

اندازه گیری تجربی کاویتاسیون در پمپها

• اندازه ، سرعت ، قیمت و کاویتاسیون در یک پمپ

در نقطه کار مشخص شده توسط ارتفاع (H) و آبدهی (Q) ، قدرت پمپ با محدودیت های کمی ثابت مانده و تنها متغیر قابل دسترسی ، راندمان آن می باشد .

اگر سرعت چرخشی N و قطر پروانه D (نشان دهنده اندازه آن) باشد آنگاه داریم :

بنا بر این ماشینهای تند (سرعت چرخش بالا) دارای اندازه کوچک و در نتیجه قیمت کمتری می باشند . اما در سرعتهای بالا خطر افزایش کاویتاسیون و جود دارد .

برای نشان دادن این مطلب ضریب کاویتاسیون را به شکل زیر تعریف می کنیم.

فشار مایع : P سرعت نسبی مایع : W

فشار بخار مایع : Pv چگالی مایع : ρ

صورت این عبارت فشار موجود برای جلوگیری از کاویتاسیون و مخرج آن ارتفاع سرعت است که به طور مستقیم نشان دهنده احتمال کاویتاسیون می باشد ، بنابر این نسبت مقدار جلوگیری کننده از کاویتاسیون به مقدار تولید کننده کاویتاسیون می باشد و بالعکس.

تعریف ضریب کاویتاسیون بالا می تواند با در نظر گرفتن سرعت محیطی (u) و سرعت نسبی (W) به صورت زیر اصلاح شود .

بنابر این یک ماشین تند کوچکتر و ارزاتر بوده ، اما دارای ریسک بالایی در کاویتاسیون می باشد و بنابر این به دلایل اقتصادی مقداری از کاویتاسیون در پمپ ها مطلوب می باشد . از نقطه نظر صنعت یک سازنده پمپ کاویتاسیونی پمپهایش را برای خریدار معین میکند . برای یک سری شرایط خاص مکش و نقطه کار ، پمپ برای کار رضایت بخش تضمین می شود و این تضمین به

صورت گرافیکی به یک سری منحنی های مشخصه داده می شود این منحنی ها دارای پایه تجربی در نتیجه آزمایشاتی که به عمل می آیند هستند.

• روشهای مطالعه تاثیرات کاویتاسیون در پمپ ها

تاثیرات سوء کاویتاسیون قبلا" بیان شد . کلا" سه روش برای مطالعه کاویتاسیون وجود دارد که در دو تای آنها از مشاهده غیر مستقیم و در یک روش ، از مشاهده مستقیم استفاده می شود .

۱. روش مشاهده غیر مستقیم با اندازه گیری اثر کاویتاسیون روی عملکرد یک پمپ به شکل افت بار یا افت راندمان .

۲. روش مشاهده غیر مستقیم با اندازه گیری تولید شده از کاویتاسیون از پمپ .

۳. روش مشاهده غیر مستقیم با استفاده از عکسبرداری مرئی

غیر از شرایط خاصی که قسمتهای شفاف روی قطعات نصب می شوند و عکسبرداری مورد استفاده قرار می گیرد مشاهده مستقیم عملا" خیلی مشکل است . بنابراین توجه بیشتر در اینجا روی روش های غیر مستقیم با مثالهای مخصوص می باشد .

ارتباط کاویتاسیون و سرعت ویژه پمپ

سرعت ویژه - تعاریف متعددی در مورد سرعت ویژه بیان شده است که هدف همه آنها تعیین معیاری برای مقایسه عملکرد پمپ های مختلف می باشد . در مورد پمپ های که دارای تشابه هندسی و درشرایط عملکرد یکسانی عمل می کنند می توان در معادلات مربوط به ظرایب آبدهی و ارتفاع عامل قطر پروانه را با تقسیم مجذور معادله (۱) بر توان سه چهارم معادله (۲) حذف کرد :

دراین عبارت n_s سرعت ویژه است که در اروپا عدد نوع (type number) نیز گفته می شود . دور در دقیقه (رادیان بر ثانیه استفاده نمی شود) ، Q آبدهی (معمولاً بر حسب متر مکعب و گاهی بر حسب لیتر بر ثانیه یا متر بر ساعت

است) و H_t ارتفاع دینامیک کل بر متر است . این معادله علی رغم آنکه از نظر ابعادی صحیح نمی باشد در سیستم آحاد امریکایی نیز به همین صورت بکار می رود . n_s سرعت ویژه ، Π دور بر دقیقه ، Q آبدهی بر حسب گالن در دقیقه و H_t ارتفاع دینامیک کل بر حسب فوت منظور می شود . ظرایب تبدیل

سرعت ویژه بر حسب واحدهای مختلف در جدول ۱ ارائه شده است.

