



وزارت علوم تحقیقات و فناوری

دانشگاه صنعت نفت

دانشکده علوم دریایی محمودآباد

معرفی کوتاه انواع مبردها و بررسی مبرد R۱۳۴a

خرداد ماه ۱۳۹۰

مقدمه :

در سالهای اخیر بحثهای زیادی در زمینه میردهای جدید، جایگزینی میردهای قدیمی، کاربردها و مزایا و معایب هر کدام صورت گرفته است. به نظر می رسد در کشور ما و به خصوص در بین جامعه مهندسين مشاور و پيمانکاران هنوز اطلاعات و توافقات بين المللی در این زمینه به خوبی تدوین و ارائه نشده است. به همین دلیل بعضا شاهد انتخاب نادرست میردها و اصرار بر استفاده از آنها توسط بعضی از مهندسين مشاور می باشیم. در این مقاله برخی اطلاعات لازم در مورد میردها، کاربرد آنها و همچنین مصوبات و توافقات جهانی صورت گرفته در سالهای اخیر، به شکلی قابل استفاده ارائه می شود .

مبرد چیست؟

در پایان هزاره دوم میلادی تعداد زیادی لیست توسط مراجع مختلف منتشر گردید که نشان دهنده برترین های قرن بیستم در زمینه های مختلف بودند؛ از جمله لیست «برترین اختراعات». در این لیست پس از پرواز، سفر به فضا و کامپیوترها، سرمایش جزو ده اختراع برتر این قرن قرار گرفته بود. دلیل این امر این است که بدون سرمایش، نگهداری غذا، ساخت آسمانخراشها، تجهیزات و ساختمانهای مدرن پزشکی و انجام بسیاری از فرایندهای صنعتی امکان پذیر نبود . فرهنگ لغات Webster واژه Refrigerant را چنین معنا می کند: «ماده ای که در یک سیکل تبرید و یا به صورت مستقیم نظیر یخ برای ایجاد سرما به کار می رود.»

استاندارد ۳۴ ASHRAE بیش از صد مبرد مختلف را به همراه نامگذاری و طبقه بندی آنها برشمرده است. هر چند که بسیاری از آنها در سیستمهای سرمایش معمول استفاده چندانی ندارد .



تاریخ استفاده از سرمایش مکانیکی به اواسط قرن نوزدهم میلادی برمی گردد. اولین ماشین سرمایش مکانیکی توسط ژاکوب پرکینر در سال ۱۸۳۴ ساخته شد. در این ماشین از اثر به عنوان مبرد در یک سیکل تراکمی - تبخیری استفاده شده بود. در سال ۱۸۶۶ دی اکسید کربن و در سال ۱۸۷۳ آمونیاک بدین منظور استفاده شد. استفاده از این سیستمها تنها محدود به فرآیندهای آزمایشگاهی و بعضا صنعتی می شد. نگهداری محصولات غذایی در این دوره توسط قالبهای بزرگ یخ که در زمستان جمع آوری یا تولید می شد، انجام می گرفت. در ابتدای قرن بیستم سیکل تبرید برای تهویه مطبوع و سرمایش ساختمانها مورد استفاده قرار گرفت. ساختمان Milam در سن آنتونیو تگزاس نخستین ساختمانی بود که به طور کامل مجهز به سیستم تهویه مطبوع شد. در سال ۱۹۲۶ توماس میدگلی اولین مبرد CFC یعنی ۱۹۲۶ را مورد استفاده قرار داد. اولین چیلر سانتریفوژ برای مصارف سرمایش صنعتی و تهویه مطبوع توسط ویلیس کریر در سال ۱۹۳۱ ساخته شد. ایجاد درجه حرارت مناسب در کابین اتومبیل ها در زمستان و تابستان نقش بسزائی در فراهم آوردن شرایط مطبوع و آسایش راننده و سرنشینان اتومبیل دارد . در این مورد تهویه مطبوع کامیون ها و اتومبیل ها که با مسافت طولانی سر و کار دارند از اهمیت خاصی برخوردار است چرا که تاثیر مستقیم در رانندگی کاری راننده و تعداد ساعتی که راننده می تواند رانندگی کند دارد . شرایط مطبوع یک فضای تهویه شده ترکیبی از رطوبت مناسب و درجه حرارت مناسب می باشد . دو شاخصی که بیشتر معمول است و عموما افراد بیشتر با آن ها آشنایی دارند درجه حرارت خشک و رطوبت نسبی می باشند . درجه حرارت خشک همان درجه حرارتی است که ترمومتر های معمولی نشان می دهند . رطوبت نسبی میزان رطوبت (یا بخار آب) موجود در فضا را مشخص می نماید . بنابراین هوای کاملا خشک رطوبت نسبی ۰٪ و هوای اشباع شده دارای رطوبت نسبی ۱۰۰٪ می باشد .

با این که بیش از یک قرن از اختراع اتومبیل می گذرد اما استفاده از سیستم تهویه مطبوع در اتومبیل ها قریب به چهل سال

پیش تحقق یافت. طی این مدت سرعت فضای نصب سیستم تهویه در اتومبیل بالا رفته به طوری که امروزه در اکثر کشور های پیشرفته صنعتی سیستم تهویه مطبوع اتومبیل جزو وسائل اصلی آن محسوب گشته و از اهمیت بسزائی برخوردار است. سیستم های تهویه مطبوع در اتومبیل های جدید مجهز به کنترل درجه حرارت چند منطقه (Multi-Zone) و پخش هوای مناسب در نقاط مختلف کابین با شرایط درجه حرارت و رطوبت می باشند.

با توجه به رقابت شدید در بازار اتومبیل سعی سازندگان فراهم کردن سیستم هائی است که علاوه بر فراهم نمودن شرایط مطبوع در داخل ماشین و جلب رضایت سر نشینان به آسانی قابل تعمیر بوده و قطعات آن به آسانی یافت شوند. انتخاب مبرد برای سیستم های تبرید و تهویه مطبوع گذشته از دارا بودن شرایط مطلوب ترمودینامیکی و دیگر مواد لازم برای یک مبرد خوب باید حد اقل وزن و حجم را در بر گیرد چرا که وزن ماشین رابطه مستقیم با قیمت اولیه ماشین و میزان سوخت مورد نیاز دارد با توجه به استاندارد های جدید بهره وری انرژی (Energy Efficiency) سازندگان اتومبیل ها موظف هستند که قانون راندمان سوختی معادل هفده کیلومتر به ازای هر لیتر برای ماشین های سواری متوسط در حال بررسی جهت به اجرا در آوردن در سال ۱۹۹۷ می باشد را رعایت نمایند.

بعضی از مبردها بنا به دلایلی که بعدا گفته خواهد شد، بیش از بقیه مورد استفاده قرار گرفتند از جمله HCFC-۲۲، CFC-۱۱۰ و CFC-۱۲ در اواسط دهه هفتاد میلادی نگرانی دانشمندان از نازک شدن لایه ازن و عوارض ناشی از آن مطرح شد و مبردهای CFC و GCFC به عنوان یکی از عوامل این موضوع شناخته شدند. بحثها و بررسی ها منجر به تصویب پروتکل مونترال در سال ۱۹۸۷ گردید که به موجب آن لازم است طی برنامه ای زمان بندی شده تمام مبردهای CFC و HCFC از برنامه تولید و استفاده خارج شده و مواد دیگری جایگزین آنها شوند. در دهه ۹۰ میلادی بحث گرم شدن هوای زمین مجددا استفاده از مبردها را مورد انتقاد جدی قرار داد، چرا که دستگاه های سرمایش و تهویه مطبوع مصرف کنندگان عمده انرژی می باشند. در ایالات متحده حدود ۳۵ درصد مصرف انرژی، مربوط به مصارف انرژی ساختمانها از جمله سرمایش و تهویه مطبوع است. همچنین بسیاری از مبردها خود گازهای گلخانه ای می باشند. بدین ترتیب این مواد در دهه های اخیر همیشه موضوع بحث و بررسی بوده اند.

مبردهای رایج

اگرچه مواد زیادی به عنوان مبرد شناخته می شوند، اما تنها تعداد کمی از آنها در سیستمهای رایج به کار می روند. در زیر، بعضی از مبردها و گروه بندی اصلی آنها بررسی می گردند:

آمونیاک (R-۷۱۷)

آمونیاک مبردی طبیعی، با قابلیت اشتعال کم ولی نسبتا سمی است. آمونیاک از معدود مبردهای طبیعی است که هنوز هم در سیکلهای تراکمی - تبخیری و با کمپرسورهای رفت و برگشتی مورد استفاده قرار می گیرد. استاندارد ASHARE ۱۵ تمهیدات ایمنی خاصی را برای استفاده از آمونیاک توصیه می کند. از این مبرد بیشتر در سرمایش مورد نیاز فرایندهای صنعتی استفاده می شود؛ هر چند که در ظرفیتهای بالا می تواند در مصارف تهویه مطبوع هم به کار رود. آمونیاک به خاطر خواص تبریدی عالی اش، به شکلی گسترده، به عنوان مبرد در سرمایش مواد غذایی و سردخانه های صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد. این ماده همچنین در مقیاس های محدودتری برای سیستم های تهویه مطبوع ساختمانی نیز کاربرد دارد. آمونیاک دارای ODP و GWP برابر با صفر است و به همین دلیل، مبردی جذاب از نظر زیست محیطی و صرفه

جویی در انرژی به شمار می آید. اما این ماده سمی بوده و در شرایطی خاص، آتش گیر نیز هست. خوشبختانه سمی بودن این ماده به دلیل بوی زننده ای که دارد و آن را به راحتی قابل شناسایی می سازد، آنچنان خطرناک نیست. خطرناک شدن یا تخلیه ی اتفاقی این ماده را می توان با تعبیه کردن چیلرهای آمونیاکی در اتاقک های کاملاً عایق بندی شده که مجهز به هواکش های مجهز به فن هستند، به مقدار قابل توجهی کاهش داد. با این که بخار آمونیاک سبک تر از هواست، تحقیق های اخیر که توسط BRE انجام شده، نشان داده است که باد می تواند باعث شود بخار آمونیاک مانند یک گاز شناور در هوا رفتار کند. اثر مشابهی نیز در مورد گازهای دودکش بویلر به خوبی شناخته شده است. دودکش یا هواکش های مجهز به فن، برای اطمینان از این که انتشار اتفاقی این ماده کاملاً رقیق شده و به شکلی ایمن از ساختمان یا ساختمان های مجاور دور می شود، لازم خواهند بود. راهنمایی های خاص در مورد آمونیاک از انستیتو تبرید انگلستان و استاندارد BS EN ۳۷۸ قابل دست یابی است.

