سال ۲۸، شماره ۱۲۸، صفحات ۸–۱۱، نوع مقاله: ترویجی

مجله علمی مهندسی مکانیک

ISSN: 1605-9719

بررسی اتلاف حرارت خطوط لوله و طراحی و انتخاب پیمایش گرمایی الکتریکی مناسب

فرشید قلی‌زاده روحبخش[۱ و *]، امین دوست‌صفت[۲]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی و کارشناس ارشد شرکت مهندسین مشاور سازه

[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک و هماهنگ‌کننده مهندس شرکت کیمیای پارس خاورمیانه

*مسئول مکاتبات: f.atkcompany@gmail.com

◄ چکیده

برخی از سیالات که دارای نقطه انجماد بالاتر از صفر هستند در صنعت به تنهایی با عایق کاری قابل نگهداری نمی باشند و به منظور مایع نگه داشتن آنها جهت مصارف مورد نیاز و قابلیت انتقال آسان در چنین مواقع به یک سیستم کنترل و حفظ دمای سیال در درجه حرارت مورد نیاز به شدت احساس می گردد. یکی از روش های حفظ دمای سیال روش استفاده از انرژی گرمایی برقی می‌باشد. این روش به سه منظور الف: جلوگیری از انجماد سیال داخل لوله یا تجهیز ب: حفظ و نگهداری دمای آن پ: افزایش و کنترل دمای آن تا رسیدن به دمای مورد نیاز. برای محاسبات اتلاف حرارت و همچنین افزایش درجه حرارت تا دمای مورد نیاز اقدام به محاسبه اتلاف حرارت کلی کرده و با توجه به جداول مربوط به وندور و سازنده سیستم الکتریکال ترسینگ نسبت به انتخاب نوع سیستم الکتریکال همچنین مقدار و نوع کابل مورد نیاز اقدام می‌کنیم.

◄ واژگان کلیدی

اتلاف حرارت
پیمایش گرمایی الکتریکی
دمای نگهداری سیالات
گرمایش الکتریکی

◄ تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۶/۰۱
تاریخ پذیرش ۱۳۹۸/۰۵/۱۱

۱ مقدمه

در واحدهای صنعتی[۱] جهت دستیابی به محصول و تولید موفق به خطوط کمکی نیاز داریم که سیالات مورد نیاز جانبی مانند آب، بخار، هوای فشرده، اکسیژن و غیره را در اختیار بخش‌های مختلف واحد صنعتی قرار دهند که این سرویس‌ها در واحد تأسیسات[۲] قرار می‌گیرند. در این واحد پکیج‌های مختلف آب و بخار و هوا طراحی می‌شوند. بعنوان نمونه نیاز به پکیج برج خنک‌کننده[۳] جهت خنک کردن برخی از دستگاه‌های فرآیندی داریم و همچنین جهت تخلیه بخار[۴] یا پاکسازی[۵] و شستشوی خطوط و تجهیزات، نیاز به بخار فشار پایین[۶] داریم که لازمه تأمین آن نصب پکیج سیستم تولید بخار[۷] است. همچنین در بعضی از صنایع مثل نیروگاه‌ها و کاشی‌سازی و ... در شرایط خاص و در موقع قطع گاز اصلی نیاز به سوخت جایگزین داریم. همه این موارد گفته‌شده تا به اینجا برسیم که در برج‌های خنک‌کننده جهت تنظیم pH آن نیاز به استفاده از اسید سولفوریک و کاستیک داریم و جهت تولید بخار نیاز به سوخت گازوئیل داریم و یا استفاده از میعانات گازی سبک LPG بعنوان سوخت جایگزین دور از ذهن نیست.

نکته قابل تأمل در اینجا که درواقع موضوع مقاله ما را شامل می‌شود، شرایط فیزیکی سیالاتی از قبیل SA و CA و LPG و GO می‌باشد که در دماهایی بالاتر از صفر درجه سانتی‌گراد جامد می‌شوند و به منظور جلوگیری از یخ‌زدگی این نوع سیالات نیاز به مراقبت‌های ویژه‌ای دارند. در ادامه مشخصات دمایی و انجماد این سیالات را مورد بررسی قرار خواهیم داد.

