

درس آزمایشگاه ترمودینامیک

گروه مکانیک

دانشگاه تفرش

نسخه اولیه (دارای سه آزمایش)

استاد درس : مهدی پور

فروردین ۹۱

بخش اول

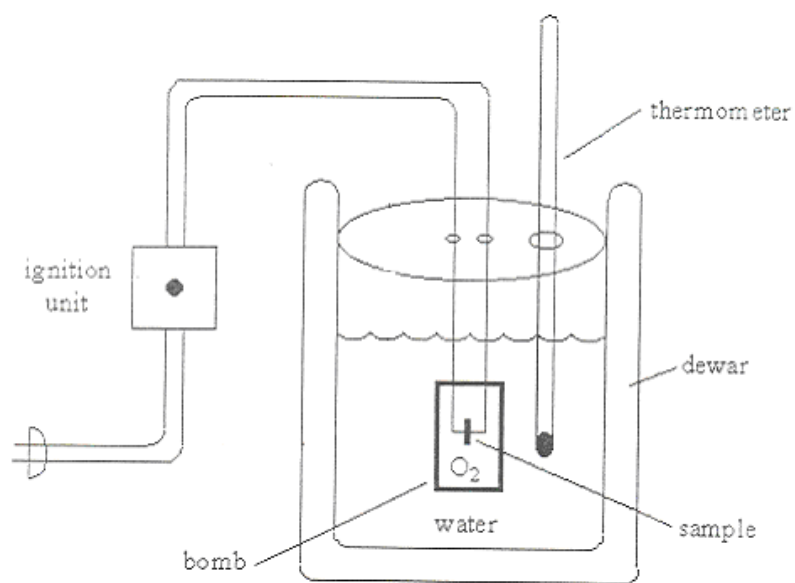
دستور کار

دستور کار:

بمب کالریمتر بدون همزن

- هدف: به دست آوردن ارزش حرارتی سوختهای مایع
- مقدمه:

به دست آوردن ارزش حرارتی یک سوخت از مهم ترین پارامترهای مربوط به سوختها می باشد هر گاه مقداری از سوخت به طور کامل سوزانده شود و حرارت ناشی از آن محاسبه گردد می توان ارزش حرارتی آن را بدست آورد.



آزمایش های قابل انجام:

تعیین دقیق ارزش حرارتی هیدروکربن‌های مایع و جامد و سایر سوخت‌ها

ویژگی منحصر به فرد این دستگاه روش آب‌بندی و ایمنی احتراق است. بدنه بمب درون پایه پیچ شده است و با یک اتصال لاستیکی خاص آب بندی می‌شود. بمب از یک شمش یکپارچه فولاد ضد زنگ ساخته شده است که پس از ماشینکاری تا فشار ۳۱۰ بار تست شده است.

• تئوری :

آنچه که در صنعت بطور معمول در مورد محاسبه ارزش حرارتی یک سوخت بکار می رود استفاده از حرارت ناشی شده از سوخت برای گرم کردن یک مایع و بطور معمول آب خالص است . با محاسبه مقدار افزایش دمای آب می توان حرارت ناشی شده از انفجار سوخت را بدست آورد آنچه که مهم است این است که احتراق می بایست در یک محیط مناسب و با اکسیژن کافی انجام گیرد . در غیر این صورت اعداد و نتایج به دست آمده دارای ارزش نمی باشند . در ضمن در مورد سوخته‌های جامد می بایست آنها را به صورت پودر درآورده و بلافاصله وزن نمود . زیرا رطوبت هوا به سرعت جذب جامد شده و وزن آن را تغییر می دهد .

نکته مهم دیگر اندازه گیری دقیق سوخت مصرف شده است . زیرا هر گونه خطا در اندازه گیری به نتایج آزمایش به شدت لطمه وارد می کند .

• نکات مهمی که باید در هنگام استفاده از دستگاه رعایت شود:

- استفاده از بمب کالریمتر

- ۱- برای استفاده از این دستگاه ابتدا باید اتاقی را که تغییرات دمایی آن ناچیز است اختیار کنید .
- ۲- باید توجه شود که این دستگاه نباید در معرض نور مستقیم آفتاب قرار گیرد .
- ۳- بمب کالریمتر یک دستگاه حساس است باید در نگهداری از آن دقت شود . به هیچ وجه نباید به دستگاه ضربه ای وارد شود .

۴ - قبل از استفاده می بایست بمب را با آب کاملاً شست و خشک نمود . Seal دستگاه نیز می بایست کاملاً تمیز باشد این عمل باعث می شود که دستگاه نشتی نداشته باشد حتی استفاده از کمی گریس روی دنده ها پیشنهاد می شود .

۵- در هنگام پر کردن بوته بمب بوسیله سوخت باید توجه داشت که سوخت از محفظه آن بیرون نریزد . در غیر این صورت نتایج آزمایش بی ارزش خواهد بود . برای این منظور بعد از قراردادن بوته در محل قرار گیری بمب ، بمب را از حالت عمودی خارج نکنید .

۶ - بعد از بستن بمب فشار اکسیژن داخل آن را به فشار مورد تست برسانید . (فشار حدود ۴ تا ۶ bar) اگر مقدار فشار بالاتر از این فشار رسید ، شیر تخلیه را باز نمایید تا مقداری اکسیژن خارج شود دقت کنید در آزمایش های دقیق با سوخته های فرار با این عمل ممکن است مقداری از سوخت شما نیز تبخیر شود .

۷- محافظت از شیرها و واشرها

§ بعد از هر آزمایش واشرها را کاملاً شستشو دهید تا بقایای محصولات احتراق زوده شود .

§ بعد از آزمایش واشر را از محل آن خارج نمایید تا خاصیت آن از بین نرود .

• شرح دستگاه :

پایه دستگاه میز کوچکی است که وسائل روی آن نصب می شوند .

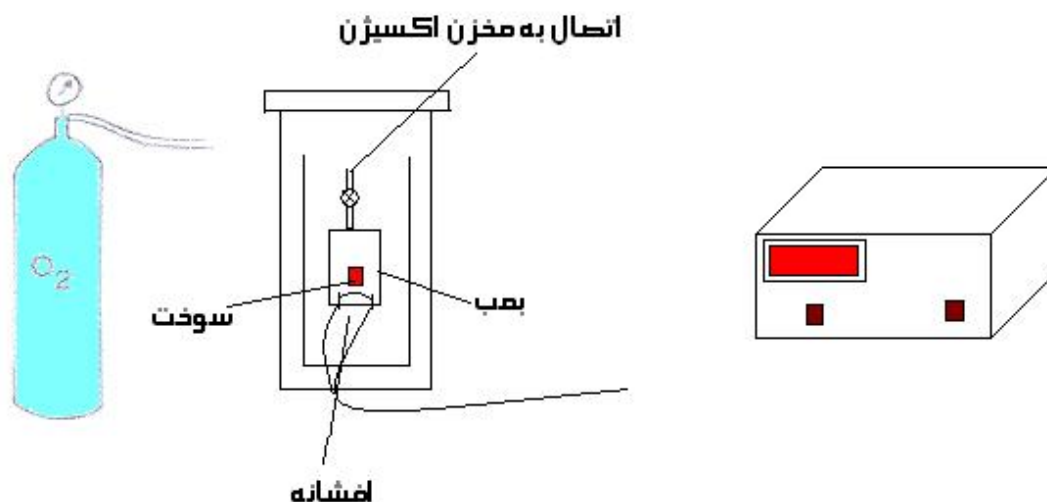
۱ - دستگاه دارای سوپاپی برای ورود اکسیژن می باشد .

۲ - قسمت الکتریکی دستگاه شامل مدار جرقه می باشد . سیستم جرقه بوسیله سیم اتصال به زیر پایه کالریمتر متصل است . و با فشار دادن دکمه جرقه که روی برد دستگاه قرار دارد احتراق صورت می گیرد .

۳- یک محفظه که داخل آن آب ریخته می شود .

۴ - یک سنسور دمایی نیز داخل مخزن آب قرار داده شده که دمای داخل آب را روی برد نشان می دهد .

۵ - بمب



• روش آزمایش :

- ۱- مقدار معینی از سوخت مورد نظر را (۳ سی سی) به دقت وزن کنید و در داخل بوتله قرار دهید . دقت کنید کالریمتر کاملاً به صورت قائم نگهداشته شود . تا سوخت از بوتله بیرون نریزد .
- ۲- سیم احتراق را طوری تنظیم کنید که مطمئن شوید جرقه نزدیک به سوخت زده می شود . سپس اتصال سیم را با میله های دو طرف بوتله با استفاده از دو عدد پیچ محکم کنید .
- ۳- اکنون بدنه را روی میز دستگاه در محل مخصوص خود (آچار تفلونی) قرار داده و بدنه و پایه را با دست روی هم قرار داده بپیچانید . دقت کنید که مجموعه همواره به صورت قائم نگه داشته شود تا سوخت از بوتله بیرون نریزد .
- ۴- بمب را به کپسول اکسیژن متصل کنید و به آرامی شیر اکسیژن را باز کنید . این کار باید خیلی سریع انجام گیرد .
- ۵- چنانچه فشار اکسیژن بیش از حد لازم شد خیلی آرام شیر تخلیه را باز کنید تا فشار اضافی خارج شود . پس از متعادل شدن فشار اکسیژن سوپاپ خروجی را محکم کنید تا مانع خروج گاز گردد .
- ۶- اکنون بمب را از اکسیژن جدا کرده آنرا داخل ظرف مربوطه قرار می دهیم دقت کنید که بمب کاملاً در محل صحیح خود قرار گیرد .
- ۷- به اندازه ای آب مقطر در ظرف آب محتوی بمب بریزید که بمب در آب غوطه ور شود .
- ۸- ظرف محتوی بمب را داخل دستگاه قرار دهید .

- ۹- درب دستگاه را بگذارید .
- ۱۰- کلید جرقه را فشار دهید .
- ۱۱- حداقل ۳ دقیقه منتظر بمانید و سپس دمای آب را یادداشت نمایید .
- ۱۲- توسط کرنومتر هر ۳۰ ثانیه از زمان جرقه تغییرات دمای آب اطراف بمب را یادداشت کنید . این کار را تا جایی ادامه دهید که تغییرات دما نسبت به زمان نزدیک به صفر شود و یا دمای آب شروع به کم شدن کند .