دی اکسید کربن (R-۷۴۴)

میردی طبیعی است که استفاده بسیار محدودی دارد. تحقیقات اخیر راه را برای بعضی استفاده های خاص از این میرد باز کرده است. از دی اکسید کربن در سیکل های تراکمی - تبخیری و با کمپرسورهای رفت و برگشتی استفاده می شود. نکته منفی سیکل های تبریدی که از این ماده استفاده می کنند، فشار بالا (حدود ۹۰۰ Psig) و راندمان پایین سیکل است. کاربرد دی اکسید کربن در سیکل های تبرید سری می تواند مفید باشد.

از نقطه نظر زیست محیطی و ایمنی، دی اکسید کربن (CO_2) یک میرد عالی به شمار می آید. این ماده غیرقابل اشتعال، بدون بو و غیرسمی است (البته غلظت های بسیار بالای آن می تواند باعث بروز خفگی گردد) و همچنین ODP آن صفر بوده و GWP آن نیز پایین است. موانع اصلی که بر سر راه استفاده از این ماده قرار دارند، این است که این ماده به دلیل پایین بودن دمای بحرانی آن (حدود $31.1^\circ C$) عموماً بازدهی انرژی پایینی دارد. در کاربردهای خاصی، این مشکل را می توان با طراحی مبدل های حرارتی خاص، کاهش داد. دی اکسید کربن همچنین در فشارهای بسیار بالا (حدود ۱۰۰ بار) عمل نموده و دارای ظرفیت حجمی بسیار بالاتری نسبت به میردهای دیگر است و به همین دلیل طراحی تجهیزات موجود مانند کمپرسورها، برای این میرد مناسب نیستند. پیشرفت های قابل توجهی در زمینه استفاده از این میرد در سیستم های تبرید کوچک، مانند تهویه مطبوع خودرو و سیستم های تبرید متوالی در ذخیره ی مواد غذایی در دمای پایین و تاسیسات انجماد صورت گرفته اند.

هوا R۷۲۹:

هوا نیز می تواند در سیکل گاز جهت ایجاد سرمایش به کار رود، سیستمی که عموماً مفهوم «سیکل هوا» را مطرح نموده و به شکلی گسترده در سرمایش کابین هواپیما مورد استفاده قرار می گیرد. متأسفانه، سیکلی هوا دارای بازدهی بسیار پایینی بوده و مصرف انرژی را در مقایسه با سیستم های معمولی تراکم بخار که از HCFC ها یا HFC ها استفاده می کنند، افزایش خواهد داد. اما مطالعات انجام شده توسط BRE و دانشگاه بریستول، منجر به پیدایش یک سیستم سیکل هوا برای گرمایش و سرمایش همزمان در ساختمان شده است که بازدهی انرژی آن کمی بالاتر از بسیاری از سیستم های معمولی است. سیستم هایی با سیکل هوا که در محدوده ی تجاری قابل دسترس باشند هنوز به بازار عرضه نشده اند و نیاز به این دارند که تولید کننده ای برای تولید انبوه این دستگاه ها، سرمایه گذاری کرده و هزینه ی سیستم های سیکل هوا را تا جایی پایین بیاورد که با سیستم های معمولی تراکم بخار قابل رقابت باشند.

هیدروکربنها (HC)

پروپان (R-۲۹۰) و ایزوبوتان (R-۶۰۰a) در کنار بعضی دیگر از هیدروکربنها می توانند در سیکلهای تراکمی - تبخیری استفاده شوند. در اروپای شمالی حدود ۳۵ درصد یخچالها با مبردهای هیدروکربنی کار می کنند. از جمله خواص این مبردها راندمان زیاد و در عین حال اشتعال پذیری بسیار بالا می باشد. در ایالات متحده استفاده از این نوع مبردها به دلیل استانداردهای ایمنی بسیار محدود است .

این مواد، دارای خواص تبریدی عالی بوده و اثرات نامطلوب زیست محیطی بسیار جزیی دارند. به همین دلیل، این مواد برای کاربرد در یخچال های خانگی و سیستم های تبرید تجاری کوچک و همچنین سیستم های تهویه مطبوع از عمومیت زیادی برخوردار شده اند. اما، اشتعال پذیری بالای این مواد، مستلزم این است که موارد ایمنی مربوط به دقت رعایت شوند. یکی از خطراتی که از اهمیت زیادی هم برخوردار است، این است که چون هیدروکربن ها هیچ بویی ندارند، وجود و غلظت بالای آن ها در محل سرویس و نگهداری که بسیار هم خطرناک است، قابل تشخیص نخواهد بود . راهنمایی های کامل در مورد استفاده از هیدروکربن ها توسط «شورای صنعت تهویه مطبوع و تبرید» ACRIB « انستیتو تبرید و استاندارد BS EN ۳۷۸ توصیف شده اند .

کلروفلوئوروکربنها (CFC's)

رایجترین مبردهای این گروه R-۱۱۳، R-۱۱۴، R-۱۲ و R-۱۱ می باشند. تا اواسط دهه هشتاد میلادی استفاده از آنها در سراسر دنیا معمول بود اما به موجب پروتکل مونترال استفاده و تولید آنها از سال ۱۹۹۵ در کشورهای توسعه یافته متوقف شده و در کشورهای در حال توسعه نیز طبق برنامه و به تدریج جمع آوری خواهند شد. استفاده از کلروفلوئوروکربنها با تمام انواع کمپرسورها و در سیکل تراکمی - تبخیری امکان پذیر است. راندمان و ایمنی بالا و غیرقابل اشتعال بودن از خواص مثبت آنها است. متأسفانه این مبردها صدمات جبران ناپذیری را به لایه ازن وارد می کنند .

هیدروکلروفلوئوروکربنها (HCFC's)

R-۲۲ که پر استفاده ترین مبرد می باشد، در این گروه قرار می گیرد. این مبردها در سیکلهای تراکمی - تبخیری و با تمام انواع کمپرسورها قابل استفاده هستند. مانند مبردهای CFC برنامه برای ممنوعیت استفاده از آنها در تمام کشورها در حال انجام است .

هیدروفلوئوروکربنها (CFC's)

این مواد از مبردهای نسبتاً جدید بوده و به عنوان جایگزین برای مبردهای مخرب لایه ازن مطرح می باشند R-۱۳۴a. از جمله آنها بوده و با راندمان نسبتاً بالا، و با خواصی نظیر غیرقابل اشتعال و غیر سمی بودن، مشخصات اصلی یک مبرد خوب را دارد .

مبردهای مخلوط

در صورتی که دو یا چند مبرد مشخص با نسبت خاصی با هم مخلوط شوند، می توان به یک مبرد جدید دست یافت؛ به عنوان مثال R-۴۰۷C از مخلوط R-۱۳۴a و R-۱۲۵ به دست آمده و دارای خواص قابل توجهی می باشد. مبردهای مخلوط خود به

دو دسته عمده تقسیم می شوند :

الف) آزنوتروپها: بعضی از مبردهای مخلوط خواصی مانند یک مبرد تک جزئی دارند؛ به عبارت دیگر فشار و دمای اشباع هر جزء با فشار و دمای اشباع کل مخلوط یکسان است. مثلاً R-۵۰۰ شامل دو جزء R-۱۳۴a و R-۱۲۵ بوده و مخلوطی از آزنوتروپ می باشد. نسبت اختلاط هر دو جزء در فاز گاز یا مایع تقریباً یکسان است. به عبارت ساده تر دو جزء در هنگام تغییر فاز از هم جدا نشده و با هم تغییر فاز می دهند .

ب) زئوتروپها: برخلاف گروه فوق این نوع مخلوطها در هنگام تغییر فاز به اجزاء تشکیل دهنده خود تقسیم شده و لایه های مختلف گاز و مایع را تشکیل می دهند. از جمله زئوتروپها R۴۰۷C و R-۴۱۰A می باشند. در هنگام استفاده از این مبردها باید ملاحظات خاص آنها را در نظر داشت.

آب

آب در سیستمهای جذبی به عنوان مبرد مورد استفاده قرار می گیرد. در این سیستمها از آب در کنار یک محلول نمک مثل لیتیم بروماید که نقش جاذب را دارد استفاده می شود. چیلرهای جذبی COP پایینی دارند (حدود ۱) درحالی که یک چیلر با کمپرسورهای سانتریفوژ COP حدود ۵ دارد. از نظر زیست محیطی استفاده از آب که یک مبرد کاملاً طبیعی است بسیار مطلوب می باشد هر چند که پایین بودن COP به این معنا است که در مقایسه با یک چیلر مثلاً سانتریفوژ باید مقدار بیشتری سوخت فسیلی مصرف نمود تا همان میزان سرما را ایجاد کرد .

در مورد استفاده از چیلرهای جذبی لازم است برای هر پروژه، تحلیل فنی و اقتصادی مناسب انجام گیرد تا بهینه و مقرون به صرفه بودن استفاده از آن بررسی شود. بدین منظور می توان از نرم افزارهایی نظیر Mcquay's Energy Analysis استفاده نمود .