برای هر پمپ در سرعت دوران معین ، سرعت ویژه بر اساس آبدهی و ارتفاع در نقطه بهترین بازده (bep) در نظر گرفته می شود . هنگام استفاده از معادله (۳) در مورد پمپ های دو مکشه نصف آبدهی منظور می شود ، مگر اینکه روش دیگری توصیه شده باشد . در پمپ های چند طبقه ارتفاع هریک از طبقات در نظر گرفته می شود . تغییرات قابل قبول در بازده ماکزیمم ، براساس تغییر در اندازه ، ظرفیت و سرعت ویژه در مورد پمپ های گریز از مرکز یک طبقه و یک مکشه در شکل ۱ نشان داده شده است.

نحوه تغییر در شکل پروانه ، متناسب با افزایش سرعت ویژه نیز در این شکل مشخص شده است . با افزایش اندازه پمپ ، بازده افزایش می یابد زیرا تلفات اصطکاکی در پاساژهای پمپ کاهش یافته و تلفات حجمی نیز کم می شود . بالاترین بازده در پمپ یک طبقه یک مکشه با محفظه حلزونی حاصل می شود .

کاویتاسیون و بار مکش مثبت خالص

کاویتاسیون یکی از پیچیده ترین مسائل در عملکرد پمپ ها بشمار می آید و باعث صدمه دیده پمپ و افت مشخصه های آن می گردد .

کاویتاسیون و اثرات آن

کاویتاسیون یک خطر بالقوه است، بخصوص هنگامی که پمپ در دورهای بالا و یا در ظرفیت خیلی بیشتر و یا بسیار کمتر از نقطه بهترین بازده (bep) کار کند.

کاویتاسیون باعث کاهش آبدهی و بازده شده و ممکن است گاهی سبب تخریب سریع پمپ شود. کاویتاسیون در پمپ زمانی اتفاق می افتد که فشار مطلق در مکش پمپ تا کمتر از فشار بخار سیال مورد پمپاژ کاهش یابد. آنگاه تشکیل حبابهای بخار در ورودی پروانه شروع می شود. همچنانکه حبابها در پروانه پیش می روند به ناحیه ای که فشار بیشتر است وارد شده و با شدت می ترکند. اگر ترکیدن حباب روی سطح جسم جامد روی دهد، جریان سیالی که برای پرکن خلاء حاصل از ترکیدن حباب، با فشار و سرعت زیاد به حرکت درآمده است؛ به یک ناحیه بسیار کوچک ضربه می زند. تمرکز فشار باعث خوردگی و فرسایش سطح می گردد. همچنین در جایی که سرعت موضعی جریان زیاد است امکام وقوع کاویتاسیون وجود دارد، این حالت در پروانه هایی با پره های باریک و شیرهای نزدیک به بسته شدن پیش می آید.

پروانه شکل ۳-الف به دلیل کم بودن NPSH خورده شده است. تخریب شیپور مکش در شکل ۳-ب تاثیر جریانهای گردابی است که به علا کارکرد پمپ در ۳۵٪ آبدهی نقطه بهترین بازده روی داده است. به نظر می رسد که خوردگی و فرسایش تحت تاثیر عوامل شیمیایی شدت یافته است و یا افزایش ناگهانی فشار باعث بالا رفتن درجه حرارت در آن ناحیه شده و سرعت خوردگی را افزایش داده است.

کاویتاسیون علاوه بر خوردگی و فرسایش باعث ارتعاش و سر و صدا (نوفه) می گردد. نوفه در اثر ترکیدن حبابها هنگام وارد شدن در ناحیه پرفشار ایجاد می شود و ارتعاش ناشی از عدم تعادل و امواج ایجاد شده در هنگام وقوع کاویتاسیون است.

