دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

طراحی مبدل حرارتی با استفاده از لوله گرمایی جهت ذخیره انرژی در یک واحد پالایشگاهی

استاد راهنما:

دکتر گنجعلیخان نسب

مؤلف:

صابر بلاغی اینالو

اسفند ۱۳۸۷

چکیده:

در دهه‌های پیشین به افزایش بی رویه مصرف انرژی و پایان پذیر بودن منابع فسیلی توجه بسیار شده است. این امر باعث مطالعه گسترده جهت مشخص کردن راهکارهایی به منظور کاهش مصرف و بهینه سازی سوخت‌های فسیلی شده است. افزایش مصرف سوخت های فسیلی از یک طرف، فناپذیر بودن منابع این سوخت ها و آلودگی های زیست محیطی حاصله از این سوخت ها از طرف دیگر، ضرورت بهینه سازی مصرف منابع انرژی های فسیلی را تاکید می‌کند. از آنجا که کشور ایران اخیرا تصمیم به حذف یارانه‌های سوخت‌های فسیلی (نفت و گازوئیل) گرفته است، همچنین با توجه به وابستگی شدید اقتصاد کشور به بازار جهانی نفت، با بهینه سازی مصرف انرژی در صنایع گوناگون می‌توان گامی اساسی در جهت توسعه پایدار برداشت. یکی از خطی مشی های برنامه ریزی کشور ایران در سالهای اخیر موضوع بهینه سازی و بازیافت انرژی در صنعت بوده است. مبدل های حرارتی یکی از اجزاء مهم سیستم های تبدیل انرژی، صنایع شیمیایی، نفت، فولاد و غیره می باشند. با بازیافت انرژی خروجی از اگزوز کارخانجات و پالایشگاههای صنعتی با استفاده از تجهیزاتی از قبیل مبدل های حرارتی دوار و لوله گرمایی می توان تا حدودی میزان انرژی مصرفی در این صنایع را کاهش داد. در کار حاضر طراحی یک مبدل حرارتی لوله گرمایی و همچنین امکان سنجی استفاده از آن در یک مجتمع صنعت پالایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا جهت تایید صحت مراحل طراحی، نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر با نتایج حاصل از مبدل حرارتی ساخته شده در اندازه کوچک که قبلا در دانشگاه مشهد توسط محققان آن دانشگاه طراحی و ساخته شده، مقایسه گردیده است. پس از تایید درستی برنامه کامپیوتری نوشته شده و محاسبات طراحی، محاسبات لازم جهت طراحی یک مبدل حرارتی با اندازه مورد نیاز در پالایشگاه فازهای ۴ و ۵ مجتمع گاز پارس جنوبی انجام گرفته است. همچنین میزان ذخیره انرژی در این مجتمع پالایشگاهی بواسطه استفاده از مبدل حرارتی طراحی شده با استفاده از یک روش اقتصادی مورد بررسی قرار گرفته است.

فهرست مطالب

فصل اول- سیستم های بازیافت انرژی ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ تجهیزات بازیافت حرارت ۲

۱-۲-۱ چرخ حرارتی ۲

۱ -۲-۲ سیستمهای دوره ای ۴

۱-۲-۳ مبدل های حرارتی از نوع صفحه ای یا آبگردانی ۵

۱-۲-۴ پمپ حرارتی ۶

۱-۲-۵ بویلرهای حرارتی اتلافی ۷

۱-۲-۶ گرما پس ده ها ۸

۱-۲-۷ لوله های گرمایی ۹

فصل دوم- تئوری لوله های گرمایی و ترموسیفون ها و کاربرد آنها ۱۱

۲ -۱ تاریخچه ۱۲

۲-۲ تئوری لوله گرمایی ۱۲

۲-۲-۱ خصوصیات اصلی لوله های گرمایی ۱۴

۲-۲-۲ مزایای لوله های گرمایی ۱۶

۲-۲-۳ طبقه بندی لوله های گرمایی برحسب دمای عملیاتی ۱۶

الف) لوله های گرمایی سرمازا (CHP) ۱۶

ب) لوله های گرمایی دما پایین (LHP) ۱۶

ج) لوله های گرمایی دما متوسط ۱۶

د) لوله های گرمایی دما بالا ۱۶

۲-۲-۴ انواع لوله های گرمایی	۱۶
الف) ترموسیفون	۱۷
ب) لوله گرمایی استاندارد	۱۸
۲-۲-۵ محاسبات کارآیی	۲۱
۲-۲-٦: بیشینه نرخ انتقال حرارت	۲۱
۲-۲-۷ محدودیتهای انتقال حرارت در لوله های گرمایی	۲۲
الف) حد موئینگی (Capillary Limit)	۲۲
ب) حد صوتی (Sonic Limit)	۲۳
ج) حد جوشش (Boiling Limit)	۲۳
د) حد ماندگی	۲۳
و) حد فشار بخار	۲۴
ه) حد خشکی	۲۴
۲-۲-۸ مواد سازنده لوله های گرمایی و روش های ساخت آن	۲۴
۲-۳ کاربرد های لوله های گرمایی	۲۶
۲-۳-۱ مبدل حرارتی با لوله گرمایی	۲۷
۲-٤ ساختار فتیله های مویین	۳۰
۲-۵ مفاهیم و تعریفهای مرتبط	۳۴
۲-۵-۱ تخلخل	۳۴
۲-۵-۲ ضریب نفوذ پذیری	۳۴
فصل سوم – بررسی تحقیقات انجام شده	۳۵
فصل چهارم – طراحی مبدل لوله گرمایی	٤۰
۴-۱ معیارهای طراحی یک مبدل حرارتی	۴۱
۴-۲ روشهای طراحی مبدل ها	۴۳

۴-۲-۱ روش $LMTD$ ۴۳

۴-۲-۲ روش $\varepsilon - NTU$ ۴۴

۴-۳ ضریب کلی انتقال حرارت ۴۵

۴-۳-۱ ضریب انتقال حرارت جابجایی بیرونی ۴۷

۴-۳-۲ ضرایب انتقال حرارت جوش وچگالش ۴۷

۴-۴ بازده ۴۸

۴-۵ افت فشار ۴۹

۴-٦ طراحی یک نمونه مبدل لوله گرمایی ۴۹

۴-۷ محاسبه دماهای خروجی مبدل لوله گرمایی طراحی شده ۵۲

۴-۷-۱ تعیین خواص هوای گرم و سرد ۵۲

۴-۷-۲ محاسبه ضریب کلی انتقال حرارت ۵۳

۴-۷-۳ محاسبه دماهای خروجی و شدت انتقال حرارت با استفاده از روش $LMTD$ ۵۶

۴-۷-۴ محاسبه دماهای خروجی و شدت انتقال حرارت با استفاده از روش $\varepsilon - NTU$ ۵۷

