

طراحی و ساخت چیلر جذبی لیتیوم بروماید با تغذیه آب گرم (یک تن تبرید)

وحید یغمائی: فارغ التحصیل کارشناسی دانشگاه یزد، مرکز رشد BT پارک علم و فناوری

چکیده :

صرفه جویی در مصرف انرژی به یکی از دغدغه‌های دنیای امروز تبدیل شده است. دستگاه چیلر جذبی یکی از بهترین و جدیدترین وسایل سرمایشی است که به بهترین نحو جوابگوی موضوع بالاست. با توجه به اهمیت یادگیری و نیاز آزمایشگاه‌ها در این امر، تولید دستگاه چیلر جذبی متناسب با نیاز آزمایشگاهی و حتی صنعتی جمعی از کارمندان شرکت آبرون تهویه را به فکر تولید این دستگاه با تناژ پائین انداخت. دستگاه‌های صنعتی معمول چیلر جذبی در تناژهای بالا (معمولاً بالاتر از ۴۰ تن تبرید) تولید می‌شوند و با توجه به در دسترس نبودن و همچنین بدنه فلزی و حجم اشغالی زیاد عملاً برای مقاصد آزمایشگاهی بلا استفاده می‌باشند. ولی دستگاه مورد بحث در این مقاله به علت فضای اشغالی کم و بدنه شفاف که می‌تواند اتفاقات داخلی را به بهترین نحو به مخاطب نشان دهد، بسیار مناسب برای مقاصد آموزشی میباشد. به علت تناژ پائین قابل استفاده برای مکان‌های مسکونی، تجاری و غیره نیز می‌باشد.

کلمات کلیدی: چیلر جذبی، لیتیوم بروماید، اندازه آزمایشگاهی، تناژ پائین، مقیاس صنعتی

۱- مقدمه

دو برابر شدن نرخ نفت در سال ۱۹۷۳ و دو برابر شدن مجدد آن در سال ۱۹۷۸ باعث شد تا اکثر دولت‌های اروپایی نرخ الکتریسیته را بالا ببرند و دولت آمریکا استانداردهای جدیدی را برای بالا بردن بهره انرژی وضع کند. خیلی از کشورهای خاورمیانه هم یارانه های انرژی را به شدت افزایش دادند. نتیجه این وضعیت بالا رفتن هزینه های اولیه و هزینه های جاری سیستم های تهویه مطبوع بوده است. تأثیر هزینه های انرژی بر انتخاب چیلر (و بر طراحی و فروش آنها) در چند دهه اخیر بسیار زیاد بوده است. مسئله گرم شدن کره زمین هم که از سال ۱۹۷۶ مطرح شد و اثرات آن از سال ۱۹۸۵ برای همه محسوس بود بر این روند تأثیر گذاشته است. مسئله تخریب لایه اوزون هم توسط CFC ها و HCFC ها تردیدهایی را برانگیخته و باعث شده است تا آینده صنایع تهویه مطبوع موضوع بحث همگان بشود. انتخاب چیلر از مسئله صرفاً اقتصادی به مسئله اجتماعی و زیست محیطی تبدیل شده است. صاحبان ساختمان ها تردیدهایی درباره هزینه ها و در دسترس بودن انرژی و مبردها دارند. و باید وضع شدن احتمالی قوانین جدید را هم در نظر داشته باشند. از میان تمام این شک و تردیدها و ابهامات، امروزه نوعی چیلر تولید میشود که هم عملکرد اقتصادی مطمئنی دارد و هم از مسائل زیست محیطی و اجتماعی تقریباً بی مشکل است. چیلرهای جذبی، آینده مطمئنی را برای صاحبان ساختمان ها تضمین می کنند.

چرا چنین است؟

به سه دلیل: اول اینکه یک چیلر جذبی بجز برای دو پمپ کوچک و سیستم کنترل خود، هیچگونه نیازی به الکتریسیته ندارد. این ویژگی مصرف کننده را از وابستگی به الکتریسیته می رهاوند و درگیری او را با مشکلات آینده آن بسیار کم می کند.

