PDF Eraser Free

بایدها و نبایدهای منابع انبساط

منبع: ماهنامه تاسیسات

Introduction

چگونگی انتخاب و لوله‌کشی منابع انبساط در کتب راهنما و دستورالعمل‌های نصب، اغلب با مفاهیم گمراه‌کننده و بعضا اشتباهی همراه هستند. در این مقاله تعدادی از این دستورالعمل‌ها و نکات اجرایی را مرور و بررسی می‌کنیم.

PDF Eraser Free

ادعا :منبع انبساط باید در ناحیه‌ای نزدیک به خط مکش پمپ در سیستم قرار گیرد.

بررسی :در صورتی که فشار اولیه و سایز منبع انبساط بسته [2](منبعی که با هوای آزاد ارتباطی ندارد) به درستی انتخاب شود، می‌توان این منبع را در هر کجای سیستم قرار داد. با این حال میزان حداکثر فشار برخی از اجزای سیستم می‌تواند مکان نصب منبع انبساط را محدود کند.

ادعا :بهترین مکان برای اتصال منبع انبساط به سیستم در نزدیکی خط مکش پمپ است.

بررسی :اگر منظور از «بهترین مکان» ناحیه‌ای است که منجر به استفاده ازکوچک‌ترین (و البته کم‌هزینه‌ترین) منبع انبساط می‌شود، به این ترتیب بهترین مکان در سیستم جایی است که در زمان روشن بودن پمپ، کمترین فشار نسبی [3]را دارد. در یک سیستم افقی مانند یک ساختمان یک طبقه، نقطه کم فشار نزدیک به خط مکش پمپ خواهد بود. با این حال در یک سیستم عمودی مانند یک ساختمان چند طبقه، ناحیه کم‌فشار نزدیک به مرتفع‌ترین نقطه در خط لوله برگشت به پمپ است. نکته دیگر آن که «بهترین مکان» لزوما منجر به کوچک شدن ابعاد منبع نمی‌شود. به عبارت دیگر بهترین مکان جایی است که منبع به راحتی در آن قرار می‌گیرد. به عنوان نمونه می‌توان به داخل موتورخانه‌ای که به میزان کافی فضا دارد و تعمیر و نگهداری منبع آسان است اشاره کرد. به عنوان مثالی دیگر، ممکن است ناحیه کم‌فشار در بالای اتاق مهمان یک هتل قرار گرفته باشد، اما این مکان برای نصب منبع انبساط به هیچ وجه مناسب نیست.

ادعا :ناحیه اتصال منبع انبساط به سیستم، نقطه‌ای بدون تغییر فشار است. به عبارت دیگر، فشار در منبع انبساط بدون تغییر باقی می‌ماند.

بررسی :این ادعا به معنی آن است که در صورت تغییر فشار کارکرد سیستم، مهندسان اجرایی دچار سردرگمی و نگرانی‌های غیر ضروری می‌شوند. (به جز یک پالس کوچک)
فشار منبع انبساط زمانی تغییر نمی‌کند که پمپ‌ها شروع به کار کنند. اما زمانی که دمای سیال درون سیستم تغییر کند، فشار نیز تغییر کرده و حجم آب زیاد یا کم می‌شود. میزان تغییر فشار تابعی از ابعاد منبع و تغییر دمای سیال است. همان‌طور که ملاحظه کردید، طراح تاسیسات می‌تواند منبع انبساط را در بازه گسترده‌ای (برای مثال از یک تا ده برابر) انتخاب کند. در ادامه این مقاله برای درک بهتر این مفاهیم و انتخاب بهتر منابع انبساط، به شرح اصول و نکات اجرایی مرتبط با منابع انبساط می‌پردازیم.

هدف از به‌کارگیری منابع انبساط

در سیستم‌های هیدرونیک بسته از منابع انبساط استفاده می‌شود تا:
.1همزمان با تغییر چگالی آب با تغییر دما، تغییر حجم آب سیستم توسط منبع انبساط کنترل شده و فشار کلی سیستم از محدوده فشار متداول سیستم پایین‌تر نگه داشته شود.
.2به منظور جلوگیری از نشت هوا در سیستم، فشار نسبی مثبت در تمامی قسمت‌های سیستم حفظ شود.
.3فشار مناسب در تمامی قسمت‌های سیستم حفظ شده و از جوشش ناخواسته سیال و بروز پدیده کاویتاسیون در شیرهای کنترل جلوگیری شود.
.4هد مثبت مکشی خالص (NPSH[4]) در ناحیه مکش پمپ‌ها به میزان کافی حفظ شود.
دو گزینه آخر تنها در سیستم‌های آب گرم با دمای بالا قابل اجرا هستند. در بیشتر کاربری‌های متداول تاسیسات تنها دو گزینه اول در نظر گرفته می‌شوند.

PDF Eraser Free

انواع منابع انبساط

به طور کلی دو نوع منبع انبساط وجود دارد:
1. منبع انبساط معمولی فلزی که می‌تواند از نوع فشار طبیعی یا مکانیکی باشد.
2. منبع انبساط دیافراگمی یا بالشتکی[6]؛ در این نوع منابع انبساط، تفکیک آب و هوا توسط یک بالشتک یا دیافراگم انعطاف‌پذیر که اغلب از لاستیک بوتیل مخصوص درست می‌شود صورت می‌گیرد.