• روش تعیین ارزش حرارتی سوختها :

- خواسته ها : برای تعیین ارزش حرارتی سوخت به ترتیب زیر عمل کنید :
- ۱ - برای توضیح بیشتر در مورد کارکرد مقادیر زیر را هنگام آزمایش یادداشت کنید :
- وزن بوته b_{gr}
- وزن بوته و سوخت a_{gr}
- وزن سوخت c_{gr}
- وزن آب مقطر m_w
- وزن بمب m_{BOMB}

b	a	c	m_w	m_{BOMB}

- ۲ - مقادیر زیر را به ترتیب یادداشت کنید :
- ΔT_1 : اختلاف درجه حرارت ماکزیمم و درجه حرارت آب قبل از شروع احتراق
- ΔT_2 : تصحیح مربوط به تشعشع حرارت
- برای تعیین ضریب تشعشع حرارت از فرمول تقریبی رینولدز - استفاده می شود .
- ΔT_2 تصحیح تشعشع :

$$\Delta T_2 = nv' + \left(\frac{-v + v'}{2} \right)$$

در این رابطه

n: تعداد دقایق بین شروع احتراق و تحصیل دمای ماکزیمم

v' : متوسط مقدار افت درجه حرارت در آخر آزمایش (C°/min)

v: متوسط افزایش دما در شروع آزمایش تا شروع احتراق (C°/min)

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 = (\text{دمای شروع} - \text{دمای ماکزیمم}) + (\text{ضریب تصحیح حرارت})$$

$$Q = \text{حرارت جذب شده توسط آب کالریمتر} + \text{حرارت جذب شده توسط بمب}$$

$$Q_1 = \text{حرارت جذب شده توسط آب کالریمتر}$$

$$Q_2 = \text{حرارت جذب شده توسط بمب}$$

$$Q_1 = m_w C \Delta T_1$$

$$Q_2 = m_{BOMB} C_{STEEL} \Delta T_1$$

$$C_v = \frac{cal}{gr} \frac{Q}{\Delta T \times \text{جرم سوخت}} \quad \text{یا} \quad \frac{kcal}{kg}$$

پس از انجام آزمایش لازم است کارهای زیر انجام گیرد:

- ۱- واشر داخل بمب را با آب سرد بشویید تا از رسوب مواد حاصل از احتراق بر روی واشر جلوگیری گردد.
- ۲- واشرهای لاستیکی را در خارج از دستگاه نگهداری کنید.
- ۳- بمب را شسته و آنرا به دقت خشک کنید.

دستور کار :

دستگاه تست کمپرسور

عنوان : دستگاه تست کمپرسور

هدف : آشنایی بیشتر با کمپرسورها محاسبه مشخصات آنها از نظر علمی و تئوری



اطلاعات فنی :

عملکرد ساده و اندازه گیری دقیق
محدوده های اندازه گیری : دمای ۰-۲۰۰ درجه سانتیگراد ، فشار ۰-۱۰ بار و گشتاور ۰-۵ نیوتن متر
کمپرسور تک سیلندر تک مرحله ای:
توان مصرفی : ۷۵۰ وات ، فشار کاری : ۸ بار ، فشار ماکزیمم : ۱۰ بار
ظرفیت ورودی : ۱۵۰ لیتر بر دقیقه در فشار ۸ بار
فشار تخلیه شیر اطمینان : ۱۰ بار
قابلیت انجام آزمایش های مربوط به سیستم کمپرسور تک مرحله ای

آزمایش های قابل انجام :

تعیین بازده حجمی و ایزوترمال

ابعاد و وزن : طول * عرض * ارتفاع : ۱۲۰۰×۶۰۰×۱۷۰۰ میلیمتر وزن : حدوداً ۸۵ کیلوگرم

توضیحات :

کمپرسور هوای رفت و برگشتی به عنوان یک دستگاه مفید برای آموزش اصول تئوری موتور گرمایی شناخته می شود. برخلاف دستگاه های آزمایشگاهی مرسوم که دارای ساختار بزرگی بوده و نیاز به فونداسیون مخصوص دارند، این دستگاه فشرده و قابل حمل بوده و نیاز به نصب خاصی ندارد.

این مجموعه آزمایشی شامل یک کمپرسور، یک مخزن هوا، سیستم راه انداز موتوری و ادوات اندازه گیری مربوطه می باشد. مخزن ورودی دارای نازل برای اندازه گیری جریان هوای ورودی، سنسور فشار الکترونیکی و یک گیج فشار است. مخزن فشار دارای شیر اطمینان، شیر کنترل، صدا خفه کن خروجی سنسور فشار الکترونیکی و یک گیج فشار است. جهت سهولت کار با دستگاه، تمام ابزارهای کنترل و اندازه گیری روی پانل جلوی دستگاه قرار داده شده است.

مقدمه : کمپرسورها دستگاه هایی هستند که به منظور تراکم یا انتقال سیال به کار می روند . اگر به منظور تراکم بکار روند معمولاً از کمپرسورهای پیستونی و اگر برای انتقال ماده استفاده شوند کمپرسورهای دوار کاربرد بیشتری دارند. کمپرسورها های پیستونی دارای دور کمتر، کمپرسورهای دوار دارای دور زیادند.

تئوری :

طبق قانون اول ترمودینامیک برای سیستم هایی که ورودی و خروجی جرم داریم رابطه زیر برقرار است:

$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + gZ_i \right) = \frac{dE_{c.v}}{dt} + \sum \dot{m}_e \left[h_e + \frac{v_e^2}{2} + gZ_e \right] + \dot{W}_{c.v}$$

C.V : علامت حجم کنترلی

اندیس i : ورودی

اندیس e : خروجی

قانون اول ترمودینامیک را برای حجم کنترل (سیستم باز) به صورت دو فرایند تعریف می کنیم:

فرایند حالت پایدار ، جریان پایدار (S.S.S.F)

فرایند جریان یکنواخت ، حالت یکنواخت (U.S.U.F)

E در رابطه فوق یک خاصیت است و نمایشگر تمام انرژی سیستم است. این انرژی می تواند شکل های مختلف داشته باشد مثل انرژی جنبشی یا پتانسیل کل سیستم به چهارچوب مختصات انتخابی و..... حال در کمپرسور :

از آنجا که ارتفاع از سطح زمین در دو سمت کمپرسور یکسان است از ترم انرژی پتانسیل صرف نظر می شود.

سرعت های ورودی و خروجی تقریباً یکسان است ، لذا از ترم انرژی جنبشی نیز می توان صرف نظر کرد.

$$\frac{dE_{C.V}}{dt} = 0 \quad \text{برای حالت S.S.S.F داریم}$$

لذا رابطه اصلی برای کمپرسور به صورت زیر در می آید.

$$\dot{W} = \dot{m}(h_1 - h_2) + \dot{Q}$$

و اگر سیال یک گاز عامل باشد داریم :

$$h_1 - h_2 = C_p(T_1 - T_2)$$

کار کمپرسور چون مصرفی است زمانی که هم آنتروپی است مینیمم است. فرایند ایده الی که برای کمپرسور های هوا یا سایر گازها وجود دارد که می توان عملکرد واقعی کمپرسور ها را با آن مقایسه کرد و آن فرایند بی در روی برگشت پذیر یا هم آنتروپی است. بازده کمپرسور با رابطه زیر تعریف می شود:

$$h_C = \frac{\dot{W}_S}{\dot{W}}, \dot{W}_S = \frac{\dot{m}R(T_2 - T_1)}{1 - \phi}$$

$$\dot{W}_S : \text{کار هم آنتروپی و } \phi = \frac{C_p}{C_v}$$

باتوجه به رابطه ۳ و ۴ ، بازده به صورت زیر در می آید:

$$h_C = \frac{T_{es} - T_i}{T_e - T_i}$$

T_{es} : دمای خروجی از کمپرسور در حالت هم آنتروپی که توسط رابطه زیر محاسبه می شود.

$$\frac{T_{es}}{T_i} = \left(\frac{P_e}{P_i} \right)^{\frac{\phi - 1}{\phi}}$$

با جاگذاری T_{es} در رابطه h_C و T_e یعنی خروجی از کمپرسور در حالت واقعی محاسبه خواهد شد. در کل افزایش آنتروپی به واسطه برگشت ناپذیریه را داریم. اگر بتوانیم در حین تراکم گاز د کمپرسور دما را ثابت نگه داریم، کارمصرفی حالت هم دما از همه حالات حتی از حالت هم آنتروپی نیز کمتر است.

نمودار T-S نشان داده شده در زیر برای یک کمپرسور صادق است:

کمپرسور ها را برای فشار در خیلی از حالات نمی توان در یک مرحله طراحی کرد. چون اگر در یک مرحله بخواهیم از یک فشار اولیه به فشار نهایی برسیم ، دمای خروجی شدیداً بالا رفته که به تبعیت از آن کار مصرفی نیز شدیداً افزایش می یابد. کار یک فرایند ایزوترمال کمپرسور به صورت زیر تعریف می شود. (سیال مورد استفاده ، گاز ایده آل می باشد.)

$$\dot{W} = P_1 N_1 L_N \frac{P_1}{P_2} = \eta_a R T_1 L_n \frac{P_1}{P_2}$$

T_1 : دمای هوا در ورود به کمپرسور

η_a : جرمی هوا

کار اندیکاتوری یک کمپرسور به صورت زیر تعریف می شود.

$$\dot{W} = P_m . A . L . N / 60$$

P_m : فشار متوسط موثر A: سطح مقطع پیستون L: Stroke N: دور کمپرسور (RPM)

کار مکانیکی یک کمپرسور نظیر به صورت زیر تعریف می شود:

$$\dot{W} = 2p . N . T$$

T: گشتاور (N.m)

N: دور کمپرسور (RPM)

P_1 و P_2 نظیر که در رابطه کار ایزوترم آمده است عبارتند از :

P_1 = فشار هوا در ورود به کمپرسور

P_2 + فشار هوا در خروج از کمپرسور

رابطه زیر را نیز بخاطر بسپارید:

$$\frac{2pNT}{60} = V . I . h \text{ موتور}$$

V= ولتاژ مصرفی

I= آمپر

حجم مرده و حجم جابجایی :

حجم جابجایی بعنوان حجمی تعریف می شود که پیستون در یک Stroke جاروب می کند. بمنظور اینکه پیستون در انتهای هر Stroke به سیلندر برخورد نکند و نظز فضایی برای دریچه های ورودی و خروجی داشته باشد، حجم مرده در کمپرسور های رفت و برگشتی پیش بینی می شود. نسبت حجم مرده به حجم جابجایی Clearance نامطده می شود. مقدار این نسبت بین ۳٪ تا ۱۲٪ است.

دیاگرام ایده آل P.V : دیاگرام زیر، دیاگرام P-V یک سیلندر است:

مرحله مکش d-a

مرحله تراکم a-c

مرحله تخلیه b-c

مرحله انبساط c-d

$$\text{نسبت فشار} = r_p = \frac{P_2}{P_1}$$

$$V_S = V_a - V_C \quad \text{حجم جابجایی}$$

$$V = V_a - V_d \quad \text{حجم هوای عبوری}$$

$$V_C \quad \text{حجم مرده}$$

مرحله تراکم و انبساط در کمپرسورهای رفت و برگشتی ایزوترم و یا آدیابا تیک نیست. و یک فرایند پلی تروپیک است یعنی $(PV^n = cte)$ توان پلی تروپیک (n) در فرایند انبساط و تراکم بین 1.0 تا 1.4 است. کار پلی تروپیک سطح دیاگرام P-V به صورت زیر است:

$$W = \oint Pdv = \frac{n}{n-1} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

و این رابطه را به صورت زیر می توان بیان کرد.

$$W = n_a RT_1 \left(\frac{n}{n-1} \right) \left[r_p^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

بازده حجمی یا راندمان حجمی:

در عمل ، بازده حجمی یکی از پارامترهای مهم در مهم در کمپرسورهاست که مقدار واقعی دبی هوایی عبوری از کمپرسور را با مقدار ماکزیمم تئوریک آن مقایسه می کند.