۴-۷-۵ محاسبه افت فشار مبدل طراحی شده ۵۸

فصل پنجم- شرح مطالعات تجربی ٦۰

۵-۱ شرح پایلوت آزمایشی ساخته شده جهت بررسی عملکرد گرمایی مبدل ۶۱

۵-۱-۱ مبدل لوله گرمایی ۶۳

۵-۱-۲ کانالهای هوا ۶۴

۵-۱-۳ دمنده پروانه ای ۶۵

۵-۱-۴ دمنده سانتریفوژ ۶۵

۵-۱-۵ گرمکن های الکتریکی ۶۶

۵-۱-۶ نمایشگر دما ۶۷

۵-۱-۷- تابلو برق ۶۷

۵-۱-۸- تنظیم کننده دور دمنده ۶۸

۵-۲- نحوه انجام آزمایش ۶۸

فصل ششم- بررسی نتایج و محاسبه میزان ذخیره انرژی ۷۰

۶-۱مقدمه ۷۱

۶-۲داده های به دست آمده از آزمایش ۷۲

۶-۳ بارده مبدل لوله گرمایی ساخته شده ۷۳

۶-۴ مقایسه نتایج تجربی و تئوری ۷۵

۶-۵ محاسبه ذخیره انرژی ۸۱

۶-۵ -۱انتخاب نوع لوله گرمایی ۸۱

۶-۵ -۲منابع گرمایی حاصل از گازهای خروجی دودکش ۸۲

٦-٥ -٢-الف کوره ها ۸۲

٦-٥ -٢-ب زباله سوزها ۸۳

٦-٥ -٢-ج توربین های گازی ۸۳

٦-٥ -٢-چ مبدل های گاز-گاز موجود در فرآیند ۸٤

٦-٥ -٢-ح طراحی اولیه مبدل های لوله گرمایی در مجتمع پالایشگاهی ۸٤

۶-۶ مبدل طراحی شده جهت بکارگیری در توربین های گازی ۸۵

۶-۶ -۱ محاسبه میزان شدت ذخیره سوخت ۸۷

۶-۷ مبدل طراحی شده جهت بکارگیری در توربین های گازی ۸۸

۶-۷-۱ محاسبه میزان شدت ذخیره سوخت ۸۹

۶-۸ بحث و نتیجه گیری ۹۰

منابع ۹۲

فصل اول

سیستمهای بازیافت انرژی

۱-۱: مقدمه

انرژی اتلافی معمولاًبه فرم حرارت در اغلب صنایع و واحدهای عملیاتی وجود دارد. در بسیاری از این موارد، روشهایی برای بازیافت این اتلافات به فرمی که بتوان برای کاهش نیاز کارخانه به خرید انرژی از آن استفاده کرد، وجود دارد. کلید اصلی در بازیافت حرارت اتلافی این است که بتوان کاربردهای مناسب برای استفاده از این انرژی و همچنین یک وسیله یا روش عملی کم هزینه برای ارتباط دادن هر منبع به کاربردش را پیدا کرد. در این فصل به اختصار تجهیزات بازیافت حرارت شرح داده می شود.

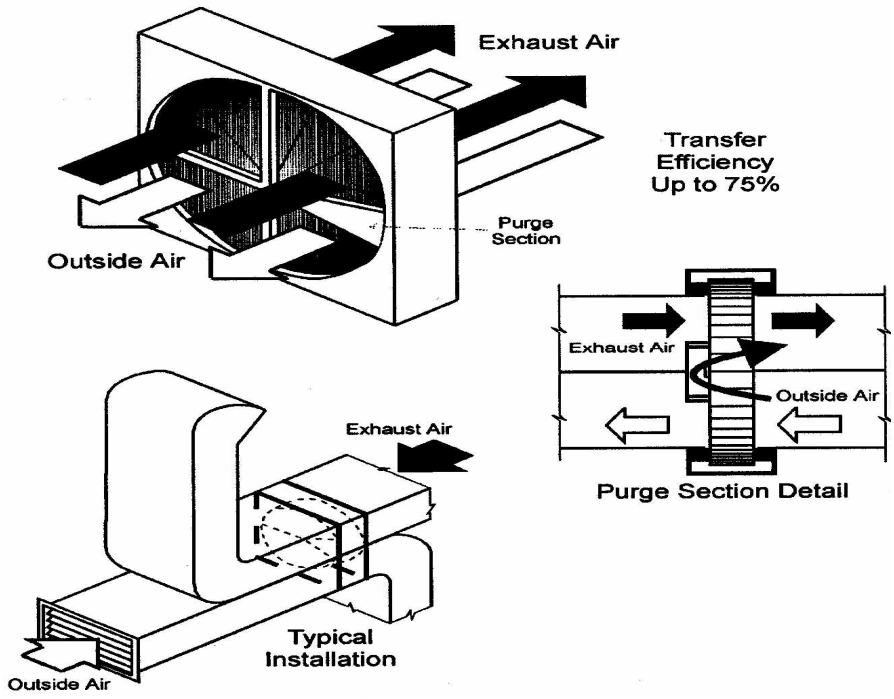
۱-۲: تجهیزات بازیافت حرارت

بر حسب نیاز بیشتر کارخانه های صنعتی و ساختمانهای تجاری مقدار قابل ملاحظه ای هوای تهویه شده را به اتمسفر تخلیه می کنند. این هوا ممکن است از طریق یک فرایند تولید شده و یا هوای گردشی سیستم تهویه باشد که در هر دو صورت منبع اتلاف انرژی می باشد. معمولاً می توان از این هوای خروجی مقادیر قابل توجهی انرژی بازیافت نمود. تجهیزات بازیافت حرارت می توانند مقدار زیادی از این انرژی را بازیافت کنند. انواع وسایل بازیافت حرارت در صنایع از این قرارند :

- چرخ حرارتی
- سیستم دوره ای
- مبدل های حرارتی(هوا و آب)
- پمپ حرارتی
- بویلرهای حرارت اتلافی
- گرماپس ده ها
- لوله گرمایی

