

سرشناسه: محمودیان، سید محمد رضا، ۱۳۶۰ -
عنوان و نام پدید آور: مهندسی زمستیک/ تالیف محمدرضا محمودیان، محمد مهدی حیدری
مشخصات نشر: اصفهان، زبان عطا، ۱۳۹۵ .
مشخصات ظاهری: ۲۱۵ ص.
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۷۱۳-۲۵-۰
وضعیت فهرست نویسی: فیا
موضوع: دماهای کم — مهندسی
موضوع: Low temperature engineering
شناسه افزوده: حیدری محمد مهدی، ۱۳۴۶ -
رده بندی کنگره: ۱۳۹۵ م۳م۹/ TP ۴۸۲/
رده بندی دیویی: ۶۲۱/۵۹
شماره کتاب مناسب ملی: ۴۳۳۵۰۲۷



انتشارات زبان عطا

اصفهان: خانه اصفهان، خیابان رزمندگان پلاک ۳۴

تلفن: ۰۳۱۳۳۳۲۳۰۵۰

تلفن پخش: ۰۹۱۳۳۰۶۲۵۱۸

(حق چاپ برای مولفین محفوظ است)

نام کتاب: مهندسی زمستیک
تألیف: سید محمدرضا محمودیان، محمد مهدی حیدری
ناشر: انتشارات زبان عطا
نوبت چاپ: اول
شمارگان: ۱۰۰۰
مدیر تولید: علی عطائیان
خدمات چاپ و لیتوگرافی: پارسیان
قطع و شمارش صفحات: ۲۱۵ - رحلی
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۷۱۳-۲۵-۰
قیمت: ۳۶۰۰۰۰ ریال

چکیده

ابتدا خصوصیات و ویژگی‌های انواع زم‌آبگون‌ها^۱، روش‌ها، سیکل‌ها و تجهیزات تولید بررسی شده‌اند. سپس تولید اکسیژن مایع، نیتروژن مایع و متان مایع در صنعت کشور مورد توجه قرار گرفته است. هزینه تولید هیدروژن و هلیوم مایع به مراتب بیشتر از سه ماده اکسیژن، نیتروژن و متان مایع است همچنین فلور مایع به دلیل کشنده بودن و مشکلات بسیار زیاد در استفاده به طور کلی از محدوده توجه این کتاب خارج گردیده است.

مخازن حمل و ثابت زم‌آبگون، خطوط لوله، شیرآلات، عایق‌بندی ویژه دمای بسیار سرد و تکنولوژی خلا، تجهیزات ابزار دقیق، تولید متان مایع و کارخانه‌های تولید کننده داخل کشور از مواردی هستند که در این کتاب مورد توجه قرار گرفته‌اند. یکی از مهم‌ترین موارد در استفاده از بشرات‌های زم‌آبگون، رعایت اصول ایمنی مربوط به آنها می‌باشد. بسیاری از حوادث و مشکلات پیش‌آمده به علت عدم رعایت سوار ایمنی و سهل‌انگاری افراد بوده است. همچنین در زمان طراحی و ساخت آزمایشگاه زم‌آبگون، انتخاب نوع ماده، تجهیزات سازگار با اکسیژن مایع، و شناخت دقیق مجریان طرح امری مهم و ضروری می‌باشد، از این‌رو یک فصل برای ارائه اصول ایمنی و استاندارد سازی کار با مواد زم‌آبگون به ویژه اکسیژن مایع تدوین شده است.

