http://mechanic.persiandata.com
وبلاگ مکانیک در هزاره سوم

◄ تهیه کننده : امیرحکیمی
(دانشجوی مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد)

این مقاله در دومین شماره نشریه تخصصی مکانیزم به چاپ رسیده است و هر گونه برداشتی از آن با ذکر ماخذ بلامانع است.

کاویتاسیون در پمپ ها و روشهای مقابله با آن

آب یا هر مایع دیگر،در هر درجه حرارتی ، به ازایء یک فشار معین تبخیر می‌شود. به عنوان مثال، آب در فشار اتمسفر در کنار دریا،در ۱۰۰ درجه سانتیگراد و در فشار ۰/۲ اتمسفر، در ۲۰ درجه سانتیگراد تبخیر می‌گردد.

هرگاه در حین جریان مایع در داخل چرخ یک پمپ، فشار در لقطه‌ای از فشار تبخیر مایع در درجه حرارت مربوطه کمتر شود، حبابهای بخاری بوجود می‌اید که به همراه مایع به نقطه‌ای دیگر با فشار بالاتر حرکت می‌نمایند. اگر در محل جدید، فشار مایع به اندازه کافی زیاد باشد، حبابهای بخار در این محل تقطیر شده و در نتیجه ذراتی از مایع از مسیر اصلی خود منحرف شده و با سرعتهای فوق‌العاده زیاد به اطراف و از جمله پره‌ها برخورد می‌نمایند.

در چنین مکانی،بسته به شدت برخورد، سطح پره‌ها خورده شده و متخلخل می‌گردد، «این پدیده را کاویتاسیون می‌نامند». پدیده کاویتاسیون برای پمپ بسیار خطرناک بوده و ممکن است پس از زمانی کوتاه چرخ آن از بین برود. لذا باید از وجود چنین پدیده‌ای در پمپ جلوگیری گردد.

حبابهای بخارزمانی بوجود می آیند که فشاراستاتیکی درمایع بقدری کاهش یابد(بعلت تغییرشرایط ورودی) که بدون اعمال حرارت خارجی به فشار بخار درآن مکان خاص برسد .اگر فشار استاتیکی دوباره بیشتر از فشار بخار شود حبابهای بخار ناگهان متلاشی میگردندوحالت انفجار انقباضی رخ میدهد؛ اگر این انفجار نه در داخل مایع جاری بلکه در دیواره هدایت کننده جریان رخ دهد؛منجر به سایش آن می گردد وبا افزایش سرو صدا؛ افت راندمان و کاهش هد پمپ همراه خواهد بود .

تحقیقات اخیر مشخص کرده اند که در ابتدای انفجا ر ؛حبابهای بخار متلاشی شده وسپس یک میکرو جت آب تشکیل میشود؛ تصاویر تهیه شده با سرعت آرام از این پدیده نشان میدهند در حالتی که حبابها در مجاورت دیواره باشند ؛ این میکرو جت آب بسرعت با دیواره برخورد خواهد کرد ونتیجه این پدیده یعنی شکافهای ریز ساختاری؛ روزنه های بسیار ریز ؛ شکافهای وشیارهای سطح دیواره ؛علت مکانیکی تخریب مواد توسط کاویتاسیون شناخته شده اند. این نوع تخریب ماده توسط مجموعه ای از واکنشهای شیمیائی که با سرعت زیاد در حین اعمال این تنش مکانیکی رخ میدهند ؛ تشدید میگردد.

کاویتاسیون به معنای شکل‌گیری حبابها در سیال پمپ شده می‌باشد. اگر این حبابها در مکش پمپ تشکیل شوند، تمام موارد زیر همزمان رخ می‌دهند:

- تلفات دبی ؛
- تلفات هد ؛
- افت بازده ؛
- تولید صدا، ارتعاش و آسیب به بسیاری از قسمت‌های پمپ به دلیل فرو ریختن حفره‌ها یا حبابها هنگام عبور از نواحی پرفشارتر.

حفره‌ها به ۵ دلیل اصلی شکل می‌گیرند و غالباً تمام آنها را در طبقه‌بندی عمومی کاویتاسیون منظور می‌کنند که کار اشتباهی است؛ چرا که خواهیم دید برای تصحیح هر یک از آنها باید علت وقوع و نحوه تثبیت شان را به طور مجزا بررسی کرد.

