

ایہ نام تو بہترین سر آغاز
ہی نام تو نامہ کی گنہ ہار

تکنولوژی خلا

مؤلف: مهندس تیمور رفیعی زادہ

(با همکاری مهندس جواد کریمی ثابت و مهندس داریوش رحیمی)

نشر طراح

رفیعی‌زاده، تیمور، ۱۳۵۶-

تکنولوژی خلاء/ مولف تیمور رفیعی‌زاده. - تهران :

طراح، ۱۳۸۳.

۲۲۴ص. : مصور، جدول.

ISBN 964-7089-56-2

فهرست‌نویسی براساس اطلاعات فیپا.

۱. خلاء - کاربردهای صنعتی. ۲. تخلیه برقی با گاز.

۳. تلمبه خلاء. ۴. فشارسنجها. الف. عنوان.

ت ۷۴۰/ر ۷۹۴۰ TJ ۵۵-۶۲۱

۸۳-۲۲۸۳۶م

کتابخانه ملی ایران

این اثر، مشمول قانون حمایت مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هرکس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه مؤلف (ناشر) نشر یا پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

شابک ۲ - ۵۶ - ۷۰۸۹ - ۹۶۴

ISBN 964 - 7089 - 56 - 2

نشر طراح

• نام کتاب : تکنولوژی خلاء

• مولف : مهندس تیمور رفیعی‌زاده

• ناشر : طراح (۶۴۶۷۹۹۹ ①، ۶۹۵۳۶۲۶ ②، ۰۹۱۲۱۱۲۱۱۲۳ ③)

• تیراژ : ۲۳۰۰ جلد

• نوبت چاپ : اول

• تاریخ انتشار : پاییز ۱۳۸۳

کلیه حقوق برای نشر طراح محفوظ است.

مرکز پخش : ۱ - کتابفروشی صانعی - روبه‌روی دبیرخانه دانشگاه تهران (۶۴۰۵۳۸۵ ①، ۶۴۹۲۶۶۳ ②)

۲ - نشر طراح - روبه‌روی دانشگاه تهران - ساختمان فروزنده - طبقه دوم - واحد ۵۰۶

(۶۴۶۷۹۹۹ ①، ۶۹۵۳۶۲۶ ②، ۰۹۱۲۱۱۲۱۱۲۳ ③)

مقدمه مولف

تکنولوژی خلاء یک علم میان رشته‌ای از مهندسی شیمی، مکانیک، متالورژی، برق و فیزیک است که پیش نیاز اغلب تحقیقات و تکنولوژیهای پیشرفته روز می‌باشد. به طور مثال می‌توان به کار برد خلاء در تحقیقات فضایی، تحقیقات دما پایین، نانو تکنولوژی، پلاسما، فیزیک سطح، لیزر، تکنولوژی هسته‌ای، الکترونیک و میکروالکترونیک، شتاب‌دهنده‌های ذرات، صنایع متالورژی، صنایع داروسازی، صنایع غذایی، پالایشگاههای نفت و ... اشاره کرد. متأسفانه در کشور ما، دست اندرکاران این تکنولوژی از بعد علمی قضیه بهره‌چندانی نداشته و فعالیت‌های آنها به تجربه نه چندان کاملی محدود می‌شود. از این رو لازم به نظر می‌رسد تا با توجه به نیازهای صنعتی آینده کشور، اقدامات زیر جهت ارتقاء و گسترش فناوری خلاء صورت گیرد :

الف- شناسایی نیروهای متخصص و تشکیل همایشهایی جهت ارتباط هر چه بیشتر آنها با یکدیگر و با سایر علاقمندان،
ب- تدریس این تکنولوژی در دانشگاهها به صورت علمی و تجربی و ایجاد تسهیلات لازم جهت اعطای بورس تحصیلی
به دانشجویان و نخبگان کشور و

ج- خریداری کتابهای خارجی از طریق نمایشگاه بین المللی و یا به طور مستقیم توسط عاملان پخش و توزیع کتاب.