منحنی P-V را در شکل زیر در نظر بگیرید. حجم جابجایی عبارت است از:

$$V_S = V_a - V_C$$

مرحله مکش d-a

مرحله تراکم a-b

مرحله تخلیه b-c

مرحله انبساط c-d

در حالی که حجم واقعی هوا که از سیلندر عبور می کند عبارت است از:

$$V = V_a - V_d$$

بنابراین راندمان حجمی به صورت زیر تعریف می شود:

$$h_{rol} = \frac{V_a - V_d}{V_a - V_c}$$

که توسط دیگرام $P.V$ قابل محاسبه است.

رابطه اخیر h_{vol} را در نظر بگیرید.

$$V_s = V_a - V_c$$

$$h_{vol} = \frac{V_a - V_d}{V_s} = \frac{V_s + V_c - V_d}{V_s}$$

$$h_{vol} = 1 - \frac{V_c}{V_s} \left\{ \frac{V_d}{V_c} - 1 \right\}$$

با توجه به اینکه :

$$P_d N_d^n = P_c N_c^n$$

$$h_{rol} = 1 - \frac{V_c}{V_s} \left\{ \left(\frac{P_c}{P_d} \right)^{1/n} - 1 \right\}$$

بررسی پروسه های فراپند تراکم:

دیگرام ایده ال $P-V$ ، با فرض اینکه حجم مرده مساوی صفر است، در شکل زیر نمایش داده شده است.

همان طوری که قبلا نیز توضیح داده شد، کار لازم برای متراکم کردن هوا و تحویل آن وقتی که فرایند تراکم ایزونتروپیک است بیشتر از وقتی است که فرایند ایزو ترمال است. تفاوت این دوبادو سطح هاشور خورده نمایش داده شده است. منحنی تراکم با مقادیر مختلف n ، در ناحیه هاشورخورده قرار می گیرند. لازم به ذکر است وقتی n کاهش می یابد مقدار کاری که برای راندمان کمپرسور لازم است نظز کاهش می یابد.

شرح دستگاه : دستگاه مورد آزمایش تشکیل شده است از یک کمپرسور رفت و برگشتی که توسط یک الکترو موتور DC به حرکت در می آید. میزان توان لازم جهت حرکت کمپرسور را می توان توسط دانستن توان مصرفی موتور DC و راندمان الکتریکی آن محاسب نمود. از همین رو بر روی پانل اندازه گیری سیستم میزان ولت /آمپر مصرفی الکتروموتور DC مشخص است.

دستگاه دارای یک منبع ذخیره هوای فشرده می باشد که میزان فشار آن را می توان اندازه گیری نمود. از طرفی توسط یک اریفیس میزان هوای مصرفی کمپرسور مشخص می گردد. دمای هوای ورودی به کمپرسور خروجی از آن همچنین فشار این دو نقطه بر روی پانل اندازه گیری نمایان است. یک سیستم کنترل دور نیز برای دستگاه تعبیه شده است. که توسط آن می توان دور سیستم را تغییر داد و آن را اندازه گیری نمود.

روش انجام آزمایش:

شیر کنترل دبی جرمی را باز کنید تا فشار سنج مخزن ، فشار صفر را نمایش دهد.
کلید چرخان سیستم کنترل دور را روی صفر (خاموش) قرار دهید.
ولوم کنترل دور را بر روی عدد صفر قرار دهید.
کلید Power ، پانل اندازه گیری را روشن کنید.
کلید چرخان سیستم کنترل دور را قرار دهید.
ولوم کنترل دور را مقدار بچرخانید (حدود عدد 5)
شیر کنترل دبی جرمی هوا را ببندید تا فشار افزایش پیدا کند.
پس از اینکه فشار مخزن به حدود 2 atm رسید. شیر کنترل دبی جرمی را قدری باز کنید. تا فشار داخل مخزن ثابت بماند.
اجازه دهید سیستم به حال تعادل برسد.
مقادیر فشار، دما، ولت، آمپر، دبی، سرعت را یادداشت کنید.
در چند فشار مختلف و همین سرعت آزمایش را تکرار کنید.

دستور کار:

پمپ حرارتی

دستگاهی که توسط سیکل یخچالی عمل می نماید و امروزه بسیار مورد توجه است از حرارت ایجاد شده توسط دستگاه برای گرم نمودن جریانی از آب یا هوا استفاده می شود .



اطلاعات فنی :

پمپ حرارتی هوا به آب

سیستم فشرده شامل تمام اجزای مهندسی تبرید

کندانسور آب-خنک دو لوله‌ای با کمپرسور هرمتیک

ماده سردکننده غیر آلاینده R12

دارای مد Pumpdown

آزمایش های قابل انجام :

آشنایی با کارکرد و اجزای اصلی یک پمپ حرارتی

عملکرد در حالت Pumpdown (کنترل کمپرسوری)

فرایند سیکلیک روی دیاگرام حالت p-h

محاسبه نرخ انتقال حرارت در مبدل های گرمایی

تعیین راندمان و COP (ضریب عملکرد)

توضیحات :

این دستگاه شامل اجزایی است که در پمپ های حرارتی صنعتی استفاده می شود و یک چرخه تبرید کامل را تشکیل می دهند. اجزای اصلی چرخه عبارتند از اواپراتور، کندانسور و کمپرسور. سیستم کندانسور از نوع آب - خنک دو لوله ای با کمپرسور هرمتیک و اواپراتور از نوع هوا - خنک با فن می باشد. یک مدار Pump down نیز در سیستم گنجانده شده است.

پس از آنکه دمای خروجی اواپراتور به مقدار مشخصی رسید، شیر سولنویید ورودی شیرانبساط را می بندد. کمپرسور به کار خود ادامه می دهد و کلکتور را با ماده سردکننده پر می کند، تا زمانی که سوئیچ قطع فشار بالا عمل کند. از یک ماده سردکننده سازگار با محیط زیست استفاده شده است.

شرح دستگاه

دستگاه از ۹ قسمت متمایز تشکیل شده است :

دستگاه اصلی یا air conditioner :

۱ - کمپرسور با ولتاژ کاری 220-240v و فرکانس $50H_z$ که خود شامل یک موتور باتوان ۱/۲hp است

۲ - کندانسور با لوله های هم مرکز می باشد که در داخل لوله فرئون و در پوسته آب در جریان است -

۳- evaporator : که از لوله های مارپیچی از جنس مس تشکیل شده که توسط صفحات فلزی پرده دار شده اند در این قسمت فرئون مایع با فشار بالا پس از شکسته شدن فشار ، تبخیر شده و سرمای زیادی ایجاد می شود و با گرفتن گرما از هوایی که توسط فن دمیده می شود هوای سرد شده خارج می شود ، در مورد موتور فن که با چرخاندن بالن پشت آن میزان دور فن تنظیم می شود. سایر موارد:

۴- شیرهای یکطرفه به منظور ممانعت از انحراف حرکت سیال که بعد از کمپرسور نصب است .

۵- drain valve (رطوبت گیر)

۶- expansion valve یا شیر سوزنی یا شیر خفقانی به منظور کاهش فشار مایع متراکم بعد از عبور از کندانسور

۷- دستگاه مربوط به دبی سنج آب خنک کننده (روتامتر)

۸- ترمومتر های مربوط به آب ورودی و خروجی به کندانسور ، دمای هوای ورودی و خروجی به کندانسور، سیال ورودی و خروجی از اواپراتور که از دستگاه های دیجیتالی و دربرخی موارد صفحات نمایشگر کامپیوتری این دماها ثبت می شود این دستگاه دارای ۶ ترمومتر می باشد.

۹- گیج های فشار سنج برای اندازه گیری فشار سیال ورودی و خروجی از کندانسور ماکزیمم دبی آب

خنک کننده حدود $v_{H20} = 5 \frac{lit}{min}$ است . که از جمله موارد قابل تغییر در این دستگاه می باشد .

۱۰- ظرف جمع آوری قطرات

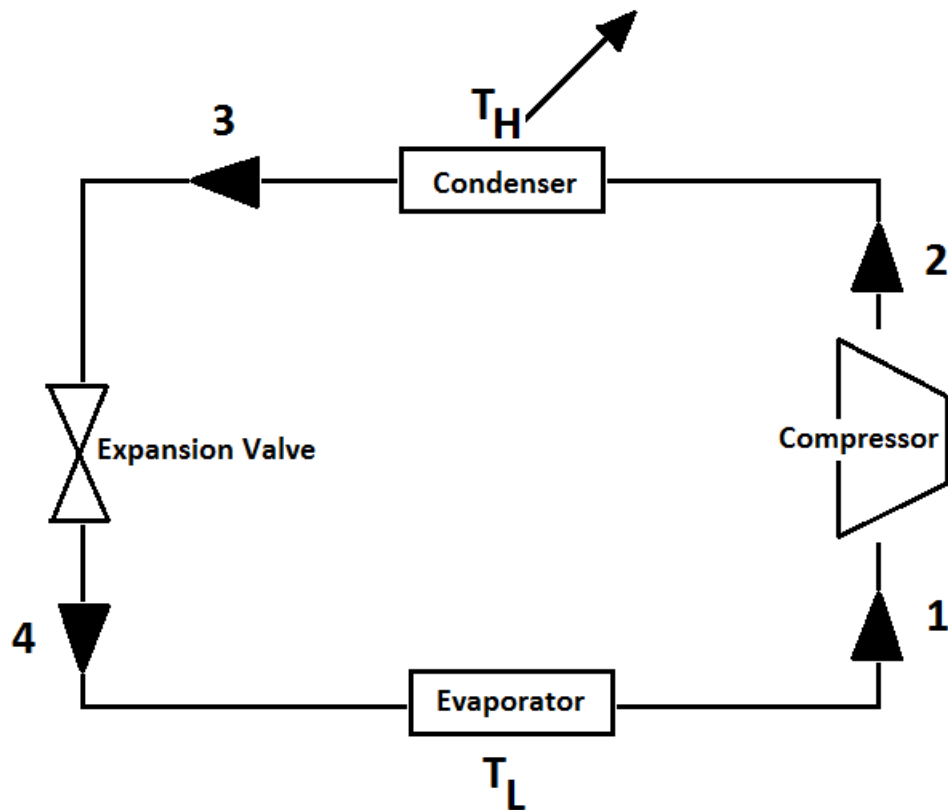
روش انجام آزمایش

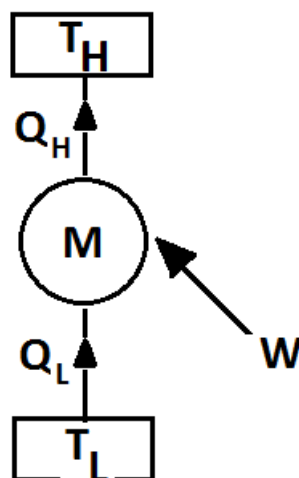
قبل از روشن نمودن دستگاه دبی آب خنک کننده به مقدار معینی (مثلاً $H_2 = 196$ میلیمتر معادل $v = 332 lit/h$) تنظیم می نماییم . آنگاه با زاء زمانهای معین " (مثلاً هر ۵ دقیقه) شدت جریان و ولتاژ کمپرسور فن را توسط ولت ، آمپر متر از روی صفحات نمایشگر کامپیوتری خوانده و سپس توان را با توجه به پارامتر های حاضر بدست می آوریم $p = V I$ و به این صورت توان مصرفی کمپرسور فن بدست می آید . همچنین از روی نمایشگر دماهای مربوط را یادداشت می کنیم .