دوم اینکه یک چیلر جذبی از هیچ نوع CFC یا HCFC یا مبرد دیگری بجز آب استفاده نمی کند. این باعث مقبولیت این سیستم از لحاظ زیست محیطی شده است.

و در نهایت اینکه بر خلاف دستگاه های تهویه مشابه، چیلر های جذبی صدا و ارتعاشات ناچیزی دارند که به علت کم بودن بخش های مکانیکی می باشد.

کولر های آبی به دو علت مناسب نیستند: دلیل اول، مصرف بالای آب و به نسبت برق و باتوجه به این نکته که بهترین دمایی که یک کولر آبی می تواند خنک کند، دمای مرطوب آن منطقه است (T_w)، که به طور مثال در شهر یزد حدود ۲۱ درجه سانتیگراد می باشد.

نکته دوم در خصوص کولر آبی اینک، کولر آبی به علت تزریق رطوبت به هوا، رطوبت را بالا میبرد که این خصیصه عملاً استفاده از کولر آبی را در مناطق شرعی ناممکن می کند.

استفاده از کولر های گازی (اسپیلیت) هم به علت قیمت بالای برق در کشور ما و مصرف بالای برق این سیستم (سیکل تراکمی) عملاً مقرون به صرفه نیستند.

چیلر جذبی آمونیاکی نیز به دلیل اینکه آمونیاک یک ماده سمی است نمی تواند گزینه مناسبی باشد.

استفاده از چیلر جذبی لیتیوم بروماید جوابگوی تمامی مسائل بالاست اما استفاده از چیلر جذبی صنعتی به سه دلیل عملاً برای مقاصد آموزشی غیر قابل استفاده است:

دلیل اول اینکه این دستگاه در دسترس همگان بالاخص دانشجویان نیست.

دلیل دوم اینکه این دستگاه بسیار حجیم و بزرگ است و حمل و نقل آن ناممکن است.

دلیل سوم اینکه به علت فلزی بودن بدنه اتفاقات داخلی به هیچ وجه قابل رؤیت نمی باشد و درک صحیح سیکل حتی برای اساتید نیز ثقیل است.

سیستم جذبی لیتیوم بروماید-آب چگونه کار می کند؟

دستگاه از چهار قسمت اصلی اوپراتور، ابزوربر، ژنراتور و کندانسور تشکیل گردیده است. مایع مبرد در قسمت اوپراتور روی لوله های آب تهویه مورد استفاده در فن کوئل (آب چیلد)، پاشیده می شود و به دلیل وجود خلاء بسیار بالا، آب در درجه حرارت کم تبخیر گردیده و باعث سرد شدن لوله های آب چیلد می گردد.

بخارات حاصله توسط مایع لیتیوم بروماید غلیظ جذب می گردد و لیتیوم بروماید با جذب آب رقیق گشته و توسط پمپ کوچکی با قدرت 34watt به قسمت فوقانی دستگاه منتقل می گردد. انتقال لیتیوم بروماید از طریق یک مبدل حرارتی انجام می پذیرد که در حین عبور از آن لیتیوم بروماید رقیق شده، گرم می شود. در قسمت فوقانی دستگاه لیتیوم بروماید تحت تأثیر لوله های بخار، داغ شده و آب آن تبخیر می گردد و لیتیوم بروماید غلیظ شده از طریق مبدل حرارتی به قسمت ابزوربر جهت جذب آب منتقل می گردد. بخارات آب تبخیر شده در ژنراتور توسط لوله های برج خنک کننده (در کندانسور) تقطیر گشته و مجدداً به قسمت اوپراتور عودت داده می شوند. این سیکل مرتباً تکرار می گردد و لوله های آب چیلد تا دمای ۶/۶۷ درجه سانتیگراد (۴۴ درجه فارنهایت) سرد می گردند. تنها مصرف برق این دستگاه دو پمپ

بسیار کوچک برای مبرد و محلول جاذب لیتیوم بروماید می باشد که مجموع برق مصرفی آنها حداکثر 68 watt می باشد.