در هر دو نوع منابع انبساط، در زمان افزایش دما و انبساط حجمی آب، سطح آب بالا رفته و هوا را فشرده می‌کند. زمانی که سیستم سرد بوده و آب منبع در پایین‌ترین سطح باشد (ممکن است هیچ آبی وجود نداشته باشد)، فشار منبع در حالت اولیه یا فشار پیش‌شارژ (Pi)قرار دارد. همزمان با افزایش دما و انبساط آب در سیستم، آب درون منبع سرریز شده و محفظه هوا فشرده می‌شود و در نتیجه فشار آب سیستم و هوا افزایش می‌یابد. زمانی که دمای سیستم در بالاترین حد بوده و انبساط حجمی آب تمامی ظرفیت طراحی شده منبع را پر کرده است، فشار آب و هوای حاصل شده، برابر یا کمتر از حداکثر فشار طراحی (P_{max}) خواهد بود. پیش‌بینی حداقل و حداکثر فشارهای سیستم، بخشی از فرآیند کاری طراح برای انتخاب منبع انبساط است که در ادامه به طور مختصر به آن اشاره می‌شود.

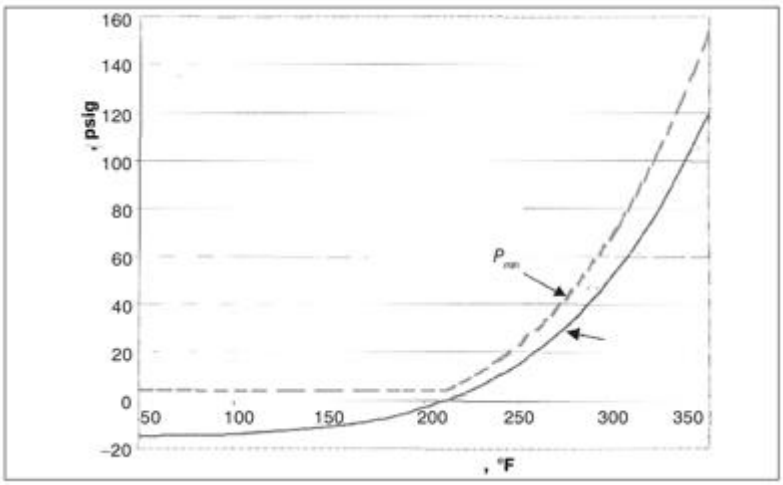
فشار اولیه

فشار اولیه نسبی منبع انبساط (Pi) باید از موارد ذیل بیشتر بوده یا با آن‌ها برابر باشد:
الف)حداقل فشار مورد نیاز برای جلوگیری از جوشش و حفظ فشار نسبی مثبت در تمامی نقاط سیستم
ب)حداقل فشار برای حفظ $NPSH_a$ در سمت مکش پمپ، بالاتر از حداقل $NPSH_r$ پمپ باشد.
حداقل فشار مورد نیاز برای جلوگیری از جوشش و حفظ فشار نسبی مثبت در تمامی نقاط سیستم را می‌توان به شکل زیر تعیین نمود:
1. در زمان روشن بودن پمپ، نقطه فشار پایین (LPP[7]) سیستم را پیدا کنید. برای این کار، بالاترین ارتفاع در نزدیک‌ترین سمت برگشت به خط مکش پمپ را در نظر بگیرید (نقطه A در تصویر ۱).

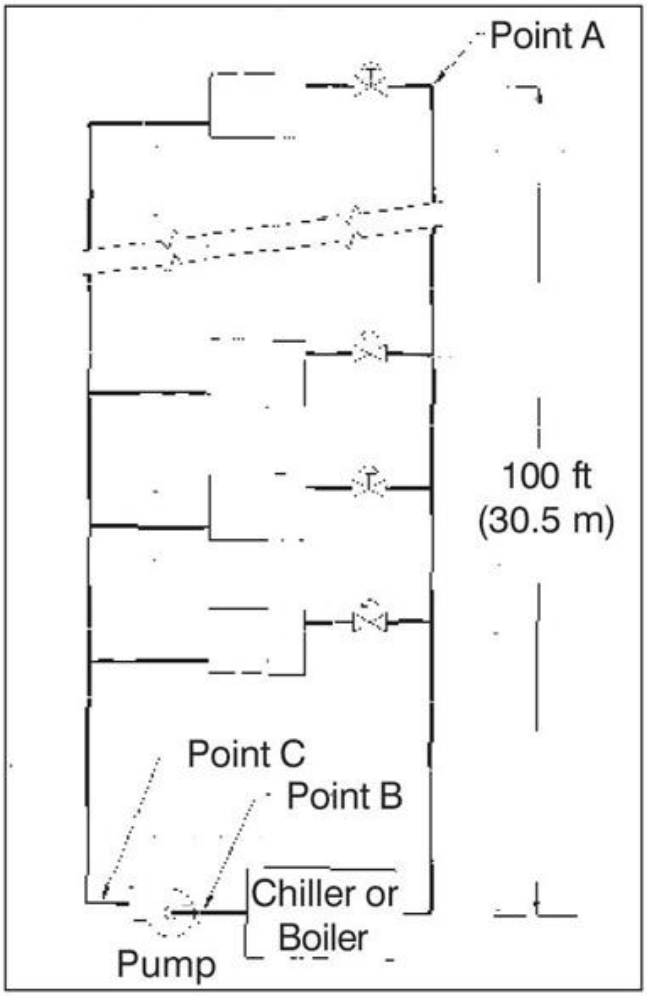
با در نظر گرفتن اصطکاک و افت فشار دینامیک به عنوان عامل منفی و افزایش فشار استاتیک به علت ارتفاع به عنوان عامل مثبت، افت فشار خالص از آن نقطه تا مکش پمپ رامحاسبه کنید. نقطه‌ای که کمترین فشار خالص را دارد همان LPP است. با کاهش ارتفاع لوله نسبت به نقطه مرتفع، فشار استاتیک به ازای هر فوت کاهش ارتفاع، یک فوت هد را افزایش می‌یابد (3kpa به ازای هر 0,3m) در شرایط عادی، افت فشار اصطکاکی دو برابر کمتر خواهد بود. به این ترتیب افزایش فشار به علت کاهش ارتفاع نسبت به کاهش فشار به علت اصطکاک، همواره عامل موثرتری است. در نتیجه LPP همواره بالاترین نقطه خط برگشت به پمپ می‌باشد.
2. حداقل فشار سیستم (P_{min}) را تعیین کنید. حداقل فشاری که در LPP وجود دارد برای حفظ فشار نسبی مثبت (به منظور جلوگیری از نشت هوا در سیستم) و جلوگیری از جوشش مورد نیاز است. حداقل فشار توصیه شده متداول (۴ psig (28kPa می‌باشد، به علاوه بیست و پنج درصد فشار بخار اشباع در زمانی که این فشار از فشار جوی فراتر می‌رود (تصویر ۲). برای سیستم‌های آب سرد، آب کندانسور و آب گرم متداول (کمتر از ۲۰۰ درجه فارنهایت [معادل ۹۳ درجه سانتی‌گراد]) حداقل فشار پیشنهادی (28kPa) ۴psig است. همان‌طور، که در تصویر (۲) نشان داده شده است، حداقل فشار برای آب گرم با دمای بالا باید بیشتر باشد. برای سیستم‌های آب گرمی که در نزدیکی LPP دارای شیرهای کنترل فشار بالا هستند، حداقل فشار باید بیشتر باشد تا از کاویتاسیون در پایین‌دست شیر جلوگیری شود.
3. جایگاه منبع را تعیین کنید. در صورت نزدیک بودن منبع به نقطهLPP ، ابعاد و هزینه‌ها به کمترین حالت می‌رسند. با این حال ممکن است با در نظر گرفتن فضا یا سایر ملاحظات مکان مناسب دیگری برای منبع انتخاب شود.
4. افزایش فشار استاتیکΔP_s,LPP→tank ، از LPP به نقطه اتصال را محاسبه کنید. این