تئوری سیکل های منفی

سیکل های منفی حرارت را از منبع سرد دریافت نموده و به منبع گرم (به کمک سیالی) منتقل می نمایند . و برای ایجاد سرما (یخچال یا تهویه مطبوع) یا ایجاد گرما (هیت پمپ = موتور حرارتی)

بکار می روند. چون معمولاً انتقال حرارت به خودی خود از محیطی با دمای پائین تر به محیطی با دمای بالاتر امکان پذیر نیست در سیکل تبریدی به اینصورت انجام می شود . ماشین های سرماساز را معمولاً باید دمایی کمتر از دمای محیط را به وجود آورده و حفظ نماید در صنایع مربوط به تبرید معمولاً دمای صفر درجه و کمتر از آن مورد توجه است سیکل های تبرید بر حسب نوع سیال به دو دسته سیکل های بخار و سیکل های هوایی تقسیم می شوند (سیکل های بخار را می توان به دو گروه تراکمی و جذبی تقسیم بندی نمود) شکل مقابل شماتیک سیکل تبرید تراکمی بخار ساده را نشان می دهد که شامل چهار قطعه بنام های کمپر سور - کندانسور - شیر فشار شکن و اواپراتور است در صورتیکه سیال هوا باشد می توان بجای شیر فشار شکن از ماشین انبساط استفاده کرد ، در مقایسه شیر فشار شکن از ارزانتر و ساده تر است . اگر سیال هوا باشد به جای شیر فشار شکن از ماشین انبساط استفاده می شود





شکل ۱

سیکل تبریدی تراکمی بخار :

در سیکل تبرید تراکمی بخار (شکل بالا) سیال توسط کمپرسور به حرکت در آمده و متراکم می شود تحول در آن پلی تروپیک (آدیباتیک) می باشد . در اثر تراکم، فشار و دمای سیال زیاد شده و بصورت بخار داغ از کمپرسور خارج می شود. ($1 \rightarrow 2$)

بخار داغ بعد از خروج از کمپرسور از کندانسوری عبور می نماید که توسط آب یا هوا سرد می شود در نتیجه بخار داغ به صورت ایزو بار و هم فشار حرارت خود را پس داده (به سرد کننده ، کندانسور) و بصورت مایع متراکم (سرد) از کندانسور خارج می شود . آنگاه وارد expansion (خفقانی) شده و بصورت آیزنتالپ ($h=0$) منبسط شده فشار و ماشین کاهش یافته به صورت بخار مرطوب شیر را ترک می نماید آنگاه وارد محیطی می شود که باید آنجا را سرد نماید (اواپراتور : تبخیر کننده) . در آنجا چون دمای سیال ورودی کم است به صورت ایزوباری حرارت را از محیط دریافت نموده (Q_L) و در نتیجه به بخار خشک (داغ) تبدیل می گردد و وارد کمپرسور می شود .

بنابراین سیال در ضمن گردش در دستگاه W_c کار از کمپرسور و Q_L حرارت از منبع سرد و حرارت Q_H را به منبع گرم تحویل می دهد .

سیکل تبرید هوایی (گازی)

در سیکل های تبرید هوایی سیال گازی شکل بود و تبخیر و تقطیری در حین گردش آن در دستگاه روی نمی دهد . از این سیکلها موقعی استفاده می شود که یا دمای خیلی پایین (تقطیر گازها) یا ایجاد قدرت برودتی زیاد مورد نظر باشد . در این سیکلها معمولاً به جای شیر انبساط از ماشین انبساط استفاده می شود. از این سیکل برای خنک کردن هواپیما نیز استفاده می شود .

$$q_N = c_p (T_3 - T_2)$$

$$q_{cv} + h_v = W_{cv} + h_e$$

همانطور که ملاحظه شود در این صورت ضریب عملکرد فقط تابعی است از نسبت تراکم و توان تراکم برای ایجاد دماهای بسیار پائین می توان در این سیکل از یک مبدل استفاده نمود (مثلاً در مایع کردن هوا)

شرح تحولات :

1 → 2 تراکم آدیاباتیکی (یا پلی متر و پیک) در کمپرسور

$$q_k + h_1 = w_c + h_2$$

$$w_c = \frac{nR(T_2 - T_1)}{1 - n}$$

2 → 3 انتقال حرارت از سیال به محیط خارج از ایزوباری

$$q_H = h_2 - h_3$$

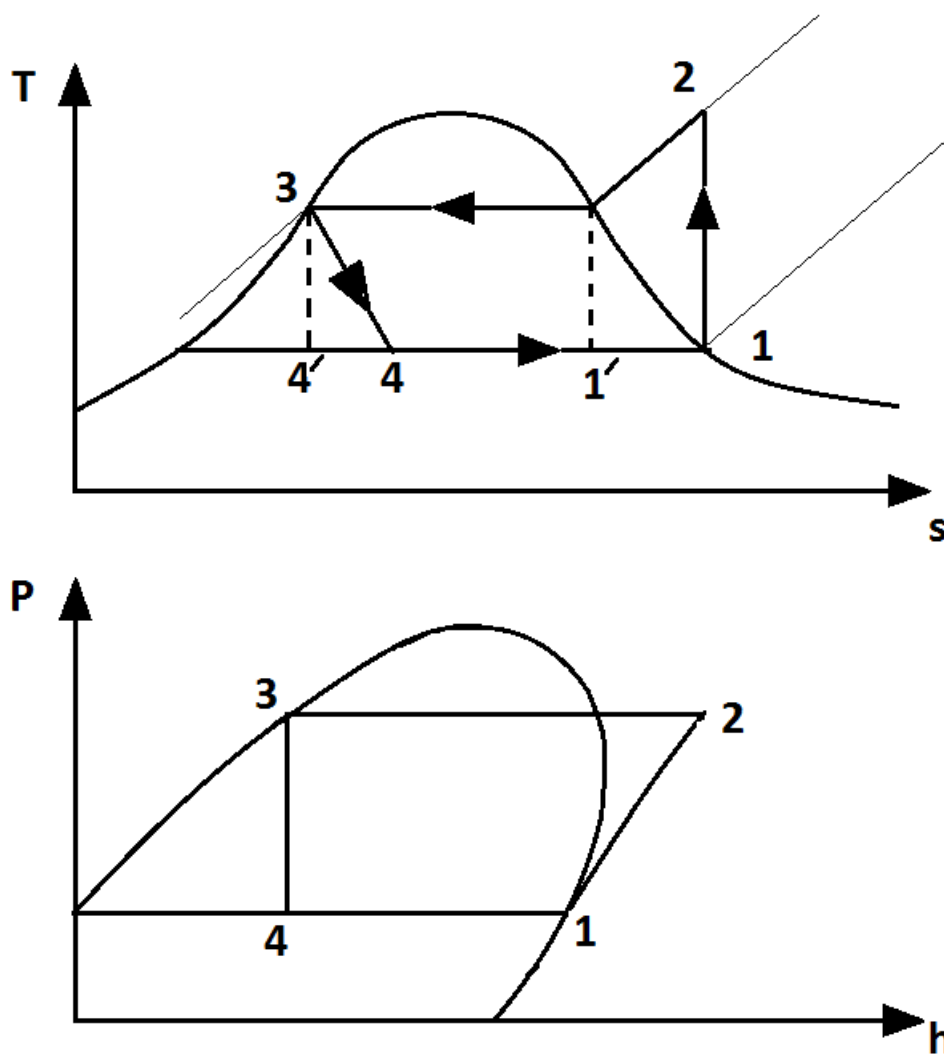
3 → 4 انبساط در شیر ایزنتالپ

$$h_3 = h_4$$

1 → 4 جذب حرارت از محیط سرد شونده انتقال حرارت به سیال (q_L) ایزوباری

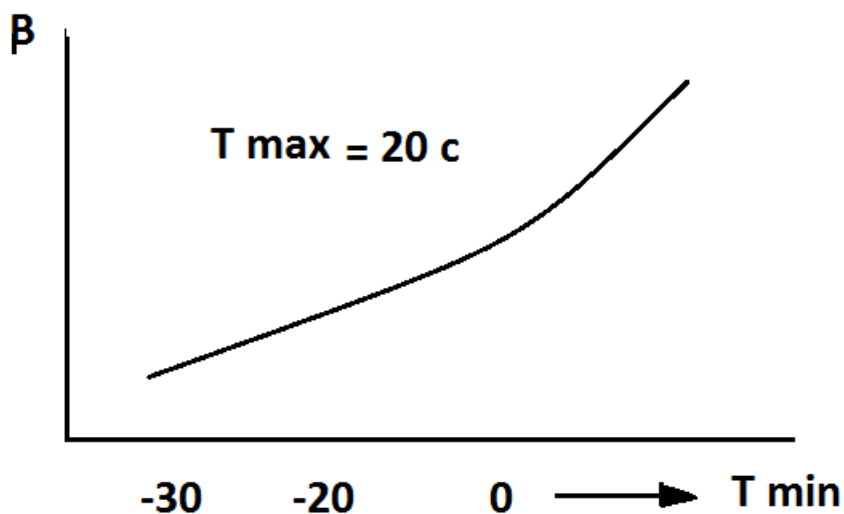
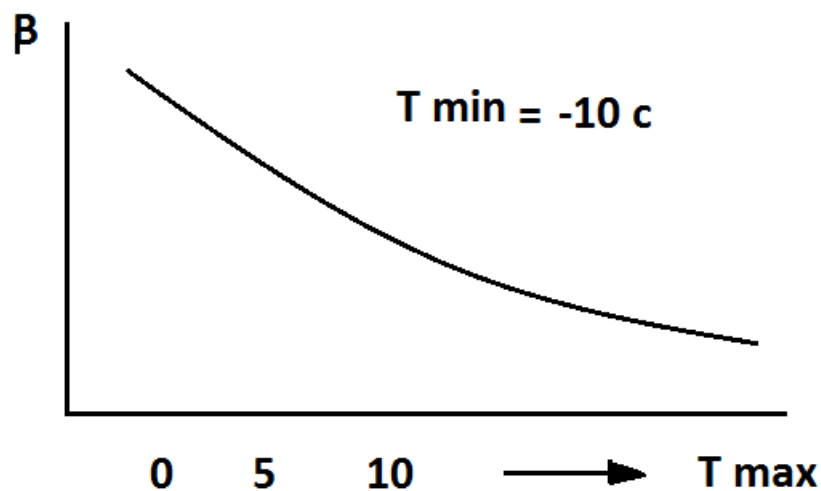
$$q_L = h_1 + h_4$$

$$q_H = q_L + w_c + (q_c)$$



شکل ۳

در سیکل‌های منفی بجای راندمان از ضریب عملکرد صحبت می شود .
 بزرگترین ضریب عملکرد سیکل های تبرید مربوط به سیکل های تبریدی است که بر اساس سیکل کارنو کار کند
 گرچه ضریب عملکرد سیکل منفی کارنو ($1', 2, 3, 4'$) ماکزیمم است بعلت مشکلات طراحی و اقتصادی از آن استفاده نمی شود .
 علاوه بر ضریب عملکرد در سیکل‌های تبرید از قدرت برودتی صحبت می شود منظور مقدار سرمایی است که در واحد زمان در اواپراتور ایجاد می شود .