پارامتر ضریب عملکرد (C.O.P) در دستگاه های برودتی از جمله چیلر های جذبی، بیانگر میزان بهره برداری از انرژی مصرفی در دستگاه می باشد. مقادیر بالاتر C.O.P نمایانگر مصرف بهینه انرژی حرارتی در چیلر های جذبی می باشد. ضریب عملکرد چیلر جذبی آزمایشگاهی توسط این گروه ۰/۸ می باشد.

۱-۲ طراحی چیلر

در اولین قدم برای طراحی یک چیلر جذبی به یک سری داده برای طراحی نیاز است که داده های در نظر گرفته شده برای دستگاه ما بدین شرح است:

۱. دمای تبخیر مبرد در اواپراتور (T_{Evap})، دمای مبرد در کندانسور ($T_{R/cond}$)، دمای محلول در خروجی ایزوربر (کمترین دمای محلول) ($T_{S/abs, exit}$)، دمای محلول در خروجی ژنراتور (ماکزیمم دمای محلول در سیکل) ($T_{S/gen, exit}$)، غلظت محلول ورودی به واحد جاذب (X_1)، فشار بخار ورودی به دستگاه و مهمتر از همه تناژ دستگاه.

۱-۱-۲ محاسبه دبی و خواص در نقاط مختلف

در ادامه دبی و خواص مبرد (m_R و X_R) با کمک معادلات بقای جرم و انرژی را به دست آورده به سراغ دبی و خواص محلول در ژنراتور و ایزوربر می رویم. توجه به این نکته لازم است که خواص محلول را می توان با کمک نمودار P-T-X به دست آورد. فشار در ژنراتور همان P_{high} دستگاه است که فشار اشباع کندانسور در دمای کندانسور می باشد. در ادامه با نوشتن معادله بقای جرم برای ژنراتور می توان دبی ورودی محلول به ژنراتور را بدست آورد که با توجه به این عدد و فشار دو مخزن می توان پمپ مناسب محلول (Solution pump) را انتخاب نمود. با بدست آوردن دبی ورودی به ژنراتور و با توجه به دبی بدست آمده از مرحله قبل مربوط به مبرد، می توان دبی محلول غلیظ از کف کش ژنراتور را به دست آورد. با نوشتن معادلات بقای جرم برای ایزوربر می توان دبی جرمی خروجی واحد جاذب را بدست آورد و با نوشتن بقای جرم لیتیوم بروماید دبی ورودی ایزوربر را بدست آورد. مقدار کار را با رابطه زیر می توان بدست آورد:

$$W_{pump} = \dot{V}(P_{high} - P_{low})$$

#

سپس با ضرب عدد بدست آمده در دبی جرمی خروجی ایزوربر می توان توان پمپ را بدست آورد.

۲-۱-۲ محاسبه بار حرارتی اجزای سیکل

با نوشتن معادله بقای انرژی برای ژنراتور، ایزوربر و کندانسور به راحتی می توان بار حرارتی ژنراتور، ایزوربر و کندانسور را بدست آورده، پس از آن با جمع کردن بارهای ایزوربر و کندانسور بار برج خنک کننده را به دست آورد. با توجه به رابطه زیر می توان دبی برج خنک کننده را بدست آورد:

$$\dot{m}^{cooling\ tower} = \frac{Q_{cooling\ tower}}{C_p(T_{out} - T_{in})}$$

با بدست آمدن دبی برج خنک کننده حتی می توان دمای آب خنک کن ورودی به کندانسور را بدست آورد:

$$Q_{cond.} = m^{\circ}_{coolingtower} \times C_p (T_{outcond.} - T_{incond.})$$

با توجه به تناژ دستگاه (Q_{evap.}) و فرمول زیر می توان دبی آب چیلد را بدست آورد:

$$m^{\circ}_{chilled} = \frac{Q_{evap.}}{C_p \times (T_{out} - T_{in})}$$

دبی بخار مصرفی را نیز با رابطه زیر بدست آورد:

$$m^{\circ}_{steam} = \frac{Q_{gen.}}{h_{fg, steam}}$$

که در آن h_{fg, steam} در فشار بخار ورودی لحاظ می شود.