۱-۲-۱: چرخ حرارتی

اصول چرخ حرارتی در سال ۱۹۰۰ توسط دکتر لانگشتروم از سوئد توسعه پیدا کرد و حدود ۵۰ سال برای پیش گرمایش هوای احتراق در بویلرهای بزرگ مورد استفاده قرار گرفته است. برای استحکام ساختاری، چرخ به قسمتهایی که با پشم فلز پر شده اند، تقسیم می شود. این پشم فلز یا از ذرات آلومینیوم یا از سیمهای فولاد زنگ نزن تشکیل شده است که یا بافته شده اند یا به صورت آکنه تعبیه شده اند. جنس سیم بر روی ظرفیت انتقال حرارت تأثیر می گذارد (شکل۱-۱). در این چرخها ماتریس متحرک بوده و به طور پیوسته درون جریانهای ثابت گازها به گردش در می آید. در این چرخها ماتریس پیوسته بوده و با سرعت یکنواخت شروع به حرکت نموده و همواره درصدی از سطح آن درون جریان گرم و باقیمانده سطح آن درون جریان سرد قرار دارد. در انواع معمول، ماتریس از سیم آلومینیوم یا فولاد زنگ نزن همان طور که ذکر شد، بافته شده است. این نوع ماتریس ارزان بوده و راندمان انتقال حرارت آن بالا است. افت فشار در این نوع ماتریس نسبتاً زیاد است. چرخ حرارتی عمدتاً گرمای محسوس و فقط مقدار خیلی کمی رطوبت (گرمای نهان) را منتقل می کند.



شکل ۱-۱ : مبدل حرارتی چرخ حرارتی[۱]

مواردی که باید در استفاده از چرخ حرارتی مد نظر قرار بگیرد، عبارتند از:

همانگونه که بحث شد، نوع ماتریس استفاده شده، فلزی یا سرامیکی به گستره کارکرد دمایی بستگی دارد.

معمولاً با توجه به موقعیت چرخ حرارتی بهتر است که جریانهای گاز داغ و گاز ورودی هم فشار باشند. به منظور حداقل رساندن انتقال آلودگی از صفحات بهتر است فشار گازهای داغ کمی کمتر از فشار جریان هوای ورودی باشد.

امکان آلودگی گاز ورودی می تواند به وسیله هدایت اتصالات بازیاب اتفاق بیفتد. مقداری از هوای ورودی جهت تمیز کردن بخشی از ماتریس که گازهای داغ از آن می گذرند مورد استفاده قرار می گیرد و آلودگی یا گازهای باقیمانده در ماتریس به محفظه گاز داغ بازگشت داده می شود.

اکثر مصرف کنندگان از چرخهای حرارتی بر این عقیده هستند که اصول عملکرد این چرخها بر اساس شدت جریانهای مساوی گاز داغ و هوای ورودی پایه گذاری شده است.

افت فشار به واسطه مبدل حرارتی، تابع سرعت گاز و طراحی ماتریس است. یک ماتریس با سطح مقطع بالا، قابلیت بهینه انتقال حرارت را دارد، ولی ممکن است افت فشار غیرقابل قبولی داشته باشد. با در نظر گرفتن راندمان گرمایی یک واحد، اگر سوراخهای ماتریس بزرگ باشد کمترین افت فشار را خواهیم داشت. به عنوان نمونه یک واحد با راندمان ٪۸۱ و سرعت ٤m/s افت فشاری حدود ۳۵Pa خواهد داشت، در حالیکه سیستم با راندمان ٪۷٦ و همان سرعت قبلی، افت فشاری معادل ۱۷ Pa خواهد داشت.

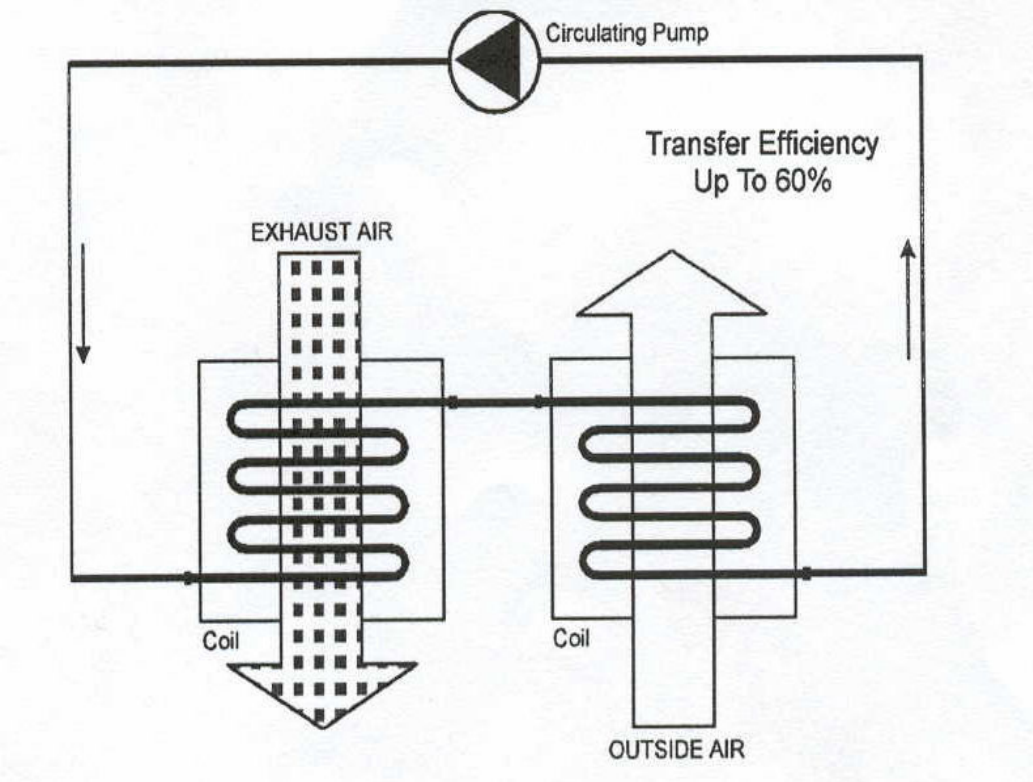
اکثراً چرخهای حرارتی (بجز نوع سرامیکی با دمای بالا) بوسیله موتورهای الکتریکی به گردش در می آیند که توان مورد نیاز برای بزرگترین چرخها (به قطر ٤ متر)حدود ۵/۰کیلو وات است. چرخ معمولاً با سرعت ٦ تا ۱۲ دور بر دقیقه برای یک سیکل سردسازی و ۱۰ تا ۲۰ دور بر دقیقه برای یک سیکل گرمایش می چرخد، ولی به منظور بهینه سازی انتقال حرارت سرعت چرخش معمولاً ۲۰ دور بر دقیقه است. به طور کلی دوران روتور حدود ۱۰ تا ۲۰ دور بر دقیقه مناسب است. نیرو یا توسط زنجیر به مرکز چرخ منتقل می شود یا توسط تسمه به محیط آن وارد می شود. برای اجتناب از آلودگی که بین دو جریان گاز روی می دهد در بین جریانهای گاز تمیز و کثیف یک هد پاک کننده قرار داده می شود. اگر این سرعت کاهش یابد، راندمان گرمایی نیز کاهش خواهد یافت. بنابراین کنترل سرعت می تواند به منظور کاهش بار حرارتی استفاده شود. متناسب با آن هوای ورودی را نیز می توان با استفاده از دمپر یا مسیر کمکی تنظیم نمود.