از نقطه نظر زیست محیطی و ترمودینامیکی، آب شاید مبردی ایده آل برای کاربردهایی باشد که بالاتر از صفر درجه ی سانتی گراد کار می کنند. اما یک مشکل بزرگ عملی در این بین وجود دارد که همان بالا بودن حجم مخصوص بخار آب است که مقدار آن تقریباً دو برابر یک مبرد HFC معمولی است. این امر بدین معنی است که کمپرسورهایی بسیار بزرگ برای چنین سیستمی لازم خواهند شد. بهترین نوع کمپرسور برای این سیستم، احتمالاً کمپرسورهای محوری یا سانتریفوژ خواهند بود، اما انواع مناسب برای بخار آب در حال حاضر انواع بسیار خاصی بوده، قیمت بسیار بالایی داشته و زمان تحویل بسیار طولانی دارند. هزینه و اندازه ی بالای این سیستم ها و این که چنین سیستم هایی تنها باید به صورت «سفارشی» ساخته شوند، در حال حاضر آن ها را عملاً از رده ی جایگزین های موجود جهت کاربردهای عمومی تهویه مطبوع خارج نموده است. پیشرفت های آینده ی محصولات تجاری و شاید سیستم های جایگزین بخار فشان، در آینده ی دورتر آب را به عنوان جایگزینی موفق مطرح نماید (البته آب می تواند به عنوان مبرد در چیلرهای سیکل لیتیوم برماید / آب مورد استفاده قرار گیرد).

چیلرهای سیکل جذبی :

چیلرهای سیکل جذبی که معمولاً از آب/ آمونیاک یا لیتیوم برماید/ آب استفاده می کنند، در کاربردهای بسیار متنوع سرمایشی در دسترس هستند. سیکل جذبی، شبیه به سیکل تراکم بخار است، به جز اینکه کمپرسور در این سیستم ها با یک ابزوربر و ژنراتور جایگزین شده و این سیکل توسط اعمال گرما در ژنراتور راه اندازی می شود. سیکل تبرید جذبی، دارای بازدهی انرژی بسیار کمتری از سیکل تراکم بخار بوده و در مورد کاربردهای تهویه مطبوع، هزینه های سوخت و انتشار غیر مستقیم دی اکسید کربن آن بالاتر از سیستم های تراکم بخار معادل آن است. تنها استثنایی که در این مورد وجود دارد،

مواردی است که انرژی گرمایی ارزان یا مجانی از یک منبع گرمای زاید، مانند سیستم ترکیبی گرما و نیرو (CHP)، در دسترس باشد. چیلرهای جذبی همچنین قیمت بالاتری از سیستم های تراکم بخار مشابه داشته و فضای نصب بیشتری نیاز دارند. بازدهی کمتر آن ها همچنین باعث می گردد که برای عمل سرمایش مشابه با سیستم تراکم بخار، حدود دو برابر تجهیزات وارهایی گرما نیاز داشته باشند.

سرمایش با هوا یا «سرمایش رایگان»:

خنک کننده های هوای خشک یا برج های خنک کننده ی تبخیری، می توانند به جای چیلرها در هوای سرد، به عنوان بخشی از استراتژی کارکرد سرمایشی رایگان به کار گرفته شوند. برای استفاده در هوای بسیار گرم، این سیستم ها نیاز به چیلرهایی جهت پوشش دادن حداکثر بار سرمایشی خواهند داشت. مزیت اصلی این نوع سرمایش رایگان، کاهش زمان کارکرد چیلر و در نتیجه کاهش مصرف انرژی و انتشار غیرمستقیم دی اکسیدکربن در جو می باشد. استفاده از این روش، اندازه یا تعداد چیلرهای لازم یا مقدار میرد را کاهش نخواهد داد. عبارت «سرمایش رایگان» در این رابطه کمی گمراه کننده است، چون نیروی قابل توجهی برای راه اندازی پمپ و دمنده های موجود لازم خواهد بود.

آبهای زیرزمینی:

آب های زیرزمینی در بسیاری از نقاط قابل دسترس بوده و در طول سال دمایی حدود (۱۲ تا ۱۴ C در کشور انگلستان) دارد. این دما، بالاتر از دمای آب سرد تامین شده ای است که در سیستم های تهویه مطبوع معمولی مورد استفاده قرار می گیرد. اما در ساختمان های جدید، تهویه ی جابه جایی و سیستم های سرمایشی سقف های سرد می توانند جهت پذیرش این دماها بدون بروز ضعف عمده در کارایی سیستم یا رفاه دمایی موجود در ساختمان، طراحی گردند. اگر در ساختمان فعلی، سیستم های تهویه مطبوع معمولی نتوانند با سیستم های فوق جایگزین گردند، تنها انتخاب برای استفاده از آب های زیرزمینی، به کارگیری آن ها به عنوان جاذب گرما جهت دفع دمای کندانسور چیلر می باشد. این امر می تواند بیشترین مزیت را در هوای گرم داشته باشد زیرا امکان پایین آمدن دمای چگالش را نسبت به بیشتر فرم های دیگر دفع گرما از جمله برج های خنک کننده ی تبخیری فراهم می آورد. اما صرف جویی های انجام شده در این رابطه، با هزینه های بالای پمپ کردن آب های زیرزمینی از چاه ها هم تراز خواهد شد. مشکل بزرگی که در رابطه با آب ها زیرزمینی مشاهده می شود، این است که پیش بینی مقدار آب چاه، قبل از اینکه اقدام به حفر آن شود، عملی نخواهد بود. مقدار آب به دست آمده بستگی به نفوذپذیری آب در لایه های زمین (یا بسترهای ماسه ای) دارد. تنها راه برای تعیین این مساله، حفر چاه و انجام آزمایش بر روی خاک داخل چاه است. این مساله باعث ریسک بیشتر در انجام این کار و عدم قطعیت در هر گونه برنامه ریزی سرمایش با آب های زیرزمینی خواهد شد.

سرمایش با استفاده از آب رودخانه ها و دریاچه ها

آب به نسبت گرم رودخانه یا دریاچه ها در طول تابستان، استفاده از آن را جهت سرمایش نامکن می سازد. به عنوان مثال، دمای آب رودخانه ی تیمز Thames بین سال های ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۴، در شش ماه از سال بالاتر از ۱۵ C بوده است. تنها راه برای به کارگیری چنین منبع دفع حرارتی، سرد کردن کندانسورها در چیلرهایی است که با آب خنک می شوند.

سیستم های جذب سطحی absorption جامد

این فرآیند، از یک ماده جاذب سطحی جامد برای جذب و دفع متناوب یک سیال مبرد عامل جهت ایجاد سرما بهره می گیرد. این فرآیند، مراحل تجربی خود را می گذراند و قبل از این که سیستم های تجاری آن بتوانند روانه ی بازار شوند، تحقیق های وسیعی در مورد آن لازم خواهد بود .

سرمایش تبخیری با چرخه ی باز

این روش، در کاربردها و شرایط آب و هوایی خاص، روشی بسیار ساده و مقرون به صرفه است. سیستم های تجاری که از این روش بهره می گیرند، به شکلی گسترده در مناطقی که آب و هوای خشک دارند (مانند جنوب غربی ایالات متحده) برای خنک کردن هوا به کار می روند (کولرهای آبی خودمان از همین روش استفاده می کنند). این سیستم ها را می توان با اضافه کردن مرحله ی رطوبت گیری برای استفاده در آب و هوای مرطوب تر به کار گرفت، اما چنین مرحله ای باعث افزایش اندازه، هزینه، پیچیدگی و مصرف انرژی سیستم خواهد شد. این روش تنها برای ساختمان هایی که دارای سیستم های تهویه مطبوع هوا هستند، مناسب است .

ابزارهای ترموالکتریکی

این ابزارها عموماً جهت سرمایش «نقطه ای» در سرد کردن قطعات و سیستم های الکترونیکی به کار می رود. اما این تجهیزات در اندازه های بزرگ به شکل تجاری قابل دسترس نبوده و بازدهی پایین این تجهیزات، کاربرد آن ها را در سرمایش ساختمان غیر عملی می سازد .

چرخه ای Stirling و Ericsson و یخچال Gifford-McMahon

دستگاه هایی که بر اساس این چرخه ها کار می کنند، هنوز در مقیاس تجاری جهت تهویه مطبوع ساختمان ها وارد بازار نشده اند. تنها نمونه ی شناخته شده از این چرخه های تبرید، در یخچال های خانگی به کار برده شده است. با این که بازدهی این روش، بالاتر از سیستم های معادل آن است که با روش تراکم بخار کار می کنند، اما این چرخه ها نیاز به تجهیزات پیچیده تری داشته و در نتیجه قیمت بالاتری خواهند داشت .

تبرید با سیکل گاز :

محدودیت اصلی در سیکل گاز، بازدهی پایین آن در دماهای کاربری تهویه مطبوع می باشد. بازدهی سیستم های سیکل گاز، تنها در دمایی حدود 70°C زیر صفر با بازدهی سیستم های تراکم بخار قابل مقایسه است. مشخص شده است که سیستم های سیکل گاز که از هوا به عنوان سیال عامل استفاده می کنند (سیستم های سیکل هوا)، در ساختمان هایی که گرمای دفع شده می تواند همزمان با سرمایش ایجاد شده مورد استفاده قرار گیرد، قابل استفاده خواهند بود .

تبرید ترمیونیک

کاربرد عملی پدیده ی انتشار ترمیونیک جهت سرمایش، پیشنهاد گردیده اما هنوز به مرحله ی اثبات نرسیده است. تا زمانی که امکان این روش به اثبات نرسد، پیدایش سیستم های تجاری آن قابل انجام نخواهد بود .

تبرید مغناطیسی

تبرید مغناطیسی بر اساس خاصیت مغناطیس - گرمایی کار کرده و زمانی که مواد مشخصی به صورت آن ها زدوده می شود، ایجاد می شوند. با این که دستگاه های عملی با استفاده از این روش برای کاربردهای «سرمایش عمیق» جهت دست یابی به دماهای بسیار پایین مورد استفاده قرار گرفته اند، هزینه ی بالای این سیستم ها، کاربرد آن ها را در سرمایش ساختمان های غیرممکن می سازد. به نظر می رسد ابزارهای تبرید مغناطیسی دارای بازدهی انرژی بالایی بوده و از سیستم های تراکم بخار پر بازده تر باشند. اما تا پیدایش سیستم های عملی که با استفاده از این روش بتوانند در تهویه مطبوع ساختمان ها به کار گرفته شوند، ۱۰ تا ۲۰ سال زمان لازم است .