حال می توان به راحتی C.O.P دستگاه را بدست آورد:

$$C.O.P = \frac{Q_{evap.}}{Q_{gen.} + \sum W_{pump}}$$

۲-۲ طراحی اجزای چیلر جذبی

۲-۲-۱ کندانسور

داده های اولیه عبارتند از:

دمای آب در ورودی به لوله ها، دمای آب در خروجی لوله ها، دمای ورودی به پوسته ها و دمای اشباع مبرد در پوسته که با میانمایی در فشار مخزن بالا بدست می آید ولی چون تجربه نشان می دهد که فشار کندانسور اندکی از ژنراتور کمتر است، بنابر این دمای اشباع کمتر از میزان قرائت شده از جدول است. می خواهیم تعداد لوله های موجود در کندانسور را بدست بیاوریم، برای این کار از روش LMTD که در مرجع شماره ۴ به طور مفصل در مورد آن توضیح داده شده است مسئله را دنبال می کنیم. فرمول چنین است:

$$LMTD = \frac{(T_{sat} - T_{c1}) - (T_{sat} - T_{c2})}{\ln\left(\frac{T_{sat} - T_{c1}}{T_{sat} - T_{c2}}\right)}$$

با تخمین U از جدول موجود در همان مرجع و همچنین با توجه به فرمدل زیر که در آن F=1 می باشد، تعداد لوله ها را بدست می آوریم:

$$A = \frac{Q_{cond.}}{F \times U \times LMTD}$$

$$N_{tube} = \frac{A}{N_p \times L \times A_{p0}}$$

که در آن N_p تعداد پاس لوله است که با توجه به دبی در نظر گرفته می شود، L طول لوله و A_{p0} مساحت خارجی لوله است (یک لوله). حال با توجه به فرمول زیر باید U را اصلاح کنیم:

$$\frac{1}{U_{new}} = \frac{1}{\alpha_c} + R_t + \frac{a}{\alpha_t}$$

که در آن :

U_{new} = ضریب انتقال حرارت جدید.

α_s = ضریب انتقال حرارت روی دسته لوله

R''_t = مقاومت حرارتی لوله

α_t = ضریب انتقال حرارت درون لوله

با محاسبه Re و در نتیجه Nu می توان α ها را محاسبه نمود و با جاگذاری در فرمول بالا U_{new} را بدست آورد .
با در دست داشتن U_{new} به سه فرمول قبل باز می گردیم و تعداد لوله های جدید را محاسبه می کنیم.
نکته: بدست آوردن تعداد لوله ها در قسمت های ژنراتور بخار، اواپراتور، ابزوربر و مبدل حرارتی (Heat Exchanger) نیز به همین ترتیب است، فقط فرمول های لازم برای بدست آوردن ضرایب انتقال حرارت متفاوت است.

نتیجه گیری

با توجه به نامناسب بودن سیستم های رایج در تهیه مطبوع فضاهای کوچک، امید است ارائه این مقاله تلنگری در ارائه راهکار های مناسب برای بهینه سازی مصرف سوخت باشد

فهرست علائم

C.O.P	ضریب بهره دستگاه
T	دما (K)
p	فشار (atm, gage)
X	غلظت
W_p	کار پمپ (KJ/Kg)
ν	حجم مخصوص (m^3/kg)
m°	دبی سیال (Kg/s)
c_p	گرمای ویژه در فشار ثابت (kJ/kg K)
Q	بار حرارتی (KW)
Re	عدد رینولدر
Nu	عدد ناسلت
U	ضریب انتقال حرارت کلی ($KW/m^2.K$)
α	ضریب انتقال حرارت ($KW/m^2.K$)
R''	مقاومت حرارتی ($m^2.k/KW$)
s	پوسته
t	لوله
p_o	سطح خارجی لوله
p	تعداد مسیر

منابع

۱. ون وایلن، ترجمه بهرام پوستی ویرایش ششم "اصول ترمودینامیک".
۲. فرانک پی. اینکروپرا، دیدید پی. دویت، ترجمه بهرام پوستی "مقدمه ای بر انتقال گرما" ویرایش چهارم.
۳. جک فیلیپ هولمن "انتقال حرارت" ویرایش نهم.
۴. Arthur P. Fraas "Heat exchanger design"