PDF Eraser Free

افزایش فشار، معادل اختلاف ارتفاع بین این دو نقطه (برای فشار در واحد فوت آب) است.
.5اگر منبع بالادست نقطه LPP است، در زمان روشن بودن پمپ، افت فشار اصطکاکی $\Delta P_{f,tank \rightarrow LPP}$، از نقطه اتصال به نقطه LPP را محاسبه کنید.



تصویر (۱) منحنی فشار - دما برای یک سیستم متداول در یک ساختمان چندطبقه



تصویر (۲) مقادیر توصیه شده برای حداقل فشار و فشار بخار اشباع آب

PDF Eraser Free

اگر منبع در پایین‌دست LPP باشد، این افت فشار منفی خواهد بود. اما اگر محاسبات P_i لحاظ شود، حداقل فشار تنها در زمان کارکرد پمپ باقی می‌ماند. زمانی که کارکرد پمپ متوقف می‌شود، فشار نقطه LPP به میزان اختلاف فشار اصطکاکی بین منبع و LPP از حداقل فشار مطلوب پایین‌تر خواهد رفت.

۶.حداقل فشار نسبی اولیه منبع را محاسبه کنید:

$$P_i = P_{min} + \Delta P_{s,LPP \to tank} + \Delta P_{f,tank \to LPP}$$

فشار اولیه منبع اغلب در حدود (83kPa) ۱۲ psig انتخاب می‌شود. این فشار، مقدار استاندارد صنعتی برای منابع دیافراگمی یا بالشتکی است، در زمانی که هیچ مقدار دیگری مشخص نشده باشد. در بیشتر موارد منبع در کارخانه با استفاده از همین فشار اولیه تنظیم می‌شود. با این حال باید متناسب با موقعیت و در صورت نیاز این فشار را اصلاح کرد. در ابتدا تمامی تجهیزات مولد حرارت را در سیستم خاموش کنید، سپس شیر جداکننده منبع را ببندید و منبع را از سیستم جدا کنید. منبع را به طور کامل تخلیه کرده و با استفاده از یک کمپرسور هوا، فشار هوای منبع را با مقدار مطلوب P_i مطابقت دهید. پیش از باز کردن شیر جداکننده منبع، سیستم باید در کمترین دمای خود باشد (که در بخش انتخاب، شرح داده می شود). متصل کردن منبع به سیستمی که دمای آن بالاتر از حداقل دما باشد، موجب کاهش فشار به کمتر از حداقل فشار در زمانی می‌شود که دمای سیستم کاهش و حجم آب آن افزایش می‌یابد. در مورد حداقل فشاری که برای حفظ $NPSH_a$ در سمت مکش پمپ، بالاتر از حداقل $NPSH_r$ پمپ است باید ملاحظات زیر در نظر گرفته شود: این مورد تنها معیار برای محاسبه P_i در سیستم‌های آب گرم با دمای بالا (بیشتر از ۲۰۰ درجه فارنهایت [معادل ۹۳ درجه سانتی‌گراد]) است که فاصله پمپ و منبع انبساط از لحاظ هیدرولیکی در آن‌ها زیاد بوده یا پمپ بالاتر از منبع قرار گرفته است. در سایر کاربری‌ها،حداقل فشار حاصله از مرحله (الف) منجر به فشارهای مکشی می‌شود که از $NPSH_r$ بیشتر است. به این ترتیب در بخش عمده‌ای از کاربری‌های تاسیساتی مرحله (ب) حذف می‌شود. اما برای تکمیل بحث در این مقاله، در ادامه این مرحله نیز تشریح می‌شود. فشار اولیه مورد نیاز برای حفظ $NPSH_r$ به این ترتیب محاسبه می‌شود:

۱.هد مکشی مثبت خالص مورد نیاز پمپ ($NPSH_r$) را با استفاده از نرم‌افزار انتخاب پمپ یا منحنی‌های عملکرد پمپ که در کاتالوگ شرکت سازنده موجود است پیدا کنید.

۲.افت فشار اصطکاکی ΔP_f,tank→suction را در مسیر جریان از منبع به خط مکش پمپ محاسبه کنید.