تبرید به روش حباب پالس

تبرید به روش حباب پالس، بر اساس اثر گرمایش و سرمایش به وجود آمده در نتیجه ی تراکم و انبساط گاز کار می کند. دستگاه هایی بر این اساس در سرمایش عمیق و کاربردهای فضایی استفاده شده اند، اما دستگاه های مقرون به صرفه و دارای بازدهی کافی، هنوز برای کاربردهای ساختمانی طراحی نگردیده اند. مزیت اصلی این روش، هزینه ی پایین و طول عمر طولانی آن است، اما احتمالاً این روش، بازدهی دستگاه های تراکم بخار را نخواهد داشت .

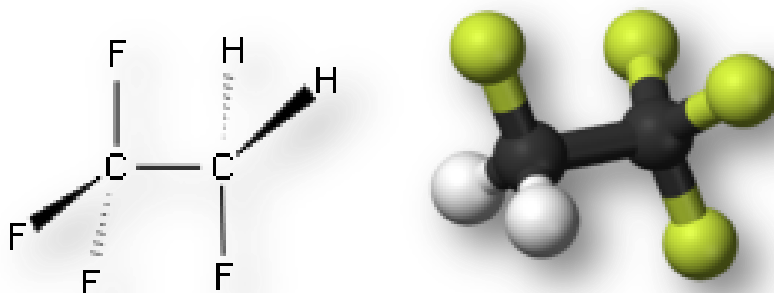
تبرید به روش گرما - صوتی

تبرید به روش گرما - صوتی، با تبرید به روش حباب پالس مشابهت دارد، غیر از اینکه این روش از مولدهای صوتی و اثرات تشدید برای ایجاد تغییرات فشار که باعث گرمایش و سرمایش می شود، بهره می گیرد. همان طور که در مورد روش حباب پالس گفته شد، هزینه ها و بازدهی این روش نیز بایستی بهبود یابد تا کاربرد آن در ساختمان ها عملی گردد .

سرمایش نوری :

مبانی سرمایش نوری، ایجاد تابش الکترومغناطیسی در محدوده ی بسامد نوری است که باعث سرمایش یک ماده جامد می گردد. با اینکه متخصصین سرمایش عمیق و کاربردهای فضایی چنین سیستم هایی را طراحی نموده اند، اما محدودیت اصلی آن همانا هزینه ی بالا و بازدهی پایین آن است. بنابراین تا زمانی که پیشرفت های آینده در این زمینه نتواند به این محدودیت ها چیره شود، کاربرد این روش در تهویه مطبوع ساختمانی ممکن نخواهد شد.

۱،۱،۱،۲- تترا فلئوراتان ، R-۱۳۴a



۱،۱،۱،۲- تترا فلئوراتان ، R-۱۳۴a ، Genetron ۱۳۴a ، Suva ۱۳۴a یا HFC-۱۳۴a ، یک مبرد هالوآلکان با خواص ترمودینامیکی مشابه با R-۱۲ (دی کلرو دی فلئورومتان) میباشد ، البته این ماده پتانسیل و استعداد کمتری برای تخریب لایه اوزون دارد. فرمول شیمیایی این ماده CH_2FCF_3 میباشد که دارای نقطه جوش $26/3^\circ\text{C}$ - $(15/34^\circ\text{F})$ در فشار اتمسفریک میباشد. ۱،۱،۱،۲- تترا فلئوراتان یک گاز ساکن و فاقد نیروی جنبشی میباشد که نخست عمدتاً " به عنوان مبرد دماهای بالا برای یخچال های خانگی و سیستم تهویه اتومبیل ها استفاده میشد.

۱،۱،۱،۲- تترا فلئوراتان ابتدا در اوایل دهه ۱۹۹۰ به عنوان جایگزینی برای دی کلورو دی فلئورومتان (R-۱۲) که خاصیت تخریب لایه اوزون را دارد پدید آمدند. تجهیزات ترفیع تکنولوژی برای بهبود مسئله در اختیار گرفته شد تا دستگاه هایی را که در اصل به R-۱۲ مجهز بودن را تبدیل کند.

تا به حال مبرد مورد استفاده در اتومبیل ها (R-۱۲) بوده که به صورت موفقیت آمیزی ضمن سال های متمادی عمل کرده است . این مبرد ضمن دارا بودن خواص مطلوب حرارتی و ترمودینامیکی ، روی آلومینیوم ، مس ، نئوپرن ، آهن و فولاد اثر شیمیایی نمی گذارد . گذشته از این به راحتی با روغن های معدنی و ویسکوزیته حدود ۵۲۵ (سیستم آمریکایی) قابل استفاده بوده و ضمناً خاصیت زنگ زدگی به جز در مواردی که با آب مخلوط شود ندارد .

علیرغم تما این خواص R-۱۲ محتوی ماده ای به نام کلروفلور کربن یا CFC است که به عقیده دانشمندان این ماده باعث تخریب لایه اوزون می باشد . این مشکل تا حدی است که در سال ۱۹۹۰ سازمان ملل متحد قانونی در مورد قطع تولید جهانی مواد CFC ها را گذرانده است . این قانون تاثیر بسزایی در صنعت اتومبیل و خصوصاً تربیت کادر تکنسین برای تعمیر و نگهداری این وسایل دارد . اتومبیل ها از عمده ترین مصرف کننده های R-۱۲ می باشند .

از طرفی دیگر بیشترین تخریب لایه اوزون از تخلیه R-۲۲ به محیط در اثر سرویس کاری و همچنین سیستم های تهویه مطبوع صورت می گیرد . بدیهی است که تولید R-۱۲ به عنوان یکی از مبرد های محیط زیست منع گشته و از سال ۱۹۹۳ کمپانی های سازنده اتومبیل اقدام به استفاده از R-۱۳۴a به جای R-۱۲ نموده اند . از سال ۱۹۹۵ به بعد کلیه سازندگان اتومبیل در آمریکا مبرد R-۱۳۴a برای ماشین های جدید استفاده خواهد کرد .

R-۱۳۴a عاری از CFC است . بی خطر در مقابل مواد مورد مصرف در دستگاه تهویه مطبوع مانند آلومینیوم ، مس ، نئوپرن ، استیل و آهن است ، خاصیت جذب و انتقال و دفع گرما را دارد و از روغن های مصنوعی PAG استفاده می کند . به دلیل

آن که مدل های قدیمی اتومبیل ها دارای سیستم های R-۱۲ بوده و همچنان احتیاج به تغییر و سرویس دارند برای تکنسین ها و مهندسين خودرو و در سال های آینده کار با دو میرد R-۱۲ و R-۱۳۴a ادامه خواهد داشت .



تترافلورواتان ، هنگامی که در داخل قوطی های گردگیر گازی فشرده و متراکم میشوند ، یک مایع شفاف میباشد که هنگامی که در معرض دمای اتاق قرار میگیرد به جوش می آید (همانگونه که در شکل میبینید) و آن را میتوان به راحتی از قوطی های محتوی هوا با وارونه کردن آنها در حین استفاده خارج کرد

۱،۱،۱،۲- تترا فلورواتان جوی از نظر شدت اثر تخریبی لایه ازن و شدت اثر مشارکتی در گرمایش جهانی دسته بندی میشوند. تحقیق های انجام شده حاکی از آن است بیش از ۱۰ سال است که تمرکز ۱،۱،۱،۲- تترا فلورواتان به صورت قابل توجهی در جو زمین افزایش پیدا کرده است ، تحقیق اخیر این حقیقت را فاش کرد که مقدار تمرکز ۱،۱،۱،۲- تترا فلورواتان در جو بین سال های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۴ دو برابر شده است. از خواص تترافلورواتان این است که پتانسیل ناچیزی برای تخریب لایه ازن دارد ، همچنین پتانسیل قابل توجهی برای گرمایش جهانی دارد ($1430 = 100\text{-yr GWP}$) ، همچنین پتانسیل ناچیزی در اسیدسازی دارد که منجر به ریزش باران اسیدی میشود.

از دیگر کاربردهای این ماده میتوان دمیدن حباب پلاستیکی را نام برد که به عنوان حلال تمیز کننده و به عنوان عامل و نیروی محرکی برای آزادسازی مواد دارویی (مانند برونشودیلاتورها که داروهایی هستند که گذرگاه برونشیت ریه را که دچار تنگی شده است را گشاد کند و عبور هوا به داخل ششها را بهبود میبخشد) و به عنوان گردگیرهای گازی استفاده میگردد و در خشک کننده های هوا برای از بین بردن رطوبت از هوای فشرده نیز کاربرد دارد.

پلاستیک های فوم در انواع مختلف برای کار برد های گوناگون تولید

می شوند که از تزریق گاز یا مایعات فرار در پلاستیک مایع به جود می آیند . گاز در پلاستیک مایع تولید حباب نموده و هنگامی که سخت می شود یک ساختمان سلولوزی باقی می گذارد . گاز که این سلولوزی را به جود می آورد Blowing agent (عامل انبساط) نامیده می شود . در بعضی پلاستیک فوم این سلول ها بسته می باشند و عامل انبساط در داخل محبوس گردیده ولی در بعضی دیگر این سلول ها به صورت باز بوده و عامل انبساط خارج می گردد .

مواد گوناگونی می توانند به عنوان عامل انبساط استفاده شوندمانند دی اکسید کربن (CO_2) هیدرو کربن ها - کلرو فلوروکربن (CFCs) شرط اولیه برای یک عامل انبساط عبارت از نشان ندادن واکنش با پلاستیک حلال در پلاستیک مایع حل نشدن در پلاستیک جامد و دارای نقطه جوش و فشار مناسب باشد SCFC به دلیل دارا بودن شرایط فوق الذکر و ارزانی به عنوان یک عامل انبساط سالهاست که در صنعت فوم به کار برده شده است بیشترین CFCS مورد استفاده در صنایع شامل CFC-۱۱۳, CFC-۱۲, CFS-۱۱۴, CFC-۱۱ می باشد .