مواد مصرفی بعنوان سیال عامل در سیکل‌های تبرید تراکمی مواد مختلفی در تبرید تراکمی کاربرد دارد که بر حسب چگونگی مشخصات آنها (مثلاً منحنی) در موارد گوناگون بکار می‌روند .

در دستگاه‌های برودتی عظیم (بیشتر از $40 \frac{MJ}{h}$) مواد مصرفی شیر عبارتند از :

آمونیاک - فریون و ایندرید کربنیک

در دستگاه‌های کوچکتر مواد مانند فریون - $C_2H_5cl, CH_3OCH_3, SO_2, CH_3cl$ چون سیال انتخابی موثر بر ساختمان دستگاه می‌باشد (قطر - کورس - سوپاپ‌های کمپرسور)

به همین جهت در موقع انتخاب سیال مورد نظر باید منحنی بخار آن ماده مشخص باشد .

نسبت تراکم زیاد باعث افزایش مراحل تراکم و ایجاد مشکلات در جلوگیری از نشست سیال به خارج می شود .

ضمناً سیال باید حتی المقدور از نقطه انجمادش دور بوده و دارای گرمای نهان تبخیر زیادی باشد تا بتواند هنگام عبور از اواپراتور حرارت زیادتری جذب نماید علاوه بر این نباید سمی آتش زا و بد بو بوده و میل ترکیبی با فلزات و لوله های مسیر نداشته باشد. گرچه آمونیاک بیشتر خواص فوق را دارد ولی هنگام نشست ایجاد خفگی می کند .

گاز ایندریدکربنیک دارای منحنی فشار مناسب است .

چون معمولاً در سیکل‌های تبرید خانگی از فشارهای زیاد استفاده نمی شود به همین جهت از CO_2 و NH_3 به عنوان سیال مبرد کمتر استفاده می شود بلکه به جای آنها از فریون استفاده می شود که بدون خطر ، بی بو و غیر سمی است . گرچه H_2O زیاد مورد توجه است ولی به علت حجم مخصوص زیاد در فشارهای کم مشکلات زیادی ایجاد می نماید .

دماها

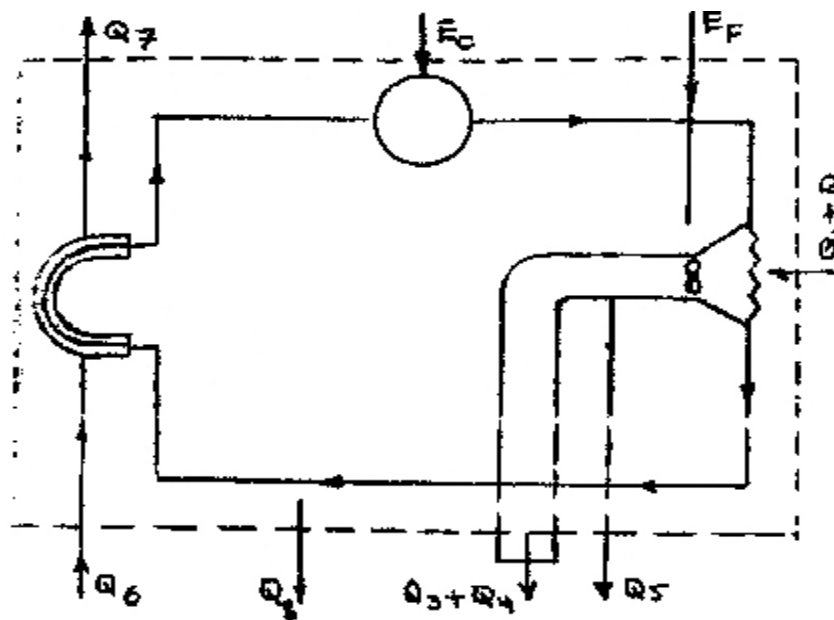
T_1	دمای فرئون ورودی به evaprator
T_2	دمای فرئون خروجی از evaprator
T_3	دمای ورودی فرئون به داخل لوله های کندانسور
T_4	دمای خروجی فرئون به داخل لوله های کندانسور
T_5	دمای آب ورودی به پوسته
T_6	دمای آب خروجی از پوسته

۱- روابط :

$$Q_1 = \dot{m}_1 c_p T_1 \dots \dots \dots Q_2 = \dot{m}_1 h_v \dots \dots \dots Q_3 = \dot{m}_1 c_p T_2 \dots \dots \dots Q_4 = \left(\dot{m}_1 - \dot{m}_2 \right) h_v$$

$$Q_5 = \dot{m}_2 h_w \dots \dots \dots Q_6 = \dot{m}_3 T_3 C_w \dots \dots \dots Q_7 = \dot{m}_3 T_4 C_w$$

در شکل بعد دستگاه بطور شماتیک نشان داده شده جریانات انرژی از سطوح کنترل مشخص گردیده است



شکل ۹

قانون اول ترمودینامیک برای جریان یکنواخت (steady) :

$$(Q_6 - Q_7) + (E_C + E_F) = (Q_3 + Q_4 + Q_5) - (Q_2 + Q_1) + Q_8$$

ضریب عملکرد خارجی پمپ حرارتی :

$$(C.O.P._H)_E = \frac{(Q_3 + Q_4 + Q_5) - (Q_1 + Q_2)}{(E_C + E_F)}$$

ضریب عملکرد ایده آل پمپ حرارتی :

$$(C.O.P._H)_{\max} = \frac{\frac{1}{2}(T_1 + T_2)}{\frac{1}{2}(T_1 + T_2) - \frac{1}{2}(T_3 + T_4)}$$

ضریب عملکرد داخلی پمپ حرارتی :

$$(C.O.P._H)_I = \frac{(Q_3 + Q_4 + Q_5) - E_F - (Q_1 + Q_2)}{E_C}$$

بخش دوم

اصول تست و اندازه گیری

استاندارد

آزمایش و نصب تجهیزات باید بر مبنای استانداردهای بین المللی انجام گیرد. هدف از این استانداردها به شرح زیر است:

۱- افزایش امنیت مصرف کننده

۲- افزایش توانایی تجهیزات

۳- کاهش هزینه های مهندسی تولید و نگهداری سیستم

۴- افزایش کیفیت تولیدات

۵- کاهش آلاینده ها و حفاظت از محیط زیست

به عنوان نمونه استاندارد API (American Petroleum Institute) مربوط به انجمن صنفی صنایع نفت و گاز کشور آمریکا بوده و دارای اعتبار نامه از ANSI (American National Standards Organization) برای تدوین استانداردهای این صنعت را به عهده دارد. این انجمن دارای بیش از ۴۰۰ شرکت عضو بوده و تمامی این شرکتها برای تولید محصولات خود موظف می باشند که این استاندارد را رعایت نمایند. این انجمن در سال ۱۹۲۴ شروع به کار نموده و در حال حاضر بیش از ۵۰۰ استاندارد را تدوین نموده است. در زیر لیست تعدادی از استاندارد معتبر در زمینه تست ارائه شده است:

1. American National Standards Institute - ANSI
2. The Association of German Engineers -VDI
3. International Organization for Standardization (ISO)
4. the International Electrotechnical Commission (IEC)
5. ASTM
6. ASTM Performance Test Codes (PTC)
7. National Fire Protection Association (NFPA)
8. British Standards Institution (BSI)
9. SAE

10. American Gas Association (AGA)

11. Russia standard (GOST)

شرایط استاندارد تست

طبق استاندارد ISO برای بیان نتایج خروجی در تست که تحت تاثیر شرایط محیطی است باید نتایج در شرایط استاندارد بیان شود.

شرایط استاندارد به شرح زیر می باشد.

۱- دما ۱۵ درجه سانتیگراد

۲- فشار کلی ۱۰۱۳ کیلو پاسکال

۳- رطوبت نسبی : ۶۰%

دمای محیط

طبق استاندارد دمای محیط باید اندازه گیری شود. در استاندارد ISO بیان شده که دمای محیط به کمک دماسنج انبساط جزئی شیشه ای اندازه گیری می شود.

نحوه آماده سازی تجهیزات برای تست

قبل از انجام تست باید عملیات آماده سازی ایستگاه تست انجام گیرد. در این مرحله بررسی های اولیه صورت گرفته و از بر قرار بودن شرایط برای انجام تست اطمینان حاصل می گردد. لیست عملیاتی که باید انجام گیرد را می توان به شرح زیر دسته بندی نمود.

۱- باید ایستگاه تست بررسی شود و اطمینان از کارکرد پیوسته دستگاه حاصل شود اگر در تستی از سوخت استفاده می شود اطمینان از مقدار سوخت مورد نیاز حاصل شود.

۲- در سوخت گازی باید از تمیز بودن صافی سوخت اطمینان حاصل نمود. که این عمل با مشاهده مستقیم، فشار سنج ، بورسکوب (bore scope) بررسی شود.

۳- تمامی وسایل اندازه گیری باید کالیبره شود و باید دقت این دستگاهها در بازه استاندارد قرار گیرد.

- ۴- اطمینان از ارسال اطلاعات از سنسورها به سیستم الکتریکی اکویزیتور (acquisition) حاصل شود.
- ۵- بعضی از سنسورها دارای عملیات تعمیرات و نگهداری می باشد. در صورت لزوم موارد تعیین شده برای نگهداری سنسورها اعمال گردد. به عنوان مثال ترمووال (Thermo wall) باید در زمانهای مناسب با روغن سرویس شود.
- ۶- در استفاده از ترمووال مقدار نفوذ این سنسور در بدنه و قطر نفوذ بررسی شود.
- ۷- سیستم را از لحاظ نشتی روغن و سوخت بررسی شود.
- ۸- در صورت تنفس از باز بودن سیستم ورودی هوا و تمیز بودن فیلتر آن اطمینان حاصل شود.