در کتاب حاضر سعی شده است تا مطالب کاربردی و صنعتی را که مورد نیاز دست اندرکاران این تکنولوژی است، به صورت یکجا آورده شود. امید است تا این کتاب انگیزشی را برای علاقمندان در جهت زمینه‌سازی علمی تکنولوژی خلاء فراهم آورد.

در خصوص تألیف کتاب جای دارد از همکاری و زحمات بی‌وقفه جناب آقای مهندس جواد کریمی ثابت که تنها مشوق بنده در این راه بودند و ضمن فراهم آوردن امکانات لازم، نقش بسزایی در تصحیح و ویرایش کتاب داشتند، صمیمانه تشکر و قدردانی کنم.

خوانندگان محترم می‌توانند نظرات و پیشنهادات خود را از طریق آدرس T_Rafieezadeh@Yahoo.com به اینجانب منتقل نمایند.

(۱-۱۳)	فصل ۱ مفاهیم پایه در خلاء
۱	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ سرعت پمپاژ و ظرفیت پمپاژ (Pumping speed and throughput)
۳	۳-۱ کانداکتانس و امپدانس
۳	۴-۱ فشار گاز
۴	۵-۱ بمباران مولکولی و رابطه آن با ظرفیت پمپاژ
۵	۶-۱ مسیر پویش آزاد متوسط مولکولی (λ) و فاکتور برخورد (Z)
۶	۷-۱ هدایت گرمایی گازها
۶	۸-۱ پدیده‌های جذب و دفع
۶	۱-۸-۱ جذب سطحی
۷	۲-۸-۱ جذب سطحی و دفع
۸	۳-۸-۱ نفوذ و جذب عمقی (Absorbition and permiation)
۹	۹-۱ خروج گاز از جداره‌های داخلی یک سیستم (Outgassing)
۹	۱-۹-۱ ملاحظات تجربی در مورد Outgassing
۱۱	۲-۹-۱ تئوری خروج گاز از جداره‌ها
۱۲	۳-۹-۱ تئوری Dayton (وابستگی سرعت دفع گاز به تغییرات دمایی)
(۱۵-۴۱)	فصل ۲ رژیم‌های جریان و محاسبات اساسی در خلاء
۱۵	۱-۲ انواع رژیم‌های جریان گاز درون لوله‌های تحت خلاء
۱۶	۲-۲ کانداکتانس و ظرفیت پمپاژ
۱۷	۳-۲ محاسبه کانداکتانس در جریان مولکولی
۱۸	۱-۳-۲ کانداکتانس یک مجرا
۱۸	۲-۳-۲ چگونگی محاسبه کانداکتانس برای مجراهای بلند
۱۸	۳-۳-۲ چگونگی محاسبه کانداکتانس برای مجراهای کوتاه
۱۹	۴-۳-۲ محاسبه کانداکتانس در مجراهای لوله‌ای
۲۰	۵-۳-۲ محاسبه کانداکتانس در مجراهای مستطیلی
۲۲	۶-۳-۲ محاسبه کانداکتانس در مجراهای بیضوی شکل

فهرست II

۲۳	۷-۳-۲ محاسبه کانداکتانس یک آنالاس (ناحیه واقع بین دو استوانه هم‌مرکز)
۲۵	۸-۳-۲ محاسبه کانداکتانس در مجراهای مثلثی
۲۶	۹-۳-۲ محاسبه کانداکتانس در زانوها
۲۶	۱۰-۳-۲ محاسبه کانداکتانس یک اریفیس
۲۷	۱۱-۳-۲ محاسبه کانداکتانس در یک سیستم متشکل از چندین جزء
۳۰	۴-۲ موارد جریان ناپایا
۳۱	۵-۲ جریان ویسکوز و محاسبات کانداکتانس
۳۳	۱-۵-۲ جریان آرام ویسکوز
۳۷	۲-۵-۲ بررسی جریان توربولنت
۴۰	۶-۲ جریان انتقالی
۴۰	۱-۶-۲ بررسی جریان در مجراهای طولانی

فصل ۳ تولید خلاء (۸۴-۴۳)

۴۳	۱-۳ پمپهای چرخشی مکانیکی روغن‌بندی شده
۴۳	۱-۱-۳ انواع پمپهای روغن‌بندی شده
۴۹	۲-۱-۳ فشار نهایی (Ultimate pressure)
۵۲	۳-۱-۳ مشخصات پمپهای روغن‌بندی شده
۵۲	۲-۳ پمپهای روتس (Roots pump)
۵۵	۳-۳ پمپهای بخار (Vapour pump)
۵۵	۴-۳ پمپهای بخار چند مرحله‌ای (Multi stage vapour pump)
۵۷	۱-۴-۳ سیال پمپ
۵۸	۲-۴-۳ خود تقطیری سیال پمپ
۵۸	۳-۴-۳ سردسازی
۵۸	۴-۴-۳ احتیاجات اولیه و پشتیبانی (Roughing and backing requirements)
۵۸	۵-۴-۳ فشار نهایی و مشخصات سرعت
۶۰	۵-۳ پمپهای بوستر بخار (Vapour booster pump)
۶۲	۶-۳ پمپهای جذب (Sorption pump)
۶۳	۷-۳ پمپهای سردساز (Cryogenic pump)
۶۶	۸-۳ پمپهای یونی (Ion pump)

فهرست III

۶۷	۱-۸-۳ بررسی فرآیند پمپاژ یونی
۶۷	۲-۸-۳ پمپهای یونی - تیخیری
۷۰	۳-۸-۳ پمپهای یونی - اتم پراکنی (Sputter-ion pump)
۷۲	۴-۸-۳ قوای در فرایند گازگیری
۷۵	۵-۸-۳ ظرفیت گازگیری
۷۵	۹-۳ پمپهای کشش مولکولی (Drag molecular pump)
۷۷	۱-۹-۳ ملاحظات تئوری
۷۸	۲-۹-۳ ملاحظات در طراحی
۷۸	۳-۹-۳ اطلاعات عملکردی برای پمپهای تجاری
۷۹	۱۰-۳ پمپهای توربو مولکولی (Turbo molecular pump)
۸۰	۱-۱۰-۳ روغنکاری یا تاقانهای مکانیکی
۸۰	۲-۱۰-۳ مواد روتور
۸۱	۳-۱۰-۳ تهویه
۸۱	۴-۱۰-۳ پخت (Backing)
۸۱	۵-۱۰-۳ سردسازی
۸۱	۶-۱۰-۳ پمپاژ گازهای خورنده
۸۲	۷-۱۰-۳ پمپاژ گازهای سمی و رادیواکتیو
۸۲	۸-۱۰-۳ ترکیب پمپ توربو مولکولی با پمپهای دیگر
۸۲	۹-۱۰-۳ نسبت تراکم پمپ توربو مولکولی
۸۲	۱۰-۱۰-۳ سرعت پمپاژ یک پمپ توربو مولکولی
۸۴	۱۱-۱۰-۳ فشار نهایی یک پمپ توربو مولکولی
۸۴	۱۱-۳ ترکیب پمپهای کشش مولکولی - توربو مولکولی
۸۴	۱-۱۱-۳ پمپهای پشتیبان

(۸۵-۱۱۵)

فصل ۴ اندازه گیری فشارهای پایین

۸۵	۱-۴ مانومتر
۸۶	۲-۴ فشارسنج بوردن (Bourdon gauge)
۸۶	۳-۴ کپسول آنروئید (Aneroid capsule)
۸۷	۴-۴ لوله تخلیه (Discharge tube)
۸۸	۵-۴ فشارسنج Mcleod

