Archive of SID

مقاله نامه هفتمین کنفرانس ملّی خلأ ایران
دانشگاه مازندران
۲۰و۲۱ آبان ۱۳۹۴

نشت یابی سیستم های خلأ توسط نشت یاب هلیومی

احمدی ، افسانه ؛معینی، مهدی ؛کوثری، محمدرضا

پژوهشکده چرخه سوخت هسته ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

در دهه های اخیر، تجهیزات و روش های نشت یابی توسعه زیادی یافته اند. به طور ایده آل می بایستی محفظه تحت خلأ بعد از اتمام عمل تخلیه با خاموش شدن پمپ ها خلأ را حفظ کند. اما در سیستم های واقعی با گذشت زمان فشار سیستم بالا می رود. این افزایش فشار می تواند ناشی از نفوذ مولکول های جداره ها و دیوارها (Out gassing) باشد و یا ناشی از نشت و نفوذ مولکول ها از خارج به داخل سیستم (Leak) باشد. در عمل ساختن سیستمی که از نظر نشت کاملا بسته باشد غیر ممکن است اما می بایستی مقدار نشت در حدی باشد که منجر به تغییر فشار نهایی مطلوب نشود. بنابراین تعیین حد مجاز و قابل قبول نشت، برای هر سیستم خلأ ضروری است. لذا نشت یابی یک مرحله مهم در ایجاد خلأ و ضمانت حصول فشار نهایی مطلوب، می باشد. در مقاله حاضر، مفاهیم میزان نشت، انواع نشت و روش های نشت یابی توضیح داده شده و اصول کاربرد سیستم نشت یاب هلیومی در سیستم های خلأ تشریح می گردد.

Leak detection of vacuum systems using helium leak detector

Ahmadi, Afsaneh; Moenie, Mahdi; Kowsari, Mohammadreza

[1]*Nuclear Fuel Cycle Research and Technology Institute, Atomic Energy Organization of Iran*

Abstract

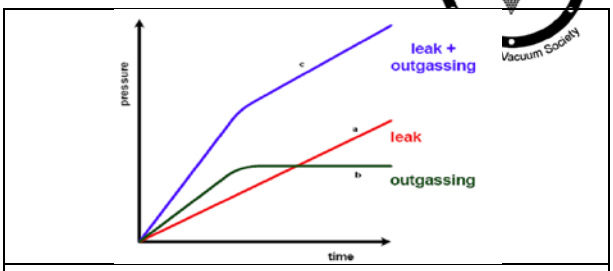
In recent decades, leak detection methods and instruments have been extendedly developed. A vessel, which is under vacuum condition, has to be able to retain vacuum condition after turnoff the suction pumps. Nevertheless, actual systems have pressure rising with time. This pressure ascending can be due to permeation, leakage and diffusion of molecules from out of system to inside through the walls or vice versa. Practically, providing a system, which to be rigid in respect of leakage is impossible, but it can be designed so that the final pressure has partial variation. Therefore, determination of allowable limit of leakage is essential for any vacuum system and so leak detection is important at vacuum providing step and achieving to the final pressure. In the present work, several kinds of leak types, leak detection methods and fundamentals of helium leak detection systems were explained.

مقدمه

به طور ایده آل می بایستی محفظه تحت خلأ بعد از اتمام عمل تخلیه با خاموش شدن پمپ ها خلأ را حفظ کند. اما در سیستم های واقعی با گذشت زمان فشار سیستم بالا می رود. این افزایش فشار می تواند ناشی از نفوذ مولکول های جداره ها و دیوارها (out gassing) باشد و یا ناشی از نشت و نفوذ مولکول ها از خارج به داخل سیستم باشد. شکل ۱ سه نوع منحنی تغییرات فشار محفظه با گذشت زمان را نشان می دهد. در واقع هیچ سیستم خلائی نمی تواند به طور مطلق نشت نداشته باشد. آنچه مهم است بایستی میزان نشت به قدری کوچک باشد که فشار نهایی و تعادل گاز در محفظه، خلأ را به هم نزند. بنابراین تعیین حد مجاز و قابل قبول نشت، برای هر سیستم خلأ ضروری است. لذا نشت یابی یک مرحله مهم در ایجاد خلأ و ضمانت حصول فشار نهایی مطلوب، می باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. تغییرات فشار با زمان(پس از خاموش شدن پمپ ها)

در مقاله حاضر به توضیح مفاهیمی چون میزان نشت، انواع نشت و روش های نشت یابی پرداخته می شود و اصول و کاربردهای نشت یاب هلیومی به عنوان رایج ترین روش نشت یابی شرح داده می شود.