۱	شناسایی مواد زمستیک، خصوصیات و مشخصات	۹
۱,۱	اکسیژن	۱۲
۲,۱	نیتروژن	۱۲
۳,۱	فلور	۱۲
۴,۱	هیدروژن	۱۲
۵,۱	هلیوم	۱۳
۶,۱	متان	۱۳
۲	شناسایی روشهای تولید مواد زمستیک	۱۴
۱,۲	سرماسازی مایع مازی	۱۴
۲,۲	چرخه های بوددهنده	۲۰
۱,۲,۲	مایع سازی نازها	۲۰
۲,۲,۲	مروری بر روشهای تولید	۲۴
۳,۲,۲	بازدهی مبدل حرارتی	۳۲
۴,۲,۲	فرآیند فشار دوگانه	۳۶
۵,۲,۲	دیگر چرخه های مایع سازی	۴۰
۶,۲,۲	سامانه های بزرگ	۴۴
۳,۲	چرخه های بازیاب	۴۴
۱,۳,۲	چرخه استرلینگ	۴۵
۲,۳,۲	سرماساز فیلیپس	۵۲
۳,۳,۲	اهمیت بازدهی بازیاب برای سرماساز فیلیپس	۵۶
۴,۳,۲	سرماساز سولوای	۵۷
۵,۳,۲	سرماساز جیفورد-مک موهان	۵۸
۶,۳,۲	سرماساز ویلومیر	۶۱
۴,۲	سرماسازهای اریکسون و پوستل	۶۵
۵,۲	سرماساز پالس تیوب	۶۶
۱,۵,۲	چهار نوع سرماساز پالس تیوب	۶۸
۲,۵,۲	مقایسه با دیگر سرماسازها	۷۱
۳	تجهیزات تولید	۷۳
۱,۳	مشکلات طراحی	۷۳
۲,۳	کمپرسورها	۷۴
۱,۲,۳	اصول کار کمپرسور	۷۵
۲,۲,۳	منحنی های مربوطه	۷۵
۳,۲,۳	چند مرحله ای کردن	۷۵
۴,۲,۳	بازدهی	۷۶
۵,۲,۳	کمپرسورهای رفت و برگشتی	۷۶

۶,۲,۳	کمپرسورهای گریز از مرکز	۷۷
۷,۲,۳	کمپرسورهای جریان محوری	۷۸
۳,۳	پمپ های زمستیک	۷۸
۱,۳,۳	پمپ های جابه جایی مثبت	۷۹
۲,۳,۳	پمپ های گریز از مرکز	۸۱
۴,۳	مبادله کننده های حرارتی زمستیک	۸۷
۱,۴,۳	انواع مبدل های حرارتی دما پایین	۸۸
۲,۴,۳	مبدل حرارتی لوله مارپیچ	۸۹
۳,۴,۳	مبدل های حرارتی هم مرکز	۹۲
۴,۴,۳	مبدل های صفحه-تیغه	۹۳
۵,۴,۳	مبدل های حرارتی معکوس	۹۵
۶,۴,۳	بازیاب ها	۹۶
۷,۴,۳	وسایل انبساطی	۹۹
۸,۴,۳	توربین های انبساطی	۱۰۵
۵,۳	شیرهای زمستیک	۱۰۶
۱,۵,۳	شیرهای زول-تاه-سون	۱۱۰
۶,۳	مخازن زمستیک	۱۱۲
۱,۶,۳	بعضی فاکتورهای عمومی در انتخاب ذخیره سازی	۱۱۲
۲,۶,۳	مخازن عایق خلاء	۱۱۲
۳,۶,۳	مخازن با عایق متخلخل	۱۱۲
۴,۶,۳	دوئر بزرگ عایق با پودر هیدروژن مایع و رساننده تابلری	۱۱۹
۵,۶,۳	سپردهای زمستیکی	۱۲۱
۶,۶,۳	سپردهای سرد شده توسط بخار	۱۲۲
۷,۶,۳	مخازن هلیوم مایع	۱۲۲
۸,۶,۳	ترکیب عایق خلاء با پودر	۱۲۳
۹,۶,۳	سامانه های پایه های نگهدارنده	۱۲۶
۱۰,۶,۳	مایع لبریز	۱۲۸
۴	عایق بندی زمستیک	۱۲۹
۱,۴	انتقال حرارت بوسیله تابش	۱۲۹
۲,۴	انتقال حرارت با گاز باقیمانده در خلاء	۱۳۴
۱,۲,۴	گاز زایی	۱۳۶
۲,۲,۴	گازبرها	۱۳۶
۳,۴	انتقال حرارت از طریق پایه های نگهدارنده	۱۳۷
۱,۳,۴	مواد پایه های نگهدارنده	۱۳۷
۲,۳,۴	نگه دارنده های کششی	۱۳۸
۴,۴	عایق مواد متخلخل تخلیه شده	۱۴۱
۵,۴	پودرها و فیبرها	۱۴۲
۱,۵,۴	دیگر خصوصیات پودرهای عایق	۱۴۶
۲,۵,۴	عایق ریزکره	۱۴۷
۳,۵,۴	پودرهای گاز پر شده و مواد فیبری	۱۴۷