در پمپ‌های سانتریفوژ، به هنگام ورود مایع به داخل چرخ، به علت افزایش سرعت، فشار بطور موضعی پائین می‌آید و در نقطه‌ای نزدیک به دهانه ورودی چرخ، به حداقل خود می‌رسد. اگر در این نقطه (نقطه فشار مینیمم)، فشار مایع از فشار تبخیر مایع عبوری از پمپ بیشتر باشد، مایع در طول حرکت خود در داخل چرخ همواره در یک فاز باقی مانده و پدیده کاویتاسیون بوجود نخواهد آمد.

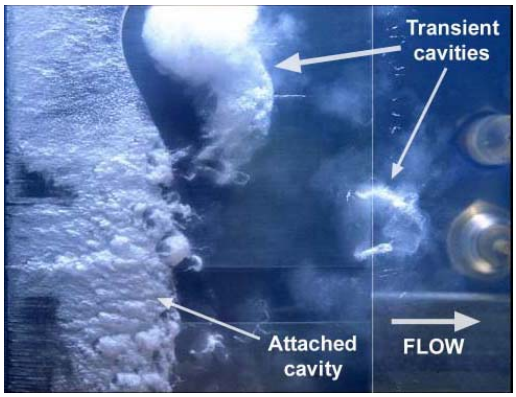
کاویتاسیون، همواره با صداهای منقطع شروع می‌شود و سپس در صورت ادامه کاهش فشار در دهانه ورودی پمپ، به شدت این صداها افزوده می‌گردد. صدای کاویتاسیون مخصوص و مشخص بوده و شبیه به برخورد گلوله‌هائی به یک سطح فلزی است . همزمان با تولید این صدا پمپ نیز به ارتعاش در می‌اید. در انتها این صداهای منقطع تبدیل به صدائی شدید و دائم می‌گردد و در همین حال نیز دبی ماشین به شدت کاهش می‌یابد و یا قطع می‌شود. به هنگام بروز پدیده کاویتاسیون ، راندمان پمپ نیز کاهش می‌یابد.

http://mechanic.persiandata.com
وبلاگ مکانیک در هزاره سوم

خوردگیهای شدید فلز توسط کاویتاسیون، در محل بوجود آمدن حبابهای بخار نیست، بلکه هنگامی که این حبابها همراه با جریان بـه نزدیـک محـل خروج از چرخ برسند، در اثر افزایش فشار به یکباره و به شدت تقطیر می‌شوند. تقطیر ناگهانی حبابهای بخار موجب کوچـک شـدن ناگهـانی فـضای اشغالی توسط بخار می‌گردد. در این حالت ذراتی از مایع که در همسایگی این ابر بخار قرار گرفته‌اند، مجبور به پرکردن این فضای خالی خواهند شـد. این ذرات ، در اثر اختلاف فشار زیاد، سرعتهای فوق‌العاده بالا (تا چندین ده متر بر ثانیه) پیدا می‌کنند. برخورد ذراتی با چنین سرعت و فرکـانس بـالا (بین ۲۰۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰۰ هرتز) ، بطور مداوم به سطح چرخ، سبب کندگی فلز و از بین رفتن آن می‌گردد. در این محل است که خوردگیهای شدید به چشم می‌خورد.

در پمپ‌هائی که در آنها سرعت دورانی یا دبی تولید Q یا درجه حرارت بالا باشد (مانند پمپ‌های تغذیه دیگ بخار)، پدیده کاویتاسیون حتی در یـک زمان کوتاه می‌تواند ضایعات شدیدی را موجب شود.

فلزات مختلف در مقابل کاویتاسیون مقاومتهای گوناگونی از خود نشان می‌دهند و بطور کلی تا به امروز هیچگونه فلـزی یافـت نـشده کـه بتوانـد در مقابل کاویتاسیون بطور کامل مقاومت کند. باید توجه داشت که خوردگی مکانیکی بر اثر کاویتاسیون یا خوردگی بـر اثـر واکـنش‌هـای شـیمیائی یـا الکتروشیمیائی متفاوت می‌باشد. مقاومت فلزات در مقابل کاویتاسیون بستگی به پارامترهای مختلفی از لحاظ نحوه ساخت و تولیـد فلـز، سـطح فلـز، آلیاژهای بکار رفته، یکنواخت بودن فلز در موقع ریخته‌گری یا عملیات حرارتی و سرانجام درجه مقاومت فلز در مقابل خستگی دارد.