تئوری

۱. میزان نشت و جریان جرمی گاز

در یک سیستم خلأ افزایش فشار نسبت به زمان نشت نامیده می شود و میزان نشت به عنوان خروجی گاز حاصل از یک نشت تعریف می گردد که تابعی از نوع گاز، اختلاف فشار و دما است که در شرایط استاندارد STP به صورت میلی بار – لیتر بر ثانیه (mbar.L/sec) تعریف می شود. در یک سیستم با حجم V میزان نشت QL به صورت زیر محاسبه می شود:

$$Q_L = V.\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{RT}{M}.\frac{\Delta m}{\Delta t}$$

که ΔP افزایش فشار در طی زمان Δt است.

R: ثابت گازها برابر 83.14 mbar.L/mole.K

T: دما بر حسب درجه کلوین

M: جرم مولکولی بر حسب g/mole

Δm: جرم گاز

رابطه فوق برای تعیین دو مورد استفاده می شود:

i. ۱)برای تعیین جریان جرمی $\Delta m/t$ در یک جریان ثابت با تغییرات معین PV در زمان معلوم

ii. ۲)برای تعیین میزان نشت محفظه ای که جریان جرمی معلوم باشد.

در سیستم های خلأ بالا، جهت مقایسه کیفی خلأ نسبت به اندازه ی نشت خواهیم داشت:

سیستم کاملا بسته: $Q_L < 10^{-6}$ mbar.L/s

سیستم بسته: $Q_L < 10^{-5}$ mbar.L/s

سیستم دارای نشت : $Q_L < 10^{-4}$ mbar.L/s

به هر حال نشت در یک سیستم خلاء زمانی قابل صرفه نظر کردن است که سرعت تخلیه در مقابل میزان نشت به اندازه کافی بزرگ باشد. در این صورت فشار نهایی برابر است با:

$$P_u = Q_l/S_{eff}$$

محاسبات نشان می دهد که اگر S_{eff} به اندازه کافی بزرگ باشد، فشار نهایی از اندازه نشت مستقل است.

۲. رابطه میان میزان نشت و اندازه قطر روزنه

برای شناخت رابطه ابعاد هندسی منفذ یا روزنه با مقدار نشت در یک سیستم می توان از یک روزنه فرضی استفاده نمود.

۳. اندازه نشت و نوع جریان گاز

هنگامی که نسبت فشار و نوع جریان گاز بررسی می شود، برای جریان های لایه ای و مولکولی از معادلات مختلفی استفاده می شود ضمن اینکه تشخیص مرز بین جریان های مزبور بسیار مشکل است. در جریان لایه ای میزان نشت بیشتر از 10^{-5} میلی بار– لیتر بر ثانیه و در جریان مولکولی، کمتر از 10^{-7} میلی بار–لیتر بر ثانیه تعریف می شود.بر اساس جریان سیال توسط فشار داخلی سیستم، دو حالت وجود دارد:

۱. روش تخلیه یا فشار منفی: جهت نشت از بیرون به داخل است. در این صورت فشار داخلی از فشار بیرونی کمتر است.

۲. روش فشار مثبت: در این حالت جهت جریان نشت از طرف داخل قسمت مورد نظر به سمت بیرون است. یعنی فشار داخل بیشتر از فشار خارج می باشد.

۴. انواع نشت

بر حسب نوع مواد یا چگونگی اتصالات، انواع نشت در سیستم خلأ به وجود می آید که به طور خلاصه عبارتند از:

۱. نشت ناشی از اتصالات جدا شدنی مانند فلنج ها و واشرها

۲. نشت ناشی از اتصالات دائم مانند اتصالات جوشکاری شده

www.SID.ir

Archive of SID

۳. نشت ناشی از تخلخل سطوح
۴. نشت حرارتی(برگشت پذیر یا دررو)
۵. نشت اصلی یا آشکار
۶. نشت غیر مستقیم مانند نشت از مواد مورد استفاده در سیستم خلأ
۷. نشت یک طرفه
۸. نشت سری
۹. نشت، نفوذ یا تراوش