CFCS مورد استفاده در فوم به مقادیر مختلف در آتمسفر رها شده که این مقادیر بستگی به نوع و وزن ملکولی آن ها دارد . در بیشتر فوم های حفره باز (OpenCFCS CELL Foam) در طول مراحل تولید از مایع خارج می شوند اما در فوم های حفره بسته (Cell Foams Closed) در فوم باقی می ماند و در طی مدت طولانی و یا در زمان مصرف محصول به تدریج

خارج می گردند .

همچنین ۱،۱،۲- تترا فلئورواتان برای خنک کردن رایانه ها در بعضی کارها که نیازی به سرعت زیادی بود استفاده میشد . از این ماده به طور عادی به عنوان عاملی برای باز کردن مسیر شلیک گلوله در تفنگ های بادی یا به اصطلاح سرویس کردن تفنگ های بادی استفاده میگردد.

تماس ۱،۱،۲- تترا فلئورواتان با شعله یا سطوح داغ با دمای بیشتر از 250°C (482°F) ممکن است باعث تجزیه و تبدیل آن به بخار شود که این امر با انتشار گازهای سمی نظیر هیدروژن فلئورید و کربنیل هالیدی همراه میباشد. ۱،۱،۲- تترا فلئورواتان خود شامل LD۵۰ (که تمرکز ۵۰٪ آن در اشیا باعث مرگ آور شدن آن میشود) به میزان $1/500\text{ g/m}^3$ میباشد. که باعث میشود آن نسبتاً " غیر سمی باشد. اما ، این شکل گازی از هوا چگالترا و متراکم تر میباشد و جانشین هوا در شش ها خواهد شد. بنابراین اگر بیش از اندازه این ماده استنشاکم شود باعث خفگی می گردد. این دلیلی برای چگونگی شرکت کردن این ماده در بیشتر مرگ و میرها به وسیله استعمال از طریق تنفس میباشد.

مایعات و یا مواد دیگری که به صورت گرد و غبار و گاز در هوا معلق اند و آزادانه حرکت میکنند میتوانند شامل تترافلئورواتان باشند ، بنابراین هنگامی که آنها را وارونه میکنیم به افشانه های منجمد موثری تبدیل میشوند. ۱،۱،۲- تترا فلئورواتان تحت فشار متراکم شده و تبدیل به مایع میگردد ، که به مجرد آن با گرفتن مقدار قابل توجهی انرژی گرمایی تبدیل به بخار میگردد. به عنوان نتیجه هنگامی که این ماده تبخیر میشود به مقدار زیادی دمای هر جسمی را که در تماسش بوده است را کاهش میدهد. بنابراین این خاصیت میتواند هنگامی که این ماده با پوست انسان تماس پیدا کند دچار یخزدگی یک بافت بدن در اثر سرما شود ، به همین طریق این ماده در اثر تماس با چشم باعث نابینایی فرد میگردد.

از آنجاییکه در دهه نود مهندسان سیستمهای خنک کننده، مواد خنک کننده CFC موسوم به R۱۲ را با مواد سازگار با محیط زیست یعنی هیدروفلوروکربن HFC موسوم به R۱۳۴a جایگزین کردند، بر این باورند که سیستم خنک کننده موتور با این ماده جدید کاملاً با محیط زیست سازگار است و آلودگی زیست محیطی ندارد. البته این تغییر کاملاً ضروری بود زیرا مقدار گاز دی اکسید کربنی که هر پوند (در حدود نیم کیلوگرم) از R۱۲ به هوا متصاعد می کرد در حدود ۱۵۰۰ تن بود. همین مقدار از R۱۳۴a تنها ۱۳۰۰ تن دی اکسید کربن متصاعد می کند در ضمن به دلیل اینکه این گاز عاری از کلرین است هیچ تاثیری بر لایه ازن ندارد. با این حال از آنجاییکه نصب ماده جدید بر روی خودروها بسیار فراگیر شده است، برای طرفداران محیط زیست نگرانیهایی ایجاد کرده است.

اخیراً " موضوع منع یا محدودیت استفاده از ۱،۱،۲- تترا فلئورواتان به علت سهم آن در تغییرات آب و هوای اقلیمی مطرح شده است. در اروپا استفاده از این ماده در تمامی ماشین هایی که از سال ۲۰۱۱ تولید میشوند ممنوع میباشد. جامعه مهندسان وسایل نقلیه (SAE) پیشنهاد داد که بهتر است در سیستم تهویه اتومبیل مبرد جدید فلئورو کمیکال HFO-۱۲۳۴yf ($\text{CF}_3\text{CF}=\text{CH}_2$) با ۱،۱،۲- تترا فلئورواتان (HFC-۱۳۴a) تعویض شود. همچنین کالیفرنیا ممکن است فروش کپسول های حاوی R۱۳۴a به اشخاص را منع کند تا از شارژ غیر تخصصی سیستم های تهویه مطبوع جلوگیری کند. سابقاً " از ماه اکتبر ۱۹۹۴ در منطقه ویسکونسین تحت نظارت ۱۳۶ ATCP فروش ظروف حاوی ۱،۱،۲- تترا فلئورواتان کمتر از ۱۵ lbs ممنوع بوده است ، اما این ممنوعیت فقط هنگامی اعمال میشد که مواد شیمیایی به عنوان مبرد به کار برده میشدند. برای نمونه این ممنوعیت زمانی ظاهر میشد که در مورد قانونی برای شخصی که ظروف گردگیر گازی را با هر مقدار و میزانی از مواد شیمیایی خریداری میکند زیرا در این مورد مواد شیمیایی نه به قصد مبرد بودن استفاده میشوند و نه . HFC-۱۳۴a هستند که شامل § ۷۶۷۱a باشند که به عنوان کلاس I و II مواد پذیرفته بشوند.

به همین دلیل اتحادیه اروپا به دنبال سیستمهای خنک کننده جدیدی است که از دی اکسید کربن به عنوان ماده خنک کننده جایگزین استفاده کنند. سرانجام این ایده در آگوست سال ۲۰۰۳ به صورت قانون تصویب شد و تمام تامین کنندگان ملزم شدند که از سال ۲۰۰۹ استفاده از ماده R134a را بتدریج قطع کنند و از سال ۲۰۱۶ استفاده از این ماده بکلی ممنوع شود. با مقایسه R134a با R744 در می یابید که این ماده جدید علاوه بر قدرت خنک کنندگی بهتر، مصرف سوخت را به مقدار قابل توجهی کاهش می دهد.

کیرمسه در باره این تغییر می گوید: «زمانیکه این تغییر صورت گرفت اکثر صاحبانظران این صنعت معتقد بودند که نتیجه این تغییر بزرگتر و سنگین تر شدن اجزا سیستم خنک کننده است. اما نتیجه معکوس شد. غلظت بیشتر ماده خنک کننده امکان جریان انبوهی از ماده را در گلوگاهها میسر می سازد. برای جبران فشار وارده در این حالت، ضخامت دیوار افزایش می یابد اما اجزاء سیستم و وزن کلی آن کاهش می یابند. برای این خنک کننده جدید ما از همان چگالنده R134a استفاده می کنیم و تنها عمق اجزا کاهش یافته است.»

استوورات می افزاید: «ما تمام اجزا سیستم خنک کننده R744 را با R134a سازگار کرده ایم که اگر مشتریان بخواهند نیمی از چرخه سیستم خنک کننده را تغییر دهند مابقی سیستم بدون تغییر بماند.»

کیرمسه چنین نتیجه گیری می کند که استفاده همزمان از دو ماده فوق تنها یک سناریو موقتی است تا زمانیکه اتحادیه اروپا استفاده از R134a را بکلی ممنوع کند. بنابراین با توجه به روندی که در استفاده از پلتفرم مشترک در سطح جهان وجود دارد خودروسازان به استفاده از یک ماده در یک بازار و استفاده از ماده دیگر در بازار دیگر روی خواهند آورد.

در مجموع می توان گفت نتیجه گیری در مورد تقاضا برای سیستمهای خنک کننده جدید به سادگی ممکن نیست. با وجودیکه ارتقا عملکرد، کاهش مصرف سوخت، افزایش عمر و آلودگی کمتر مسائلی نیستند که بتوان همه آنها را همزمان برآورده ساخت، اما تامین کنندگان باید قادر باشند این نیازها را برآورده ساخته تا بتوانند در این صنعت باقی مانده و به پیش روند.



