

Phương pháp tính hệ số cách nhiệt phản xạ*

Công ty TNHH Tài Phúc Đạt†

Tháng 11 năm 2006

Vật liệu cách nhiệt phản xạ (RIMs) có nhiều loại, nhưng chung quy lại, chúng có một hoặc nhiều bề mặt phát xạ thấp. Các bề mặt phát xạ thấp đó thường là các bề mặt nhôm hoặc film mạ nhôm. Màng phản xạ đó thường được cán/ép lên các vật liệu khác như giấy bìa hoặc polyme để tăng cường độ bền chắc. Khi lắp đặt, các màng phản xạ cùng với lớp đệm không khí tự nhiên tạo nên một đệm khí phản xạ. Phương pháp tính toán sau được áp dụng để tính hệ số cách nhiệt của lớp đệm khí phản xạ đó.

Nhiệm vụ của bề mặt phát xạ thấp là ngăn chặn năng lượng bức xạ truyền qua lớp đệm khí. Cần nhắc lại rằng không khí là vật liệu cách nhiệt tốt thứ hai (sau chân không) đối với hiện tượng dẫn nhiệt. Vì thế, không khí cùng với màng phát xạ thấp tạo nên rào chắn hiệu quả đối với cả 3 hình thức truyền nhiệt: dẫn nhiệt, đối lưu nhiệt và bức xạ nhiệt.

Hệ số cách nhiệt của một hệ gồm n lớp đệm khí phản xạ được tính bởi:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

trong đó R_i là hệ số cách nhiệt của đệm khí thứ i .

Nhiệt truyền qua khoảng không khí theo ba con đường dẫn, đối lưu, và bức xạ nhiệt. Đối lưu nhiệt sinh ra do không khí di chuyển khi có sự chênh lệch nhiệt độ. Rõ ràng, khi nhiệt độ tăng lên, khối không khí sẽ giãn nở, khi đó, tỉ trọng không khí sẽ giảm, khiến cho khối khí đó bốc lên cao. Do đó, tác động của đối lưu nhiệt trong

*Tài liệu dịch từ nguồn: RIMA.net

†Công ty TNHH Tài Phúc Đạt - 99C/2A Cộng Hòa, Tân Bình, TP.HCM - 08.9918699 - 091.9918699

sự truyền nhiệt tổng thể phụ thuộc vào hướng truyền nhiệt. Nếu xét hướng truyền nhiệt từ thấp lên cao, đối lưu chiếm một vai trò quan trọng, nhưng đối với hướng truyền nhiệt từ trên xuống, tác động của đối lưu nhiệt gần như bằng không.

Xét một đệm khí có hai bề mặt bị giới hạn, vuông góc với phương truyền nhiệt, người ta có thể tính được hệ số cách nhiệt thông qua các phương trình sau:

$$R = \frac{1}{E \cdot h_r + h_c} = \frac{\Delta T}{Q} \quad (1)$$

$$E = \left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)^{-1} \quad (2)$$

$$h_r = 0.00686 \left(\frac{T_\mu + 459.7}{100} \right)^3 \quad (3)$$

$$h_c = f(l, T_\mu, \Delta T, \text{hướng truyền nhiệt}) \quad (4)$$

Trong đó,

$\varepsilon_i (i = 1, 2)$	Hệ số phát xạ của bề mặt thứ i .
E	Hệ số phát xạ hiệu dụng của đệm khí.
h_c	Hệ số tác động nhiệt dẫn & đối lưu, $Btu/ft^2 \cdot hr \cdot ^\circ F$
h_r	Hệ số tác động nhiệt bức xạ, $Btu/ft^2 \cdot hr \cdot ^\circ F$
l	Độ dày đệm khí, <i>inch</i>
Q	Thông lượng nhiệt, $Btu/ft^2 \cdot hr$.
R	Hệ số cách nhiệt, $ft^2 \cdot hr \cdot ^\circ F/Btu$
$T_{m,u}$	Nhiệt độ trung bình giữa hai bề mặt, $^\circ F$
ΔT	Chênh lệch nhiệt độ giữa hai bề mặt của đệm khí, $^\circ F$

Phương trình 1 cho thấy chỉ số R-value phụ thuộc vào nhiệt bức xạ, $E \cdot h_r$, và nhiệt dẫn - đối lưu, h_c . Hệ số E , gọi là chỉ số phát xạ hiệu dụng nhận giá trị trong khoảng (0,1), và được tính toán thông qua phương trình 2. Hiển nhiên, nó phụ thuộc vào chỉ số phát xạ riêng của mỗi bề mặt. Chỉ số E của đệm khí có một mặt phát xạ thấp thường nằm trong khoảng 0.03 - 0.05.

Phương trình 3 dùng để tính hệ số tác động của nhiệt bức xạ, hệ số này được nhân với E trong phương trình 1.

Phương trình 4 cho thấy h_c phụ thuộc vào (thực tế là một hàm số theo) 4 biến. Giá trị của h_c được tổng hợp từ thực nghiệm thông

qua các công cụ "hot-box" mô tả trong tài liệu ASTM C 236. Các dữ liệu về R, E, h_r trong quá trình tổng hợp giá trị h_c được đo đạc từ thực tế thí nghiệm. Các giá trị của h_c được tổng hợp theo mỗi hướng truyền nhiệt riêng biệt. Nhóm nghiên cứu của Robinson & Powell đã đưa ra kết quả dưới dạng đồ thị và nhóm của Yarbough đã đưa ra kết quả dạng giải tích.

Các bảng sau đây có thể dùng để tính giá trị R-value với giả thiết rằng nhiệt độ các bề mặt đã được đo đạc. Khoảng chênh nhiệt độ ΔT giữa các bề mặt của mỗi lớp đệm phản xạ ràng buộc bởi các phương trình:

$$\Delta T_i = R_i \times \frac{\Delta T}{R} \quad (5)$$

$$\Delta T = \sum \Delta T_i \quad (6)$$

$$R = \sum R_i \quad (7)$$

Tuy nhiên, nghịch lý lại ở chỗ R_i phụ thuộc vào ΔT_i . Vì thế, người ta tiến hành tính toán chúng bằng phương pháp lặp hội tụ.

Đại lượng duy nhất có thể biết là tổng độ chênh nhiệt ΔT . Vì vậy, trước hết, người ta dự đoán các giá trị ΔT_i sao cho chúng thỏa mãn phương trình 6. Với các giá trị khởi đầu đó, người ta tính được các giá trị R_i từ các bảng 1, 2, và 3. Từ đó tính được R . Với các dữ liệu R và R_i mới nhận được, người ta tìm được một bộ ΔT_i mới.

Quá trình này được lặp lại cho đến khi các giá trị ΔT_i và R_i ngừng thay đổi.

Người ta phối hợp quá trình lặp trên cùng với phương trình 1 để tính toán các giá trị R_i ở mỗi bước lặp. Dữ liệu về h_c trong bảng 4 (nhiệt độ trung bình ở $75^\circ F$) được sử dụng trong quá trình tính toán.

Bảng 1: Giá trị R-value của đệm không khí phản xạ ở 50°F
 $\Delta T = 30^\circ F$, hướng truyền nhiệt từ trên xuống

l	l/E	0.030	0.050	0.100	0.150	0.250	0.500	0.750	0.820
0.50		2.63	2.51	2.25	2.04	1.72	1.24	0.97	0.91
0.75		3.72	3.48	3.01	2.64	2.13	1.44	1.08	1.01
1.00		4.69	4.32	3.61	3.10	2.42	1.56	1.15	1.07
1.25		5.57	5.06	4.11	3.46	2.63	1.65	1.20	1.11
1.50		6.36	5.70	4.53	3.75	2.80	1.71	1.23	1.14
1.75		7.03	6.23	4.86	3.98	2.92	1.76	1.25	1.16
2.00		7.60	6.68	5.12	4.15	3.01	1.79	1.27	1.18
2.25		8.08	7.04	5.34	4.29	3.09	1.81	1.28	1.19
2.50		8.49	7.36	5.51	4.41	3.15	1.83	1.29	1.20
3.00		9.15	7.84	5.78	4.58	3.23	1.86	1.31	1.21

Bảng 2: Giá trị R-value của đệm không khí phản xạ ở 50°F
 $\Delta T = 30^\circ F$, truyền nhiệt theo phương ngang

l	l/E	0.030	0.050	0.100	0.150	0.250	0.500	0.750	0.820
0.50		2.41	2.31	2.09	1.91	1.63	1.19	0.93	0.88
0.75		2.88	2.74	2.43	2.19	1.83	1.29	1.00	0.94
1.00		2.76	2.63	2.35	2.12	1.78	1.27	0.98	0.93
1.25		2.67	2.55	2.28	2.07	1.74	1.25	0.97	0.92
1.50		2.62	2.50	2.25	2.04	1.72	1.24	0.97	0.91
1.75		2.60	2.48	2.23	2.02	1.71	1.23	0.96	0.91
2.00		2.59	2.47	2.22	2.02	1.70	1.23	0.96	0.90
2.25		2.58	2.47	2.22	2.02	1.70	1.23	0.96	0.90
2.50		2.59	2.47	2.22	2.02	1.71	1.23	0.96	0.91
3.00		2.61	2.49	2.24	2.03	1.72	1.23	0.96	0.91

Bảng 3: Giá trị R-value của đệm không khí phản xạ ở 50°F
 $\Delta T = 30^\circ F$, hướng truyền nhiệt từ dưới lên

l	l/E	0.030	0.050	0.100	0.150	0.250	0.500	0.750	0.820
0.50		1.61	1.56	1.46	1.37	1.22	0.95	0.78	0.75
0.75		1.69	1.64	1.53	1.43	1.27	0.98	0.80	0.76
1.00		1.76	1.70	1.58	1.47	1.30	1.00	0.82	0.78
1.25		1.81	1.75	1.62	1.51	1.33	1.02	0.83	0.79
1.50		1.85	1.79	1.66	1.54	1.35	1.03	0.84	0.79
1.75		1.89	1.83	1.69	1.57	1.37	1.05	0.84	0.80
2.00		1.92	1.86	1.71	1.59	1.39	1.06	0.85	0.81
2.25		1.95	1.88	1.74	1.61	1.40	1.06	0.86	0.81
2.50		1.98	1.91	1.76	1.63	1.42	1.07	0.86	0.82
3.00		2.02	1.95	1.79	1.66	1.44	1.09	0.87	0.82

Bảng 4a: Hệ số tác động dẫn nhiệt và đối lưu nhiệt, h_c
dùng trong phương trình 1

DT	Nhiệt truyền xuống					
	Độ dày lớp đệm không khí ($l, in.$)					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
5	0.359	0.184	0.126	0.097	0.080	0.068
10	0.361	0.187	0.129	0.100	0.082	0.072
15	0.363	0.189	0.131	0.101	0.085	0.075
20	0.364	0.190	0.132	0.103	0.087	0.078
25	0.365	0.191	0.133	0.105	0.090	0.081
30	0.366	0.192	0.134	0.106	0.092	0.082

Bảng 4b: Hệ số tác động dẫn nhiệt và đối lưu nhiệt, h_c
dùng trong phương trình 1

DT	Nhiệt truyền ngang					
	Độ dày lớp đệm không khí ($l, in.$)					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
5	0.360	0.204	0.169	0.179	0.185	0.189
10	0.366	0.267	0.223	0.233	0.238	0.241
15	0.373	0.247	0.261	0.271	0.275	0.276
20	0.380	0.270	0.292	0.301	0.303	0.303
25	0.387	0.296	0.317	0.325	0.327	0.326
30	0.394	0.319	0.339	0.347	0.347	0.345

Bảng 4c: Hệ số tác động dẫn nhiệt và đối lưu nhiệt, h_c
dùng trong phương trình 1

DT	Nhiệt truyền lên					
	Độ dày lớp đệm không khí ($l, in.$)					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
5	0.381	0.312	0.295	0.284	0.275	0.268
10	0.429	0.381	0.360	0.346	0.336	0.328
15	0.472	0.428	0.405	0.389	0.377	0.368
20	0.511	0.465	0.440	0.423	0.410	0.400
25	0.545	0.496	0.469	0.451	0.437	0.426
30	0.574	0.523	0.494	0.475	0.460	0.449

Ví dụ 1: Tính độ cách nhiệt của một đệm khí phản xạ

Dữ liệu: Bề mặt thứ nhất: $T = 70^\circ F, \varepsilon_1 = 0.03$.
 Bề mặt thứ hai: $T = 80^\circ F, \varepsilon_2 = 0.80$.
 Khoảng đệm khí: $l = 2inch$.
 Hướng truyền nhiệt: từ trên xuống.

Tính E theo 2 $E = \left(\frac{1}{0.03} + \frac{1}{0.80} - 1 \right)^{-1} = 0.0298$

$$T_\mu = \frac{70 + 80}{2} = 75.$$

$$DT = 80 - 70 = 10$$

h_c từ bảng 4	$h_c = 0.100$
h_r theo 3	$h_r = 1.049$
R theo 1	$R = (0.0298 \times 1.049 + 0.100)^{-1}$ $= 7.6(ft^2 \cdot hr \cdot ^\circ F / Btu)$

Ví dụ 2: Tính độ cách nhiệt của hai đệm khí phản xạ liên tiếp (Hướng truyền nhiệt: từ trên xuống)

Dữ liệu: Đệm khí 1 (phía dưới): Khoảng đệm khí: $l = 1inch$.
 Bề mặt thứ nhất: $\varepsilon_1 = 0.80$.
 Bề mặt thứ hai: $\varepsilon_2 = 0.03$.
 Đệm khí 2 (phía trên): Khoảng đệm khí: $l = 1inch$.
 Bề mặt thứ nhất: $\varepsilon_1 = 0.03$.
 Bề mặt thứ hai: $\varepsilon_2 = 0.80$.
 Nhiệt độ bề mặt trên cùng: $80^\circ F$
 Nhiệt độ bề mặt dưới cùng: $70^\circ F$

Ước lượng DT

$$DT \text{ của đệm khí 1: } DT_1 = 5^\circ F$$

$$DT \text{ của đệm khí 2: } DT_2 = 5^\circ F$$

Ta tìm h_c ở $75^\circ F$ để ước lượng

$$T_\mu \text{ của đệm khí 1: } 72.5^\circ F$$

$$T_\mu \text{ của đệm khí 2: } 77.5^\circ F$$

Tính E theo 2 $E_1 = E_2 = \left(\frac{1}{0.03} + \frac{1}{0.80} - 1\right)^{-1} = 0.0298$

h_c từ bảng 4 $h_{c1} = 0.184$
 $h_{c2} = 0.184$

h_r theo 3 $h_{r1} = 1.034$
 $h_{r2} = 1.064$

R theo 1 $R_1 = 4.66$
 $R_2 = 4.64$
 $R = R_1 + R_2 = 9.3$

Kiểm tra giả thuyết về DT

$$DT'_1 = 10 \times 4.66/9.3 = 5.01$$

$$DT'_2 = 10 \times 4.64/9.3 = 4.99$$

Các giá trị DT'_1, DT'_2 xấp xỉ giá trị giả thiết ban đầu, vì thế, ta có thể ngừng quá trình lặp tại một bước lặp trong trường hợp này. Trong trường hợp các giá trị mới khác biệt với các giá trị giả thiết ban đầu, ta sẽ lặp lại phép tính với các giá trị DT mới thu được.

Tài liệu tham khảo

- Gross and R.G. Miller** “Literature Review of Measurement and Predictions of Reflective Building Insulation System Performance: 1900-1989”, ASHRAE Transactions 95 (2) 651- 664 (1989).
- Ned Nisson** Radiant Barriers, Principles, Practice, and Product Directory”, Energy Design Update, Cutter Information Corporation, Arlington, MA (1990).
- Ludwig, Adams** “Thermal Conductance of Air Spaces”, ASHRAE Journal (March, 1976) pp. 37-38
- Cook, D.W. Yarbrough, and K.E. Wilkes** “Contamination of Reflective Foils in Horizontal Applications and the Effect on Thermal Performance”, ASHRAE Transactions 95 (1) (1989).
- Andre O. Desjarlais and David W. Yarbrough** “Prediction of the Thermal Performance of Single and Multi-Airspace Reflective Insulation Materials”, Insulation Materials: Testing and Applications, 2nd Volume, ASTM STP 1116, R.S. Graves and D.C. Wysocki, Editors, American Society for Testing and Materials, Philadelphia (1991).
- Fairey** “Effect of Infrared Radiation Barriers on the Effective Thermal Resistance of Building Envelopes”, Proceedings of the ASHRAE/DOE Conference on Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings II, ASHRAE Special Publication 38 (1983).
- Philip Fairey** “The Measured, Side-by-Side Performance of Attic Radiant Barrier Systems in Hot-Humid Climates”, Thermal Conductivity 19, David W. Yarbrough, Editor, Plenum Press (1988) pp. 481-496.
- Robert Hageman and Mark P. Medera** “Energy Savings and HVAC Capacity Implications of a Low-Emissivity Interior Surface for Roof Sheathing”.
- Joy** “Improving Attic Space Insulating Values”, ASHRAE Transactions 64 251 (1959).
- Levins and M.A. Karnitz** “Cooling Energy Measurements of Unoccupied Single-Family Houses with Attics Containing Radiant Barriers”, ORNL/ CON-200 (1986), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.

- Levins and M.A. Karnitz** “Cooling Energy Measurements of Unoccupied Single-Family Houses with Attics Containing Radiant Barriers, ORNL/CON-213 (1987), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
- Levins and M.A. Karnitz** “Cooling Energy Measurements of Unoccupied Single-Family Houses with Attics Containing Radiant Barriers, ORNL/CON-226 (1987), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
- Levins and M.A. Karnitz** “Cooling Energy Measurements of Unoccupied Single-Family Houses with Attics Containing Radiant Barriers”, ORNL/CON-239 (1988), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
- Levins, M.A. Karnitz, and J.A. Hall** “Moisture Measurements in Single-Family Houses Containing Radiant Barriers”, ORNL/CON-255 (1989), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
- McQuiston, S.L. Der, and S.B. Sandoval** “Thermal Simulation of Attic and Ceiling Spaces”, ASHRAE Transactions 90 739-163 (1984).
- Pratt** “Heat Transmission in Buildings, John Wiley and Sons, Chapter 3, “The Thermal Resistance of Airspaces in Cavity Building Structures”, (181) pgs. 66-98.
- Robinson and F.J. Powell** “The Thermal Insulating Value of Airspaces”, Housing Research Paper No. 32, National Bureau of Standards Project NE-12, National Bureau of Standards, Washington, DC (1954).
- Robinson, L.A. Cosgrove and F.J. Powell** “Thermal Resistance of Air-spaces and Fibrous Insulation Bounded by Reflective Surfaces”, Building Materials and Structures Report 151, National Bureau of Standards, Washington, DC (1957). St. Regis, “Reflective Insulation and the Control of Thermal Environments”, St. Regis-ACI, Diethelm & Co., LTD, Bangkok, Thailand (1969).
- Wilkes** “Thermal Modeling of Residential Attics with Radiant Barriers: Comparison with Laboratory and Field Data”, Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings IV, ASHRAE (1989) pp. 294-311.

- Wilkes** “Thermal Model of Attic Systems with Radiant Barriers”, ORNL/CON-262 91991) Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN/
- Kenneth E. Wilkes** “Analysis of Annual Thermal and Moisture Performance of Radiant Barrier Systems”, ORNL/CON-319 (1991), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
- Wu** “The Effect of Various Attic Venting Devices on the Performance of Radiant Barrier Systems in Hot Arid Climates”, Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings IV”, ASHRAE (1989) pp. 261-270.
- Yarbrough** “Assessments of Reflective Insulation for Residential and Commercial Applications”, Oak Ridge National Laboratory Report ORNL/TM 8819, Oak Ridge, TN (1983).
- Yarbrough** “Estimation of the Thermal Resistance of a Series of Reflective Air Spaces Bounded by Parallel Low Emittance Surfaces”, Proceedings of the Conference on Fire Safety and Thermal Insulation, S.A. Siddiqui, Editor, (1990) pp. 214-231.
- Yarbrough** “Thermal Resistance of Air Ducts with Bubblepack Reflective Insulation”, Journal of Thermal Insulation 15 137-152 (1991).
- Queer** “Importance of Radiation and Heat Transfer Through Air Spaces”, American Society of Heating and Air Conditioning Engineers.

Các tiêu chuẩn chất lượng

- C 236-89** “Standard Test Method for Steady-State Thermal Performance of Building Assemblies by Means of a Guarded Hot Box.” 1995 Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.06 (1995) pp. 52-62.
- C 727-01** “Standard Practice for Use and Installation of Reflective Insulation in Building Constructions.” 1995 Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.06 (1995) pp. 339-341.
- C 976-90** “Standard Test Method for Thermal Performance of Building Assemblies by Means of a Calibrated Hot Box.” 1995 Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.06 (1995) pp. 463-481.

- C 1158-01** “Standard Practice for Use and Installation of Radiant Barrier Systems (RBS) in Building Construction.” 1995 Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.06 (1995) pp. 655-657.
- C 1224-01** “Standard Specification for Reflective Insulation for Building Applications.” 1995 Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.06 (1995) pp. 670-673.
- C 1313-00** “Standard Specification for Sheet Radiant Barriers for Building Construction Applications.” 1996 Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.06 (1996) pp.
- C 1340-99** “Standard Practice for Estimation of Heat Gain or Loss Through Ceilings Under Attics Containing Radiant Barriers by Use of a Computer Program.” 1997 Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.06 (1997) to be published.
- C 1371-98** “Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emis-someters.” 1997 Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.06 (1997) to be published.
- E 84-01** “Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials.” 1995 Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.07 (1995).
- E 96-00** “Standard Test Method for Water Vapor Transmission of Materials.” Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.06 (1995) pp. 697-704.