

### 1-6-2-3 کاربردهای لوله های گرمایی

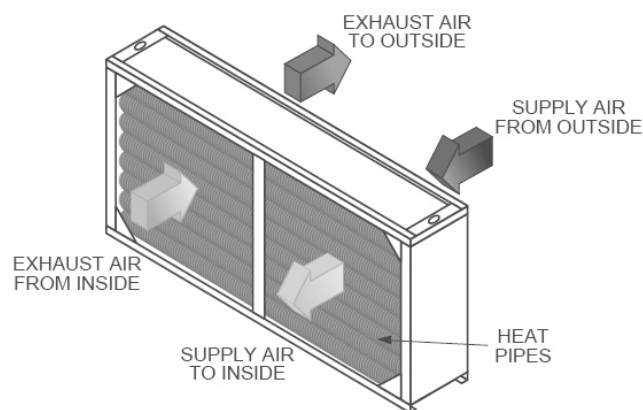
لوله های گرمایی کاربردهای زیادی دارند، از قبیل ذوب برف، گرمایش فضا (برای اثر گلخانه‌ای، خانه ها و غیره)، خشک کن ها، دفع کننده های گرما (برای وسایل الکترونیک، لبنیات، مواد شیمیایی و غیره) لوله گرمایی غیر از موارد فوق، کاربردهای مهم زیادی دارد که مهمترین آنها عبارتند از:

- بازیابی حرارتی و گرمایش
- قالب گیری تزریقی
- لوله های گرمایی در سیستمهای تهویه مطبوع
- لوله های گرمایی در رطوبت گیر
- لوله های گرمایی در تنظیم درجه حرارت
- لوله های گرمایی در تولید برق
- لوله های گرمایی در آبگرمکن های خورشیدی
- لوله های گرمایی در وسایل الکترونیکی
- کاربرد لوله گرمایی برای سرمایش سریع مواد غذایی
- تثبیت انجماد
- مبادله کن های حرارتی با لوله گرمایی
- علم پزشکی و کنترل دمای بدن انسان
- سیستم های دفع و از بین بردن یخ زدگی از سطوح جاده ها
- از بین بردن سریع یخ زدگی مواد غذایی

- گرم کردن محیط گلخانه ها
  - صنعت خودرو و ماشین
  - کاربرد لوله حرارتی در دیگک بازیاب حرارتی اتلافی
- در این قسمت به صورت اجمالی به معرفی مبادله کن حرارتی با لوله گرمایی می پردازیم.

### 7-1 مبادله کن حرارتی با لوله گرمایی

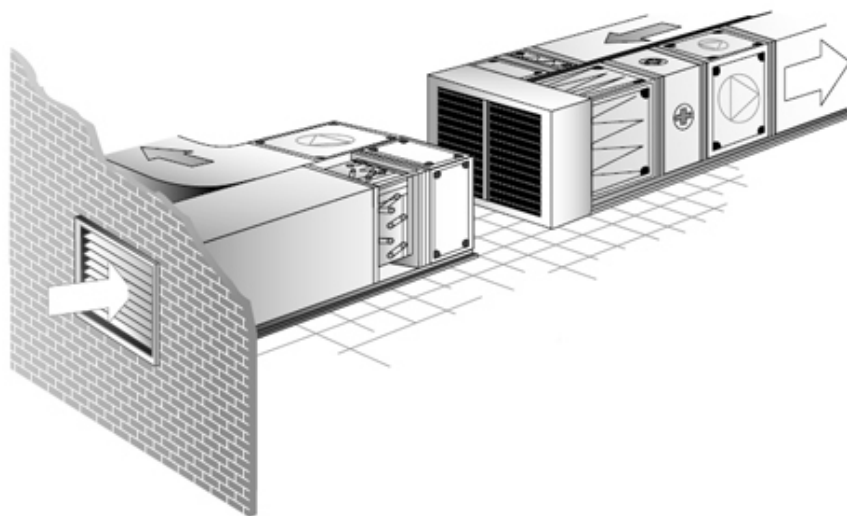
از شناخته شده ترین و متداولترین وسایل حرارتی، مبادله کن ها هستند که در زیر توضیح داده می شود. در یک سیستم لوله گرمایی کانال های ورودی و خروجی باید پهلو به پهلو باشند. هر دو کانال باید بر لوله ها عمود باشند که در یک سمت حرارت را گرفته و به سمت دیگر منتقل می کند. (شکل 1-6) لوله گرمایی معمولاً از آلومینیوم یا مس با قطر 1.6 cm ساخته می شود این لوله ها با مقدار معینی مایع سرد ساز مثل فرئون و یک فیله پر می شود.



شکل 1-6: مبادله کن حرارتی لوله گرمایی

گرما در یک انتها مایع سرد ساز را به بخار گرم تبدیل می کند. این بخار به دیگر انتهای لوله حرکت می کند و در آنجا میعان یافته و از طریق فتیله بر می گردد. در میعان، حرارت تبخیر پس داده می شود.

مایع سرد ساز در انتهای گرم تبخیر شده و در انتهای خنک میعان می یابد. نیروی موئینگی فتیله، مایع را به انتهای گرم بر می گرداند. برای کمک به این جریان لوله ها به طرف انتهای گرم کج می شوند، کل واحد بر روی یک محور سوار می شود؛ با تغییر زاویه شیب مبادله کن، تنظیم انتقال حرارت مقدور می شود. ماکزیمم شیب حدود 6 درجه است. گرما از طریق هدایت در لوله گرمایی منتقل نمی شود. لوله گرمایی یک وسیله کاملاً بازگشت پذیر و هم دما است. هم دما به معنی دماهای مساوی است. بنابراین لوله در هر دو انتها دارای دماهای مساوی است. لازم به ذکر است که لوله گرمایی رطوبت و آلودگی را منتقل نمی کند.



شکل 1-7: به کارگرفتن مبادله کن حرارتی با لوله گرمایی در یک سیستم تهویه مطبوع

به طور کلی مبادله کن های حرارتی برای انتقال حرارت از یک سیال گرم به یک سیال سرد به کار برده می شوند. این وسیله در مدارهای گوناگون و متعددی نظیر تولید قدرت، گرمایش، تهویه مطبوع (شکل 1-7) سیستم های بازیافت حرارت کاربرد دارد.

**ویژگی های مبادله کن های لوله گرمایی** که در بازیافت حرارت در صنایع کاربرد دارند، عبارتند از:

الف) به قسمت های متحرک و انرژی خارجی نیاز ندارند.

ب) آلودگی جانبی به علت دیواره جامد بین جریان های گاز گرم و سرد کاملاً از بین می رود.

ج) تنوع گسترده در اندازه ها موجود بوده و واحد تماماً فشرده و مناسب برای همه کاربردها به جز کاربردهای دمایی بالاست.

و) مبادله کن لوله گرمایی کاملاً برگشت پذیر می باشد، مثلاً گرما می تواند در هر جهت منتقل شود.

ه) تجمع مایع چگالیده شده در گازهای خروجی امکان پذیر بوده، انعطاف پذیری در استفاده از تعداد فضاهای مختلف پره، اجازه تمیز کردن سیستم را در صورت نیاز می دهد.

کاربرد این وسایل به سه گروه اصلی خلاصه می شود:

الف) بازیافت حرارت در سیستم های تهویه مطبوع، که دماها و بار حرارتی کمی دارند.

ب) بازیافت حرارت از یک جریان خروجی فرآیند برای پیش گرم کردن هوا برای گرم کردن فضا

ج) بازیافت حرارت تلف شده از فرآیند برای استفاده مجدد در فرآیند به عنوان مثال پیش گرم کردن

هوای احتراق.