راندمان یک دوره یک ساله هر دو نوع چرخ امکان دارد بین ۷۰ تا ٪۸۰ باشد. در مورد چرخهای جذبی این امکان ضعیف تر است زیرا راندمان در تابستان کمتر می شود.

۱-۲-۲: سیستمهای دوره ای

این سیستم شامل دو مبدل مایع به هوا است که تا اندازه ای شبیه به رادیاتورها در اتومبیل بوده و بوسیله دو لوله، اتصال داخلی دارند. سیکل معمولاً شامل گلیکول به عنوان ماده واسط انتقال حرارت است. یک پمپ سیال را به گردش می اندازد و به همین دلیل این مبدل دوره ای نام گرفته است. این واحد نیازمند لوله کشی و یک پمپ می‌باشد که دائماً در حال کار است (شکل (۱-۲)). این مبدل نگهداری بیشتری را نسبت به چرخها، بفلها و لوله های گرمایی طلب می‌کند و محدوده دمای عملیاتی آن بین$^{\circ}$c ۰ تا$^{\circ}$c ۹۰ است.

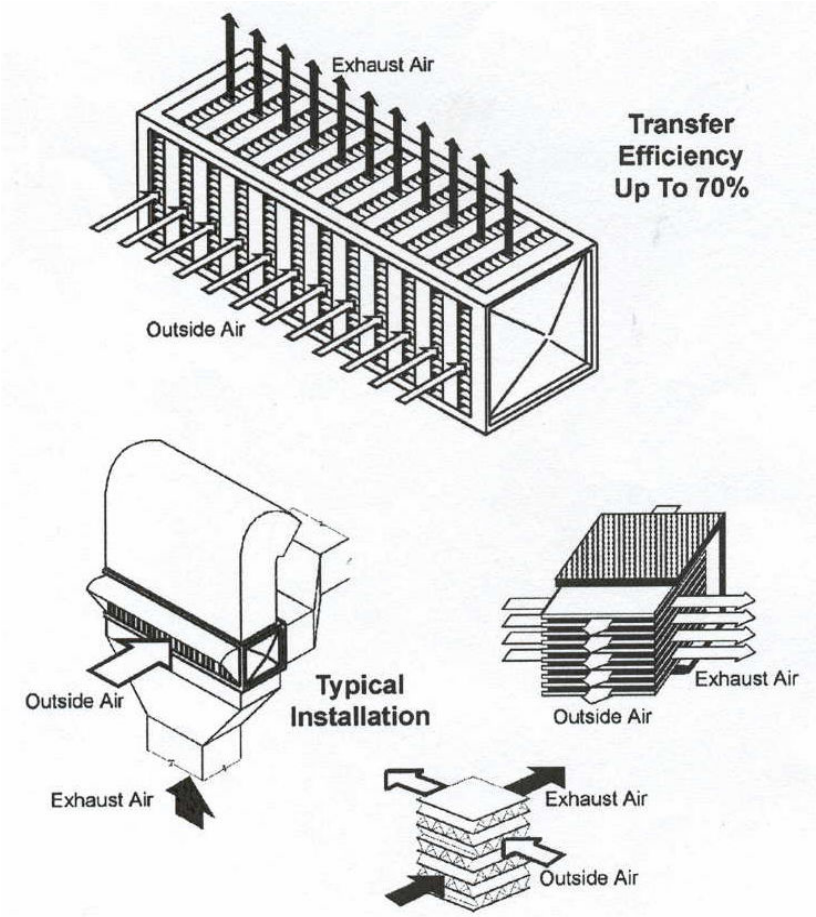
نکته قابل توجه و بسیار مهم در مورد این مبدل این است که این سیستم نمی تواند در کاربردهای صنعتی تهویه مطبوع مورد استفاده قرار گیرد، زیرا راندمان آن قابل رقابت با دیگر سیستمهای بازیافت حرارت نمی باشد. اگر هم به منظور پیش گرمایش هوا در یک فرایند یا قسمتی از یک واحد صنعتی مورد استفاده قرار گیرد، مزایای آن با توجه به هزینه های لوله کشی چشم گیر نیست. همچنین محدودیت دمایی از دیگر اشکالات عمده این سیستم می باشد.



شکل ۱-۲ : شکل کلی سیستم دوره ای[۱]

۱-۲-۳: مبدلهای حرارتی از نوع صفحه ای یا آبگردانی

شکل(۱-۳) مبدلهای حرارتی از نوع آبگردانی را نشان می دهد که نیازمند کانالهای مکش و تخلیه در کنار هم به صورت پهلو به پهلو می باشد، تا وقتی که در واحد نقص فیزیکی ایجاد نشود، آلودگی جانبی صفر است. واحد شامل صفحات فلزی موجود با فضاهای تنگ در یک جعبه است که در آن جریانهای هوای ورودی و خروجی یک در میان در ردیفها جریان می یابند. حرارت بین صفحات از طریق هدایت منتقل می شود. اگر صفحات در یک ماده رزینی به شکل بستر در بیایند، دمای عملیاتی تا حدود ۸۰°c محدود می شود، ولی برای یک مبدل از جنس فولاد زنگ نزن جوشکاری شده یا موجدار این امکان هست که دما تا حدود ۸۰۰°c بالا رود.