۳.فشار نسبی بخار اشباع سیال (P_v) را در بالاترین دمای مورد انتظار محاسبه کنید. برای تعیین بالاترین دمای مورد انتظار سیال به بخش انتخاب منبع در همین مقاله مراجعه کنید. برای مشاهده

PDF Eraser Free

منحنی P_v و ارتباط متقابل آن با دما، تصـویر (۲) را مشـاهده کنید. در اکثر موارد برای فشـار مطلق به جای فشـار نسـبی از P_v اسـتفاده می‌شـود، اما از آنجایی که ما در حال محاسـبه P_i در فشـار نسبی هستیم، در این محاسبه از فشار نسبی استفاده می‌شود.

۴.اختلاف فشار استاتیک ΔP_s,tank→suction از منبع به خط مکش پمپ را محاسبه کنید. این کمیت در واقع همان اختلاف ارتفاع بین این دو مولفه است (برای فشار در واحد فوت آب).

۵.اختلاف فشـار سـرعتی ΔP_v,tank→suction لوله‌کشـی را در نقطه‌ای محاسـبه کنید که منبع به خط مکش پمپ متصل شده است. فشار سرعتی متناسب با مربع سرعت در لوله است (برابر با $V^2/64.3$ در واحد psi که سـرعت بر حسـب ft/s بیان شـده اسـت). در اکثر موارد این اختلاف فشـار قابل چشـم‌پوشـی اسـت و در نظر گرفته نمی‌شـود. به ویژه زمانی که ابعاد لوله در نقطه اتصـال به منبع انبساط با ابعاد لوله خط مکش پمپ یکسان باشد. چرا که در این حالت فشارهای سرعتی نیز یکسان خواهند بود.

۶. حداقل فشار اولیه نسبی منبع (P_i) را محاسبه کنید:

$$P_i = NPSH_r + \Delta P_{f,tank\rightarrow suction} + P_v - \Delta P_{s,tank\rightarrow suction} - \Delta P_{V,tank\rightarrow suction} \quad (2)$$

تعیین حداکثر فشار سیستم

حداکثر فشار منبع انبساط (P_{max}) این‌گونه تعیین می‌شود:

۱.حداکثر فشار مجاز سیستم (P_{ma}) و نقطه فشار بحرانی (CPP) را تعیین کنید. نقطه CPP مربوط به «ضعیف‌ترین اتصال سیستم» است. این نقطه تابعی از فشار در حداکثر دمای کارکرد مورد انتظار از مولفه‌ها و تجهیزات (با توجه به اطلاعات ارائه شده از سوی سازنده) و همچنین موقعیت آن‌ها در ارتفاع سیستم و نسبت به پمپ است. برای پیدا کردن CPP فهرستی از مولفه‌ها و تجهیزاتی را تهیه کنید که کمترین فشار را دارند. سپس با استفاده از واحدهای یکسان، اختلاف بین این فشارها و ارتفاع عمودی آن‌ها را محاسبه کنید. برای مثال مقادیر فشار psig را به واحدهای هد (فوت آب) تبدیل کرده و ارتفاع را از آن کم کنید. مولفه‌ای که کمترین اختلاف را دارد «ضعیف‌ترین اتصال» است. مکان این مولفه در سمت تخلیه پمپ، نقطه CPP و حداکثر فشار آن، میزان فشار مولفه است.

PDF Eraser Free

جدول (۱) حجم مخصوص آب اشباع در دماهای مختلف

°F	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
ft^3/lb_m	0.01602	0.01604	0.01606	0.01613	0.01620	0.01629	0.01639	0.01651	0.01663	0.01677	0.01692	0.01709	0.01726	0.01745
°C	4	16	27	38	49	60	71	82	93	104	116	127	138	149
cm^3/g	1.000	1.001	1.004	1.007	1.011	1.017	1.023	1.031	1.038	1.047	1.056	1.067	1.078	1.089

۲. موقعیت شیر اطمینان[۱۱] فشار را تعیین کنید. در حالت عادی، بهترین مکان برای این شیر در نزدیکی نقطه CPP و بخشی از سیستم است که این شیر باید از آن محافظت کند. اما یکی دیگر از مکان‌های رایج مورد استفاده برای شیر اطمینان فشار مکانی نزدیک به اتصال منبع انبساط به سیستم در سمت شیر جداکننده منبع می‌باشد.

۳.اختلاف بین فشار استاتیک از نقطه CPP به نقطه اتصال شیر اطمینان فشار ΔP_s ,CPP→PRV را محاسبه کنید. این اختلاف فشار در واقع اختلاف ارتفاع این دو مولفه است (برای فشار در واحد فوت آب) که می‌تواند مثبت (یعنی CPP بالاتر از PRV) یا منفی (یعنی CPP پایین‌تر از PRV) باشد.

۴. اگر شیر اطمینان در سمت پایین‌دست نقطه CPP باشد در زمان روشن بودن پمپ، افت فشار اصطکاکی از CPP به شیر اطمینان ΔP_f ,CPP→PRV را محاسبه کنید. اگر شیر اطمینان در سمت بالادست CPP باشد، این افت فشار نادیده گرفته می‌شود، زیرا حتی در زمان خاموش بودن سیستم، حداکثر فشار باید باقی بماند.

۵. نقطه تنظیم شیر اطمینان فشار (P_{rv}) را محاسبه کنید:

$$P_{rv} = P_{ma} + \Delta P_{s,CPP\rightarrow PRV} - \Delta P_{f,CPP\rightarrow PRV} \qquad (3)$$

در بیشتر سیستم‌های یک طبقه، به طور معمول از فشار (۳۰psig (207kPa به عنوان نقطه تنظیم شیر اطمینان استفاده می‌شود، حتی اگر نتیجه محاسبه بالا عدد بزرگتری باشد. این مقدار به عنوان نرخ استاندارد مورد استفاده برای بسیاری از دیگ‌های کم‌فشار در نظر گرفته می‌شود، اگرچه اکثر دیگ‌ها با مقادیر فشار بالاتر (برای مثال ۶۰psig 414kPa) با هزینه کم یا بدون هزینه در دسترس هستند.