پایان

ضمیمه :

جدول و نمودار خواص ترمودینامیکی مبرد R-۱۳۴a بر مبنای کتاب ترمودینامیک سنجل (ویرایش پنجم)

TABLE A-11

Saturated refrigerant-134a—Temperature table

Temp., T °C	Sat. press., P_{sat} kPa	Specific volume, m^3/kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$		
		Sat. liquid, v_f	Sat. vapor, v_g	Sat. liquid, u_f	Evap., u_{fg}	Sat. vapor, u_g	Sat. liquid, h_f	Evap., h_{fg}	Sat. vapor, h_g	Sat. liquid, s_f	Evap., s_{fg}	Sat. vapor, s_g
-40	51.25	0.0007054	0.36081	-0.036	207.40	207.37	0.000	225.86	225.86	0.00000	0.96866	0.96866
-38	56.86	0.0007083	0.32732	2.475	206.04	208.51	2.515	224.61	227.12	0.01072	0.95511	0.96584
-36	62.95	0.0007112	0.29751	4.992	204.67	209.66	5.037	223.35	228.39	0.02138	0.94176	0.96315
-34	69.56	0.0007142	0.27090	7.517	203.29	210.81	7.566	222.09	229.65	0.03199	0.92859	0.96058
-32	76.71	0.0007172	0.24711	10.05	201.91	211.96	10.10	220.81	230.91	0.04253	0.91560	0.95813
-30	84.43	0.0007203	0.22580	12.59	200.52	213.11	12.65	219.52	232.17	0.05301	0.90278	0.95579
-28	92.76	0.0007234	0.20666	15.13	199.12	214.25	15.20	218.22	233.43	0.06344	0.89012	0.95356
-26	101.73	0.0007265	0.18946	17.69	197.72	215.40	17.76	216.92	234.68	0.07382	0.87762	0.95144
-24	111.37	0.0007297	0.17395	20.25	196.30	216.55	20.33	215.59	235.92	0.08414	0.86527	0.94941
-22	121.72	0.0007329	0.15995	22.82	194.88	217.70	22.91	214.26	237.17	0.09441	0.85307	0.94748
-20	132.82	0.0007362	0.14729	25.39	193.45	218.84	25.49	212.91	238.41	0.10463	0.84101	0.94564
-18	144.69	0.0007396	0.13583	27.98	192.01	219.98	28.09	211.55	239.64	0.11481	0.82908	0.94389
-16	157.38	0.0007430	0.12542	30.57	190.56	221.13	30.69	210.18	240.87	0.12493	0.81729	0.94222
-14	170.93	0.0007464	0.11597	33.17	189.09	222.27	33.30	208.79	242.09	0.13501	0.80561	0.94063
-12	185.37	0.0007499	0.10736	35.78	187.62	223.40	35.92	207.38	243.30	0.14504	0.79406	0.93911
-10	200.74	0.0007535	0.099516	38.40	186.14	224.54	38.55	205.96	244.51	0.15504	0.78263	0.93766
-8	217.08	0.0007571	0.092352	41.03	184.64	225.67	41.19	204.52	245.72	0.16498	0.77130	0.93629
-6	234.44	0.0007608	0.085802	43.66	183.13	226.80	43.84	203.07	246.91	0.17489	0.76008	0.93497
-4	252.85	0.0007646	0.079804	46.31	181.61	227.92	46.50	201.60	248.10	0.18476	0.74896	0.93372
-2	272.36	0.0007684	0.074304	48.96	180.08	229.04	49.17	200.11	249.28	0.19459	0.73794	0.93253
0	293.01	0.0007723	0.069255	51.63	178.53	230.16	51.86	198.60	250.45	0.20439	0.72701	0.93139
2	314.84	0.0007763	0.064612	54.30	176.97	231.27	54.55	197.07	251.61	0.21415	0.71616	0.93031
4	337.90	0.0007804	0.060338	56.99	175.39	232.38	57.25	195.51	252.77	0.22387	0.70540	0.92927
6	362.23	0.0007845	0.056398	59.68	173.80	233.48	59.97	193.94	253.91	0.23356	0.69471	0.92828
8	387.88	0.0007887	0.052762	62.39	172.19	234.58	62.69	192.35	255.04	0.24323	0.68410	0.92733
10	414.89	0.0007930	0.049403	65.10	170.56	235.67	65.43	190.73	256.16	0.25286	0.67356	0.92641
12	443.31	0.0007975	0.046295	67.83	168.92	236.75	68.18	189.09	257.27	0.26246	0.66308	0.92554
14	473.19	0.0008020	0.043417	70.57	167.26	237.83	70.95	187.42	258.37	0.27204	0.65266	0.92470
16	504.58	0.0008066	0.040748	73.32	165.58	238.90	73.73	185.73	259.46	0.28159	0.64230	0.92389
18	537.52	0.0008113	0.038271	76.08	163.88	239.96	76.52	184.01	260.53	0.29112	0.63198	0.92310
20	572.07	0.0008161	0.035969	78.86	162.16	241.02	79.32	182.27	261.59	0.30063	0.62172	0.92234
22	608.27	0.0008210	0.033828	81.64	160.42	242.06	82.14	180.49	262.64	0.31011	0.61149	0.92160
24	646.18	0.0008261	0.031834	84.44	158.65	243.10	84.98	178.69	263.67	0.31958	0.60130	0.92088
26	685.84	0.0008313	0.029976	87.26	156.87	244.12	87.83	176.85	264.68	0.32903	0.59115	0.92018
28	727.31	0.0008366	0.028242	90.09	155.05	245.14	90.69	174.99	265.68	0.33846	0.58102	0.91948
30	770.64	0.0008421	0.026622	92.93	153.22	246.14	93.58	173.08	266.66	0.34789	0.57091	0.91879
32	815.89	0.0008478	0.025108	95.79	151.35	247.14	96.48	171.14	267.62	0.35730	0.56082	0.91811
34	863.11	0.0008536	0.023691	98.66	149.46	248.12	99.40	169.17	268.57	0.36670	0.55074	0.91743
36	912.35	0.0008595	0.022364	101.55	147.54	249.08	102.33	167.16	269.49	0.37609	0.54066	0.91675
38	963.68	0.0008657	0.021119	104.45	145.58	250.04	105.29	165.10	270.39	0.38548	0.53058	0.91606
40	1017.1	0.0008720	0.019952	107.38	143.60	250.97	108.26	163.00	271.27	0.39486	0.52049	0.91536
42	1072.8	0.0008786	0.018855	110.32	141.58	251.89	111.26	160.86	272.12	0.40425	0.51039	0.91464
44	1130.7	0.0008854	0.017824	113.28	139.52	252.80	114.28	158.67	272.95	0.41363	0.50027	0.91391
46	1191.0	0.0008924	0.016853	116.26	137.42	253.68	117.32	156.43	273.75	0.42302	0.49012	0.91315
48	1253.6	0.0008996	0.015939	119.26	135.29	254.55	120.39	154.14	274.53	0.43242	0.47993	0.91236
52	1386.2	0.0009150	0.014265	125.33	130.88	256.21	126.59	149.39	275.98	0.45126	0.45941	0.91067
56	1529.1	0.0009317	0.012771	131.49	126.28	257.77	132.91	144.38	277.30	0.47018	0.43863	0.90880
60	1682.8	0.0009498	0.011434	137.76	121.46	259.22	139.36	139.10	278.46	0.48920	0.41749	0.90669
65	1891.0	0.0009750	0.009950	145.77	115.05	260.82	147.62	132.02	279.64	0.51320	0.39039	0.90359
70	2118.2	0.0010037	0.008642	154.01	108.14	262.15	156.13	124.32	280.46	0.53755	0.36227	0.89982
75	2365.8	0.0010372	0.007480	162.53	100.60	263.13	164.98	115.85	280.82	0.56241	0.33272	0.89512
80	2635.3	0.0010772	0.006436	171.40	92.23	263.63	174.24	106.35	280.59	0.58800	0.30111	0.88912
85	2928.2	0.0011270	0.005486	180.77	82.67	263.44	184.07	95.44	279.51	0.61473	0.26644	0.88117
90	3246.9	0.0011932	0.004599	190.89	71.29	262.18	194.76	82.35	277.11	0.64336	0.22674	0.87010
95	3594.1	0.0012933	0.003726	202.40	56.47	258.87	207.05	65.21	272.26	0.67578	0.17711	0.85289
100	3975.1	0.0015269	0.002630	218.72	29.19	247.91	224.79	33.58	258.37	0.72217	0.08999	0.81215

TABLE A-12

Saturated refrigerant-134a—Pressure table

Press., <i>P</i> kPa	Sat. temp., <i>T</i> _{sat} °C	Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, <i>v</i> _f	Sat. vapor, <i>v</i> _g	Sat. liquid, <i>u</i> _f	Evap., <i>u</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>u</i> _g	Sat. liquid, <i>h</i> _f	Evap., <i>h</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>h</i> _g	Sat. liquid, <i>s</i> _f	Evap., <i>s</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>s</i> _g
60	−36.95	0.0007098	0.31121	3.798	205.32	209.12	3.841	223.95	227.79	0.01634	0.94807	0.96441
70	−33.87	0.0007144	0.26929	7.680	203.20	210.88	7.730	222.00	229.73	0.03267	0.92775	0.96042
80	−31.13	0.0007185	0.23753	11.15	201.30	212.46	11.21	220.25	231.46	0.04711	0.90999	0.95710
90	−28.65	0.0007223	0.21263	14.31	199.57	213.88	14.37	218.65	233.02	0.06008	0.89419	0.95427
100	−26.37	0.0007259	0.19254	17.21	197.98	215.19	17.28	217.16	234.44	0.07188	0.87995	0.95183
120	−22.32	0.0007324	0.16212	22.40	195.11	217.51	22.49	214.48	236.97	0.09275	0.85503	0.94779
140	−18.77	0.0007383	0.14014	26.98	192.57	219.54	27.08	212.08	239.16	0.11087	0.83368	0.94456
160	−15.60	0.0007437	0.12348	31.09	190.27	221.35	31.21	209.90	241.11	0.12693	0.81496	0.94190
180	−12.73	0.0007487	0.11041	34.83	188.16	222.99	34.97	207.90	242.86	0.14139	0.79826	0.93965
200	−10.09	0.0007533	0.099867	38.28	186.21	224.48	38.43	206.03	244.46	0.15457	0.78316	0.93773
240	−5.38	0.0007620	0.083897	44.48	182.67	227.14	44.66	202.62	247.28	0.17794	0.75664	0.93458
280	−1.25	0.0007699	0.072352	49.97	179.50	229.46	50.18	199.54	249.72	0.19829	0.73381	0.93210
320	2.46	0.0007772	0.063604	54.92	176.61	231.52	55.16	196.71	251.88	0.21637	0.71369	0.93006
360	5.82	0.0007841	0.056738	59.44	173.94	233.38	59.72	194.08	253.81	0.23270	0.69566	0.92836
400	8.91	0.0007907	0.051201	63.62	171.45	235.07	63.94	191.62	255.55	0.24761	0.67929	0.92691
450	12.46	0.0007985	0.045619	68.45	168.54	237.00	68.81	188.71	257.53	0.26465	0.66069	0.92535
500	15.71	0.0008059	0.041118	72.93	165.82	238.75	73.33	185.98	259.30	0.28023	0.64377	0.92400
550	18.73	0.0008130	0.037408	77.10	163.25	240.35	77.54	183.38	260.92	0.29461	0.62821	0.92282
600	21.55	0.0008199	0.034295	81.02	160.81	241.83	81.51	180.90	262.40	0.30799	0.61378	0.92177
650	24.20	0.0008266	0.031646	84.72	158.48	243.20	85.26	178.51	263.77	0.32051	0.60030	0.92081
700	26.69	0.0008331	0.029361	88.24	156.24	244.48	88.82	176.21	265.03	0.33230	0.58763	0.91994
750	29.06	0.0008395	0.027371	91.59	154.08	245.67	92.22	173.98	266.20	0.34345	0.57567	0.91912
800	31.31	0.0008458	0.025621	94.79	152.00	246.79	95.47	171.82	267.29	0.35404	0.56431	0.91835
850	33.45	0.0008520	0.024069	97.87	149.98	247.85	98.60	169.71	268.31	0.36413	0.55349	0.91762
900	35.51	0.0008580	0.022683	100.83	148.01	248.85	101.61	167.66	269.26	0.37377	0.54315	0.91692
950	37.48	0.0008641	0.021438	103.69	146.10	249.79	104.51	165.64	270.15	0.38301	0.53323	0.91624
1000	39.37	0.0008700	0.020313	106.45	144.23	250.68	107.32	163.67	270.99	0.39189	0.52368	0.91558
1200	46.29	0.0008934	0.016715	116.70	137.11	253.81	117.77	156.10	273.87	0.42441	0.48863	0.91303
1400	52.40	0.0009166	0.014107	125.94	130.43	256.37	127.22	148.90	276.12	0.45315	0.45734	0.91050
1600	57.88	0.0009400	0.012123	134.43	124.04	258.47	135.93	141.93	277.86	0.47911	0.42873	0.90784
1800	62.87	0.0009639	0.010559	142.33	117.83	260.17	144.07	135.11	279.17	0.50294	0.40204	0.90498
2000	67.45	0.0009886	0.009288	149.78	111.73	261.51	151.76	128.33	280.09	0.52509	0.37675	0.90184
2500	77.54	0.0010566	0.006936	166.99	96.47	263.45	169.63	111.16	280.79	0.57531	0.31695	0.89226
3000	86.16	0.0011406	0.005275	183.04	80.22	263.26	186.46	92.63	279.09	0.62118	0.25776	0.87894