شکل ۱-۳ : مبدلهای حرارتی از نوع صفحه ای یا آبگردانی[۱]

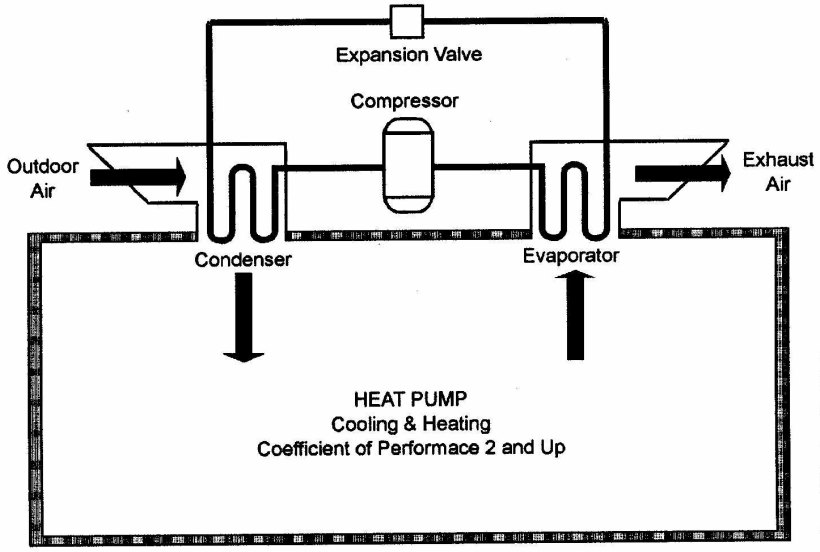
۱-۲-٤: پمپ حرارتی

تجهیزات بازیافت حرارتی که تاکنون مورد بحث قرار گرفت، به عنوان مبدل های حرارتی مستقیم تلقی می‌شوند. به این معنی که مایعات یا هوای تازه ورودی، به دمای منبع حرارت اتلافی نخواهد رسید. پمپ گرمایی تا اندازه ای بر این مشکل غلبه کرده است. این سیستم واحدهای حرارتی را بازیافت و جمع می کند، در نتیجه حرارت بازیافت شده دمای بالاتری از حرارت اتلافی دارد. برای رسیدن به این مطلب باید ٤٠٪ تا ٥٠٪ انرژی الکتریکی به خروجی اضافه شود. مایع در تبخیرکننده حرارت را از منبع حرارت اتلافی جذب کرده و تبخیر می شود. بعد از آن بخار متراکم شده و دما بالا می رود. سپس به بخش کندانسور رفته تا حرارت جذب شده را به سیالی که باید گرم شود، بدهد. واحد اساساً به صورت یک سیکل سردسازی معکوس با دماهای نرمال منابع گرمایی عمل می‌کند. ضریب کارایی برای پمپهای حرارتی بین ۳ تا ٤ است. یعنی هر ۱kWh ورودی به واحد گرمایی، معادل ۳ تا ٤ kWh را آزاد می کند. پمپ حرارتی گرانتر از دیگر انواع بازیافت کننده های حرارتی ذکرشده در قبل است. به علاوه در حدود ٤٠٪ از کل خروجی، انرژی است که به شکل الکتریسیته به سیستم جهت راه اندازی و ادامه کار پمپ داده می شود. به این دلیل و همچنین به دلیل هزینه نگهداری بالا استفاده از آن فقط در موارد زیر پیشنهاد می شود:

الف- دمای نهایی بالاتر از دمای حرارت اتلافی باشد.

ب- کانالهای ورودی و خروجی در محلهای متفاوتی باشند.

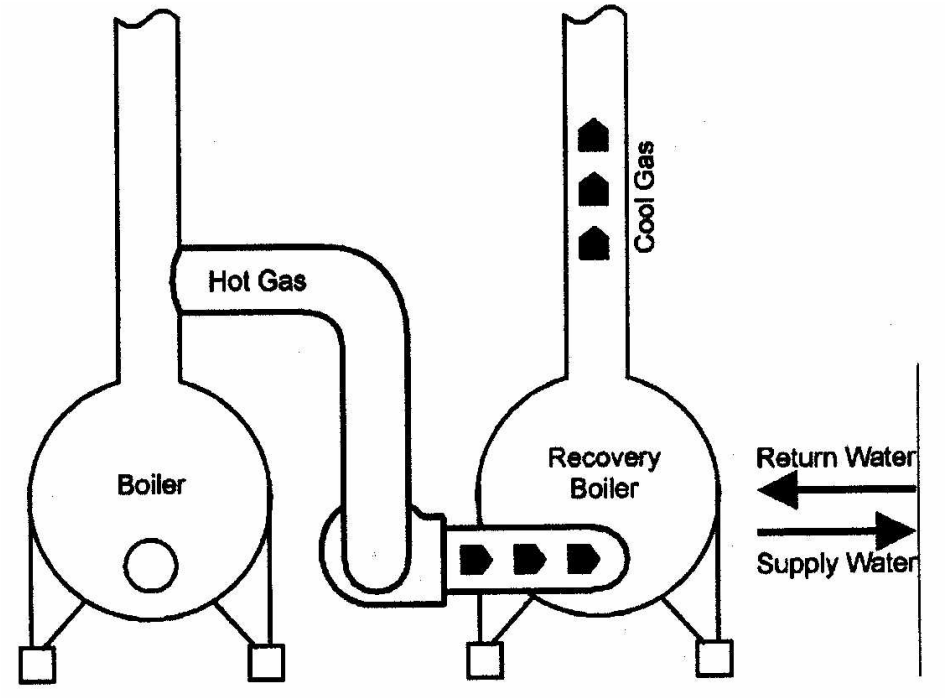
ج- انرژی جداگانه ای باید به حرارت بازیافت شده اضافه شود.



شکل۱-۴ : سیستم پمپ حرارتی[۱]

۱-۲-۵: بویلرهای حرارتی اتلافی

گازهای داغ خروجی از فرایندهای صنعتی یا از بویلرهای گرمای اتلافی کانال کشی می شوند تا آب را برای کاربردهای فضاگرمایی یا بهداشتی گرم کند. در ورودیهای دما بالا، بویلرها می توانند حرارت اتلافی را برای استفاده در فرایند، تولیدکنند. از نظر تجاری بازیافت حرارت فقط به دلیل مشکل خوردگی در انتهای سرد به گرمای محسوس بازیافت شده محدود می شود. آب داغ آشامیدنی تولیدشده توسط بویلرهای حرارت اتلافی برای فرایندهای غذایی، بسته بندی گوشت، صنایع شیمیایی، لبنیات و بیمارستانها مناسب است. در این سیستم بین ٪۱۵ تا ٪۲۲ سوخت مصرفی صرفه جویی می شود.