۶.اختلاف فشار استاتیک بین نقطه اتصال شیر اطمینان فشار و نقطه اتصال منبع انبساط ΔP_s ,PRV→tank را محاسبه کنید. این اختلاف فشار در واقع اختلاف ارتفاع بین این دو نقطه است (برای فشار در واحد فوت آب) و می‌تواند مثبت (یعنی PRVبالای منبع) یا منفی (یعنی PRV پایین منبع) باشد.

۷. اگر منبع در سمت پایین‌دست شیر اطمینان باشد، افت فشار اصطکاکی از شیر اطمینان به منبع انبساط ΔP_f ,PRV→tank را در زمان روشن بودن پمپ محاسبه کنید. در صورتی که منبع در سمت بالادست شیر اطمینان باشد، این افت فشار در نظر گرفته نمی‌شود زیرا حتی در صورت خاموش بودن

PDF Eraser Free

پمپ، حداکثر فشار باید باقی بماند.

۸. حداکثر فشار نسبی منبع (P_{max}) را محاسبه کنید:

$$P_{max} = P_{rv} + \Delta P_{s,PRV \to tank} - \Delta P_{f,PRV \to tank} \qquad (4)$$

روش انتخاب منبع انبساط

منابع انبساط اغلب با توجه به نرم‌افزار یا جداول فنی و کاتالوگ‌های تولیدکننده انتخاب می‌شوند. در هر صورت روند انتخاب منابع انبساط به شرح زیر است.

حداقل دمایی که سیستم با آن روبه‌رو می‌شود را با T_c نمایش می‌دهیم. در حالت کلی این دما در سیستم‌های گرمایشی، همان دمای اولیه سیستم است؛ برای مثال ۵۰ درجه فارنهایت (معادل ۱۰ درجه سانتی‌گراد). در سیستم‌های سرمایشی این دما معادل دمای آب سرد طراحی است؛ برای مثال ۴۰ درجه فارنهایت (معادل ۴ درجه سانتی‌گراد).

حداکثر دمایی که سیستم با آن روبه‌رو می‌شود را با T_h نمایش می‌دهیم. این دما در سیستم‌های گرمایشی معادل دمای طراحی آب گرم است؛ برای مثال ۱۸۰ درجه فارنهایت (معادل ۸۲ درجه سانتی‌گراد). برای سیستم‌های سرمایشی این دما در واقع درجه حرارتی است که سیستم در زمان خاموش بودن به آن می‌رسد؛ برای مثال ۸۰ درجه فارنهایت (۲۷ درجه سانتی‌گراد) . البته این دما به مکان لوله‌کشی (داخلی یا خارجی) نیز وابسته است.

حجم کلی آب درون سیستم که شامل تمامی لوله‌ها و مخازن می‌شود را با V_s نمایش می‌دهیم. حداقل فشار را با P_i و حداکثر فشار را با P_{max} نمایش می‌دهیم.

به این ترتیب می توان حجم منبع را با استفاده از روابطی مانند روابط شماره (۵) و (۶) انتخاب نمود. لازم به یادآوری است که این دو رابطه صرفا برای انتخاب منابع دیافراگمی قابل استفاده هستند:

$$V_a \geq V_e \geq V_s\left[\frac{v_h}{v_c} - 1\right] \qquad (5)$$

$$V_t \geq \frac{V_e}{1-(P_a + P_i)/(P_a + P_{max})} \qquad (6)$$

در رابطه فوق:

V_t: حجم منبع

V_a: حجم پذیرش منبع

PDF Eraser Free

مقدار محاسبه شده از طریق این رابطه معادل ظرفیت بالشتک (برای منابع بالشتکی) یا حجم سمت آب منبع و برای منابع دیافراگمی معادل با وضعیتی است که دیافراگم به طور کامل منقبض شده باشد. در منابعی که دارای حجم پذیرش کاملی هستند، بالشتک می‌تواند به میزان شکل کلی منبع باز شود و به این ترتیب حجم پذیرش و حجم کلی منبع (V_t) با یکدیگر برابر است.

V_e: انبساط حجمی آب در اثر افزایش دما از کمترین دما به بیشترین دما

V_c: حجم مخصوص آب در حداقل دما

V_h: حجم مخصوص آب در حداکثر دما

با استفاده از رابطه (۵) در زمانی که سیستم در بالاترین دما و فشار است، اطمینان حاصل می‌شود که حجم پذیرش (V_a) از حجم منبسط شده آب (V_e) تجاوز می‌کند تا از آسیب رسیدن به بالشتک یا دیافراگم جلوگیری شود. با استفاده از رابطه (۶) اطمینان حاصل می‌شود که حجم منبع (V_t) برای آب منبسط شده (V_e) و بالشتک هوایی کافی است که این مسئله به منظور حفظ فشار در منبع انبساط بین P_i و P_{max} ضروری می‌باشد.

در رابطه (۶) به دلیل محافظه‌کاری، انبساط لوله‌های سیستم در نظر گرفته نمی‌شود زیرا حجم آب منبسط شده بسیار کم است و سیستم‌هایی که دارای اجزای لوله‌کشی متعددی هستند و هر یک از آن‌ها ضریب انبساط طولی متفاوتی دارند، فرآیند محاسبات کمی دشوارتر می‌شود. در جدول (۱) حجم مخصوص آب در دماهای مختلف نشان داده شده است.