۵. روش های نشت یابی

هدف از نشت یابی تعیین محل دقیق نشت یا میزان نشت موضعی یا کلی است. با توجه به اندازه نشت، روش های گوناگونی برای نشت یابی به کار گرفته می شود. همه روش ها بر اساس تغییر یک خاصیت فیزیکی اندازه گیری شده از یک طرف محفظه خلأ است در حالی که فشار یا طبیعت گاز در طرف دیگر محفظه تغییر می کند. روشهای ممکن نشت یابی به سه دسته کلی به شرح زیر دسته بندی می شود:

a. اثرات مکانیکی(mechanical effect):

این روش محدود به اندازه گیری نشت های بزرگ می باشد برای مثال دتکتورهای آلتراسون برای پایش تغییرات یا نوسانات ایجاد شده به وسیله گاز در محدوده نشت می باشد. محدوده نشت تا 10^{-2} mbar.L/s است و وقتی آب صابون روی محل نشت پخش می شود و محفظه تحت فشار قرار می گیرد، حساسیت می تواند تا 10^{-4} mbar.L/s برسد. این روش ساده، سریع و ارزان است و محل نشت را مشخص می کند.

b. افزایش فشار(pressure increase) :

این روش در محدوده خلاء متوسط کاربرد دارد. برای نشت یابی با این روش، پس از تخلیه سیستم تا حد ممکن(فشار نهایی)، ارتباط محفظه و پمپ ها قطع می شود. سپس زمان افزایش فشار اندازه گیری می شود. مجددا سیستم تخلیه شده تا فشار نهایی ممکن و دوباره ارتباط محفظه و پمپ ها قطع می شود.

c. تغییر خواص فیزیکی گازهای باقیمانده (Modification of the physical properties of residual gas):

با افزودن گاز ردیاب به ترکیب گاز درون محفظه خلاء خواص فیزیکی گاز باقیمانده در محفظه تغییر می کند و از این خاصیت برای تعیین محل و مقدار نشت به عنوان یک روش حساس و دقیق استفاده می شود. استفاده از گازهای نادر سنگین باعث تغییر میزان یونش در خلأ سنج های یونی می شود. بنابراین در محدوده خلأ پایین و متوسط از فشار سنج های مناسب مانند پیرانی، ترموکوپل و یا یونیزاسیون و گاز ردیاب به عنوان نشت یاب استفاده می شود. گاز ردیاب ترجیحا هیدروژن یا هلیوم است که با ضریب چسبندگی کم امکان ورود از نشت ها برای آن ها آسان تر است. به علاوه وزن مولکولی کم این گازها باعث می شود که سرعت تخلیه آن ها بیشتر شود.

۶. گاز ردیاب (Tracer)

گازی که به عنوان ردیاب در نشت یابی مورد استفاده قرار می گیرد بایستی دارای خواص زیر باشند:

- سیگنال واضحی در طیف جرمی گاز باقیمانده در محفظه بدهد.
- از نظر فیزیکی و شیمیایی خنثی باشد.
- ارزان و غیر قابل انفجار باشد.
- درصد وزنی آن در هوا بسیار کم باشد.
- براحتی قابل تخلیه توسط پمپ باشد و باعث آلودگی سیستم نشود.

با توجه به موارد فوق هلیوم معمول ترین گاز ردیاب است که تمام الزامات فوق را دارا می باشد. بنابر این میزان نشت معمولا بر حسب میزان نشت استاندارد هلیوم بیان می شود.

نشت یابی تحت خلاء

۱. اصول کار نشت یاب طیف سنج جرمی هلیوم

در نشت یاب هلیومی بدین ترتیب است که ابتدا گاز ورودی به نشت یاب توسط چشمه یونی طیف سنج جرمی که معمولا از نوع بمباران الکترونی است، یونیزه می شود. یون های ایجاد شده توسط اعمال میدان الکتریکی در حد۴۰۰ تا ۱۲۰۰ ولت به سمت

www.SID.ir

Archive of SID

میدان مغناطیسی که معمولا قطاع مغناطیسی با زاویه ۱۸۰ درجه و شدت یک کیلوگوس است، شتاب داده می شوند. یون ها در این میدان مغنایسی بر اساس نسبت جرم به بارشان تفکیک می شوند زیرا شعاع انحراف یونها بسته به نسبت جرم به بارشان در یک میدان مغناطیسی متفاوت است. یون ها با جرم بزرگتر شعاع انحراف بیشتری دارند جریان یونی جمع آوری و پس از تقویت توسط تقویت کننده فزاینده الکترون به سیگنال الکتریکی و نهایتا تبدیل به فشارکلی می شود. مبنای آشکار سازی گاز هلیوم بر اساس همین تفاوت نسبت جرم به بار است. برای نشت های بسیار کم جریان بسیار کوچک در حدود 10^{-15} A است که معادل حساسیتی برابر 10^{-12}mbar.L/sec می باشد. باید توجه نمود که طول مسیر حرکت یون ها در طیف سنج جرمی از چشمه یونی تا کلکتور تقریبا 15cm است از آنجائیکه یون ها بایستی این مسیر را بدون برخورد با مولکولهای گاز طی کنند متوسط طول پویش آزاد حداقل باید 60cm باشد(در محدوده خلأ بالا) لذا طیف سنج جرمی خود در شرایط خلأ کار می کند