تأثیر کاویتاسیون در عملکرد پمپ اگر پمپی که سرعت ویژه آن کمتر از ۳۰ [۱۵۰۰] است کاویتاسیون رخ دهد چنانکه از شکل ۴ مشخص است افت شدید و ناگهانی در آبدهی، ارتفاع، بازده و توان اتفاق می افتد. لازم به ذکر است که تشکیل حباب در آبدهی کمتری نسبت به آبدهی که در ماوینتاسیون کامل رخ می دهد، اتفاق می افتد.

در پمپ هایی با سرعت ویژه بین ۳۰ [۱۵۰۰] تا ۸۰ [۴۰۰۰] منحنی مشخصه پمپ تا نقطه قطع کامل جریان سیال بتدریج افت می کند.

در پمپ هایی با سرعت ویژه بزرگتر از ۸۰ [۴۰۰۰] نقطه افت قطعی مشخص نیست.

بار مکش مثبت خالص (NPSH)

برای تعیین وضعیت وقوع کاویتاسیون، بار مکش مثبت خالص موجود در چشم پروانه محاسبه شده و با بار مثبت خالص لازم ($NPSH_R$) که توسط سازنده پمپ مشخص شده است مقایسه می شود تا امکان ایجاد

کاویتاسیون به حداقل برسد. بار دینامیک مطلق در چشم پروانه ($NPSH_A$) با محاسبه عوامل زیر تعیین می شود تاثیر فشار بارومتریک، ارتفاع مکش، افت ارتفاع در نتیجه توبولانس و اصطکاک در لوله مکش و فشار بخار آب در دمای موجود. آب همیشه حاوی مقداری هوای نامحلول است اما غلظت آن بندرت قابل تخمین است لذا تاثیر اندکی دارد و بطور معمول از اثر آن صرف نظر می شود. با توجه به شکل ۵ و ۶، $NPSH_A$ توسط معادله ۴ تعیین می شود

$$NPSH_A = H_{bar} + h_s - h_{ent} - h_{fs} - \sum h_m \quad (4)$$

که در آن H_{bar} فشار بارومتریک، h_s ارتفاع مکش استاتیک در چشم پروانه (اگر سطح آب پایین تر از پمپ میباشد علامت آن منفی در نظر گرفته می شود)، h_{ext} افت در ورودی، h_{fs} افت اصطکاکی در لوله مکش، $\sum h_m$ مجموع افت های موضعی در اتصالات و شیرها، تمام موارد بر حسب متر ستون آب است. ارتفاع ناشی از سرعت در چشم پروانه در معادله ۴ منظور نشده است زیرا قسمتی از ارتفاع دینامیک مطلق است که به طور معمول در محاسبه $NPSH_R$ در نظر گرفته می شود.

یادآور می شود که:

- فشار بارومتریک باید بر اساس ارتفاع از سطح دریا شود.

- توفان ممکن است کباعث کاهش فشار بارومتریک تا حدود ۱/۷٪ شود.

-دمای آب به شدت بر فشار بخار تاثیر می گذارد.

به علت عدم دقت در محاسبات $NPSH_A$ معمول است که حداقل 0.6 متر [۲]

فوت] یا 20% $NPSH_A$ به عنوان ضریب اطمینان در نظر گرفته یوشد.

بار مکش مثبت خالص لازم ($NPSH_R$) برای پمپ

$NPSH_R$ از طریق آزمایش روی پمپ هایی که از نظر هندسی مشابه بوده و در

سرعت دوران و آبدهی ثابت ولی با ارتفاع مکش متغییر کار یم کنند تعیین می

شود. فرض می شود هرگاه به نحوی در مکش پمپ اختناق ایجاد شود. گسترش

کاویتاسیون با 3% افت در ارتفاع مشخص می شود. این موضوع در شکل ۷

نشان داده شده است. می دانیم که شروع کاویتاسیون پیش از افت 3% ارتفاع،

اتفاق می افتد. کاویتاسیون اساساً می تواند پیش از هرگونه افت در ارتفاع قابل

تشخیص باشد، گسترش یابد. در واقع فرسایش در 1% کاهش ارتفاع (با تعداد

اندکی حباب) با سرعت بیشتری نسبت به 3% کاهش ارتفاع 0 با تعداد زیادی

حباب) انجام می گیرد. در حقیقت در یک پمپ در حال کاویتاسیون با ورود هوا

به لوله مکش و ایجاد حبابهای فراوان از فرسایش جلوگیری می شود.