دقت مجاز دستگاه ها

بر مبنای استاندارد در اندازه گیری ها در مراحل متفاوت و یا از سنسورهای متفاوت نصب شده در یک مکان مقدار نوسانات در اندازه گیری ها نباید از حد مشخصی بالاتر برود. بالا بودن این نوسانات نشان دهنده مشکلی در عملکرد سیستم ، وسایل اندازه گیری و یا نحوه تست می باشد. در صورت مشاهده مشکل باید ایراد مشخص و رفع گردد و باید تست دوباره انجام گیرد. به عنوان نمونه مقدار مجاز نوسانات در تست توربین در جدول ۲-۲ آورده شده است.

جدول ۱-۲ مقدار دقت وسایل اندازه گیری در تست توربین بر مبنای استاندارد PTC19

دقت	وسیله اندازه گیری
۰.۳ - ۲.۰%	فشار
۰.۳°C - ۴.۰	دما
۰.۵ - ۲.۰%	دبی
۰.۵ - ۱.۵%	گشتاور
۰.۲ - ۳.۰%	تعیین ترکیب سوخت و ضرایب ثابت (چگالی ، ضرایب ثابت گاز،

جدول ۲-۲ نوسانات مجاز در اندازه گیری در تست توربین بر مبنای استاندارد PTC22

Measurement	Fluctuation
Inlet Pressure (ps)	2.00%*
Discharge Pressure	2.00%*
Orifice Differential Pressure	2.00%
Orifice Temperature	0.50%
Inlet Temperature (Ts)	0.50%
Speed (N)	0.50%
Torque	1.00%
Specific Gravity, Test Gas (SG)	0.25%
Electrical Power Output (Gen Sets)	2.00%
Torque	2.00%
Power Factor	2.00%
Speed (Gas Producer, Power Turbine)	1.00%
Site Barometric Pressure	0.50%
Air Temperature at Intake	4°F **
LHV of Gas Fuel	1.00%
Pressure of Gas Fuel	1.00%
Exhaust Back Pressure (abs)	0.50%
Air Inlet Pressure	0.50%
Exhaust Temperature	5°F
Fuel Consumption	2.00%

* = Especially for low pressure ratio compressors, 1% should be used.

** = Solar requires 1°F

محاسبه خطا در یک تست

بررسی دقت

خطای سنسورها باعث می شود که محاسبه توان با خطا همراه باشد. با توجه به فرمول بندی محاسبه توان و دقت تجهیزات، آنالیز خطا انجام میگیرد اگر توان خروجی را با F نمایش داده شود مقدار خطا از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\Delta F = \sqrt{(\Delta u_1 \frac{\partial f}{\partial u_1})^2 + (\Delta u_2 \frac{\partial f}{\partial u_2})^2 + \dots + (\Delta u_n \frac{\partial f}{\partial u_n})^2} \quad (۳-۱)$$

که در این رابطه u پارامترهای مستقل موثر بر توان خروجی بوده که بصورت مستقل اندازه گیری می شوند و du نشاندهنده خطای تجهیزات اندازه گیری می باشد. dF خطای نهایی اندازه گیری است. به عنوان نمونه برای محاسبه مقدار حرارت تولیدی می توان از مثال زیر کمک گرفت. مقدار حرارت تولیدی از یک سوخت از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$HR = W_{fuel} \frac{LHV}{P_{shaft}} \quad (۴-۱)$$

تمامی تجهیزات اندازه گیری خطای مشخصی دارند که این مقدار وابسته به نوع دستگاه، نحوه نصب، کالیبراسیون و تجهیزات جانبی می باشد. که برای محاسبه دقیق فرمول (۳-۱) باید محاسبه شوند. به عنوان نمونه این موضوع در رابطه با دما سنجها در جدول ۳-۲ آورده شده است.

جدول ۳-۲- مقایسه عوامل متفاوت خطا در تجهیزات اندازه گیری دما [۳]

وسیله اندازه	مکان	نحوه نصب	خطا کالیبراسیون	خطای وسیله اندازه گیری	خطای آکوزیشن
ترمومتر (Pt100)	۰.۱	۰.۲	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۱
ترمیستور	۰.۱	۰.۲	۰.۱	۰.۰۵	۰.۰۵
ترموکوپل	۰.۱	۰.۲	۰.۱	۰.۱	۰.۰۵
RTD	۰.۱	۰.۲	۰.۰۵	۰.۰۵	۰.۰۵
دماسنج (Infrared)	۰.۴	۰.۲	۰.۱	۰.۲۵	۰.۰۵

وسایل متفاوتی برای اندازه گیری دما در شرایط مختلف در استاندارد ASME PTC وجود دارند. در زیر توضیح مختصری درباره هر وسیله داده می شود.

در مثال مد نظر دبی سوخت اندازه گیری شده برابر با 1553 scfm (2500 nm²/h) می باشد و این اندازه گیری دارای دقتی در حدود ۰.۹ درصد بوده است. ارزش حرارتی تعیین شده توسط آزمایشگاه در حدود 940 Btu/scf (36940kj/nm³) با دقت در حدود ۰.۷۵ درصد می باشد. مقدار توان اندازه گیری

شده در شفت خروجی موتور در حدود 10000kW (13410 hp) با دقت ۳ درصد بوده است به کمک روابط بالا می توان رابطه زیر را نوشت:

$$\Delta HR = \sqrt{(\Delta W_{fuel} \frac{LHV}{P_{shaft}})^2 + (\Delta(LHV) \frac{W_{fuel}}{P_{shaft}})^2 + (\Delta P_{shaft} \frac{W_{fuel} LHV}{P_{shaft}^2})^2} \quad (3-3)$$

و با جاگذاری مقادیر می توان دقت مقدار حرارت تولید شده را تعیین نمود:

$$\Delta HR = 297 \frac{kJ}{kWh} = 3.2\% \quad (4-3)$$

مشابه این محاسبات برای تست کامل توربین گازی در مرجع ؟؟؟ انجام گرفته است و در جدول ۴-۲ خلاصه نتایج آورده شده است.

جدول ۴-۲ عدم دقت در محاسبات در حالت نصب ایده‌ال تجهیزات الف) SI ب) English

Case 1: Ideal Case					
Input Parameter	Value	Input Δ[%] ³	Δ Power-in		Δ η
Mf, Fuel Flow [kg/s] ¹	0.60	1	300		0.002
HV, Heating Value [kJ/kg]	50000	0.3	90		0.001
Power-out [kW] ²	6223	1.35	0		0.003
Performance Parameter	Value				
Power-In [kW]	30000		Total ΔPower [%]		Total Δη [%]
Turbine Efficiency	0.207		1.04		1.71

¹ Fuel flow is given as a mass flow for typical natural gas.
² Power out is delivered power of turbine – absorbed power for centrifugal compressor.
³ Input fuel flow is typical for volumetric meter with density conversion or orifice meter.
 Input heating value is typical due to gas sampling / gas chromatograph.
 Output power uncertainty based on calculated power uncertainty of compressor for ideal case.

Case 1: Ideal Case					
Input Parameter	Value	Input Δ [%] ³		Δ Power-in	$\Delta \eta$
Mf, Fuel Flow [lbm/s] ¹	1.32	1		402	0.002
HV, Heating Value [Btu/lbm]	21496	0.3		121	0.001
Power-out [hp] ²	8345	1.35		0	0.003
Performance Parameter	Value				
Power-in [hp]	40228			Total Δ Power [%]	Total $\Delta \eta$ [%]
Turbine Efficiency	0.207			1.04	1.71
¹ Fuel flow is given as a mass flow for typical natural gas. ² Power out is delivered power of turbine = absorbed power for centrifugal compressor. ³ Input fuel flow is typical for volumetric meter with density conversion or orifice meter . Input heating value is typical due to gas sampling / gas chromatograph. Output power uncertainty based on calculated power uncertainty of compressor for ideal case.					

فصل سوم دما سنج ها

در این بخش وسایل اندازه گیری دما معرفی می شود:

دماسنج تشعشعی^۱

وسیله ایست که با استفاده از شدت تشعشع تابش شده از یک جسم، دمای آن را اندازه گیری می کند. این نوع دماسنج معمولاً شامل سیستم اپتیکال، یک بخش حساس به دما، یک ترموکوپل و یک وسیله اندازه گیری می باشد.

دماسنج ترموکوپلی^۲

این نوع دماسنج شامل یک ترموکوپل جهت حس کردن دما و تولید نیروی محرک الکتریکی (emf)^۳، وسیله ای برای درک emf و تبدیل آن به دما و نیز یک رابط الکتریکی جهت اتصال دو بخش قبل می-باشد (پیوست (۱)).

¹ Radiation Thermometer

² Thermocouple thermometer

³ Electromotive force

دماسنج مقاومتی^۴

در این نوع دماسنج با استفاده از مقاومت الکتریکی، دما اندازه‌گیری می‌شود. این وسیله شامل یک بخش حسگر به نام رسیستور^۵، بخش اندازه‌گیری مقاومت و بخش رابط الکتریکی بین دو قسمت قبل می‌باشد (پیوست (۲)).

RBT: این دماسنج همان دماسنج مقاومتی می‌باشد که در داخل محافظی قرار دارد تا در برابر جریان و یا دما بالا محافظت شود. معمولاً از ترمو وال (thermo wall) برای محافظت استفاده می‌شود.

دماسنج انبساط جزئی^۶

در این نوع دماسنج با استفاده از انبساط جزئی مایع درون یک محفظه شیشه‌ای بسته، دما اندازه‌گیری می‌شود. این دماسنج شامل حباب جداره نازک شیشه‌ای و یک میله موئین شیشه‌ای می‌باشد که بخشی از آن با مایع انبساطی پر شده است (پیوست (۳)).

دماسنج Filled System

در این نوع دماسنج با استفاده از تغییر در حجم مایع، تغییر در فشار یک گاز یا تغییر در فشار بخار یک مایع فرار، دما اندازه‌گیری می‌شود.

دماسنج اپتیکال

در این نوع با استفاده از میزان روشنایی نور در تشعشع ساطع شده از جسم در محدوده باریکی از طول موج‌ها، دمای جسم اندازه‌گیری می‌شود.

دماسنج دوفلزی

در این نوع دماسنج، با استفاده از انبساط جزئی دو فلز، دمای مورد نظر اندازه‌گیری می‌شود. این دماسنج شامل یک بخش نمایشگر، بخش حسگر به نام حباب دماسنج و بخش اتصال دو قسمت قبل می‌باشد.

