. Tầng 1 cấp lạnh cho kho lạnh 4°C và kho đông -35°C hoạt động.

Máy nén 1 nén môi chất lên tách dầu 1 (TD1), sau đó đi qua thiết bị trao đổi nhiệt 1 (TBTDN1) môi chất được làm mát, ngưng tụ lại thành lỏng, qua bình hồi nhiệt 1 (BHN1) hạ nhiệt độ xuống nhiệt độ quá lạnh, đi qua cụm van tiết lưu 1 (VTL1) cấp lỏng vào bình trung gian (BTG). Hơi ra khỏi BTG sẽ được đưa ngược dòng trở lại BHN1 rồi trở về MN1. Lỏng môi chất tại bình trung gian một phần sẽ được sử dụng làm lạnh cho kho lạnh 4°C thông qua van 1 (V1), một phần lỏng sẽ đi qua BHN2, tiết lưu vào bình chứa

hạ áp 2 (BCHA2) thông qua VTL2. Lỏng trong BCHA2 vừa cấp lỏng làm lạnh kho đông, vừa làm lạnh TBTDN3. Phần hơi sinh ra sẽ qua BHN2 rồi trở về MN2.

Môi chất lạnh chọn lựa là R404a. Nhiệt độ ngưng tụ do được làm mát bằng nước nên chọn t_k bằng 30°C và nhiệt độ bay hơi t_0 bằng -40°C .

Áp suất trung gian được tính bằng $P_{tg} = \sqrt{P_k \cdot P_0} = 4,34$ bar tương ứng -10°C .



Hình 2. Biểu diễn trên đồ thị T-S

2.3.2. Nguyên lý làm việc chu trình lạnh tầng 2

Trong tầng 2, môi chất được MN3 nén lên LTD3, qua TBTDN3 hạ nhiệt độ ngưng tụ lại thành lỏng, qua BHN3 giảm nhiệt độ xuống nhiệt độ quá lạnh, qua VTL3 cấp lỏng cho BCHA3. Lỏng trong BCHA3 vừa đồng thời cấp lỏng làm lạnh tủ đông (-86°C), vừa cấp lỏng làm lạnh TBTDN4, phần hơi sinh ra sẽ đi qua BHN3 trao đổi nhiệt ngược chiều với lỏng đi vào, sau đó được hút về MN3.

Môi chất lạnh sử dụng tại tầng 2 được lựa chọn theo hướng: ưu tiên thân thiện môi trường, có nhiệt độ cuối tâm nén thấp, có áp suất bay hơi dương. Kết quả đã lựa chọn sử dụng môi chất R170. Nhiệt độ ngưng tụ và bay hơi tương ứng -35°C và -95°C .

2.3.3. Nguyên lý làm việc chu trình lạnh tầng 3

Tầng 3 có nguyên lý làm việc tương tự như tầng 2, môi chất được MN4 nén qua TBTDN4, qua BHN4 vào cấp lạnh cho TBTDN5.

Không khí được hút vào ở trạng thái 5A, qua TBTDN3 làm lạnh xuống trạng thái 5B, qua TBTDN4 được làm lạnh

xuống trạng thái 5C. Tại đây do nhiệt độ đã xuống thấp, các chất có hại như CO, H₂S, CO₂ đã được ngưng tụ lại thành lỏng, trong hệ thống bố trí thêm thiết bị tách lỏng (TL) để tách các chất này ra khỏi không khí.

Môi chất sử dụng trong tầng 3 phải thỏa mãn các yêu cầu: có nhiệt độ điểm tới hạn lớn hơn -90°C; áp suất bay hơi dương; nhiệt độ cuối tầm nén nhỏ để tránh dầu bôi trơn phân hủy. Qua các phân tích đã chọn R50 (CH₄) thỏa mãn các yêu cầu trên, nhiệt độ tại điểm 43 chọn bằng -85°C với độ chênh lệch nhiệt độ 5°C so với TBTDN4.