۱۴۹	۴,۵,۴	فوم های جامد
۱۵۲	۶,۴	عایق های چند لایه
۱۵۳	۱۶,۴	جداکننده
۱۵۴	۲۶,۴	مواد جداکننده ها
۱۵۶	۳۶,۴	سپرهای تابشی
۱۵۷	۴۶,۴	بازدهی نوعی عایق چندگانه
۱۶۸	۷,۴	محصول سازی ایمنی
۱۶۹	۸,۴	سپرهای مایع
۱۶۹	۹,۴	سپرهای بخار
۱۷۰	۱۰,۴	استفاده از سرماسازی بخار
۱۷۱	۱۱,۴	عایق بندی ترکیبی
۱۷۲	۱,۱۱,۴	عایق بندی خارجی
۱۷۳	۲,۱۱,۴	عایق بندی داخلی
۱۷۴	۱۲,۴	مقایسه عایق ها
۱۸۰	۱۳,۴	تکنولوژی خلأ برای عایق بندی زمستیک
۱۸۲	۱,۱۳,۴	فشار بخار
۱۸۹	۲,۱۳,۴	پمپ های خلأ
۲۰۰	۳,۱۳,۴	اجزاء خلأ دیگر
۲۰۴	۴,۱۳,۴	گیج های فشار
۲۱۳	۵	مراجع و منابع

پیش‌گفتار

هدف از تالیف این کتاب استفاده مهندسان ارشد مکانیک و هوافضا برای طراحی تجهیزات و سامانه‌های زمستیک و همچنین آشنایی مهندسان شیمی، فیزیک‌دانان و دانشجویان کارشناسی ارشد علوم دیگر با موضوع مهندسی در قلمرو دانش زمستیک می‌باشد. در ابتدای این کتاب لازم است توضیح داده شود قسمت عمده مطالب این کتاب از مرجع شماره ۱ به زبان پارسی برگردانده شده است و در مواردی که در آن مرجع توضیح کافی نبوده یا هیچگونه متنی وجود نداشته است از مطالب موجود در مراجع دیگر بهره گرفته شده است. در بخش ایمنی و استانداردها علاوه بر مرجع ۱ از استانداردهای صنعت هوافضا به ویژه استانداردهای سازمان فضایی ایالات متحده آمریکا استفاده شده است.

این کتاب با کمک جمعی از دوستان از جمله آقایان مهندس محمد زروندی، مهندس مسعود زند کریمی، مهندس سیدعلی اکبر پوراحمدی، دکتر حمید مطهری، مهندس بهروز میرزایی، مهندس منصور مرکبیان و سرکار خانم مهندس فهیمه صالحی و دوستان دیگر تالیف شده است که بر خود لازم می‌دانم از تلاش آنها برای آماده‌سازی مطالب و تالیف این کتاب یاد و تشکر نمایم.

مقدمه

واژه پارسی "زمستیک"^۲ از مصدر "زم" به معنای سرمای بسیار سخت و شدید که عبارات زمستان و زمهریر نیز از آن گرفته شده‌اند به همراه "است" که از استوار و استخوان گرفته شده است به معنای قوام دهنده و سفت کننده به همراه پسوند پیوند "یک" ساخته شده است و به معنای سرمای بسیار سخت و شدید قوام دهنده می‌باشد. این واژه معادل عبارت "کرایوژنیک" در ادبیات انگلیسی می‌باشد که به دانش و هنر کار در دماهای بسیار پایین گفته می‌شود. تعریف مشخصی از دمای بسیار پایین که برای همگان پذیرفته باشد وجود ندارد. طبق پرکاربردترین تعریف، برای این موضوع به دمای پایین‌تر از (۱۵۰-) درجه سلسیوس یا ۱۲۳ کلوین دمای زمستیک اطلاق می‌گردد.