CA: مایع کاستیک سودا که حدود ۵۰ درصد خلوص سود دارد در دمای ۴/۴ درجه سانتی‌گراد یخ می زند و یا به صورت کریستال در می‌آید. همچنین نقطه جوش این ماده در ۱۴۵ درجه سانتی‌گراد اتفاق می‌افتد.

LPG: به دو گاز هیدروکربنی بوتان و پروپان گفته می‌شود که در حالت مایع نگه داشته می شوند. این گاز در دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار حداکثر ۸ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع به حالت مایع تبدیل می‌شود و جهت استفاده از آن بایستی به صورت بخار استفاده شوند.

GO: گازوئیل در فصل سرما در مناطق سردسیر یخ می‌زند، زیرا گازوئیل رایج در ایران از نوع پارافینیک است و در فصول سرد ذرات پارافین به صورت کریستال در می‌آیند. نکته اینجاست که به علت پایین بودن نقطه اشتعال گازوئیل و LPG و ...، گرم کردن آنها به صورت مستقیم ممکن نیست.

---

[۴] در مواقعی که کار اجرایی و تست‌های لازم روی خطوط لوله‌کشی پالایشگاه و پتروشیمی به پایان رسید، جهت تخلیه و تمیزکاری عملیات تخلیه بخار (steam out) انجام می‌شود. در این عملیات بخار با فشار و دمای بالا از خطوط از قبل مشخص‌شده عبور کرده و انتهای خطوط خارج می‌گردد. [۵] به منظور تمیزکاری خطوط و اطمینان از عدم وجود هر گونه شیء خارجی در آن قبل از انجام هر گونه عملیات پیش راه‌اندازی و راه‌اندازی، خطوط را با سیال غیرفرآیندی و بی‌خطر آب پر می‌کنند و با فشار اقدام به تخلیه آب می‌نمایند. این عملیات را پاکسازی (flushing) می‌نامند.

[1] plant [2] utility [3] cooling tower [6] Low Pressure Steam (LPS) [7] steam generation

SA: اسید سولفوریک یکی از سیالات پرکاربرد در صنعت می‌باشد که معمولا جهت مایع نگاه داشتن آن که قابلیت حل شدن و انتقال توسط پمپ را داشته باشد باید در دمای مناسب نگهداری کرد زیرا نقطه انجماد اسید سولفوریک ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و در صورتی که شروع به کریستاله شدن کند، پمپ این سیال قادر به ارسال آن نخواهد بود و خسارات فراوانی به بار خواهد آورد. یکی از نکات مثبت اسید سولفوریک غیرمشتعل بودن آن است و نقطه جوش آن در ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، از این رو، نگرانی‌های دمایی که درخصوص اشتعال خود به خود گازوئیل وجود دارد، در مورد این سیال قابل چشم‌پوشی است.

موضوعی که در اینجا مطرح می‌شود این است که چگونه بایستی از این سیالات استفاده کرد تا مشکلات ذکرشده در بالا گریبان گیر ما نشود.

دو روش برای گرم کردن اینگونه سیالات وجود دارد:

۱. پیمایش الکتریکی[8] یا ET،

۲. پیمایش بخار[9].

در این مقاله قصد داریم درخصوص ET با ذکر مثال و به صورت گام‌به‌گام توضیح داده و پیش رویم و در انتها نحوه انتخاب سیستم ET از طریق جداول مربوط به وندورها مطالب را به پایان خواهیم رساند.

۲ روش تحقیق

در گام نخست اتلاف حرارتی در لوله محاسبه و بررسی می‌گردد. این اتلاف حرارت با در دست داشتن دمای نگهداری مورد نیاز برای سیال مورد نظر سبب به دست آوردن ΔT می‌گردد. در ادامه با استفاده از فرمول‌های موجود و اطلاعات مورد نیاز دیگر بررسی نتایج حاصله روی محاسبات و انتخاب سیستم ET برای یک لاین از پروژه پتروشیمی میاندوآب با رجوع به جداول مربوطه این سیستم که متعلق به شرکت سازنده می‌باشد صورت خواهد پذیرفت.