شکل ۱-۵: بویلر حرارت اتلافی[۱]

۱-۲-٦: گرما پس ده ها

یک نوع مبدل حرارتی است که در آن حرارت گازهای خروجی به هوا منتقل می شود. در گرماپس ده ها، هوایی که قرار است گرم شود و گازهای خروجی، جدا از هم نگه داشته می شوند. ماده واسطه انتقال حرارت معمولاً فلز است. اما در برخی از کاربردهای بادمای بالا، از سرامیک استفاده می شود. انتخاب مواد به دمای گازها، عمر طرح، اندازه تجهیزات، خوردگی و سایر جنبه های مربوطه بستگی دارد.

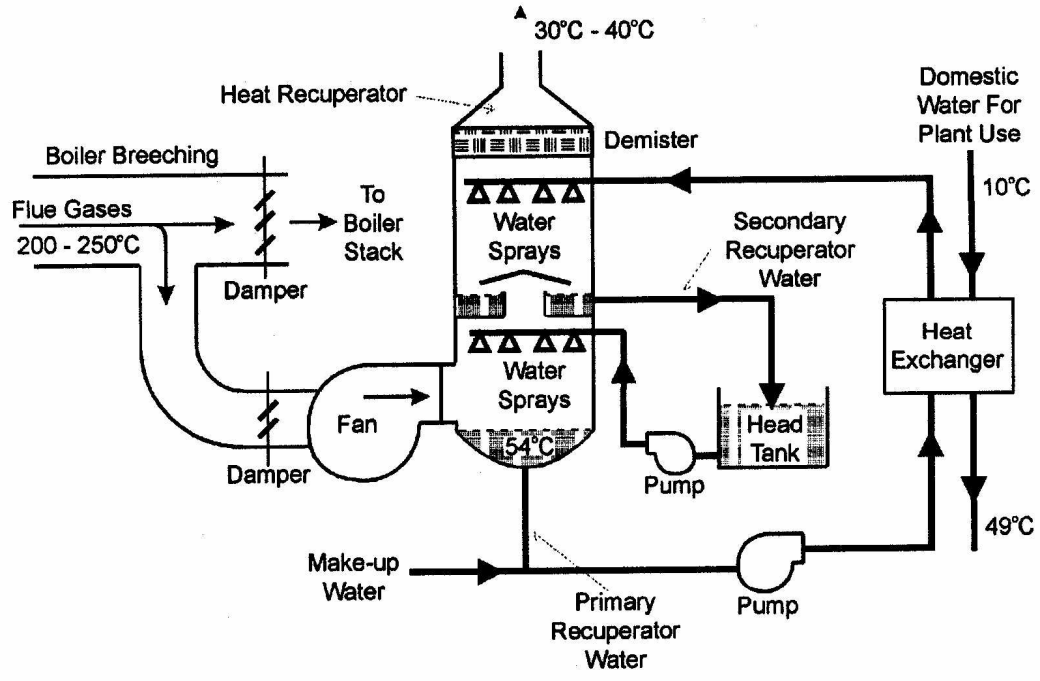
انواع زیادی از گرماپس ده ها در صنعت استفاده می شود که شاید بزرگترین نوع آن در صنعت شیشه گری باشد. یکی از انواع کوچکتر آن بازیاب نامیده می شود. بازیاب یک نوع مبدل حرارتی سیکلی است که در آن یک واسطه انتقال نظیر قالبی از فلز یا مواد دیرگداز به کار برده می شود و پس از آن جریان گاز به طرف قالب قطع می گردد. در این هنگام هوای سرد که قرار است پیش گرم شود از درون قالب گرم می گذرد. بازیاب دارای سطح انتقال حرارتی به صورت ساختمان سلولی و متخلخل می باشد که عموماً ماتریس نامیده می شود.کاربرد عمده بازیاب در پیش گرمایش آب تغذیه بویلرها و یا پیش گرمایش هوای احتراق است.

گرماپس ده نشان داده شده در شکل ۱-۶ به طور خاص برای خارج کردن هم گرمای محسوس و هم گرمای نهان از گاز دودکش طراحی شده است. این طراحی یک گرماپس ده حرارت مستقیم است که حرارت بازیافت شده به طور غیر مستقیم به آب آشامیدنی در یک مبدل حرارتی صفحه ای منتقل می شود.

گازهای دودکش به عنوان منابع حرارت اتلافی، از بویلرهای موجود گرفته می شود. این گازها را با پاشش آب خنک می کنند. حرارت جذب شده توسط آب خنک کننده درون یک مبدل حرارتی، دوباره برگشت داده شده و برای سرد شدن بیشتر به گرماپس ده برمی گردد.

تماس مستقیم این آب با ترکیبات اسیدی موجود در گاز دودکش سبب اسیدی شدن آن می شود. این پدیده با تصفیه آب و اضافه شدن آب جبرانی خنثی می شود. تجهیزاتی که با آب سر و کار دارند، از فولاد ضد زنگ ساخته شده اند.

کاربرد آب آشامیدنی گرم شده در صنایع غذایی، رختشوی خانه، بیمارستان و... می باشد. بازگشت سرمایه تقریبی از این نوع تجهیزات در حدود ۳ سال است[۲].

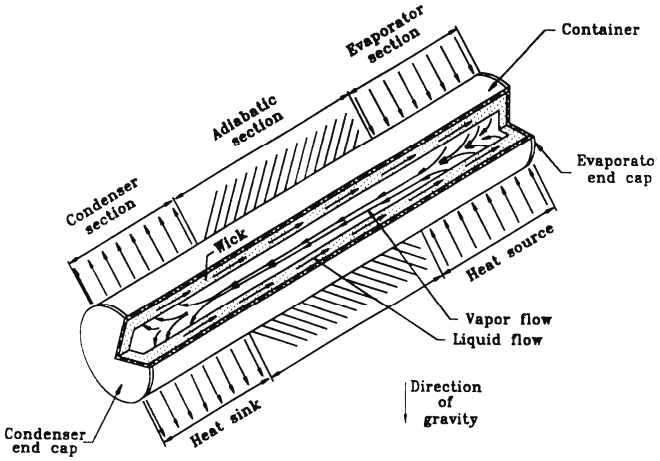


شکل ۱-۶: گرما پس ده تماس مستقیم[۲]

۱-۲-۷: لوله های گرمایی

لوله گرمایی یک طرح توسعه یافته نسبتاً جدید است. اولین کاربرد عملی آن در یکی از پروژه های هوا – فضا در سال ۱۹۶۲ بود. به اشکال مختلف اعم از مدور، مسطح، مربعی، مستطیلی و.... ساخته می شود (شکل (۱-۷)).