یکی از مهمترین نیازهای فعلی کشور با توجه به رشد سریع جمعیت و پهناوری وسیع جغرافیایی، ارتباطات مخابراتی و تلویزیونی می‌باشد. بهترین وسیله برای فراهم نمودن بسترهای مناسب جهت دسترسی ارزان و کارآمد برای این اهداف، ماهواره‌های مخابراتی و تلویزیونی هستند که بیشتر در مدار ژئوسنکرون قرار می‌گیرند. ماهواره‌ها به دلیل نیاز به زیر سامانه‌های مختلف و گوناگون دارای جرم زیادی بوده و در بیشتر موارد از مرتبه چندین هزار کیلوگرم جرم دارند. لذا جهت پرتاب و در مدار قرار دادن آنها باید از پیشراندهایی با توان تولید ضربه‌ی ویژه زیاد استفاده نمود. معمولاً به سامانه‌های زمستیک دارای چنین ویژگی می‌باشند. برای همین تدوین کتابی با موضوع مهندسی زمستیک مورد توجه قرار گرفته است. گام نخست این هدف بررسی ملاحظات تولید مواد زمستیک می‌باشد. این موضوع با جزئیات در بخش‌های آتی بررسی شده است.

در این کتاب، دانش زمستیک به گونه‌ای بیان شده است که امکان شناسایی کامل مواد، روش‌های تولید، اصول ایمنی و تجهیزات زمستیک به سادگی میسر باشد. بخش مقدمه شامل معرفی و تاریخچه پیشرفت دانش زمستیک در صنایع و فضا است. بخش دوم دربرگیرنده خصوصیات ترمودینامیکی انواع سیالات زمستیک می‌باشد، مطالعه فرآیندهای تولید آنها و بررسی تجهیزات وابسته در بخش سوم انجام شده است. در بخش بعدی اصول عایق‌بندی و خلاء بیان شده است. مواد سازگار، فرآیندهای نگهداری، انتقال و اندازه‌گیری مواد زمستیک در بخش پنجم مورد توجه قرار گرفته است. در بخش ششم فرآیندهای مایع‌سازی گاز طبیعی یا متان آورده شده است. استانداردها و اصول ایمنی کار با مواد و تجهیزات زمستیک به طور کامل در بخش هفتم بیان شده‌اند و بخش آخر شامل جمع‌بندی و نتایج کتاب می‌باشد.

² Cryogenic

تاریخچه

جان گوریه^۳، پزشکی در فلوریدا، در اوایل قرن نوزده میلادی مشاهده کرد که مالاریا با گرما و رطوبت محیط در ارتباط است. در اواسط این قرن، گوریه موتور انبساطی هوایی را توسعه داد تا یخ و هوای مناسب را برای بیماران تامین کند. بعد از آن، این چنین ماشین‌های انبساط هوایی، برای نگهداری گوشت یخ‌زده در مسافرت‌های طولانی مانند مسافرت دریایی از استرالیا به انگلستان مورد استفاده قرار می‌گرفت. در همان سال‌ها کارل فون لینه^۴ به جای هوا، از آمونیا در سامانه انبساطی گوریه استفاده کرد. او همچنین از مبدل حرارتی بهبوددهنده تک لوله‌ای استفاده نمود. این مبدل حرارتی از لوله داخلی کوچکتر تشکیل شده است که در آن گاز پرفشار گرم به صورت هم محور با لوله‌ای بزرگتر که در آن جریان گاز کم فشار سرد بازمی‌گردد، جریان می‌یابد. اولین تجربه موفق لینه در مایع‌سازی در سال ۱۸۹۵ انجام شده است. او سه چهارم هوا را در هر ساعت جمع می‌کرد که شامل ۷۰٪ اکسیژن بود. پمپ او، کمپرسور گاز دی‌اکسید کربن بود که فشار هوا را از ۲۲ اتمسفر به ۶۵ اتمسفر می‌رساند. او گزارش کرده است که مایع شفاف و واضح و مایل به آبی رنگ بود.

فون لینه دستگاه خود را اینگونه توصیف کرده است که حرارت از گاز "بوسیله صرف کار داخلی" گرفته شده است. این کار داخلی "کار برای مایع‌سازی مولکول‌های کند^۵ گاز از یکدیگر" بوده است. اساس سیکل لینه برای ۱۰۰ سال بدون تغییر ماند. توماس اوکانر الوان^۶، تاریخ شناس علم و تکنولوژی، دستگاه را اینگونه توصیف کرده است:

دستگاه لینه با تجمع مداوم انزای^۷ سر^۸ موجب درجه بالایی از سردسازی می‌شود. عبارت "خود-تشدید" به درستی برای توصیف این گونه ماشین‌ها مناسب است.