2.3.4. Nguyên lý làm việc chu trình lạnh tầng 4

Không khí sau khi được làm lạnh xuống trạng thái 5C, được TL loại bỏ các thành phần độc hại, tiếp tục được làm lạnh xuống 5D thông qua TBTDN5. Sau đó hòa trộn với phần hơi sinh ra ở thiết bị ngưng tụ lỏng (NTL) được MN5 nén lên qua TBTDN5 hạ nhiệt độ, qua VTL5 tiết lưu vào bình phân ly (BPL), tại đây nhiệt độ không khí đã đạt đến nhiệt độ ngưng tụ, không khí sẽ ngưng tụ lại thành lỏng được lấy ra ngoài.

Chọn nhiệt độ cho TBTDN5: nhiệt độ của TBTDN5 sẽ là cấp trung gian giữa nhiệt độ lỏng không khí và nhiệt độ tại TBTDN4. Nhiệt độ tại TBTDN5 càng cao sẽ thuận tiện cho việc thiết kế tầng 3, tuy nhiên nếu cao quá sẽ vượt nhiệt độ tới hạn của không khí (-142°C), do đó tác giả đã chọn nhiệt độ TBTDN5 là -150°C.

2.3.5. Đồ thị T-S của hệ thống lạnh

Đồ thị T-S của hệ thống lạnh, được thể hiện trên Hình 2. Độ chênh nhiệt độ giữa các tầng là 5°C. Nhiệt độ cuối tầm nén cao nhất tại điểm 42 đạt 91°C. Nhiệt độ cuối tầm nén thấp nhất tại điểm 32 đạt 30,6°C.

2.4. Thông số trạng thái tại các điểm nút và thông số kỹ thuật của chu trình

2.4.1. Thông số trạng thái tại các điểm nút

Sử dụng bảng đồ thị lgp-h của các môi chất lạnh R404a, R170, R50, và không khí; xây dựng chu trình lạnh hồi nhiệt với nhiệt độ ngưng tụ và bay hơi tương ứng. Thông số trạng thái của chu trình lạnh Cryo được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1. Thông số trạng thái tại các điểm nút của chu trình

Tầng	Điểm nút	t, [°C]	p, [bar]	h, [kJ/Kg]	v, [m³/kg]	s, [kJ/kgK]
Tầng1 Cao áp R404a	11	25	4,34	393,7	0,054	1,731
	12	67,5	14,161	421,7	0,017	1,729
	13	30	14,161	246,4	0,001	1,158
	14	23	14,161	215,9		1,121
	15	-10	4,34	215,9	0,014	1,137
	16	-10	4,34	363,2	0,046	1,62
Tầng 1 Hạ áp R404a	21	-5	1,33	372	0,166	1,749
	22	32	4,34	399,6	0,056	1,75
	23	-10	4,34	185,9	0,001	0,948
	24	-15	4,34	157,9		0,92
	25	-40	1,33	157,9	0,025	0,928
	26	-40	1,33	344	0,141	1,64
Tầng 2 R170	31	-30	0,712	449,12	0,717	2,722
	32	30,6	9,2	614,04	0,084	2,722
	33	-35	9,2	94,74	0,002	0,602
	34	-41	9,2	78,95	0,002	0,523
	35	-95	0,712	78,95	0,19	0,64
	36	-95	0,712	433,33	0,671	2,636
Tầng	Điểm nút	t, [°C]	p, [bar]	h, [kJ/Kg]	v, [m³/kg]	s, [kJ/kgK]
Tầng 3 R50	41	-85	2,4	829,5	0,402	5,89
	42	91	36,3	1200	0,051	5,9
	43	-90	36,3	467,63	0,004	2,68
	44	-116,1	36,3	326,13	0,003	1,88
	45	-150	2,4	326,13	0,104	2,63
Tầng 4 Air	11	-150	1	350	0,296	3
	12	42	30,7	538,8	0,029	3
	13	-145	30,7	214,6	0,002	1,11
	15	-191	1	214,6	0,105	1,43
	16	-191	1	308,2	0,194	2,59