لوله های گرمایی در صنعت برای سردکردن پیچ و مهره ها، یاتاقانها، گیره ها، تبدیل کننده های ولتاژ و یا برای انتقال حرارت از دود خروجی اتومبیل به هوای ورودی کاربراتور استفاده می شوند. در مقیاس تجاری،کاربرد لوله-های گرمایی شامل گرم کردن و سرد کردن هوای تهویه می باشد. از شناخته ترین و متداولترین وسایل حرارتی، مبدل ها هستند که عنوان اصلی این پروژه مبادله کن حرارتی از نوع لوله گرمایی می باشد. درفصل های بعد به تفصیل در مورد لوله های گرمایی و این نوع مبادله کن ها توضیح داده شده است.



شکل ۱-۷: شماتیک یک لوله گرمایی[۳]

فصل دوم

تئوری لوله های گرمائی و ترموسیفون ها

۲-۱: تاریخچه

از سال ۱۸۳۱ تا سال ۱۸۹۲، سیمون پرکین[1] و مارچ پرکین[2] طرحی را ارائه دادند[٤] که آنرا لوله پرکین نامیدند که اساساً یک لوله گرمایی بود و لوله های گرمایی تکفاز و دو فاز را برای کاربرد بویلرها به کار گرفتند.

آنجیر مارچ پرکین در سال ۱۸۲۷ به انگلستان آمد تا بتواند تحقیقات بیشتری روی بویلرها و سیستمهای توزیع حرارت انجام دهد. کار بر روی لوله پرکین که وسیله‌ای با جریان دوفازی بود به شکل یک اختراع به پسر آنجیر پرکین نسبت داده می‌شود، در حالیکه عمده کارهای ابتدایی آن توسط آنجیر پرکین در نیمه قرن نوزدهم انجام شد. پرکین روی سیستمهای توزیع حرارت تک فاز کار می‌کرد. در سال۱۸۹۸ مقاله‌ای که محصولات شرکت پرکین و پسران را تشریح می‌کرد منتشر شد. این مقاله بیان می‌کرد که پرکین در سال ۱۸۳۱ اولین اختراعش را با عنوان سیستم گرمایش پرکین توسط لوله هایی آهنی باریک به ثبت رساند. این سیستم اساساً یک بویلر با لوله های سربسته بود که آب درون لوله ها (به صورت تکفاز در فشار بالا) بین کوره و دیگ بخار گردش کرده و یک سیستم گرمایش غیرمستقیم را ایجاد می‌کرد. این بویلر با لوله‌های بسته بیش از صد سال در مقیاس تجاری تولید می‌شد. مشخصه های این سیکل بسته گرمایشی آب داغ، استفاده از آنرا برای تبخیر کننده های تصفیه شکر، برای بویلرهای بخار و همچنین برای فرایندهای مختلفی که فلزات مذاب را برای آلیاژکاری وکار با فلزات در دمای بالا نیاز داشتند،پیشنهاد می‌کرد، به این دلیل که در سیستم پرکین، آب داغ پرفشاری با دمای دیواره بیش از ۱۵۰°c تولید می شد.

در سال ۱۸۳۹ بیشتر اشکال معروف لوله های‌گرمایی سربسته آب داغ پرکین در انگلستان به ثبت رسیده بود. در آن سال یک بویلر لوله ای هم مرکز کشف شد، سیستمی لوله ای هم مرکز با گردش آب داغ در مدار بسته لوله های گرمایشی که در انتها شاخه دار بوده و به دو یا چند لوله تولید بخار سرازیر می‌شوند. این سیستم در لوکوموتیوهای بخار و بویلرهای بزرگی که بر این اساس کار می کنند، شامل تعداد زیادی لوله های بزرگ می شوند که از یک طرف بسته شده‌اند. ثابت شد که این سیستم سریعترین تولیدکننده بخار فوق داغ بود که توسط شرکت پرکین ساخته می شد.

در سال۱۹۴۲ گاگلر[3] نظریه لوله گرمایی را مطرح نمود و در سال ۱۹۶۳ Grover این نظریه را به اجرا رسانید.