چند مثال کاربردی

مثال (۱) سیستم آب سرد

یک سیستم آب سرد را در نظر بگیرید که دمای طراحی آب سرد در آن ۴۰ درجه فارنهایت و حجم سیستم (۱,۰۰۰Gal (3785L است. تصویر (۱) جانمایی این سیستم را نشان می‌دهد که در آن پمپ در پایین یک ساختمان چند طبقه قرار گرفته است. هد پمپ (۸۰ft (240kPa می‌باشد. ابتدا فشار پیش‌شارژ اولیه (P_i) را محاسبه کنید. از آنجایی که سیستم حاوی آب سرد است، نگرانی خاصی در مورد هد مثبت مکشی خالص وجود ندارد، بنابراین تنها باید مرحله (الف) را دنبال کرد. بنابراین خواهیم داشت:

۱.نقطه LPP در سیستم، بالاترین نقطه در مسیر خط برگشت به پمپ است (نقطه A در تصویر ۱).

۲.همان‌طور که در تصویر (۲) نشان داده شد P_{min} برابر با (۴psig (28kPa است.

۳.اگر مکان اتصال منبع به نقطه LPP نزدیک باشد، ابعاد منبع کوچک بوده و هزینه آن به کمترین میزان ممکن کاهش می‌یابد. با این حال تصور کنید که در این مثال منبع نزدیک به نقطه B در خط مکش پمپ قرار گرفته باشد. به دلیل فضای کافی، این نقطه اغلب مناسب‌ترین مکان به حساب می‌آید.

PDF Eraser Free

۴.افزایش فشار استاتیک از نقطه LPP به منبع، LPP→tank,ΔP_s، برابر با (296kPa۱۰۰) ft است.

۵.افت فشار اصطکاکی از منبع به tank→LPP,ΔP_f صفر در نظر گرفته می‌شود زیرا منبع در سمت پایین‌دست LPP قرار دارد.

۶.حداقل فشار نسبی اولیه یا پیش‌شارژ منبع (P_i) عبارت است از:

$$P_i = P_{min} + \Delta P_{s,LPP \to tank} + \Delta P_{f,tank \to LPP}$$
$$= 4 + 43 + 0$$
$$= 47 \text{ psig } (324 \text{ kPa})$$

اکنون حداکثر فشار را محاسبه می‌کنید:

۱.میزان فشار استاندارد برای تمامی مولفه‌های سیستم، به مقدار (862kPa۱۲۵) psig یا بیشتر خواهد بود. در نتیجه P_a معادل (862kPa۱۲۵) psig در نظر گرفته می‌شود و CPP پایین‌ترین نقطه سیستم در سمت دهش پمپ همان نقطه C است.

۲. تصور کنید که شیر اطمینان فشار نزدیک به چیلر و منبع انبساط قرار داشته باشد (نقطه B).

۳. اختلاف فشار استاتیک بین CPP و شیر اطمینان فشار CPP→PRV,ΔP_s صفر در نظر گرفته می‌شود زیرا ارتفاع هر دوی آن‌ها یکسان است.

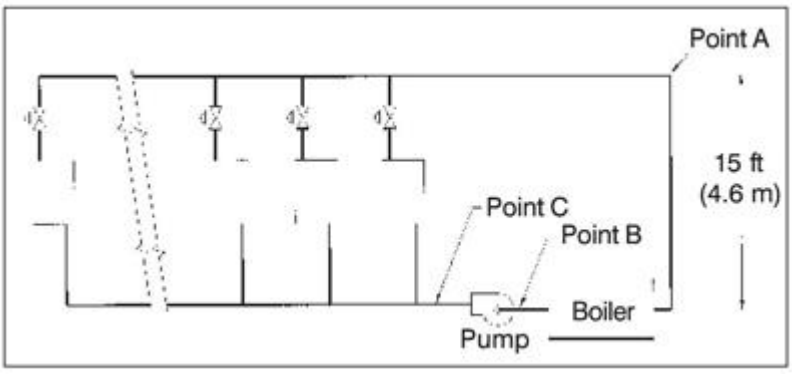
۴. شیر انبساط (نقطه B) در سمت پایین‌دست CPP (نقطه C) قرار دارد. CPP→PRV,ΔP_f حدودا با هد پمپ برابر است ([241kPa۸۰] ft).

۵. بنابراین نقطه تنظیم شیر اطمینان فشار (P_{rv}) به این صورت محاسبه می‌شود:

$$P_{rv} = P_{ma} + \Delta P_{s,CPP \to PRV} - \Delta P_{f,CPP \to PRV}$$
$$= 125 + 0 - 35$$
$$= 90 \text{ psig}$$

با استفاده از این رابطه اطمینان حاصل می‌شود که فشار موجود در سمت دهش پمپ از (۱۲۵ psig 862kPa) فراتر نمی‌رود. اگر نقطه تنظیم شیر اطمینان psig۱۲۵ باشد، فشار پایین‌دست پمپ می‌تواند تا (1100kPa۱۶۰) psig افزایش یابد که در حقیقت بالاتر از فشار تجهیزات است.

PDF Eraser Free



تصویر (۳) سیستم متداول در یک ساختمان یک طبقه

۶.اختلاف فشار استاتیک بین شیر اطمینان و منبع $PRV \rightarrow tank, \Delta P_s$ صفر است زیرا هر دوی آن‌ها در یک مکان قرار دارند.

۷.افت فشار اصطکاکی از شیر اطمینان به منبع $PRV \rightarrow tank, \Delta P_s$ صفر است زیرا هر دوی آن‌ها در یک مکان قرار دارند.

۸.حداکثر فشار نسبی منبع (P_{max}) برابر است با:

$$\begin{aligned} P_{max} &= P_{rv} + \Delta P_{s,PRV \rightarrow tank} - \Delta P_{f,PRV \rightarrow tank} \\ &= 90 + 0 - 0 \\ &= 90 \text{ psig} \end{aligned}$$

در نتیجه حداقل حجم منبع (با در نظر گرفتن) حداکثر فشار با دمای ۸۰ درجه فارنهایت (معادل ۲۷ درجه سانتی‌گراد) که مقادیر حجم مخصوص آن از جدول (۱) برداشت شده است، این‌گونه محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} V_a &\geq V_e \\ &\geq V_s \left[\frac{v_h}{v_c} - 1 \right] \\ &\geq 1000 \left[\frac{0.01608}{0.01602} - 1 \right] \\ &\geq 3.75 \text{ gallons} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_t &\geq \frac{3.75}{1 - (P_a + P_i)/P_a + P_{max}} \\ &\geq \frac{3.75}{1 - (14.7 + 47)/(14.7 + 90)} \\ &\geq 9.1 \text{ gallons} \end{aligned}$$

PDF Eraser Free

به این ترتیب، حجم پذیرش منبع انبساط باید از (14L۳٫۷۵) gallons بیشتر و حجم کلی آن از (34L۹٫۱) gallons بیشتر باشد.

مثال (۲) سیستم آب سرد

سیستم توصیف شده در مثال (۱) را در نظر بگیرید، با این تفاوت که منبع انبساط به جای پمپ در نزدیکی نقطه LPP (نقطه A) قرار گرفته باشد. در این صورت فشار اولیه این‌گونه محاسبه می‌شود (شروع محاسبه از مرحله ۴):

۴. افزایش فشار استاتیک از LPP به منبع $LPP \rightarrow tank, \Delta P_s$ صفر است زیرا منبع در همین نقطه واقع شده است.

۵.افت فشار اصطکاکی از منبع به $tank \rightarrow LPP, \Delta P_f$ صفر است زیرا منبع در همین نقطه واقع شده است.

۶. حداقل فشار نسبی اولیه مثبت در منبع (P_i) برابر است با:

$$\begin{aligned} P_i &= P_{min} + \Delta P_{s,LPP \rightarrow tank} + \Delta P_{f,tank \rightarrow LPP} \\ &= 4 + 0 + 0 \\ &= 4 \text{ psig} \end{aligned}$$

اکنون حداکثر فشار را محاسبه کنید (شروع از مرحله ۶):

۶.مقدار اختلاف فشار استاتیک از شیر اطمینان تا منبع $PRV \rightarrow tank, \Delta P_s$ برابر با (۱۰۰ft (-296kPa- است.این اختلاف فشار منفی است زیرا PRV در پایین‌دست منبع قرار دارد.

۷.افت فشار اصطکاکی از شیر اطمینان تا منبع $PRV \rightarrow tank, \Delta P_f$ صفر در نظر گرفته می‌شود، زیرا منبع در بالادست شیر اطمینان قرار دارد.

۸.حداکثر فشار نسبی منبع (P_{max}) برابر است با:

$$\begin{aligned} P_{max} &= P_{rv} + \Delta P_{s,PRV \rightarrow tank} - \Delta P_{f,PRV \rightarrow tank} \\ &= 90 - 43 - 0 \\ &= 47 \text{ psig} \end{aligned}$$

در نتیجه حجم منبع این‌گونه محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} V_t &\geq \frac{3.75}{1 - (P_a + P_i)/(P_a + P_{max})} \\ &\geq \frac{3.75}{1 - (14.7 + 4)/(14.7 + 47)} \\ &\geq 5.4 \text{ gallons} \end{aligned}$$

PDF Eraser Free

مانند مثال (۲) حجم پذیرش منبع انبساط باید بیش از (0.24L/s۳٫۷۵) gpm باشد (حجم آب انبساط‌یافته بدون تغییر باقی می‌ماند) اما حجم کلی مورد نیاز به (20L۵٫۴) gallons کاهش می‌یابد. به این ترتیب، منبعی که در نقطه LPP یک ساختمان چند طبقه نصب شود نسبت به منبعی که در خط مکش پمپ نصب شده باشد، کوچک‌تر و در نتیجه کم‌هزینه‌تر خواهد بود (مثال ۱).

مثال (۳) سیستم آب گرم با دمای بالا

یک سیستم آب گرم دما بالا را در نظر بگیرید که دمای طراحی آن ۳۰۰ درجه فارنهایت (معادل ۱۴۹ درجه سانتی‌گراد) و حجم سیستم (3785L۱,۰۰۰) gallons باشد. مقدار $NPSH_r$ مورد نیاز پمپ (۵ ft 15kPa) و هد آن (150kPa۵۰) ft است. همان‌طور که در تصویر (۳) نشان داده شده، جانمایی این سیستم افقی است.

ابتدا فشار اولیه (P_i) را محاسبه کنید؛ این فشار از فشار مورد نیاز برای جلوگیری از جوشش و فشار مورد نیاز برای حفظ NPSH مناسب در پمپ، بیشتر خواهد بود. فشار مورد نیاز برای جلوگیری از جوشش اینچنین محاسبه می‌شود:

۱.نقطه LPP در سیستم، بالاترین نقطه در خط برگشت به سیستم، درست بعد از حرکت به سمت پمپ است (نقطه A در تصویر ۳).

۲.همان‌طور که در تصویر (۲) دیده می‌شود، حداقل فشار (P_{min}) توصیه شده باید (482kPa) ۷۰ psig باشد. اگر در نزدیکی LPP شیرهای کنترلی وجودداشته باشند، حداقل فشار باید بیشتر باشد.

۳.در این مثال تصور کنید که منبع در نزدیکی نقطه B در خط مکش پمپ قرار دارد.

۴.افزایش فشار استاتیک $LPP \rightarrow tank, \Delta P_s$ از LPP به منبع برابر با معادل (45kPa) ۱۵ft است.

۵. افت فشار اصطکاکی از منبع به $tank \rightarrow LPP, \Delta P_f$ صفر در نظر گرفته می‌شود زیرا منبع در سمت پایین‌دست LPP قرار دارد.