مبادله کن حرارتی لوله گرمایی به روشی عمل می کند که حرارت به طور پایدار و مستمر از یک سیال به سیال دیگر در یک محفظه جریان یابد. یک مبادله کن لوله گرمایی گاز-گاز شامل دسته ای از لوله های پره دار خارجی می باشد. سیکل تبخیر کننده- متراکم کننده لوله گرمایی در انتقال حرارت از تبخیر کننده ها تأثیر می گذارد. تبخیر کننده در کانال یا جریان گازی که باید حرارت آن را بازیافت کنیم قرار گرفته است. حرارت از تبخیر کننده به چگالنده که در مجاورت کانالی که در آن هوایی که باید پیش گرم شود جریان دارد منتقل می شود.

در مبادله کن ها گرمایی لوله گرمایی دسته لوله ها ممکن است افقی یا عمودی باشند که بخش تبخیر کننده پایین بخش چگالنده می باشد. زاویه لوله های گرمایی به عنوان وسیله کنترل انتقال حرارت تنظیم می شود، این می تواند ویژگی مهمی در کاربردهای تهویه هوا باشد.

مواد و سیال های عامل که در واحد بازیافت حرارت لوله گرمایی استفاده می شوند بستگی به میزان وسیعی از محدوده دمای عملیاتی دارند و کمتر به سطح خارجی لوله و پره ها بستگی دارند. سیال های عامل برای تهویه هوا و کاربردهای دیگر در جایی که دماهای عملیاتی کمتر از  $40^{\circ}\text{C}$  است شامل فرئون و استون می باشد. برای محدوده دمایی بالاتر آب بهترین سیال برای استفاده می باشد. برای خروجی های حرارت در کوره ها و هوای احتراق مستقیم، مواد آلی دما بالا می تواند استفاده شود.

بازده حرارتی مبادله کن حرارتی به صورت زیر تعریف می شود:

$$\varepsilon = \frac{Q}{C \min(T_h - T_c)} \quad (5-1)$$

که در آن  $Q$  شدت انتقال حرارت،  $C_{min}$  ظرفیت حرارتی است که به صورت حاصلضرب گرمایی ویژه در شدت جریان جرمی سیال گرم و سرد می باشد.

از لحاظ نظری می توان نشان داد، بازده حرارتی مبادله کن حرارتی از نوع جریان مخالف، مشروط به اینکه همه عوامل دیگر ثابت باشند بیشتر از مبادله کن های نوع جریان موازی و متقاطع است. برای مثال اگر شدت ظرفیت های سیال سرد و گرم برابر باشند، حد اکثر حرارت برای جریان مخالف، جریان متقاطع و جریان موازی به ترتیب 1، 0/75 و 0/5 است. بنابراین از نظر حرارتی مزایای قابل توجهی در استفاده مبادله کن های نوع جریان مخالف هست. اما ساخت مبادله کن های حرارتی جریان مخالف متعارف از نظر دهانه های ورودی و خروجی سیال ها، در عمل مشکلات زیادی پدید می آورد. در عوض مبادله کن های حرارتی جریان مخالف که از لوله های حرارتی استفاده می کنند، بدون این مشکلات قابل ساخت هستند.

از آنجا که لوله ها حرارتی می توانند تقریباً در شرایط ایزو ترم کار کنند، یعنی با افت درجه حرارت بسیار ناچیز، بازده حرارتی این نوع مبادله کن ها می تواند خیلی بالا باشد.

مقاومت اصلی در مسیر انتقال حرارت در مبادله کن ها با لوله حرارتی در محل تقاطع سطح خارجی لوله حرارتی و سیال گرم با سرد واقع شده است. برای کاهش این مقاومت می توان از پره های خارجی در قسمت تبخیر کننده و چگالنده لوله حرارتی استفاده کرد. به این ترتیب انتقال حرارت خیلی بالا از سیال گرم به سرد را می توان با گذراندن جریان گرم و سرد از روی کویل های پره دار به دست آورد. در این حالت انتقال حرارت از سمت گرم به سرد به کمک لوله های حرارتی ایزو ترم صورت می گیرد. مبادله کن ها با لوله حرارتی در عین حال دارای امتیاز امکان آرایش کویلها به شکل مثلثی است.