فهرست IV

۹۰	۱-۵-۴ حساسیت و محدوده اندازه‌گیری فشارسنج Mcleod
۹۱	۲-۵-۴ تأثیر بخارات قابل‌کندانس
۹۲	۳-۵-۴ تأثیر خروج گاز از جدارها (Out gassing)
۹۳	۴-۵-۴ شکلهای عملی فشارسنج Mcleod
۹۶	۶-۴ فشارسنج رادیومتری (Radiometer gauge)
۹۸	۷-۴ فشارسنجهایی که براساس هدایت گرمایی کار می‌کنند
۹۸	۱-۷-۴ فشارسنج پیرانی (Pirani gauge)
۱۰۱	۲-۷-۴ فشارسنج شبه رسانا (Semiconductor gauge)
۱۰۲	۳-۷-۴ فشارسنج ترموکوپلی (Thermocouple gauge)
۱۰۲	۸-۴ فشارسنج یونیزاسیون (Ionization gauge)
۱۰۳	۹-۴ فشارسنج یونی با کاتد داغ (Hot cathod ionization gauge)
۱۰۶	۱۰-۴ فشارسنج Penning
۱۰۸	۱۱-۴ فشارسنج آلفاترون (Alphatron gauge)
۱۰۹	۱۲-۴ فشارسنجهای یونی اصلاح شده
۱۱۰	۱۳-۴ اسپکترومترجرمی
۱۱۱	۱-۱۳-۴ اسپکترومتر جرمی با انحراف مغناطیسی
۱۱۲	۲-۱۳-۴ اسپکترومتر دوار (Trochoid spectrometer)
۱۱۳	۳-۱۳-۴ Omegatron
۱۱۴	۴-۱۳-۴ اسپکترومتر جرمی چهارقطبی (Quadrupole mass spectrometer)
۱۱۵	۵-۱۳-۴ طیف جرمی

فصل ۵ ساختمان سیستمهای خلاء (۱۱۷-۱۳۷)

۱۱۷	۱-۵ سیستمهای فلزی
۱۱۸	۱-۱-۵ اتصالات دایمی
۱۱۹	۲-۱-۵ اتصالات بازشدنی
۱۲۳	۳-۱-۵ دستگاههایی جهت انتقال حرکت در یک سیستم فلزی تحت خلاء
۱۲۵	۴-۱-۵ شیرهای مورد استفاده در سیستمهای تحت خلاء بالا و متوسط
۱۳۰	۵-۱-۵ شیرهای مورد استفاده در خلاهای خیلی بالا (Ultra high vacuum valves)

فهرست V

۱۳۲	۵-۱-۶ دستگاه‌های حساس به فشار
۱۳۲	۵-۱-۷ تله‌های سرد
۱۳۳	۵-۱-۸ لغزش روغن
۱۳۳	۵-۱-۹ بافل‌های سرد
۱۳۳	۵-۲ سیستم‌های شیشه‌ای
۱۳۴	۵-۲-۱ اتصالات شیشه‌ای دایمی (Permanent glass joints)
۱۳۴	۵-۲-۲ اتصالات شیشه‌ای باز شدنی
۱۳۴	۵-۲-۳ شیرهای مورد استفاده در سیستم‌های شیشه‌ای
۱۳۵	۵-۳ سیستم‌های شیشه‌ای - فلزی
۱۳۶	۵-۳-۱ الکترودها

فصل ۶ انتخاب فرآیند پمپاژ و طراحی سیستم‌های تحت خلاء (۱۵۸-۱۳۹)

۱۳۹	۶-۱-۱ نگاهی بر معمولترین فرآیندهای پمپاژ تحت خلاء
۱۴۰	۶-۱-۱-۱ فرآیندهای ابتدایی خشک تحت خلاء
۱۴۰	۶-۱-۲ فرآیندهای مرطوب تحت خلاء
۱۴۰	۶-۲ دسته‌بندی فرآیندهای تحت خلاء براساس محدوده‌های فشاری
۱۴۱	۶-۳ انتخاب نوع پمپ در فرآیندهای خشک نظیر پمپاژ هوای اتمسفری
۱۴۱	۶-۳-۱ خلاء ابتدایی تا فشارهای حدود 10^{-2} torr
۱۴۱	۶-۳-۲ خلاء متوسط (10^{-3} mbar - 1)
۱۴۲	۶-۳-۳ خلاء بالا (10^{-7} - 10^{-3} mbar)
۱۴۳	۶-۳-۴ خلاء خیلی بالا (10^{-7} mbar <)
۱۴۳	۶-۴ پمپاژ گازها و بخارات در فرآیندهای مرطوب (بر مبنای تجهیزات (LEYBOLD)
۱۴۳	۶-۴-۱ پمپاژ گازها و بخارات به کمک پمپهای چرخشی و تجهیزات مربوطه
۱۴۶	۶-۴-۲ پمپاژ بخار آب با پمپهای روتس
۱۴۷	۶-۵ تولید خلاء فاقد روغن در نواحی مختلف فشار
۱۴۸	۶-۶ طراحی سیستم‌های تحت خلاء بالا
۱۴۹	۶-۶-۱ ظرف کار
۱۵۰	۶-۶-۲ طراحی عددی پمپهای اصلی
	۶-۶-۳ ابعاد خطوط لوله