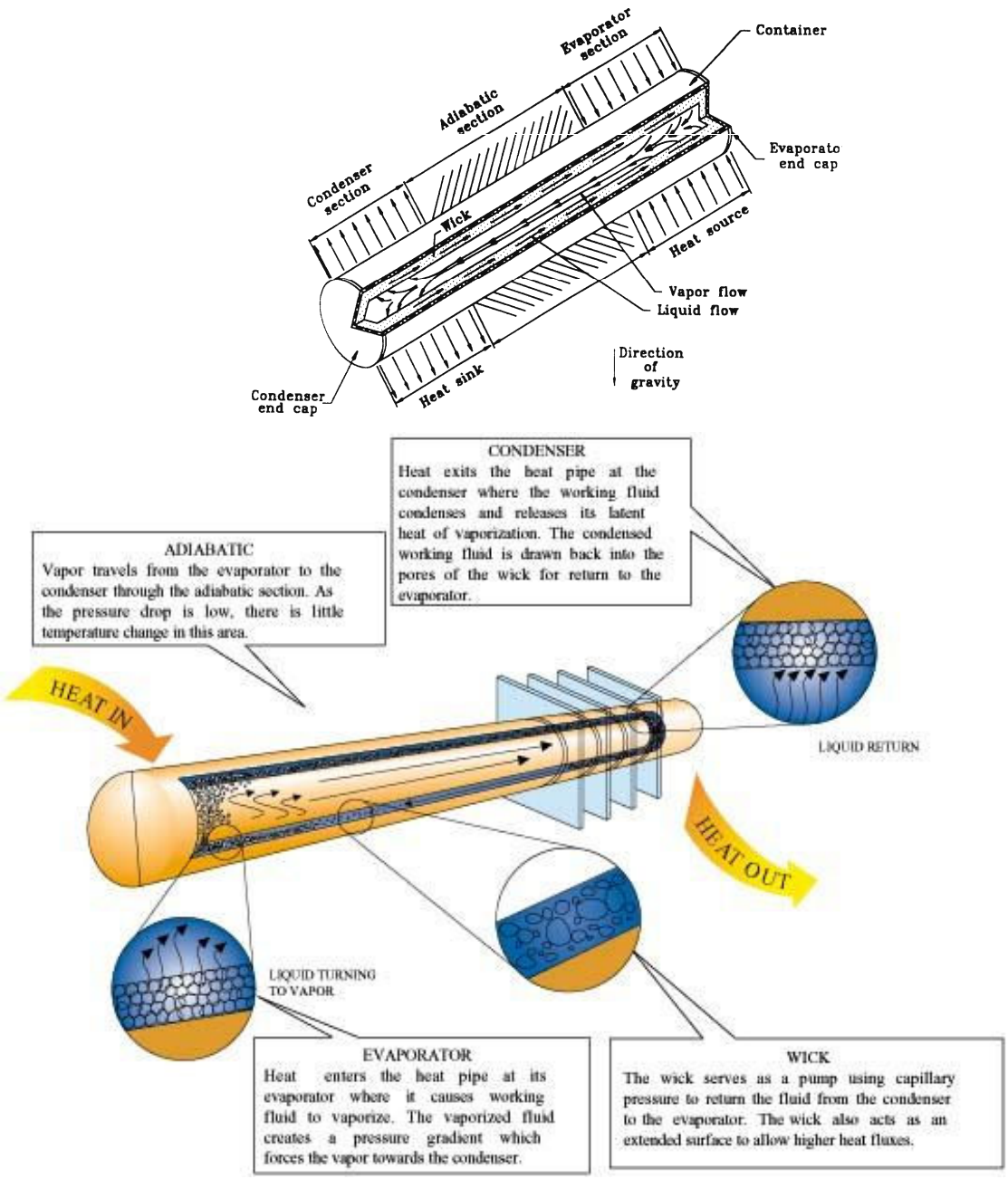
۲-۲: تئوری لوله گرمایی

بر خلاف ترمو سیفونها که فاقد فتیله می باشند،یک لوله گرمایی لوله ای است که دو سر آن بسته بوده و داخل آن فتیله قرار دارد. ساختمان یک لوله گرمایی در شکل(۲-۱) نشان داده شده است.

[1] S.Perkins

[2] M.Perkins

[3] R.S.Gaugler



شکل ۲-۱: شماتیک یک لوله گرمایی همراه با نمایش
اصول عملکرد و چرخش سیال عامل آن [۳]

اجزاء یک لوله گرمایی به ترتیب عبارتند از : محفظه آب بندی شده (دیواره لوله و کلاهکهای انتهایی)، یک سازه فتیله ای و مقدار کمی سیال عامل که در تعادل با بخارش قرار دارد[۳].

لوله ها پس از تخلیه هوا، توسط مقدار جزئی از سیال عامل، پر می شوند. تفاوت لوله گرمایی و ترموسیفون در این است که لوله گرمایی به علت وجود فتیله و نیروی موئینگی، می تواند افقی قرار بگیرد و یا حتی قسمت تبخیرکننده در

بالا و قسمت چگالنده در پایین قرار گیرد. در ترموسیفون‌ها چون عامل بازگشت مایع به قسمت تبخیرکننده، نیروی جاذبه می باشد، بنابراین قسمت چگالنده باید بالاتر از قسمت تبخیرکننده قرار گیرد [۵].

یک لوله‌گرمایی به طور کلی از سه بخش اصلی زیر تشکیل شده است :

الف- قسمت تبخیرکننده :

این بخش از لوله‌گرمایی قسمت پایین ترموسیفون بوده که در چشمه گرمایی قرار می‌گیرد. گرما باعث تبخیر سیال عامل محتوی لوله می شود. بنابراین در این بخش گرما دریافت می شود.

ب- قسمت آدیاباتیک :

در این قسمت از لوله گرمایی انتقال حرارت نداریم.

ج- قسمت چگالنده :

این بخش از لوله گرمایی که قسمت بالایی ترموسیفون می‌باشد، در چاه گرمایی (محل دریافت حرارت) قرار دارد. در این قسمت بخار به مایع تبدیل شده وگرمای نهان تبخیر آزاد می‌شود.

گرمای وارد شده به تبخیرکننده که توسط یک چشمه خارجی تأمین می گردد، از میان دیواره لوله و سازه فتیله ای هدایت شده و سبب تبخیر سیال عامل می‌گردد. فشار بخار بوجود آمده سبب انتقال بخار از میان قسمت آدیاباتیک به چگالنده می‌گردد و در آنجا بخار حاصله چگالیده شده و گرمای نهان تبخیر، گرمای چاه را تأمین می‌سازد. فشار موئین ایجادشده در فتیله، سبب پمپاژ سیال چگالیده شده به تبخیرکننده می‌گردد. بنابراین، لوله گرمایی می‌تواند به طور پیوسته گرمای نهان بخار را از تبخیرکننده به چگالنده انتقال دهد. این فرایند تا زمانیکه یک فشار موئین‌کافی برای انتقال سیال چگالیده شده به تبخیرکننده موجود باشد، ادامه خواهدیافت. چون سطح حلالها در فصل‌مشترک مایع – بخار در تبخیرکننده بسیار خمیده می‌باشند، مایع در شیارهای فتیله به عقب کشیده می‌شود. به عبارت دیگر، در هنگام چگالش، حلالها در چگالنده تقریباً صاف می باشند. فصل مشترک مایع – بخار در نزدیکی چگالنده کلاهک انتهایی، با یک نرخ جریان بسیار پایین بخار با گرادیان فشار صفر، تقریباً صاف می باشد.

لازم به ذکر است که برای بازگشت سیال چگالیده شده در چگالنده به بخش تبخیرکننده، روشهای زیر وجود دارد:

- فتیله (لوله گرمایی استاندارد)
- وزن (لوله گرمایی ترموسیفون)
- نیروی گریز از مرکز (لوله گرمایی گردشی)
- نیروهای حجمی مغناطیسی (لوله گرمایی هیدرودینامیکی مغناطیسی)
- نیروهای اسمزی (لوله گرمایی اسمزی)
- پمپ حبابی (لوله گرمایی ترموسیفون برعکس)

۲-۲-۱: خصوصیات اصلی لوله های گرمایی

لوله های گرمایی به خاطر هدایت حرارتی خیلی بالا، به صورت اختلاف دمای کم بین بخش تبخیرکننده و قسمت چگالنده دارای اهمیت بسزایی است.

مورد دیگری که شاید به همین اندازه قابل توجه باشد، فقدان هر نوع پمپ و یا منبع قدرت اضافی جهت انتقال حرارت از چشمه حرارتی به حفره حرارتی است. از جمله دیگر خصوصیات مهم لوله حرارتی، امکان کنترل دما و شار