در حال حاضر انواع گوناگون تجاری مبادله کن های با لوله حرارتی موجود است. مشخصات فنی ارائه شده توسط سازندگان شامل بازده حرارتی و دامنه درجه حرارت کارکرد مبادله کن است. این بازده حرارتی معمولاً بر اساس کار مبادله کن در حالت جریان مخالف تعیین شده است.

مشخصه های عمومی مبادله کن های با لوله حرارتی را می توان با مثال های عددی نشان داد. این امر می تواند مهندسین طراح را در مراحل مقدماتی کارشان کمک کند. اگرچه طراحی نهایی بایستی تنها پس از ملاحظه اطلاعاتی که سازنده ارائه کرده و تحلیل های مبتنی بر مطالب ارائه شده در کتب مربوطه صورت گیرد.

برای احتیاط بیشتر، جنس لوله و پره ها از جنس فولاد ضد زنگ اختیار می شود تا در صورتیکه فلزات متداول نظیر آلومنیوم و مس به کار گرفته شد، ضرایب حرارتی بزرگتر به دست آید. در طراحی مبادله کن های حرارتی افت فشار در خلال کویل نیز مهم است، چرا که در یک مبادله کن حرارتی، افت فشار قابل قبول محدود است و در طراحی سیستم های جدید هم انرژی لازم برای چرخش سیالات قابل ملاحظه می باشد.

در اکثر موارد جنس لوله ها مس یا آلومینیوم می باشند و سطح های گسترده (پره ها) با همان مواد ساخته می شوند جایی که آلودگی در گاز اسیدی است یا جایی که دما بالاتر است یک ماده پایدار (به طور کلی فولاد ضد زنگ) مورد نیاز می باشد. دسته لوله ها ممکن است با استفاده از لوله های پره دار مارپیچ تجاری موجود ساخته شوند، یا ممکن است مانند یک کویل خنک کن ساخته شوند.

لوله ها داخل صفحه هایی به شکل پره مستطیلی تا عمق مبادله کن گرمای وارد شده و منبسط می شوند. روش اخیر از نقطه نظر هزینه ارجح تر می باشد.

اندازه واحد جریان هوا تغییر می کند، سرعتی در حدود 2-4 m/s کلاً برای نگه داشتن افت فشار دسته لوله در یک سطح مناسب قابل قبول می باشد. واحدهای کوچک سطحی با اندازه 0.3m ارتفاع و 0.6m طول دارند. بزرگترین واحدهای جداگانه حدود 5m طول و 1.5m ارتفاع دارند. تعداد ردیف های لوله ها در جهت جریان گاز ندرتاً از 8 تا تجاوز می کند و اکثراً بین 4 و 6 معمول می باشند.

محدوده کاربرد کلی برای واحدهای بازیافت حرارت لوله گرمایی برای اکثر سیستم های گاز-گاز معمول می باشد. مبادله کن حرارتی لوله گرمایی با وجود یک صفحه جدا کننده که کانال های خروجی و ورودی را به طور موثری آب بندی می کند، با این حقیقت که هیچ قسمت متحرکی مثل پمپ وجود ندارد، **بازدهی کمتری** نسبت به بعضی از سیستمهای بازیافت حرارت گاز-گاز (به طور برجسته چرخ حرارتی) دارند. اما به طور معمول با واحدهای صفحه ای و جبران کننده های لوله ای آلودگی به صفر می رسد. تنظیم و برگشت پذیری کامل نقطه قوت دیگر سیستمهای تهویه ای مطبوع می باشد.

یکی از محدودیت های اصلی مبادله کن های حرارتی لوله گرمایی با انواع دیگر که معمول می باشد، دمای عملیاتی ماکزیمم می باشد. تا کنون مبادله کن های حرارتی لوله گرمایی که ابتدا طراحی شده اند برای رفع نیاز صنایع تهویه هوا سرد سازی و گرمسازی که دماها عموماً اندکی از دمای محیط تجاوز می کند، بوده اند. در طول چند سال گذشته، این مبادله کن ها به طور روز افزونی در کاربردهای فرآیند و گرم کردن فرآیند مورد توجه قرار گرفته اند.