TABLE A-13

Superheated refrigerant-134a

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K		
$P = 0.06 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -36.95^\circ\text{C})$					$P = 0.10 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -26.37^\circ\text{C})$					$P = 0.14 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -18.77^\circ\text{C})$				
Sat.	0.31121	209.12	227.79	0.9644	0.19254	215.19	234.44	0.9518	0.14014	219.54	239.16	0.9446		
-20	0.33608	220.60	240.76	1.0174	0.19841	219.66	239.50	0.9721						
-10	0.35048	227.55	248.58	1.0477	0.20743	226.75	247.49	1.0030	0.14605	225.91	246.36	0.9724		
0	0.36476	234.66	256.54	1.0774	0.21630	233.95	255.58	1.0332	0.15263	233.23	254.60	1.0031		
10	0.37893	241.92	264.66	1.1066	0.22506	241.30	263.81	1.0628	0.15908	240.66	262.93	1.0331		
20	0.39302	249.35	272.94	1.1353	0.23373	248.79	272.17	1.0918	0.16544	248.22	271.38	1.0624		
30	0.40705	256.95	281.37	1.1636	0.24233	256.44	280.68	1.1203	0.17172	255.93	279.97	1.0912		
40	0.42102	264.71	289.97	1.1915	0.25088	264.25	289.34	1.1484	0.17794	263.79	288.70	1.1195		
50	0.43495	272.64	298.74	1.2191	0.25937	272.22	298.16	1.1762	0.18412	271.79	297.57	1.1474		
60	0.44883	280.73	307.66	1.2463	0.26783	280.35	307.13	1.2035	0.19025	279.96	306.59	1.1749		
70	0.46269	288.99	316.75	1.2732	0.27626	288.64	316.26	1.2305	0.19635	288.28	315.77	1.2020		
80	0.47651	297.41	326.00	1.2997	0.28465	297.08	325.55	1.2572	0.20242	296.75	325.09	1.2288		
90	0.49032	306.00	335.42	1.3260	0.29303	305.69	334.99	1.2836	0.20847	305.38	334.57	1.2553		
100	0.50410	314.74	344.99	1.3520	0.30138	314.46	344.60	1.3096	0.21449	314.17	344.20	1.2814		
$P = 0.18 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -12.73^\circ\text{C})$					$P = 0.20 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -10.09^\circ\text{C})$					$P = 0.24 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -5.38^\circ\text{C})$				
Sat.	0.11041	222.99	242.86	0.9397	0.09987	224.48	244.46	0.9377	0.08390	227.14	247.28	0.9346		
-10	0.11189	225.02	245.16	0.9484	0.09991	224.55	244.54	0.9380						
0	0.11722	232.48	253.58	0.9798	0.10481	232.09	253.05	0.9698	0.08617	231.29	251.97	0.9519		
10	0.12240	240.00	262.04	1.0102	0.10955	239.67	261.58	1.0004	0.09026	238.98	260.65	0.9831		
20	0.12748	247.64	270.59	1.0399	0.11418	247.35	270.18	1.0303	0.09423	246.74	269.36	1.0134		
30	0.13248	255.41	279.25	1.0690	0.11874	255.14	278.89	1.0595	0.09812	254.61	278.16	1.0429		
40	0.13741	263.31	288.05	1.0975	0.12322	263.08	287.72	1.0882	0.10193	262.59	287.06	1.0718		
50	0.14230	271.36	296.98	1.1256	0.12766	271.15	296.68	1.1163	0.10570	270.71	296.08	1.1001		
60	0.14715	279.56	306.05	1.1532	0.13206	279.37	305.78	1.1441	0.10942	278.97	305.23	1.1280		
70	0.15196	287.91	315.27	1.1805	0.13641	287.73	315.01	1.1714	0.11310	287.36	314.51	1.1554		
80	0.15673	296.42	324.63	1.2074	0.14074	296.25	324.40	1.1983	0.11675	295.91	323.93	1.1825		
90	0.16149	305.07	334.14	1.2339	0.14504	304.92	333.93	1.2249	0.12038	304.60	333.49	1.2092		
100	0.16622	313.88	343.80	1.2602	0.14933	313.74	343.60	1.2512	0.12398	313.44	343.20	1.2356		
$P = 0.28 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -1.25^\circ\text{C})$					$P = 0.32 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 2.46^\circ\text{C})$					$P = 0.40 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 8.91^\circ\text{C})$				
Sat.	0.07235	229.46	249.72	0.9321	0.06360	231.52	251.88	0.9301	0.051201	235.07	255.55	0.9269		
0	0.07282	230.44	250.83	0.9362										
10	0.07646	238.27	259.68	0.9680	0.06609	237.54	258.69	0.9544	0.051506	235.97	256.58	0.9305		
20	0.07997	246.13	268.52	0.9987	0.06925	245.50	267.66	0.9856	0.054213	244.18	265.86	0.9628		
30	0.08338	254.06	277.41	1.0285	0.07231	253.50	276.65	1.0157	0.056796	252.36	275.07	0.9937		
40	0.08672	262.10	286.38	1.0576	0.07530	261.60	285.70	1.0451	0.059292	260.58	284.30	1.0236		
50	0.09000	270.27	295.47	1.0862	0.07823	269.82	294.85	1.0739	0.061724	268.90	293.59	1.0528		
60	0.09324	278.56	304.67	1.1142	0.08111	278.15	304.11	1.1021	0.064104	277.32	302.96	1.0814		
70	0.09644	286.99	314.00	1.1418	0.08395	286.62	313.48	1.1298	0.066443	285.86	312.44	1.1094		
80	0.09961	295.57	323.46	1.1690	0.08675	295.22	322.98	1.1571	0.068747	294.53	322.02	1.1369		
90	0.10275	304.29	333.06	1.1958	0.08953	303.97	332.62	1.1840	0.071023	303.32	331.73	1.1640		
100	0.10587	313.15	342.80	1.2222	0.09229	312.86	342.39	1.2105	0.073274	312.26	341.57	1.1907		
110	0.10897	322.16	352.68	1.2483	0.09503	321.89	352.30	1.2367	0.075504	321.33	351.53	1.2171		
120	0.11205	331.32	362.70	1.2742	0.09775	331.07	362.35	1.2626	0.077717	330.55	361.63	1.2431		
130	0.11512	340.63	372.87	1.2997	0.10045	340.39	372.54	1.2882	0.079913	339.90	371.87	1.2688		
140	0.11818	350.09	383.18	1.3250	0.10314	349.86	382.87	1.3135	0.082096	349.41	382.24	1.2942		

TABLE A-13

Superheated refrigerant-134a (Continued)