۱.۲ اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه اتلاف

مرحله اولِ طراحی یک سیستم حرارتی برقی، تعیین مقدار اتلاف حرارت آن می‌باشد. برای محاسبه دمای اتلاف حرارت موارد زیر مورد نیاز می‌باشد:

- ابعاد و اندازه، قطر و طول تجهیزی که نیاز به حرارت دادن دارد؛
- نوع متریال مورد استفاده
- دمای نگهداری مورد نیاز
- موقعیت تجهیز (داخل کارخانه/ پالایشگاه یا بیرون آن)
- نوع متریال عایق
- ضخامت عایق
- مقاومت حرارتی عایق
- سرعت باد (درصورت نیاز)

برای افزایش درجه حرارت، اتلاف حرارت محاسبه‌شده، موارد زیر علاوه بر موارد بالا مورد نیاز می‌باشد:

- دمای نهایی درخواستی
- دوره های زمانی گرمادهی مورد نیاز
- وزن لوله

۳ محاسبات و روابط

۱.۳ محاسبه اختلاف دما (ΔT)

این در واقع تفاوت اختلاف دمای میان دمای نگهداری (T_m) و حداقل دمای محیط (T_a) می‌باشد.

$$\Delta T = \text{دمای نگهداری} - \text{حداقل دمای محیط} \qquad (۱)$$

۲.۳ تعیین اتلاف حرارت با توجه به مشخصات لوله

با تعیین و محاسبه مقدار حرارت تلف‌شده بر اساس نوع و جنس متریال مورد کاربرد، برای هر خط لوله با قطر متفاوت و ضخامت عایق، یک سیستم اتلاف حرارتی جداگانه مورد نیاز خواهد بود.

$$Q = \frac{۲\pi\gamma\Delta T}{\ln\left(\frac{D_۲}{D_۱}\right)} \qquad (۲)$$

γ : مقاومت حرارتی برحسب $\mathrm{W/mK}$

$D_۲$: قطر خارجی به همراه عایق آن

$D_۱$: قطر داخلی لوله

۳.۳ محاسبات سرعت باد

با افزایش سرعت باد بالاتر از ۳۲ کیلومتر در ساعت به ازای هر ۸ کیلومتر در ساعت افزایش سرعت، باید مقدار ۵ درصد به محاسباتمان افزوده شود. حداکثر ضریب افزایش سرعت برای سرعت باد غالب باید ۱۰ درصد باشد.

۴.۳ پیش‌بینی ضرایب دیگر

در آخر افزایش ضریب‌های ایمنی مختلف که در اینجا پیش‌بینی نشده است، مد نظر قرار می‌دهیم.

۴ محاسبات اتلاف حرارت

۱.۴ اطلاعات مورد نیاز

طبقه‌بندی ناحیه‌ها: یعنی منطقه را از لحاظ پرخطر و یا کم‌خطر بودن، مشخص می‌کنیم .همچنین کلاس منطقه را از لحاظ ایمنی از واحد ایمنی و HSE استعلام می‌کنیم.

[۱۰] نقشه‌های ایزومتریک، خروجی نرم‌افزار طراحی PDMS می‌باشد که جهت اجرای خطوط لوله‌کشی (piping) به گروه اجرای سایت تحویل داده می‌شود و مشخصات کامل مورد نیاز تیم اجرایی توسط گروه طراحی در آن لحاظ گردیده است.

[8] Electrical Tracing [9] steam tracing

قطر داخلی: بایستی قطر داخلی لوله ای که باید حرارت داده شود را به میلی‌متر مشخص کنیم.

قطرخارجی: بایستی قطر خارجی لوله ای که باید حرارت داده شود را به میلی‌متر مشخص کنیم. در واقع قطر خارجی مجموع قطر داخلی بعلاوه دو برابر ضخامت عایق می‌باشد.

نوع متریال: بایستی جنس متریال مورد نظر را از روی نقشه ایزومتریک[10] تعیین کنیم.