فهرست VI

۱۵۱	مرزبندی فیزیکی ۴-۶-۶
۱۵۱	در نظر گرفتن تاثیر خروج گاز از جداره‌های داخلی تجهیزات ۵-۶-۶
۱۵۱	محاسبات پمپهای پشتیبان ۶-۶-۶
۱۵۲	زمان تخلیه (Pumpdown time) ۷-۶-۶
۱۵۴	

فصل ۷ نشتیها و آشکارسازی آنها (۱۵۹-۱۹۰)

۱۵۹	۱-۷ انواع نشتیهای موجود در سیستمهای تحت خلاء
۱۵۹	۲-۷ نرخ نشتی
۱۶۱	۳-۷ مسائل و تعاریفی در اندازه‌گیری ریت نشتی
۱۶۳	۴-۷ روشهای آشکارسازی نشت بدون استفاده از نشت‌یاب
۱۶۳	۱-۴-۷ تست افزایش فشار
۱۶۳	۲-۴-۷ تست کاهش فشار (تست فشار مثبت)
۱۶۴	۳-۴-۷ تست نشتی به کمک فشارسنجهایی که به نوع خاصی از گاز حساسند
۱۶۴	۴-۴-۷ تست غوطه‌وری حباب
۱۶۵	۵-۴-۷ تست پاشش کف
۱۶۶	۶-۴-۷ چک نمودن حبابی جعبه خلاء
۱۶۶	۷-۴-۷ تست کریپتون 85
۱۶۶	۸-۴-۷ تست خلاء با فرکانس بالا
۱۶۷	۹-۴-۷ تست خلاء با واکنشهای شیمیایی و نفوذ رنگ
۱۶۷	۵-۷ اندازه‌گیری نرخ نشتی به کمک نشت‌یاب
۱۶۸	۱-۵-۷ نشت‌یابی اجزاء موجود در یک سیستم تحت خلاء توسط هلیم
۱۷۱	۲-۵-۷ نشت‌یابی یک سیستم خلا (اجزاء بزرگ)
۱۷۳	۶-۷ نشت‌یابهای مجهز به اسپکترومتر جرمی (MSLD)
۱۷۴	۱-۶-۷ اساس کار برای یک نشت‌یاب مجهز به اسپکترومتر جرمی
۱۷۸	۲-۶-۷ حد آشکارسازی، زمینه و ذخیره گاز در روغن (بالاست گاز)
۱۷۸	۳-۶-۷ مشخصات نشت‌یابهای مجهز به اسپکترومتر جرمی
۱۸۱	۴-۶-۷ نشت‌یابهای هلیم با جریان مستقیم
۱۸۲	۵-۶-۷ نشت‌یابهای ساده هلیم با جریان معکوس

فهرست VII

- ۱۸۵ ۶-۶-۷ نشت‌یابهای هلیم پیشرفته با جریان معکوس
- ۱۸۶ ۷-۷ نشت‌یابهای خشک هلیم
- ۱۸۷ ۸-۷ عملیات جریان جزئی
- ۱۸۸ ۹-۷ بررسی روشهای مختلف نشت‌یابی با استفاده از نشت‌یابهای هلیم
- ۱۸۸ ۱-۹-۷ تکنیک پاششی (تست موضعی نشتی)
- ۱۸۹ ۲-۹-۷ تکنولوژی استشمام (تست موضعی با استفاده از روش فشار مثبت)
- ۱۸۹ ۳-۹-۷ تست کیسه خلاء (تست جمعی نشتی)

(۱۹۱-۲۰۷)

فصل ۸ پیوست