پنج دلیل اصلی بروز کاویتاسیون عبارتند از :

۱) تبخیر
۲) بلعیدن هوا
۳) بازچرخش داخلی
۴) اغتشاش جریان
۵) بدی مسیر پره

۱ ـ تبخیر

هنگامی که فشار سیال بسیار کاهش یابد یا دمای آن زیاد بالا رود، پدیده تبخیر اتفاق می‌افتد. تمام پمپهای سانتریفوژ برای ممانعت از این تبخیر بـه هدی در خط‌مکش نیاز دارند که توسط سازنده پمپ تعیین می‌گردد و با فرض این که سیال پمپ شـده، آب خنـک و تـازه در دمـای $20^{\circ}C$ اسـت، محاسبه می‌شود.

از آنجا که خطوط لوله بین منبع تا مکش پمپ باعث ایجاد تلفات می‌شوند، باید بعد از محاسبه این تلفات، هد را تعیین کـرد. روش دیگـر بیـان ایـن مطلب این است که یک هد مثبت خالص مکش لازم (NPSHR) است تا از تبخیر سیال ممانعت کند.

با تفریق هد مثبت خالص مکش موجود (NPSHA)و فشار بخار سیال پمپ شده، عددی به دست می‌آید که باید برابـر یـا بزرگتـر از هـد مثبـت خالص مکش لازم باشد. برای حل مشکل تبخیر باید هد مکش را افزایش، دمای سیال را تنزل و یا NPSH لازم را کاهش داد که در ایـن قـسمت هر یک بررسی می‌شوند:

الف) افزایش هد مکش :

- سیال داخل مخزن را افزایش دهید.
- سطح مخزن را بالا ببرید.
- پمپها را در گودال (سطحی پایین‌تر از مخزن) بگذارید.
- تلفات لوله را کاهش دهید. این تلفات به دلایل مختلفی اتفاق می‌افتند از جمله :
  - طراحی سیستم غلط است . اتصالات بسیار زیاد و یا قطر لوله بسیار کوچک است .
  - خط لوله ترکیده است .
  - مواد جامد بر روی جداره‌های لوله تشکیل شده است.
  - لوله مکش توسط یک ماشین سنگین زیر گرفته شده و ترکیده است .
  - صافی توری لوله مسدود شده است .
  - هواگیرها ممکن است در هوای سرد یخ بزنند؛ مطمئن شوید که هواگیر مخزن باز است و مسدود نیست.

- چیزی داخل لوله گیر کرده که ممکن است همانجا به وجود آمده و یا طی آخرین باز کردن سیستم از آن خارج و تمیز نشده باشد. مثلاً احتمال دارد شیر یکطرفه بشکند و نشیمنگاه آن در داخل لوله گیر کند.
- جداره لوله یا اتصال خورده شده است .
- پمپی بزرگتر نصب شده و سیستم موجود به خاطر دبی افزایش یافته، تلفات بسیار زیادی دارد.
- به جای شیر کشویی از شیر سوپاپی استفاده شده است.
- پوششهای گرمایی یخزده و لوله ترکیده است.
- واشری داخل لوله گیر کرده است .
- سرعت پمپ افزایش یافته است .

- یک پمپ کمکی نصب کنید.
- مخزن را پرفشار کنید.

ب) پایین آوردن دمای سیال :

- تزریق مقدار کمی از سیال خنک‌کاری به مکش پمپ ، اغلب قابل اجرا است .
- لوله کشی را از تابش آفتاب ایزوله کنید.
- نسبت به خطوط باز چرخش رانش دقت کنید، چرا که می‌توانند باعث گرم شدن سیال مکش شوند.

ج) کاهش NPSH لازم :

- از پمپ دو مکشه استفاده کنید . این کار می‌تواند NPSHR را تا ۲۷٪ کاهش داده و یا در بعضی موارد به شما اجازه دهد که سرعت پمپ را تا ۴۱٪ افزایش دهید.
- از پمپی با سرعت پایین‌تر استفاده کنید.
- از پمپی با دهانه بزرگتر چشم پروانه استفاده کنید.
- در صورت امکان ایندیوسر نصب کنید؛ چرا که می‌تواند NPSHR را تا حد ۵۰٪ کاهش دهد.
- از چند پمپ کوچک‌تر استفاده کنید. سه پمپ با نصف دبی ارزانتر از پمپی بزرگتر به علاوه یدکی آن خواهند بود؛ ضمن این که انرژی کمتری هم مصرف می‌کنند.