۶.حداقل فشار نسبی اولیه در منبع (P_i) به این ترتیب محاسبه می‌شود:

$$P_i = P_{min} + \Delta P_{s,LPP \rightarrow tank} + \Delta P_{f,tank \rightarrow LPP}$$
$$= 70 + 6.5 + 0$$
$$= 76.5 \text{ psig}$$

فشار اولیه باید برای حفظ $NPSH_r$ مورد نیاز در ورودی پمپ نیز کافی باشد:

۱.هد مثبت مکشی خالص مورد نیاز برابر 5ft۱۵ (kPa) است.

۲.افت فشار اصطکاکی از منبع به خط مکش پمپ $tank \rightarrow suction, \Delta P_f$ صفر است زیرا منبع روی خط مکش پمپ قرار گرفته است.

PDF Eraser Free

۳.مشابه تصویر (۲) فشار نسبی بخار سیال (P_v) برابر با (365kPa۵۳) psig می‌باشد.

۴.اختلاف فشار اصطکاکی بین منبع و خط مکش پمپ tank→suction,ΔP_s صفر است زیرا منبع در همین نقطه قرار گرفته است.

۵. تصور کنید که اختلاف فشار سرعتی بین منبع و خط مکش قابل چشم‌پوشی است.

۶. حداقل فشار نسبی اولیه منبع (P_i) را محاسبه کنید:

$$\begin{aligned} P_i &= NPSH_r + \Delta P_{f,tank\to suction} + P_v - \Delta P_{s,tank\to suction} \\ &\quad - \Delta P_{V,tank\to suction} \\ &= 2+0+53-0-0 \\ &= 55\,\text{psig} \end{aligned} \qquad (2)$$

این فشار از فشار مورد نیاز برای جلوگیری از جوشش در نقطه LPP کمتر بوده و در نتیجه قابل چشم‌پوشی است. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، دراغلب موارد شرایط اینچنین است، مگر در حالتی که پمپ در فاصله بسیار دوری از منبع انبساط و یا بالای آن قرار گرفته باشد.

اکنون حداکثر فشار را محاسبه کنید:

۱.فشار استاندارد تمامی اجزای سیستم برابر با (862kPa۱۲۵) psig یا بیشتر خواهد بود. در نتیجه حداکثر فشار معادل psig۱۲۵ در نظر گرفته می‌شود و CPP پایین‌ترین نقطه سیستم در سمت دهش پمپ (نقطه c) خواهد بود.

۲.شیر اطمینان فشار در دیگ نصب خواهد شد.

۳.اختلاف فشار استاتیک بین CPP و شیر اطمینان فشار CPP→PRV,ΔP_s صفر است، زیرا هر دوی آن‌ها در یک ارتفاع قرار گرفته‌اند.

۴.شیر اطمینان (در دیگ) در پایین‌دست CPP قرار دارد (نقطه C). در نتیجه اختلاف فشار اصطکاکی بین CPP و PRV به طور میانگین با هد پمپ (50ft۱۵۲ [kPa]) برابر خواهد بود.

۵.نقطه تنظیم شیر اطمینان فشار (P_{rv}) به این ترتیب محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} P_{rv} &= P_{ma} + \Delta P_{s,CPP\to PRV} - \Delta P_{f,CPP\to PRV} \\ &= 125+0-22 \\ &= 103\,\text{psig} \end{aligned}$$

۶.اختلاف فشار استاتیک بین PRV و منبع برابر با صفر است زیرا هر دوی آن‌ها در یک ارتفاع قرار گرفته‌اند.

۷.افت فشار اصطکاکی بین PRV و منبع قابل چشم‌پوشی است زیرا به یکدیگر نزدیک هستند.

PDF Eraser Free

۸.محاسبه حداکثر فشار نسبی منبع (P_{max}) اینچنین خواهد بود:

$$P_{max} = P_{rv} + \Delta P_{s,PRV \to tank} - \Delta P_{f,PRV \to tank}$$
$$= 103 + 0 - 0$$
$$= 103\,\text{psig}$$

به این ترتیب، حداقل حجم پذیرش منبع (با فرض حداقل درجه حرارت ۶۰ درجه فارنهایت معادل ۱۶ درجه سانتی‌گراد) و اتخاذ مقادیر حجم مخصوص از جدول (۱) به این صورت محاسبه می‌شود:

$$V_a \geq V_e$$
$$\geq V_s\left[\frac{v_h}{v_c} - 1\right]$$
$$\geq 1000\left[\frac{0.01745}{0.01604} - 1\right]$$
$$\geq 88\,\text{gallons}$$
$$V_t \geq \frac{88}{1 - (P_a + P_i)/(P_a + P_{max})}$$
$$V_t \geq \frac{88}{1 - (14.7 + 76.5)/(14.7 + 103)}$$
$$\geq 390\,\text{gallons}$$

در نتیجه، حجم پذیرش منبع باید gallons (333L۸۸) یا بیشتر بوده و حجم کلی آن gallons (1476L۳۹۰) یا بیشتر باشد. برای تمرین بیشتر، با در نظر گرفتن منبع در قسمت دهش پمپ (نقطه C) محاسبات بالا را دوباره انجام دهید. با انجام این محاسبات در خواهید یافت که فشار اولیه افزایش یافته و سایر متغیرها بدون تغییر خواهند ماند و منبع بزرگ‌تری مورد نیاز است. با این وجود، منبع تمامی عملکردهای مورد انتظار را برآورده می‌کند و این نقطه با وجود غیر عادی بودن، مکان مناسبی به شمار می‌رود.

پی‌نوشت:

1. Expansion Tanks

2.Closed Expansion Tank

3.Gauge Pressure

4.Net Positive Suction Head

5.Tank Type

6.Diaphragm Type

PDF Eraser Free

7.Low Pressure Point

8.Feet of Water

9.Relief Valve