⁴ Resistance thermometer

⁵ Resistor

⁶ Liquid-In-Glass

محدوده دمای توصیه شده جهت بکارگیری هریک از دماسنج‌های بالا در جدول ۵-۲ ارائه شده است.

جدول ۵-۲ محدوده عملکرد سنسور دماسنج

Type	Chapter No.	Range of Use, Deg F
(a) Radiation thermometers	2	Ambient and above
(b) Thermocouple thermometers	3	-300 to +4500
(c) Resistance thermometers	4	-450 to +1950
(d) Liquid-in-Glass thermometers	5	-328 to +1110
(e) Filled System thermometers	6	-400 to +1200
(f) Optical pyrometers	7	Above 1300
(g) Bimetallic thermometers	8	-200 to + 800

لوازم جانبی

در اکثر مواقع اندازه‌گیری دما در PTC با استفاده از وسایل حساسی صورت می‌پذیرد که امکان قرارگیری آن‌ها بصورت مستقیم در محیط اندازه‌گیری وجود ندارد. در چنین مواقعی از یک محافظ دماسنج استفاده می‌کنیم.

جهت اندازه‌گیری دما در سیال متحرک که نیروی بزرگی به دماسنج وارد می‌کند، از محافظ دماسنج استفاده می‌کنیم. در سرعت‌های ۳۰۰ fps یا کمتر از محافظ مخروطی استفاده میشود. در سرعت‌های بیشتر از ۳۰۰ fps باید از محافظ نوع fixed beam استفاده نمود.

مقاومت در برابر دقت

پارامترهایی که مقاومت محافظ دماسنج را افزایش می‌دهند، باعث کاهش زمان پاسخ و دقت اندازه‌گیری می‌شوند. بنابراین در طراحی‌ها باید بین دقت و استقامت محافظ، تعادل برقرار نمود.

پارامترهای مهم در طراحی محافظ دماسنج و فرایند طراحی آن به همراه یک مثال، در بخش ۱۴ از فصل اول استاندارد ASME PTC 19.3 شرح داده شده است.

سایر لوازم جانبی

در بعضی مواقع باید برای جلوگیری از تاثیر انتقال حرارت تشعشعی ناشی از دیواره‌های با دمای بالا، از وسایل دیگری در اطراف محافظ دماسنج استفاده می شود.

تئوری سنسور

دمای کامل (دمای دینامیکی) دمای است که به دلیل سرعت سیال باعث کاهش یا افزایش دمای استاتیکی می‌گردد. دمای کامل توسط ترموکوپل ، RTD و ترمومیتز قابل بر آورد می باشد. رابطه بین دمای استاتیکی و دینامیکی به صورت زیر قابل محاسبه می باشد:

$$T_t = T_s + \frac{V^2}{2c_p g_c} \quad (1-2)$$

یا به فرمت دیگر داریم

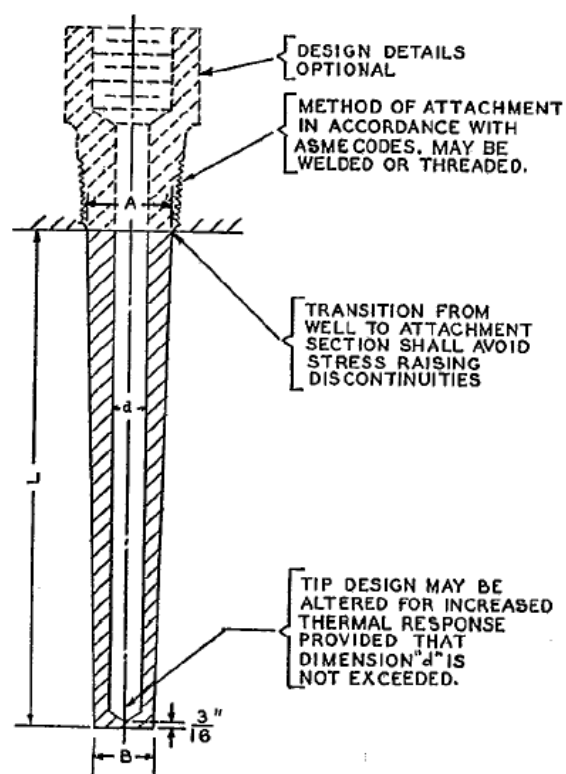
$$\frac{T_t}{T_s} = 1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \quad (2-2)$$

می توان ثابت نمود که بین فشار دینامیکی و استاتیکی رابطه زیر بر قرار می باشد:

$$\frac{P_t}{P_s} = \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad (3-2)$$

نحوه استفاده

بسیاری از دماسنجهای نسبت به جریان هوا و شرایط کارکرد حساس می باشند به همین دلیل نمی توان مستقیماً در مکان اندازه گیری نصب نمود. در این موارد از وسایلی استفاده می‌گردد تا دماسنج را در برابر فشار سیال محافظت نماید. یکی از پر کاربردترین وسایل ترمو ول می باشد. این وسیله برای جریانهایی با سرعت کمتر از ۳۰۰ fps (۹۱.۴۴ متر بر ثانیه) استفاده می شود. ساختار ترمو ول در شکل ۱-۳ آورده شده است. در جدول ۳-۶ مشخصات هندسه آن بیان شده است. برای سرعتهای بالا استفاده از سازهایی ثابت کننده مانند شانه های که در بخشهای قبل معرفی شد لازم می باشد.



شکل ۳-۱ ساختار ترمو ول

جدول ۳-۶ مشخصات هندسی ترمو وال

TABLE 1.3 WELL DIMENSIONS, IN IN.

Dimension	Nominal Size of Sensing Element				
	1/4	3/8	9/16	11/16	7/8
A (minimum)	13/16	15/16	1-1/8	1-1/4	1-7/16
B (minimum)	5/8	3/4	15/16	1-1/16	1-1/4
d (minimum)	0.254	0.379	0.566	0.691	0.879
d (maximum)	0.262	0.387	0.575	0.700	0.888

بعد از آنکه سنسور در داخل ترموول قرار داده می شود باید در داخل جریان قرار گیرد برای آنکه بتوانیم دقت مطلوبی در اندازه گیری داشته باشیم باید نوک سنسور در خارج لایه مرزی قرار گیرد برای رسیدن به این موضوع از جدول ۲-۷ که مقدار نفوذ ترمو ول در داخل جریان بیان می دارد کمک گرفته می شود.

جدول ۲-۷ مقدار استاندارد نفوذ ترمو وال در جریان

Pipe Diameter (inches)	Thermowell Depth (inches)
6	2.0
8	2.5-3.0
10	3.0-3.5
12	4.0
14	4.5-5.0
16	5.0-5.5
18	6.0
>18	7.5 minimum

Note: Above 18-inch diameter, a minimum depth of 7.5 inches from the inner wall is enough to avoid pipe influence and breakage.

خطاها

در اندازه گیری دمای یک نقطه می توان ۵ عامل خطا را نام برد:

- ۱- مکان: عدم مناسب بودن مکان سنسور در جریان سیال باعث می شود که خطایی در اندازه گیری ایجاد نماید.
 - ۲- نحوه نصب: به عنوان نمونه انتقال حرارت جابجایی از دیواره وسیله اندازه گیری باعث خطا در مقدار دمای محاسبه شده می شود.
 - ۳- خطا کالیبراسیون: انحراف دستگاه ، غیر خطی بودن و خطا در دمای پایه از جمله خطایی است که در این دسته قرار میگیرد.
 - ۴- خطای وسیله اندازه گیری: در ذات یک دستگاه خطایی وجود دارد که نمی توان آن را حذف کرد. این خطا برای هر دستگاه بیان می شود.
 - ۵- خطای آکوزیشن: خواندن و منتقل کردن اطلاعات از سنسور به وسیله نمایش یک مقدار خطا و اغتشاشات در اندازه گیری را سبب می شود که در نهایت باعث اختلافی در عدد نمایش داده شده با واقعیت می شود.
- در جدول ۸-۲ ۵ عامل خطا برای سنسورهای متفاوت دما آورده شده است. در پیوست ۴ جزئیات کاملتری در رابطه با عوامل خطا ذکر شده است.

جدول ۸-۲ مقایسه عوامل متفاوت خطا در تجهیزات اندازه گیری دما

Sensor Type	Location ¹	Installation	Calibration	Device	Acquisition
Hg Thermometer	0.10	0.20	0.03	0.03	0.10
Thermistor	0.10	0.20	0.10	0.05	0.05
Thermocouple	0.10	0.20	0.10	0.10	0.05
RTD	0.10	0.20	0.05	0.05	0.05
Infrared Sensor	0.40	0.20	0.10	0.25	0.05

¹ Location error is based on having four (4) equally spaced sensors in the pipe and assumes uniform flow in the pipe. For a single sensor installation, the location uncertainty should be multiplied by four (4). For two (2) sensors, the location uncertainty should be multiplied by two (2). For highly non-uniform flow fields these values may be larger.

در استاندارد ISO 2314 پیشنهاد شده است برای تایید اطلاعات تست توربین گاز حداقل از دو سنسور هم زمان استفاده شود تا باعث کاهش خطا در اندازه گیری شود این موضوع برای دمای خروجی به دلیل دارا بودن از سرعت و دمای بیشتری بحرانی تر است و این تعداد به ۴ عدد افزایش می یابد. در تست توربین گازی دقت مورد نیاز برای دما، فشار و دبی در جدول ۹-۲ آورده شده است.

جدول ۹-۲ مقدار دقت وسایل اندازه گیری بر مبنای استاندارد PTC19

Measurement	Uncertainty
Pressure	0.3 - 2.0% Full Scale
Temperature	0.3 - 4.0 °C (0.5-7.5 °F)
Flow	0.5 - 2.0% of value
Torque	0.5 - 1.5% of value
Gas composition (Density, compressibility, gas constant, specific heat, energy content)	0.2 – 3.0% of value

Instrumentation Accuracy

Measurement	Bias Uncertainty
Temperature below 200 °F (93.3 °C)	0.5 °F (0.27 °C)
Temperature above 200 °F (93.3 °C)	1.0 °F (0.56 °C)
Pressure	0.1%
Vacuum pressure	Absolute pressure transmitters recommended
Mass flow of fuel gas	0.8%

فصل چهارم فشار سنج و دبی سنج

Types of Flow Transmitters

There are many types of flow transmitters — some are used for both liquid and gas flow measurement, while others are specifically used for one fluid. The following table identifies many of the different types of flow transmitters and their use in liquid, steam, or gas service, and if they measure actual flow or mass flow.

Technology	Liquids	Steam	Gas	Actual Flow	Mass Flow
Differential Pressure	X	X	X	X	
Vortex	X	X	X	X	
Turbine	X	X	X	X	
Magnetic	X			X	
Positive Displacement	X		X	X	
Variable Area	X		X	X	X
Coriolis	X		X		X
Ultrasonic	X		X	X	X
Thermal			X		X

As shown, there are many technologies to measure the flow rate of gas. Most of these methods measure the flow rate at the actual operating pressure and temperature and require pressure and temperature correction to obtain the mass flow.