طول خط لوله: متراژ لوله از روی نقشه ایزومتریک تعیین می‌شود. دمای نگهداری مورد نیاز: جهت تعیین دمای نگهداری بایستی دمای طراحی خط را از روی نقشه ایزومتریک مشخص کنیم.

حداقل دمای محیط: با توجه به اینکه پروژه در میاندوآب واقع شده و مطابق SITE CONDITION حداقل دمای محیط ۲۵− درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود.

موقعیت: داخلی[11] یا خارجی[12] بودن پروژه (داخل یا بیرون از واحد صنعتی) را مشخص می‌کنیم.

متریال عایق: جنس متریال عایق را مشخص می‌کنیم در اینجا پشم سنگ می‌باشد.

ضخامت عایق: ضخامت عایق را از روی نقشه ایزومتریک مشخص می‌کنیم که در این پروژه ۵۰ میلی‌متر می‌باشد.

مقاومت حرارتی عایق: ۰/۰۳۷ W/mK

ضریب ایمنی: ضریب ایمنی[13] را معمولاً ۲۰ درصد لحاظ می‌کنیم.

۲.۴ محاسبات

در ادامه یک نمونه محاسبه برای خط اسید سولفوریک که نقشه آیزومتریک[14] آن در انتهای این مقاله ارائه شده است بصورت گام به گام انجام خواهد شد.

این خط مربوط به مسیر اسید سولفوریک در پتروشیمی میاندوآب می‌باشد.

همانگونه که در نقشه آیزومتریک خط اسید مشخص شده است، در مثال یادشده مشخصات به صورت زیر می‌باشد:

طول لوله: ۱۰۵ متر

دمای سیال: ۸۰ درجه سانتی‌گراد

سایز لوله: ۳ اینچ (۸۰ میلی متر)

در ابتدا محاسبات اختلاف دما را برای مثال فوق انجام می‌دهیم:

$$T_۱ = -۲۵ + ۲۷۳/۱۵ = ۲۵۳ \quad (۳)$$

$$T_۲ = ۸۰ + ۲۷۳/۱۵ = ۳۵۳/۱۵ \quad (۴)$$

$$۳۵۳/۱۵^{\circ}\mathrm{C} - ۲۵۳^{\circ}\mathrm{C} = ۱۰۰\,\mathrm{K} = \Delta T \quad (۵)$$

در قدم بعدی اتلاف حرارتی لوله را محاسبه می‌کنیم:

$$\gamma = ۰/۰۳۷\,\mathrm{W/mK}, \quad D_۱ = ۸۰\,\mathrm{mm},$$

$$D_۲ = ۸۰ + ۵۰ + ۵۰ = ۱۸۰\,\mathrm{mm}, \quad \mathrm{SF} = ۱/۲,$$

$$Q_p = \frac{۲\pi\gamma\Delta T}{\ln\left(\frac{D_۲}{D_۲}\right)}\mathrm{SF} = ۳۴/۴۲\,\mathrm{W/m} \quad (۶)$$

در نتیجه اتلاف حرارت کلی در طول مسیر لوله برابر است با:

$$Q_T = (۳۴/۴۲\,\mathrm{W/m} \times ۱۰۵\,\mathrm{m}) = ۳۶۱۴ \quad (۷)$$

در نهایت با داشتن اتلاف حرارتی لوله به ازای ۱ متر یعنی Q_p و دمای سیال داخل لوله یعنی ۸۰ درجه در مثال فوق و با مراجعه به جدول وندور که به پیوست این مقاله ارایه می‌شود و تقاطع این دو خط در جدول مربوطه به نوع کابل ET که از تیپ ELSR-H-60 می‌باشد می‌رسیم و به سازنده اعلام می‌کنیم و سیستم ET لاین مورد نیاز پروژه مشخص می‌شود.