چرخه استرلینگ در سال ۱۸۱۶ میلادی، توسط اسکاگلندی، رابرت استرلینگ^۹، برای استفاده در موتور هوای داغ ابداع شد. استرلینگ به معادن ذغال سنگ اسکاگلند علاقه داشت. ذغال سنگ فراوان بود، اما اغلب معادن به دلیل قرار گرفتن در خط ساحلی، با آب پر شده بود. اگر یک سامانه اقتصادی برای پمپ آب طراحی شود، سرمایه‌گذاری‌های مالی استرلینگ با ارزش‌تر خواهند بود. قدرت بخار در دسترس بود، اما سوخت تا حد زیادی کم بود. استرلینگ به دنبال یک موتور مقرون به صرفه بود که بتواند از هر گونه مواد زائد به عنوان سوخت استفاده کند. نتیجه کار چرخه استرلینگ شد.

اوایل ۱۸۳۴، جان هرشل^۸ پیشنهاد کرد که این موتور می‌تواند به عنوان چرخه یخچال استفاده می‌شود. اولین یخچال چرخه استرلینگ توسط الکساندر کرک^۹ در حدود سال ۱۸۶۴ ساخته شد. در پایان جنگ جهانی دوم، شرکت معروف فیلیپس آینده‌وون، هلند، تلاش استرلینگ را برای یک موتور حرارتی ارزان قیمت تکرار کرد. ترانز^{۱۰} توسط هر مواد زائد، به عنوان سوخت تغذیه شود. در واقع به محرکی الکتریکی برای مناطق دور افتاده یا مناطق جنگی نیاز بود. بنابراین فیلیپس در ابتدا به سوی موتور حرارتی چرخه استرلینگ رفت. در حدود یک دهه بعد، آزمایشگاه‌های تحقیقاتی شرکت فیلیپس، کوهر^{۱۱} و همکارانش توانستند یخچال استرلینگ با مقیاس صنعتی را ابداع کنند. کوهر یخچال فیلیپس را در تاریخ ۵ سپتامبر ۱۹۵۶ که در کنفرانس مهندسی برودتی، در اداره ملی استاندارد بولدر، کلرادو، برگزار شد، معرفی کرد.

³ John Gorie

⁴ Carl Von Linde

⁵ sluggish molecules

⁶ Thomas O'Connor Sloane

⁷ Robert Sterling

⁸ John Herschel

⁹ Alexander Kirk

¹⁰ J. W. L. Kohler

سرماساز سولوای^{۱۱} در حدود سال ۱۸۸۷ در آلمان ابداع شد و اولین سامانه برای مایع‌سازی هوا با استفاده از موتور انبساطی بود. سامانه سولوای تنها قادر بود به دمای ۱۷۸ K برسد، بنابراین تا اواخر دهه ۵۰ قرن بیستم، به عنوان سرماسازی زمستیک در نظر گرفته نمی‌شد تا زمانی که جیفورد و مک موهان از شرکت A. D. Little استفاده از این سامانه را در کولر فروسرخ مینیاتوری به کار برد.

استفاده از مواد زمستیک در دیگر صنایع نیز گسترش یافت، مانند صنایع فولادسازی که در آن از مقادیر بالای اکسیژن استفاده می‌شود. اولین بار، اکسیژن مایع، در سال ۱۸۷۷، توسط دو آهن‌گر^{۱۲} تولید شد [۱].