Bảng 2. Thông số kỹ thuật của chu trình

Các thông số	công thức	Tầng				
		1-cao áp	1-hạ áp	2	3	4
Tỷ số nén π	$\pi_n = P_{n2}/P_{n1}$	3,26	3,26	12,92	15,13	30,70
Năng suất lạnh riêng q_0	$q_{n0} = h_{n6} - h_{n5}$	147,30	186,10	354,38	361,87	93,60
Công nén riêng l_0	$l_{n0} = h_{n2} - h_{n1}$	28,00	27,60	164,92	370,50	188,80
Năng suất nhiệt tải q_k	$q_{nk} = h_{n2} - h_{n3}$	175,30	213,70	519,30	732,37	324,20
Hệ số lạnh ε	$\varepsilon_n = q_0/l_0$	5,26	6,74	2,15	0,98	0,50

2.4.2. Thông số kỹ thuật của chu trình

Từ bảng thông số trạng thái tại các điểm nút, tiến hành tính các thông số kỹ thuật của chu trình với ký hiệu n- số tầng của chu trình. Thông số kỹ thuật của chu trình lạnh Cryo được trình bày ở Bảng 2.

2.4.3. Nhận xét

Tỷ số nén tại tầng 4 rất lớn, đạt đến 30,70, tương ứng với máy nén không khí từ áp suất khí quyển 1 bar tăng đến áp suất 30,7 bar. Với loại máy nén kín hiện nay có thể đạt được áp suất trên, tuy nhiên hệ số lạnh tại tầng 4 là thấp nhất trong các tầng.

3. Kết luận và kiến nghị

- Thông số trạng thái tại các điểm nút cũng như thông số kỹ thuật của hệ thống lạnh Cryo đều nằm trong phạm vi cho phép hoạt động của môi chất lạnh, dầu bôi trơn cũng như các yếu tố kỹ thuật khác. Như vậy, về lý thuyết chu trình lạnh Cryo là phù hợp, có tính thuyết phục.

- Cần có những nghiên cứu về thực nghiệm để có thể

ứng dụng hệ thống lạnh Cryo vào thực tiễn phục vụ nhu cầu lạnh cho các bệnh viện Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ trưởng Bộ Y tế, *Quyết định về việc ban hành quy chế truyền máu*, số 06/ 2007/ QĐ- BYT ngày 19 tháng 01 năm 2007, 2007.
- [2] Võ Chí Chính, Đinh Văn Thuận, *Hệ thống máy và thiết bị lạnh*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2009.
- [3] Võ Chí Chính, Hoàng Dương Hùng, Lê Quốc, Lê Hoài Anh, *Kỹ thuật nhiệt*, NXB KH&KT Hà Nội, 2006.
- [4] Phạm Lê Dân, Đặng Quốc Phú, *Bài tập cơ sở kỹ thuật nhiệt*, NXB Giáo dục, 2002.
- [5] Phạm Lê Dân, Đặng Quốc Phú, *Cơ sở kỹ thuật nhiệt*, NXB Giáo dục, 2002.
- [6] Nguyễn Đức Lợi, Phạm Văn Tùy, *Kỹ thuật lạnh cơ sở*, NXB Giáo dục, 1996.
- [7] Nguyễn Đức Lợi, Phạm Văn Tùy, Đinh Văn Thuận, *Kỹ thuật lạnh ứng dụng*, NXB Giáo dục, 2003.
- [8] Nguyễn Đức Lợi, *Hướng dẫn thiết kế hệ thống lạnh*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2002.
- [9] Phần mềm tra cứu thông số vật lý môi chất lạnh Refrigeration Utilities, version 2.84 copynight 2000.

(BBT nhận bài: 03/12/2014, phản biện xong: 13/01/2015)