۵ نتایج

Type: ELSR-H-60

Power@maintenance temp. 40 W/m

Power@10 60 W/m

Heating Cable Length for Connection: 3 m

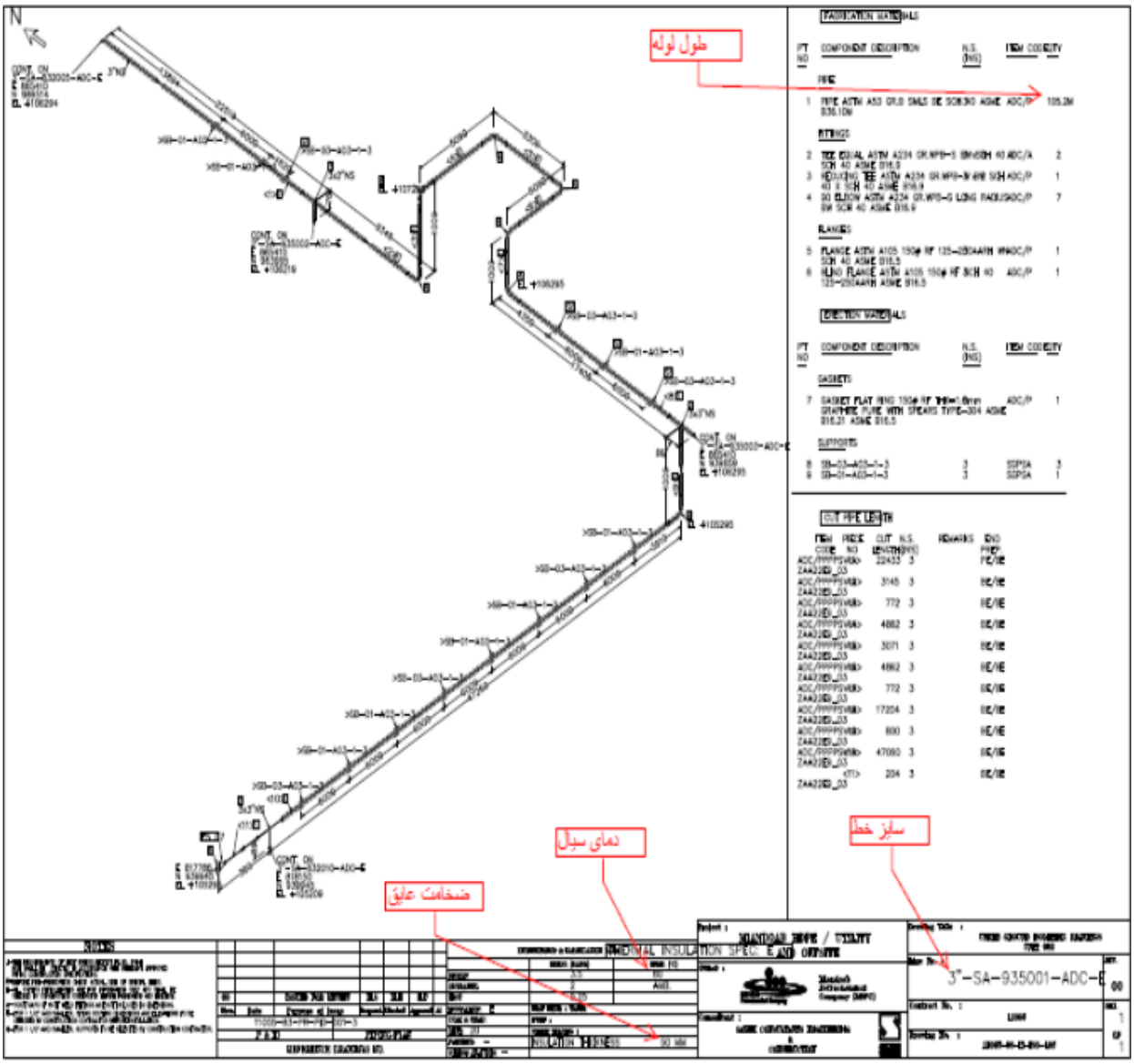
Heating Cable Length for the pipe: 86 m

$L = Q_T/(\text{Power@maintenance temp})$

$L = ۳۶۱۴/۴۲ = ۸۶\,\mathrm{m}$

Total Heating Cable Length: 86+3=89 m

[11] indoor [12] outdoor [13] safety factor [14] isometric


طول لوله
دمای سیال
ضخامت عایق
سایز خط