امروزه، بیشتر سامانه‌های مایع‌سازی بزرگ، از پایه و اساس یکسانی در انبساط هوا، یعنی از طریق تولید کار، استفاده می‌کنند. مانند موتور انبساط یا توربین انبساط، تا امکان مایع شدن گاز وجود داشته باشد. گازهای مایع شده در صنایع فولادسازی، تولیدات شیمیایی، تسریع فرآیند دفع فضولات، صنایع غذایی و نگهداری آنها، سوخت‌ها و اکسیدکننده‌ها برای پیشرفته‌های فضایی، گازهای تنفسی و کاربردهای ابررسانایی، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

دانش زمستیک برای اولین بار در سال ۱۹۲۶ میلادی با پرتاب چند متری اولین موشک با پیشرانه اکسیژن مایع-بنزین توسط رابرت گودارد^{۱۳} و آلبرت اعره^{۱۴} فضا گردید، پس از آن، موشک‌های زمستیکی که توسط این دانشمندان ساخته شدند به اندازه‌ای تکامل یافتند که در طول جنگ جهانی دوم آلمان‌ها با الگوبرداری از آنها، موشک‌های V2 را با پیشرانه زمستیک اکسیژن مایع-الکل تولید نمودند. فون بران^{۱۵} توانست با اولین بار موشک پیشرانه مایع زمستیک با قابلیت حمل ۱۰۰۰ کیلوگرم محموله و برد حدود ۳۵۰ کیلومتر تولید نماید. بخش اساسی از این وسیله لندن را موشکباران کرده و هزاران نظامی و غیرنظامی را کشته و زخمی نمود. در روزهای پایانی جنگ جهانی دوم زمانی که نازی‌ها شکست خود را قطعی دانستند، هیملر به فون بران و همکارانش دستور خودکشی داد تا دانش بسیار پیشرفته تولید موشک‌های بالستیک زمستیک به دست متفقین نیفتد ولی فون بران و همکارانش تصمیم گرفتند از آلمان به کشور دیگری پناهنده شوند. فون بران به ایالات متحده رفت.

در همان زمان، منطقه‌ای که کارخانه تولید موشک‌ها در آن اقامه بود در تقسیم‌بندی بین شوروی و غربی‌ها، به شوروی رسید، ولی قبلاً آمریکایی‌ها حدود سیصد واگن پر از قطعات موشک V۲ را به ایالات متحده منتقل نمودند و تنها تعدادی مهندس و تکنسین ساده باقی‌مانده بودند.

یک کارشناس از روسیه به آلمان آمد تا بر روی این موشک‌ها تحقیق کند. سرگی کورولیف^{۱۶} توانست یک موشک را دوباره‌سازی نماید و با موفقیت آنرا آزمایش کند. درست در همان شب موفقیت از دستور رسید تمام افراد همکار در پروژه باید شبانه به روسیه انتقال داده‌شوند. هر نفر آلمانی تنها مجاز بود یک زن (مادر یا خواهر یا ...) همراه خود ببرد. سرگی در شوروی تلاش برای ساخت موشک‌های قاره‌پیمای پیشرانه زمستیک را شروع نمود و رانده با استفاده از طرح‌های یکی از متخصصان آلمانی که در هنگام پناهندگی فون بران ترجیح داده بود به شوروی پناهنده شود به نام گرتروپ^{۱۷}، موشک اسپوتنیک^{۱۸} را بسازد و با آن اولین ماهواره را به مدار زمین انتقال دهد. اولین انسان نیز با تکمیل موشک‌های پیشرانه زمستیک به مدار زمین رفت. سرگی کورولیف همواره اصرار بر استفاده از پیشرانه‌های غیرسمی زمستیک اکسیژن مایع-کروسین داشت. این ترکیب در ایالات متحده نیز توسط فون بران برای طبقه اول موشک ساترن پنج مورد استفاده قرار گرفت ولی برای مراحل دوم و سوم موشک از پیشرانه زمستیک اکسیژن مایع - هیدروژن مایع که ضربه ویژه بیشتری تولید می‌نمود بهره گرفته شد و

¹¹ Solvay

¹² Iron master

¹³ Robert H. Goddard

¹⁴ Werner von Braun

¹⁵ Sergei Korolev

¹⁶ Helmut Groettrup

¹⁷ Sputnik

اولین انسان‌ها با به کره ماه گذاشتند. پس از آن شاتل‌های رفت و برگشت فضایی امریکا در موتورهای اصلی خود نیز از پیش‌راشه اکسیژن مایع- هیدروژن مایع استفاده نمودند ولی به دلیل مشکلات و هزینه زیاد زودتر از موعد مقرر بازنشسته شدند. جدیدترین موشک‌های فضایی همچون موشک‌های قدیمی از ترکیب زمستیک اکسیژن مایع- کروسین استفاده می‌کنند.

www.ketab.ir