یک قانون کلی سرانگشتی این است که آب داغ و هیدروکربنهای عاری از گاز می‌توانند از ۵۰٪ NPSH لازم برای آب سرد نرمال یا (۳m) ۱۰ft، هر کدام که کوچکتر است، استفاده کنند.

۲ ـ بلعیدن هوا

پمپ سانتریفوژ می‌تواند ۰/۵٪ حجمی هوا را پمپاژ کند و در ۶٪ هوا، نتایج می‌توانند خطرناک باشند. هوا از راههای مختلف وارد سیستم می‌شود که عبارتند از :

- کاسه نمد
- شیرهای روی خط لوله آب
- نشتی فلنجها
- گردابه سیال
- نصب خط فرعی بای‌پس بسیار نزدیک به مکش

هر دو مورد تبخیر و بلعیدن هوا روی پمپ تأثیر یکسانی می‌گذارند. حبابها هنگامی که از چشم پروانه به سمت قسمتهای پرفشار روانه می‌روند، متلاشی می‌شوند. بلعیدن هوا به ندرت باعث آسیب به پروانه یا پوسته می‌شود. اثر اصلی بلعیدن هوا تلفات دبی می‌باشد.

اگر چه بلعیدن هوا و تبخیر هر دو اتفاق می‌افتند، اما راه‌حلهای جداگانه‌ای دارند . بلعیدن هوا به شدت تبخیر نبوده و به ندرت باعث آسیب رساندن می‌شود، اما دبی پمپ را کاهش می‌دهد.

http://mechanic.persiandata.com
وبلاگ مکانیک در هزاره سوم

۳ ـ باز چرخش داخلی

این وضعیت بر روی لبه ورودی پروانه قابل مشاهده است و معمولاً در نوک رانش که به سمت مکش بر می‌گردد، ایجاد می‌شود. باز چرخش داخلی ممکن است در چشم مکش پمپ نیز پدیدار شود.

چنانچه از اسمش پیداست، سیال بازچرخش می‌کند و سرعتش افزایش می‌یاد تا تبخیر شود و سپس در محیط فشار بالا فرو می‌ریزد. این موضوع همیشه در پمپهای با NPSH پایین ایجاد مشکل می‌کند. برای جلوگیری از این مشکل، واژه «سرعت مخصوص مکش» تعریف می‌شود تا شما را در تعیین این که چگونه پمپ نزدیک بهترین نقطه بازدهی (BEP) کار کند، راهنمایی نماید.

محدوده عددی سرعت مخصوص مکش بین ۳۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ است. سرعت مخصوص مکش پمپهای آب باید بین ۳۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ باشد. رابطه سرعت مخصوص مکش پمپ به صورت زیر است:

$$\frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} N_s = N$$

N_s : سرعت مخصوص مکش

N : سرعت پمپ

Q : دبی پمپ بر حسب گالن بر دقیقه یا لیتر بر ثانیه برای بزرگترین قطر پروانه در نقطه BEP

H : ارتفاع مثبت خالص مکش لازم در N

- در پمپهای دو مکشه، چون چشم پروانه دوتاست، دبی تقسیم بر ۲ می‌شود.
- سعی کنید پمپهای با سرعت مخصوص مکش کمتر از ۸۵۰۰ (۵۲۰۰ متریک) خریداری نمایید و از مقادیر بالای ۱۲۰۰۰ (۸۰۰۰ متریک) به استثنای شرایط خاص صرف نظر کنید.
- مخلوط هیدروکربنها و آب داغ در ۹۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ (۵۵۰۰ تا ۷۳۰۰ متریک) یا بالاتر، احتمالاً می‌توانند کارکرد رضایت بخشی داشته باشند.
- سرعت مخصوص بالا نشان می‌دهد که چشم پروانه بزرگتر از حد طبیعی است و بازده ممکن است برای فراهم آوردن NPSHR پایین به خطر افتد.
- مقادیر بالاتر سرعت مخصوص ممکن است به طراحی خاصی نیاز داشته باشد و همراه با مقداری کاویتاسیون کار کند.
- عموماً پمپی که ۵۰٪ زیر نقطه بهترین بازده (BEP) کار می‌کند، کمتر قابل اطمینان است.