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
$P = 0.50 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 15.71^\circ\text{C})$					$P = 0.60 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 21.55^\circ\text{C})$				$P = 0.70 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 26.69^\circ\text{C})$			
Sat.	0.041118	238.75	259.30	0.9240	0.034295	241.83	262.40	0.9218	0.029361	244.48	265.03	0.9199
20	0.042115	242.40	263.46	0.9383								
30	0.044338	250.84	273.01	0.9703	0.035984	249.22	270.81	0.9499	0.029966	247.48	268.45	0.9313
40	0.046456	259.26	282.48	1.0011	0.037865	257.86	280.58	0.9816	0.031696	256.39	278.57	0.9641
50	0.048499	267.72	291.96	1.0309	0.039659	266.48	290.28	1.0121	0.033322	265.20	288.53	0.9954
60	0.050485	276.25	301.50	1.0599	0.041389	275.15	299.98	1.0417	0.034875	274.01	298.42	1.0256
70	0.052427	284.89	311.10	1.0883	0.043069	283.89	309.73	1.0705	0.036373	282.87	308.33	1.0549
80	0.054331	293.64	320.80	1.1162	0.044710	292.73	319.55	1.0987	0.037829	291.80	318.28	1.0835
90	0.056205	302.51	330.61	1.1436	0.046318	301.67	329.46	1.1264	0.039250	300.82	328.29	1.1114
100	0.058053	311.50	340.53	1.1705	0.047900	310.73	339.47	1.1536	0.040642	309.95	338.40	1.1389
110	0.059880	320.63	350.57	1.1971	0.049458	319.91	349.59	1.1803	0.042010	319.19	348.60	1.1658
120	0.061687	329.89	360.73	1.2233	0.050997	329.23	359.82	1.2067	0.043358	328.55	358.90	1.1924
130	0.063479	339.29	371.03	1.2491	0.052519	338.67	370.18	1.2327	0.044688	338.04	369.32	1.2186
140	0.065256	348.83	381.46	1.2747	0.054027	348.25	380.66	1.2584	0.046004	347.66	379.86	1.2444
150	0.067021	358.51	392.02	1.2999	0.055522	357.96	391.27	1.2838	0.047306	357.41	390.52	1.2699
160	0.068775	368.33	402.72	1.3249	0.057006	367.81	402.01	1.3088	0.048597	367.29	401.31	1.2951
$P = 0.80 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 31.31^\circ\text{C})$					$P = 0.90 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 35.51^\circ\text{C})$				$P = 1.00 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 39.37^\circ\text{C})$			
Sat.	0.025621	246.79	267.29	0.9183	0.022683	248.85	269.26	0.9169	0.020313	250.68	270.99	0.9156
40	0.027035	254.82	276.45	0.9480	0.023375	253.13	274.17	0.9327	0.020406	251.30	271.71	0.9179
50	0.028547	263.86	286.69	0.9802	0.024809	262.44	284.77	0.9660	0.021796	260.94	282.74	0.9525
60	0.029973	272.83	296.81	1.0110	0.026146	271.60	295.13	0.9976	0.023068	270.32	293.38	0.9850
70	0.031340	281.81	306.88	1.0408	0.027413	280.72	305.39	1.0280	0.024261	279.59	303.85	1.0160
80	0.032659	290.84	316.97	1.0698	0.028630	289.86	315.63	1.0574	0.025398	288.86	314.25	1.0458
90	0.033941	299.95	327.10	1.0981	0.029806	299.06	325.89	1.0860	0.026492	298.15	324.64	1.0748
100	0.035193	309.15	337.30	1.1258	0.030951	308.34	336.19	1.1140	0.027552	307.51	335.06	1.1031
110	0.036420	318.45	347.59	1.1530	0.032068	317.70	346.56	1.1414	0.028584	316.94	345.53	1.1308
120	0.037625	327.87	357.97	1.1798	0.033164	327.18	357.02	1.1684	0.029592	326.47	356.06	1.1580
130	0.038813	337.40	368.45	1.2061	0.034241	336.76	367.58	1.1949	0.030581	336.11	366.69	1.1846
140	0.039985	347.06	379.05	1.2321	0.035302	346.46	378.23	1.2210	0.031554	345.85	377.40	1.2109
150	0.041143	356.85	389.76	1.2577	0.036349	356.28	389.00	1.2467	0.032512	355.71	388.22	1.2368
160	0.042290	366.76	400.59	1.2830	0.037384	366.23	399.88	1.2721	0.033457	365.70	399.15	1.2623
170	0.043427	376.81	411.55	1.3080	0.038408	376.31	410.88	1.2972	0.034392	375.81	410.20	1.2875
180	0.044554	386.99	422.64	1.3327	0.039423	386.52	422.00	1.3221	0.035317	386.04	421.36	1.3124
$P = 1.20 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 46.29^\circ\text{C})$					$P = 1.40 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 52.40^\circ\text{C})$				$P = 1.60 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 57.88^\circ\text{C})$			
Sat.	0.016715	253.81	273.87	0.9130	0.014107	256.37	276.12	0.9105	0.012123	258.47	277.86	0.9078
50	0.017201	257.63	278.27	0.9267								
60	0.018404	267.56	289.64	0.9614	0.015005	264.46	285.47	0.9389	0.012372	260.89	280.69	0.9163
70	0.019502	277.21	300.61	0.9938	0.016060	274.62	297.10	0.9733	0.013430	271.76	293.25	0.9535
80	0.020529	286.75	311.39	1.0248	0.017023	284.51	308.34	1.0056	0.014362	282.09	305.07	0.9875
90	0.021506	296.26	322.07	1.0546	0.017923	294.28	319.37	1.0364	0.015215	292.17	316.52	1.0194
100	0.022442	305.80	332.73	1.0836	0.018778	304.01	330.30	1.0661	0.016014	302.14	327.76	1.0500
110	0.023348	315.38	343.40	1.1118	0.019597	313.76	341.19	1.0949	0.016773	312.07	338.91	1.0795
120	0.024228	325.03	354.11	1.1394	0.020388	323.55	352.09	1.1230	0.017500	322.02	350.02	1.1081
130	0.025086	334.77	364.88	1.1664	0.021155	333.41	363.02	1.1504	0.018201	332.00	361.12	1.1360
140	0.025927	344.61	375.72	1.1930	0.021904	343.34	374.01	1.1773	0.018882	342.05	372.26	1.1632
150	0.026753	354.56	386.66	1.2192	0.022636	353.37	385.07	1.2038	0.019545	352.17	383.44	1.1900
160	0.027566	364.61	397.69	1.2449	0.023355	363.51	396.20	1.2298	0.020194	362.38	394.69	1.2163
170	0.028367	374.78	408.82	1.2703	0.024061	373.75	407.43	1.2554	0.020830	372.69	406.02	1.2421
180	0.029158	385.08	420.07	1.2954	0.024757	384.10	418.76	1.2807	0.021456	383.11	417.44	1.2676

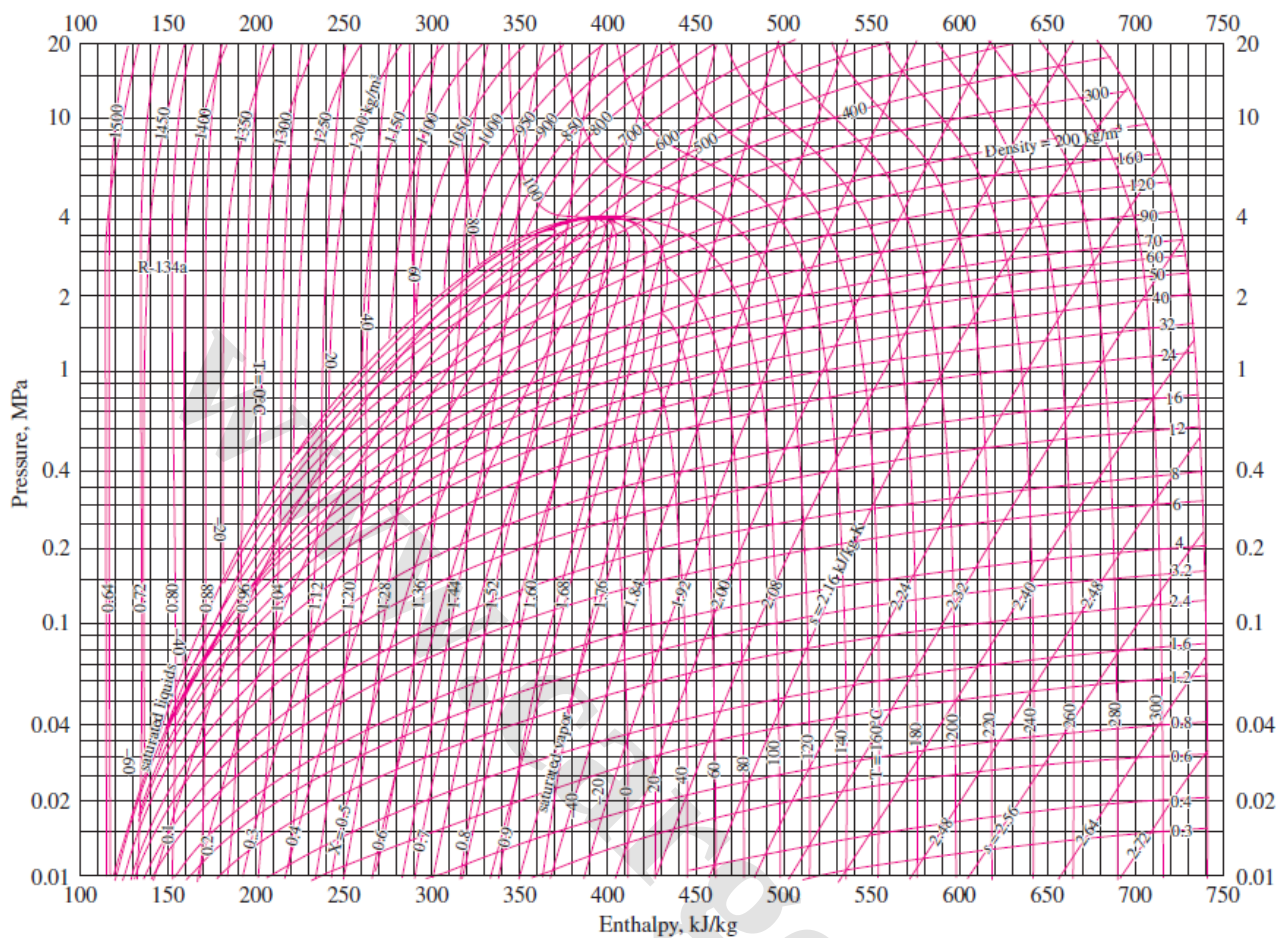


FIGURE A-14

P-h diagram for refrigerant-134a.

Note: The reference point used for the chart is different than that used in the R-134a tables. Therefore, problems should be solved using all property data either from the tables or from the chart, but not from both.

Reprinted by permission of American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA.