



مجتمع فنی نوین پارسیان

محاسبه ضخامت عایق در لوله کشی

ترجمه : امیر پورافشار
دانشجوی دوره طراحی Piping
بهمن 1387

منبع :

PIPING HANDBOOK

Mohinder L. Nayyar, P.E.

ASME Fellow

The sixth edition of this Handbook was edited by
Mohindar L. Nayyar, P.E.

The fifth edition of this Handbook was edited by
Reno C. King, B.M.E., M.M.E., D.Sc., P.E.

*Professor of Mechanical Engineering and Assistant Dean,
School of Engineering and Science, New York University
Registered Professional Engineer*

The first four editions of this Handbook were edited by
Sabin Crocker, M.E.

Fellow, ASME: Registered Professional Engineer

تعريفات زیر از **ASTM C168-88a** برگرفته شده است استاندارد تعاریف واژه های مربوط به عایقهای حرارتی مواد و **NIA** برنامه آموزشی "**Wheel Of Learning**". برنامه آموزشی برای بازنگري بر اصطلاحات انتقال حرارت مفید خواهد بود.

Btu: British thermal unit (واحد انگلیسی گرما): مقداری از انرژی که برای افزایش دمای یک پوند آب به میزان یک درجه فارنهایت مورد نیاز است. (معادل **SI** آن ژول است که به کار انجام گرفته توسط نیروی یک نیوتن در جابجایی یک متر در راستای نیروی وارده اطلاق می شود. $1\text{Cal} = 4.1868 \text{ J}$ & $1\text{Btu} = 1055.06\text{J}$)

Conduction (رسانایی): انتقال انرژی (گرما) در داخل یک ماده یا بین دو ماده که در تماس فیزیکی با یکدیگر هستند.

Convection (همرفتی): انتقال گرما با حرکت ذرات مایع یا گاز در داخل مایع یا گاز بعلاوه اختلاف چگالی، دما و ... بین ذرات.

Radiation (تشعشع): انتقال انرژی (گرما) از یک جسم با دمای بیشتر در فضا به یک جسم با دمای کمتر بدون گرم کردن فضای اطراف

Thermal Conductivity (ضریب رسانایی گرمایی) **k**: آهنگ زمانی حالت ایستای شار گرما از واحد سطح از یک ماده همگن که بوسیله گرادیان واحد دما در جهتی عمود بر آن سطح ایجاد شده است.

Emittance (گسیل): نسبت شدت نور گسیل شده از یک قطعه به نور گسیل شده از یک جسم سیاه در همان دما و تحت همان شرایط.

Reflectance (بازتابش): بخشی از اشعه برخورد کرده به سطح که توسط آن منعکس شود.

Heat Flow (شار گرمایی) **Q**: مقداری از گرمای انتقال یافته به سیستم یا از سیستم در واحد زمان که معمولاً با واحد **Btu/h** سنجیده می شود.

Thermal Insulation (عایق گرمایی): ماده یا مجموعه ای از مواد که برای جلوگیری از اتلاف گرما استفاده می شود.

Thermal Insulation System (سیستم عایق گرمایی): عایق‌های گرمایی که بصورت کامل و به همراه دسترس‌های لازم، واپسگرهای بخار و سطوح لازم.

گرما توسط هر یک از روش‌های رسانایی، همرفت یا تابشی و یا ترکیبی از آنها انتقال می یابد.

هدایت گرمایی فقط زمانی اتفاق می افتد که یک تماس فیزیکی بین اجسام وجود داشته باشد. گرما از طریق بیشتر فلزات با راندمان بالایی انتقال می یابد چون فلزات رساناهای خوبی هستند. یک عایق حرارتی خوب یک رسانای ضعیف است. همرفتی با توجه به سیستم عایق در حقیقت حرکت هوا روی سطح یا اطراف سطح جسم عایق شده است و تابش با احساس گرمایی که هنگام ایستادن زیر آفتاب یا نزدیکی آتش به بهترین شکل توصیف می شود. گرمایی انتقال یافته از عایق در مرحله اول تابعی است از مقاومت عایق با در نظر گرفتن ضخامت، دمای سطح سرویس عایق شده، مشخصات سطح خارجی و همچنین شرایط محیطی حاکم.

هدایت گرمایی که در بالا توصیف شد در حقیقت آهنگ انتقال گرما در یک جهت (عمود بر سطح) در واحد سطح و واحد اختلاف دما و واحد ضخامت در واحد زمان است. در سیستم انگلیسی واحدها برخی از ابعاد و معادل SI آنها عبارتند از:

$$|k| = \text{Btu}/(\text{h} \cdot ^\circ\text{F} \cdot \text{ft}^2/\text{ft}) = \text{Btu}/(\text{h} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ\text{F}) \quad [\text{W}/\text{cm} \cdot ^\circ\text{C}]$$

$$\text{or } |k| = \text{Btu}/(\text{h} \cdot ^\circ\text{F} \cdot \text{ft}^2/\text{in}) \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$$

$$\text{or } |k| = \text{Btu} \cdot \text{in}/(\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}) \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$$

باید توجه داشت که واحدهای استفاده شده هیچ تاثیری بر معادله انتقال حرارت ندارد. گرمایی منتقل شده از یک سطح صاف هندسی در اغلب اوقات با معادله زیر بیان می شود:

$$Q = \frac{A(T_i - T_2)}{X/K + 1/f} \quad \text{Eq.:1}$$

بطوریکه:

Q: کل گرمایی تلف شده (W/m^2) $(\text{Btu}/(\text{h} \cdot \text{ft}^2))$

A: سطحی گرما از دست می دهد.

T_i : دمای داخلی سیستم

T_2 : دمای خارجی سیستم

X: ضخامت عایق

K: هدایت گرمایی

1/f: فاکتور مقاومت سطح

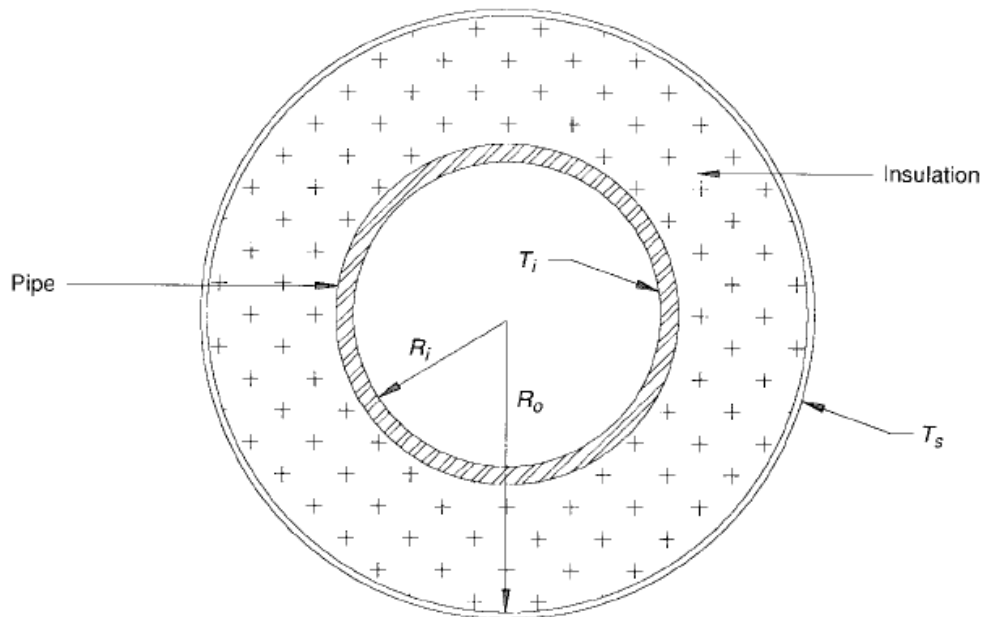


FIGURE B7.1 Cross-section of an insulated pipe.

گرماي انتقال يافته از سطح يك شكل هندسي مانند سيلندر يا لوله معمولاً با معادله زير محاسبه مي شود:

$$Q = \frac{2\pi KL(T_i - T_s)}{R_o \ln(R_o/R_i)} \quad \text{Eq.:2}$$

که در آن:

Q: کل گرماي تلف شده (W/m^2) $(\text{h} \cdot \text{ft}^2)$ Btu

k: هدايت گرمايي

L: طول خط

T_i: دماي داخلي سيستم

T_s: دماي محيط خارجي

R_i: شعاع لوله بدون عايق

R_o: شعاع سطح عايق شده

Ln: لگاريتم طبيعي

گرمای منتقل شده از طریق عایق یک شکل هندسی مانند سیلندر یا لوله با لایه های مختلف عایق عمدتاً بوسیله معادله زیر محاسبه می شود:

Eq.: 3

$$Q = \frac{T_i - T_s}{\left[R_s \ln (R_1/R_i) \right] / K_1 + \left[R_s \ln (R_2/R_1) \right] / K_2 + \left[R_s \ln (R_s/R_2) \right] / K_3 + 1/f}$$

که در آن:

Q: کل گرمای تلف شده (W/m^2) $(\text{h} \cdot \text{ft}^2)$ Btu

k: هدایت گرمایی

L: طول خط

T_i : دمای داخلی سیستم

T_s : دمای محیط خارجی

R_i : شعاع لوله بدون عایق

R_1 : شعاع خارجی عایق لایه اول

R_2 : شعاع خارجی عایق لایه دوم

R_s : شعاع خارجی آخرین لایه عایق

R_0 : شعاع سطح عایق شده

ln: لگاریتم طبیعی

1/f: فاکتور مقاومت سطح

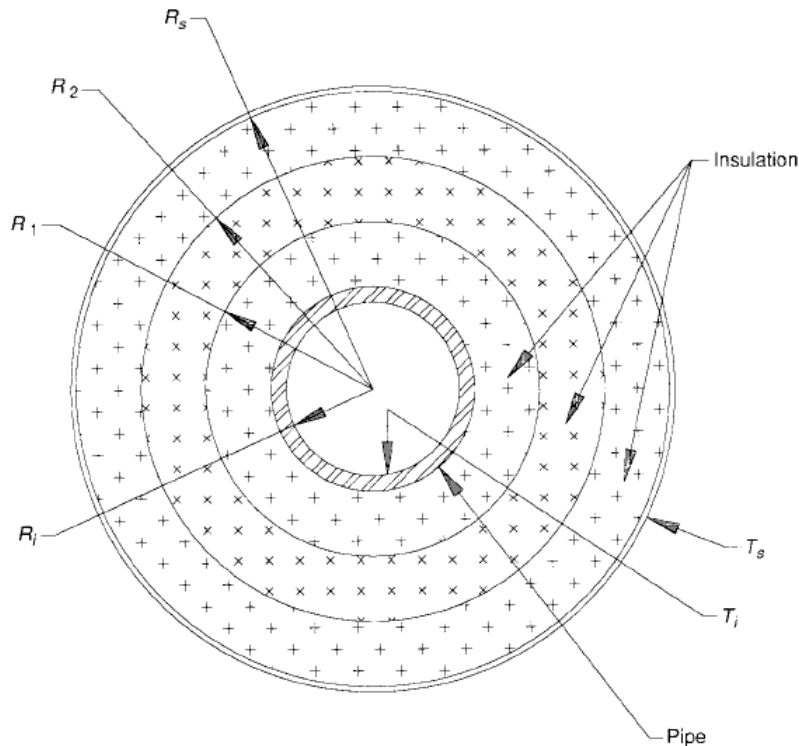


FIGURE B7.2 Cross-section of an insulated pipe with multiple layers.

مقاومت سطح توسط عکس فاکتور غشاي هوا همانطور که در معادلات 1 و 3 دیده می شود، بیان می شود.

هنگامی که گرما در یک جسم جریان پیدا می کند و سپس از آن خارج شده و وارد محیط دیگری (معمولاً هوا) می شود مقاومت در برابر شارش گرما توسط تغییر ز در حدفاصل دو محیط در سطح جدایش ماده جامد از دیگر محیط ها حادث می شود. اگر هیچگونه مقاومتی در این نقطه وجود نداشته باشد گرمای کمتری جریان می یابد.

در حالتی که جسم رسانای گرمایی خوبی است، مقاومت سطح بخش عمده ای از کل مقاومت در برابر شارش را تشکیل می دهد. این در حالیست که در اتصال با مواد عایق با راندمان بالا مقاومت سطحی قابل مقایسه با مقاومت خود مواد نیست.

بصورت عددی مقاومت سطحی متناسب است با عکس نرخ انتقال حرارت از سطح به هوا. به این معنی است که اگر نرخ انتقال حرارت از سطح به هوا $2.0 \text{ Btu}/(\text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \cdot \text{h})$ (W/m^2) باشد، مقاومت سطحی برابر مقدار

$0.5 \text{ (h} \cdot \text{ft}^2)/\text{Btu}$ (m^2/W) می باشد. هرچه آهنگ انتقال حرارت از سطح بیشتر باشد دلیلیست بر مقاومت سطحی کمتر و بالعکس.

سرعت هوا تاثیر بسزایی در مقاومت سطحی دارد. شکل 3 مقادیر مقاومت سطحی را با دقت کافی برای استفاده در محاسبات عایق نشدن می دهد جایی که مقاومت سطحی معمولاً کمتر از 25% و غالباً کمتر از 10% مقاومت کل است.

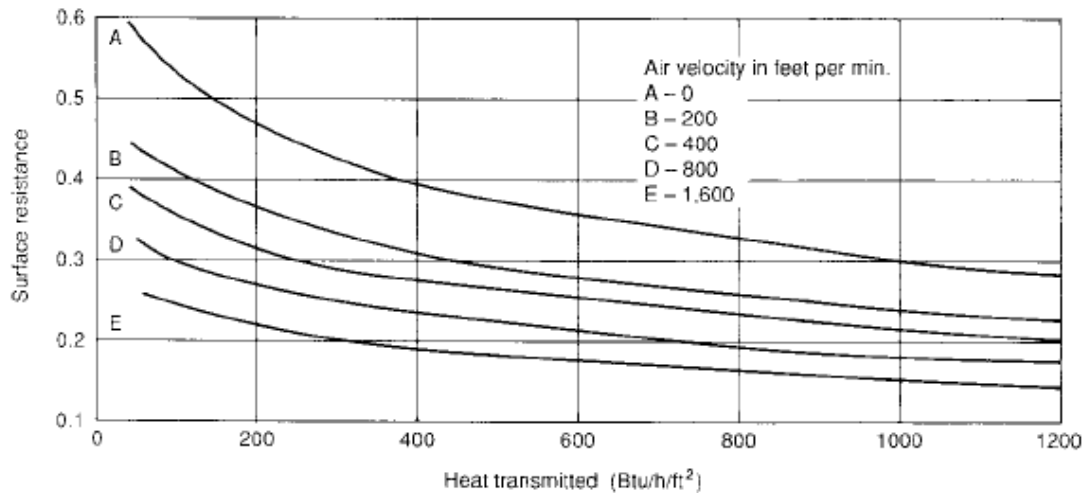


FIGURE 3 Surface resistance $1/f$ at various velocities.

رسانایی گرمایی یک مشخصه ویژه ماده همگن است. مقدار آن مانند چگالی به محیط و ضخامت و شکل ماده بستگی ندارد. نرخ آن به شکل هندسی بستگی ندارد. این در حالیست که انتقال حرارت به شکل هندسی و ضخامت عایق جسم بستگی مستقیم دارد. رسانایی گرمایی به دما بستگی دارد و این نیز یک مشخصه ویژه از ماده است مانند چگالی. روشهای تست استاندارد زیادی برای سنجش خواص انتقال گرمایی یک ماده عایق در استاندارد زیر وجود دارد:

- ASTM Standard Test Method C177, *Steady-State Thermal Transmission (Properties by Means of the Guarded Hot Plate)*
- ASTM Standard Test Method C518, *Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter*

در جدول 1 مقادیر رسانایی گرمایی برای موادی که اغلب در صنعت و مواد عایق صنعتی مورد استفاده قرار می گیرند نشان داده شده است:

TABLE 1 Properties and Limitations of Insulation Materials

Insulation material	Compressive strength (psi)	Maximum temperature (°F)	Minimum temperature (°F)	Permeability (perm · in)	Conductivity [Btu · in/(h · ft² · °F)] at 50°F, 200°F	Spread/smoke density index
Calcium silicate	100	1000	250	NA	NA, 0.43	0/0
Cellular glass*	87	900	-450	0.005	0.28, 0.37	5/0
Elastomeric foam	NA	200	-40	0.03	0.29, NA	25/50
Fiberglass	2.5 at 10%†	850	42	75	0.29, 0.39	25/50
Mineral wool	10 at 10%†	1200	42	150		
Expanded perlite	70	1000	250	18	NA, 0.52	25/50
Phenolic foam	22 at 10%†	300	75	6-7	0.15, 0.25	25/50
Polystyrene foam	25	165	-65	1-5	0.23, NA	NA
Polyurethane and polyisocyanurate	30	250	-200	2-4	0.17, NA	25/50

* For flat surfaces capped per ASTM C240 (hot asphalt, 15# felt).

† While compressive strength technically measures the stress at which a material fails under load, deformation monitors a material's structural distortion *with or without* actual failure. So, with compressible insulations, failure is recorded as the point at which an insulation's deformation reaches a percentage of its thickness—usually between 5 and 25 percent—for various densities.

مقادیر رسانایی گرمایی بصورت تابعی از دمای مورد نظر بین سطوح داخلی و خارجی عایق نشان داده شده است. این روش بیان رسانایی گرمایی، به آن قابلیت استفاده در محاسبات انتقال حرارت در داخل مواد را میدهد چه بصورت تکی یا ترکیبی از سایر مواد.