با این حال 3% تغییر در ارتفاع روش استاندارد است که توسط اغلب

سازندگان پمپ برای تعیین $NPSH_R$ بکار می رود. لذا ممکن است در نتیجه

پذیرش کورکورانه داده های کاتالوگ، فرسایش شدید در پمپ رخ دهد. در

شرایط بحرانی و در مواردی که کار مداوم پمپ اهمیت دارد باید از سازنده درخواست شود که نتایج آزمایش $NPSH_R$ را ارائه نماید. معمولاً برای هر پمپ $NPSH_R$ به صورت یک منحنی پیوسته رسم می شود (شکل ۸). از آنجا که کیفیت تولید و صافی سطوح پروانه تاثیر قابل توجهی بر $NPSH_R$ دارد منحنی های متعددی رسم می شود.

پیشگیری و کنترل کایتاسیون

ساده ترین، سراسر ترین و بهترین راه برای محدود کردن کایتاسیون آنست که مطمئن شویم فشار داخل پمپ همواره بالاتر از فشار بخاب آب است. در مواردی که به هر حال کایتاسیون وجود دارد راه حل های ممکن در نظر گرفته می شود که

- کاهش ارتفاع مکش

- کاهش افت در مکش

- پایین آوردن دمای سیال

- عوض کردن پمپ یا پروانه

- اضافه کردن بوستر پمپ یا پیش رانه (Inducer)

پیش رانه پروانه ای است جریان محوری به صورت ملخی یا مارپیج که در جلو چشم پروانه نصب می شود و باعث افزایش اندک فشار در چشم پروانه می

شود در نتیجه احتمال کاویتاسیون در پروانه پرارزش کاهش می یابد. پیش ران ها بخصوص برای مواردی که $NPSH_A$ بسیار پایین است طراحی می شوند و اگر در نقطه طراحی کار کنند دچار کاویتاسیون نمی شوند. متأسفانه محدوده کار فارغ از کاویتاسیون بسیار باریک است. اگر پیش ران در اثر کاویتاسیون فرسایش یابد تعویض آن ساده تر و ارزانتر از تعویض پروانه پمپ است.

ثابت کاویتاسیون

نسبت بار مکش مثبت خالص در نقطه بررسی کاویتاسیون $NPSH_i$ به بار دینامیک کل به نام ثابت کاویتاسیون توما (Thoma) شناخته می شود.

$$\sigma = \frac{NPSH_i}{H_t} = \text{Constant}$$

که در آن H_t بار دینامیک بر حسب متر است. در پمپ های چند طبقه، بار دینامیک کل بر هر طبقه منظور می شود. در اکثر مقالات مقدار $NPSH_R$ پمپ به صورت نادرست به جای $NPSH_i$ بکار می رود. از $NPSH_R$ نمی توان استفاده کرد زیرا در واقع کاویتاسیون در آن نقطه اتفاق افتاده است. بعلاوه باید خاطرنشان کرد که هیچ رابطه مشخصی بین $NPSH_A$ در حد ۳٪ و مقدار $NPSH_i$ در حد ۳٪ و مقدار $NPSH_i$ وجود ندارد.

از آنجا که سرعت ویژه شاخصی برای وضعیت منحنی مشخصه محسوب می شود می توان به تقریب σ (و در نتیجه $NPSH_R$) را به سرعت ویژه ربط داد.