در پمپهای با پروانه باز، معمولاً می‌توان با تنظیم لقی پروانه طبق مشخصات سازنده مشکلات را تصحیح کرد. پمپهای با پروانه بسته مشکلات بیشتری دارند و به نظر می‌رسد که بهترین راه حل کاربردی این باشد که با سازنده تماس گرفته و درخواست شود تا در مورد طراحی پروانه و تغییرات ممکن در طراحی آن یا لقی‌های رینگ سایشی بررسی کند.

٤ ـ اغتشاش

بهتر است سیال داخل لوله دارای سرعتی ثابت باشد. خوردگی یا انسداد می‌تواند سرعت سیال را تغییر دهد و با تغییر سرعت سیال فشار نیز تغییر می‌کند. طراحی خوب لوله‌کشی شامل مورد زیر است:

- فاصله بین مکش پمپ و اولین زانویی، ۱۰ برابر قطر لوله باشد.
- در چیدن چندتایی پمپها، ترجیح داده می‌شود که برای هر پمپ محدوده مجزایی وجود داشته باشد تا مکش یک پمپ با دیگری تلاقی نکند و اگر عملی نباشد، تعداد از پمپها را می‌توان در یک مخزن بزرگ تکی به گونه‌ای نصب نمود که :
- پمپها در امتداد خطی عمودی بر ورودی جریان قرار گیرند.
- فاصله بین محور پمپها باید دست کم دو برابر قطر مکش باشد.
- دبی هر پمپ باید کمتر از ۱۵۰۰۰ gpm باشد.
- فاصله بین لقی دیواره پشت پروانه تا محور پمپ باید حداقل ۰/۷۵ قطر مکش باشد.
- حداقل غوطه‌وری باید مطابق با جداول ۱ و ۲ باشد.

http://mechanic.persiandata.com
وبلاگ مکانیک در هزاره سوم

جدول ۲

دبی بر حسب m^3/hr	حداقل غوطه‌وری بر حسب meter
۴۵۰۰	۱/۲
۲۲۵۰۰	۲/۵
۴۰۰۰۰	۳/۰
۴۵۰۰۰	۳/۴
۵۵۰۰۰	۳/۷

جدول ۱

دبی بر حسب gpm	حداقل غوطه‌وری بر حسب feet
۲۰۰۰۰	۴
۱۰۰۰۰۰	۸
۱۸۰۰۰۰	۱۰
۲۰۰۰۰۰	۱۱
۲۵۰۰۰۰	۱۲

۵ ـ بدی مسیر پره

توجه داشته باشید که آسیب وارده به لبه پروانه، از نزدیکی زیاد آن به دماغه پمپ (حلزونی) ناشی می‌شود. در صورتی که لقی (فاصله بین لبه پروانه و دماغه حلزونی) بسیار کوچک باشد، سرعت افزایش و فشار کاهش می‌یابد و در نتیجه تبخیر موضعی به وجود می‌آید. حبابها بلافاصله بعد از دماغه متلاشی می‌شوند و در آن حوالی آسیبهای وارده به حلزونی مشاهده خواهند شد. برای دیدن آسیبها، به نور چراغ قوه و آینه نیاز است، مگر این که به بیرون از حلزونی نیز رخنه کرده باشند.

آسیبها به مرکز پروانه محدود می‌شوند و بر روی لفافها گسترش نمی‌یابند. اگر شما حداقل گشادی بین لبه پروانه و دماغه را ۴٪ قطر پروانه برای پروانه‌های با اندازه کوچک (کمتر از ۱۴ یا ۳۵۵ mm) و ۶٪ در پروانه‌های با اندازه بزرگتر (بزرگتر از ۱۴ یا ۳۵۵mm) در نظر بگیرید، می‌توانید این مشکل را رفع کنید.

منابع :

۱ ـ پمپ و پمپاژ ـ تألیف دکتر سید احمد نوربخش ـ انتشارات دانشگاه تهران

۲ ـ ماهنامه صنعت تاسیسات ـشماره ۵۹ ـ آذرماه ۱۳۸۳

۳ ـ اینترنت