۲. روش های استفاده از نشت یاب هلیومی

برای استفاده از این نشت یاب ها دو روش وجود دارد که به اندازه ی دستگاه و میزان نشت بستگی دارد.

۱. روش افشانه با فشار منفی

در این روش، پس از تخلیه سیستم تا حد ممکن، قسمت مشکوک به نشت و متصل به نشت یاب را با یک جریان ضعیف گاز هلیوم در نقاط جوشکاری شده و اتصالات تست می کنند. حجم گاز اسپری شده باید برای نسبت نشتی که آشکار می شود و نیز قسمت مورد آزمایش تنظیم شده باشد. اگر چه هلیوم از هوا سبک تر است و باید بعد از اسپری شدن در زیر سقف جمع گردد ولی به سرعت در تمام فضای اتاق پخش می شود. در یک سیستم بزرگ مخصوصا توصیه می شود محل اسپری هلیوم از بالاترین قسمت شروع شود. برای دقت بیشتر لازم است از یک شیر یک طرفه برای تنظیم زمان هلیوم افشانی استفاده شود و برای حصول نتیجه مطلوب، بهتر است این شیر قبل یا بعد از لوله ی افشانه نصب شود. در یک سیستم با نشت های بزرگ، امکان تشخیص نشت، توسط ورود هوای زیاد به محفظه با نسبت کم هلیوم وجود دارد. در این روش برای یافتن و تعیین محل نشت از افشاندن موضعی هلیوم و برای تعیین نشت کلی، محفظه یا قسمت مشکوک کاملا در کیسه یا بگی از هلیوم قرار می گیرد.

۲. روش مکشی با فشار مثبت

برای سیستم های تحت فشار روش مکشی استفاده می شود. در این حالت قسمت مشکوک به نشت را پس از جدا کردن از سیستم با یک گاز ردیاب مثل هلیوم تا فشار کمی بالاتر از اتمسفر پر می کنند. بعد با سر آشکار ساز مکشی (اسنیفر) محل گازهای خارج شده را ردیابی کرده، محل نشت را مشخص می نمایند. در این سنجش اندازه گیری بعضی پارامترها که ممکن است از نوع گاز ردیاب مستقل باشد، مشکل می شود. حد تشخیص روش مکشی به دلیل وجود طبیعی هلیوم در جو برابر 10^{-7}mbar.L/sec می باشد. این روش نشت یابی برای دستگاه های سرد ساز مناسب است. روش مکشی می تواند همچنین در سیستم های فشار منفی با نشت های بزرگ مورد استفاده قرار گیرد هنگامی که استفاده از هر روش افشانه به دلیل عدم امکان رسیدن خلأ به حد مطلوب است. در این حالت اسنیفر می تواند برای آشکار سازی وجود هلیوم در خروجی پمپ پشتیبان قرار گیرد.

نتیجه گیری

سیستم های ابزار دقیقی که حفظ خلأ در آنها از اهمیت بالایی برخوردار است، بایستی تا حد امکان میزان نشت بسیار کمی داشته باشند. در عمل ساختن سیستمی که از نظر نشت کاملا بسته باشد غیر ممکن است اما می بایستی مقدار نشت در حدی باشد که منجر به تغییر فشار نهایی مطلوب نشود. بنابراین تعیین حد مجاز و قابل قبول نشت، برای هر سیستم خلأ ضروری است.

مرجع ها

[1]-***فن آوری خلاء*؛ دکتر محمد خراسانی، مهندس امیرمهیار خراسانی؛بهمن۱۳۸۸.**

[2].LEAK DETECTION ; K. Zapfe, Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Hamburg, Germany, Preprint from CERN Accelerator School on Vacuum in Accelerators, Platja D'Aro, Spain, 2006.

[3].HANDBOOK OF VACUUM SCIENCE AND TECHNOLOGY, Dorothy M. Hoffman , 1998 by Academic Press.

www.SID.ir