رابطه بین سرعت ویژه، ثابت کاویتاسیون توما و بازده پمپ در مورد پمپ های یک طبقه به صورتی که توسط «روش» (Rutschi) بیان شده است در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در مورد پمپ یک مکشه:

$$\sigma = \frac{k n_s^{4/3}}{10^6} \quad (6)$$

مقادیر K در جدول ۲ نشان داده شده است. معادلات ۵ و ۶ فقط برای ایجاد زمینه ارائه شده اند و در تصمیمات طراحی نباید بکار روند. برای نیازها و شرایط عملکرد مخصوص اطلاعات مربوط به $NPSH_R$ باید از سازنده پمپ اخذ شود.

$$\frac{NPSH_R \text{ در نقطه کار}}{NPSH_R \text{ در نقطه بهترین بازده}} = \left(\frac{Q \text{ در نقطه کار}}{Q \text{ در نقطه بهترین راندمان}} \right)^n \quad (7)$$

که در آن توان n بین ۱/۲۵ تا ۳ تغییر می کند. این تغییر به طراحی پروانه بستگی دارد. در اغلب پمپهای آب و فاصلاب n بین ۱/۸ تا ۲/۸ است. در نقطه بهترین بازده $NPSH_R$ با افزایش سرعت ویژه افزایش می یابد. در مورد پمپ های فشار قوی گاهی لازم است که با محدود کردن سرعت و یا کاهش ارتفاع نصب پمپ نسبت به سطح آزاد آب NPSH مناسب در نقطه کار فراهم شود.

منحنی مشخصه پمپ

در اغلب منحنی های پمپ ها، ارتفاع دینامیک کل H (بر حسب متر یا فوت) بازده E (به درصد) و توان ورودی P (بر حسب کیلووات یا اسب بخار) در محورهای مختصات در مقابل آبدهی Q (بر حسب متر مکعب در ساعت یا ثانیه و یا گالن در دقیقه یا میلیون گالن در روز) رسم می شود.

منحنی های مشخصه بی بعد منحنی بی بعد پمپ ها با بیان ارتفاع آبدهی، توان ورودی و بازده به صورت درصدی از مقادیر مذکور در نقطه بهترین بازده بدست می آید. این منحنی ها در موارد زیر مفید واقع می شود.

- ۱- برای محاسبه مشخصات هیدرولیک پمپ هایی که از یک نوع هستند.
- ۲- ارزیابی عملکرد پمپ هایی با سرعت های ویژه مختلف و کاربردهای گوناگون

شکل کلی این منحنی ها تابع سرعت ویژه، حالت و تعداد پره های پروانه و شکل محفظه است. همانطور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است. شیب منحنی ارتفاع آبدهی با افزایش سرعت ویژه تندتر می شود. به شکل منحنی در شکل ۱۱- الف توجه کنید. همچنانکه ارتفاع به زیر نقطه بهترین بازده میل می کند، توان لازم افزایش می یابد. و بنابراین احتمال اضافه بار کشیدن موتور در پمپ هایی با سرعت ویژه کم و منحنی ارتفاع آبدهی $(H-Q)$ تخت بیشتر است. بطور

معمول در منحنی این پمپ ها نواحی کار نامتعادل به چشم می خورد. در حالی که به علت شکل منحنی مشخصه در شکل ۱۱، پمپ های جریان محوری و جریان مختلط در محدوده کار خود دچار اضافه بار نمی شوند. در منحنی H-Q مربوط به پمپ هایی با سرعت ویژه زیاد، امکان دارد یک فرورفتگی ایجاد شود که به طراحی پروانه بستگی دارد. باید از کار طولانی پمپ در این محدوده اجتناب کرد.

با افزایش سرعت ویژه تاثیر آن بر توان ورودی مشخص می شود. در پمپ های جریان شعاعی (سرعت ویژه حدود ۳۵) انرژی ورودی با کاهش جریان کم می شود. در پمپ جریان مختلط (سرعت ویژه در حدود ۸۵) توان ورودی تقریباً ثابت است در پمپ هایی که سرعت ویژه بزرگتر از ۱۲۵ است توان جذبی سیال در ضمن کاهش آبدهی تا صفر، به صورت پله ای بالا می رود. بنابراین در پمپ های جریان محوری و مختلط تدابیری برای بی کار کردن پمپ (مانند لوله های کنارگذر با شیرهای اطمینان) لازم است تا هنگام بالا رفتن ارتفاع مانع ایجاد اضافه بار روی محرکه پمپ شود. گاهی به صرفه است که به عوض نصب تجهیزات جلوگیری از اضافه بار، نسبت به انتخاب موتور بزرگتر اقدام شود. در صورت وجود تردید در این مورد باید تحلیل اقتصادی دقیق در مورد تمام روشهای ممکن بعمل آید.