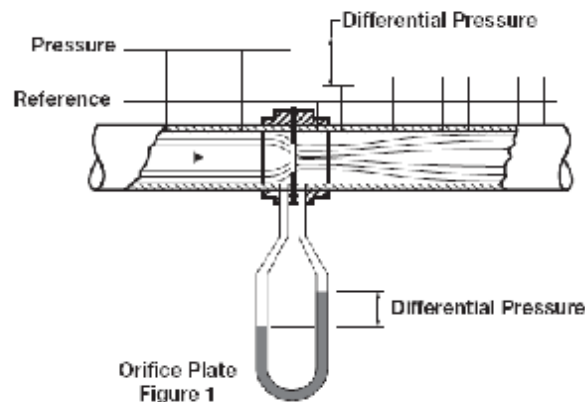
The following discusses some of the common types of flow measurement:

Differential Pressure

Measuring the pressure difference across a flow element is the most common method of flow measurement. There are several types of flow elements.

Orifice

The most common flow element is the orifice plate as shown in Figure 1.

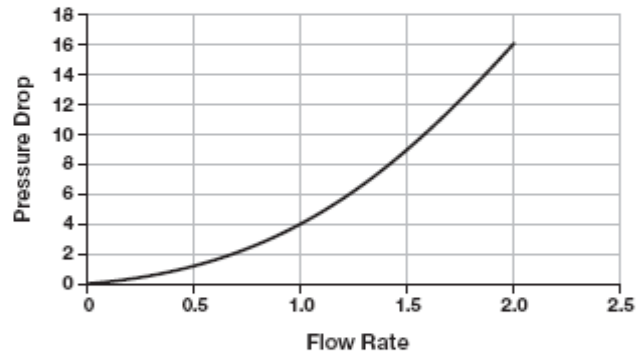


This method of flow measurement utilizes a proven technical concept called “Bernoulli’s Equation.” This relation states that the pressure drop across a flow restriction is based upon the square of the flow:

$$\text{Flow} = \text{constant} \times \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}}$$

The flow rate is based upon flow at actual conditions.

The pressure drop across the flow element is proportional to the square of the flow. If the pressure drop (ΔP) is equal to “a”, and the flow rate doubles, the pressure drop increases to 4a. If the flow rate triples, then the pressure drop increases to 9a. Therefore the signal strength increases as the flow rate increases. At zero flow there is no signal, and the signal strength slowly increases as the flow increases as shown in the chart below. This results in poor low flow sensitivity.



Basic limitations of this type of flow measurement are:

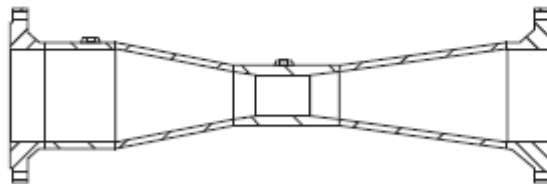
1. Limited turndown. A 3:1 turndown causes a 9:1 reduction in pressure drop. A 4:1 turndown causes a 16:1 reduction in pressure drop. There becomes a limit on the turndown ratio of any differential pressure measurement instrument due to the DP transmitter. Some newer DP transmitters permit turndown ratio as high as 8:1. However, this is based on the maximum possible flow rate that the flow element can handle and does not necessarily reflect the user’s actual requirements.
2. Limited low flow measurement. There is a minimum flow rate, which generates a pressure drop that can be measured with any differential pressure measurement instrument. This is illustrated in the above graph.

3. Creates pressure drop. Because the flow measurement is based upon measuring a differential pressure, the flow measurement requires that additional pressure drop be added to the process, which increases operating cost. The pressure drop created by the primary element is frequently overlooked when considering operating cost.
4. Measures actual flow rate. Any differential pressure flow device measures *the actual flow rate* in ACFM. To determine the mass flow rate, correction from actual conditions to standard (mass) conditions is required. To determine mass flow from actual flow, it is necessary to measure:
 - Differential pressure
 - Absolute pressure
 - Absolute temperature

These measurements are then sent to a flow computer that calculates the mass flow rate in SCFM, using the equations previously discussed.

Venturi

A venturi flow element is very similar to the operation of the orifice plate, except that, due to the construction of the venturi, there is a recovery of energy reducing the overall pressure drop. A typical venturi flow element is shown in Figure 2.



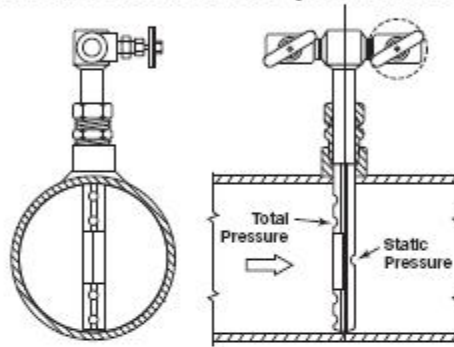
Venturi Flow Element
Figure 2

While reduction in energy consumption is desirable, a venturi flow element is considerably more expensive than an orifice plate; and, still suffers similar limitations, with respect to low flow sensitivity and sensitivity to changes in process pressure and temperature.

Averaging Pitot Tube

The averaging pitot tube can be an effective differential pressure measurement device. It is an insertion device that measures the average velocity across the pipe as shown the illustration below. While this type of instrument is effective for liquid and steam flow, it has limitations with air flow measurement, particularly low flow sensitivity and turndown.

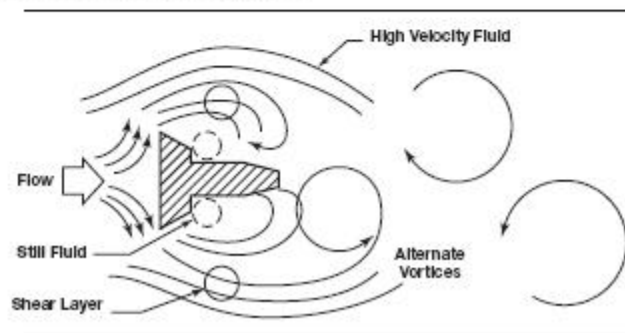
The flow measurement is based on determining the velocity pressure, which is the difference between the total pressure (measured on the upstream side) and the static pressure (measured on the downstream side). The velocity pressure provides an indication of the actual velocity at the operating temperature and pressure. The averaging pitot tube samples at various points across the pipe or duct in order to reduce the effect of flow profile. Refer to Figure 3.



Averaging Pitot Tube
Figure 3

Vortex Shedding

This technology is well accepted for flow measurement at high flow rates. The principle of operation is based upon the shedding or the creation of vortices from a blunt element. The instrument counts the number of vortices created; and, through a known relationship, converts this to the actual flow rate through the element. Refer to Figure 4.



Vortex Shedding
Figure 4

There is an empirical relationship between the number of vortices and the flow rate. There are limitations when using this technology for measurement of gas flow rates:

1. Vortex flow meters measure the actual flow rate, moving past the flow element. To convert to mass flow, it is necessary to measure pressure, temperature, and use a flow computer to calculate mass flow.
2. Minimum flow rate. There is a minimum flow velocity that generates vortices. At flow rates below this minimum flow rate, the instrument will not generate vortices. For many gas flow applications, the flow rate may not be high enough to create vortices. This reduces the ability to detect low flow rates and reduce overall turndown of the instrument. This is a physical limitation that exists for all vortex flow meters.

While vortex flow transmitters are occasionally used for high velocity gas flow, their most common applications are for liquid or steam flow.

Turbine Flow Meters

Frequently used for air and gas flow measurement, turbine flow meters are available as both an in-line body and an insertion probe.

The vanes of the turbine flow meter spin as the fluid moves — the greater the flow rate, the faster the vanes will turn. Various methods are used to count the pulse rate (number of turns) of the vanes.

Turbine meters can be accurate for measuring the actual gas flow rate; but, like other devices, they require pressure and temperature correction to obtain mass flow measurement. Turbine meters also have a minimum velocity that they can detect, and may require some type of lubrication of the bearings.

Many applications for turbine flow meters are for smaller, in-line flow bodies where pressure and temperature are fairly constant.

Ultrasonic Flow

Ultrasonic technology is used to measure the velocity of the fluid in a closed pipe. The sensors can be either insertion type or a non-invasive type, which clamp onto the side of the pipe. Multi path designs provide full coverage of the flow in the pipe.

Originally closed pipe ultrasonic technology was used for liquid flow measurement. Advances in the technology now permit it to be used for gas flow measurement, where the actual velocity in the pipe is measured. Some units will also determine gas density, in addition to velocity, and calculate the mass flow. These units tend to be extremely expensive.

Coriolis

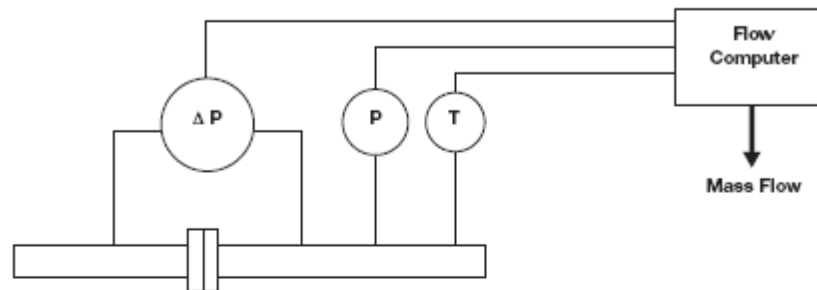
Coriolis is a direct form of mass flow measurement, which does not rely upon the physical properties of the fluid. When first developed, Coriolis flow meters did not have the sensitivity for gas flow measurement; however, the technology has improved and Coriolis is now used to measure gas flows.

The advantage of Coriolis is that it is a true, high accuracy, mass flow measurement, independent of the properties of the fluid. Disadvantages are that it is available only as an in-line device in sizes typically up to four inches. Coriolis flowmeters are expensive to purchase and install. May not be suitable for low flow, low pressure applications. Pressure drop across a Coriolis flowmeter is also a consideration.

Pressure/Temperature Correction

As previously discussed, many flow meters measure the actual flow rate rather than the mass flow rate. In order to obtain a mass flow measurement, it is necessary to correct for the actual pressure and temperature. Figure 5 illustrates what is necessary to obtain a mass flow measurement from a differential pressure flow measurement device (the most common form of flow measurement). The differential pressure across a flow element must be measured to obtain the actual flow rate; then, the actual flow rate must be corrected for pressure and temperature. This requires three separate instruments to measure differential

pressure, pressure, and temperature. These signals are sent to a flow computer to determine the mass flow rate. Thermal mass flow technology replaces all of this with one instrument that directly measures the mass flow rate of the gas.



Actual to Mass Flow Conversion
Figure 5

Multi-Variable Transmitters

A multi-variable transmitter combines the function of the three transmitters (ΔP, P, and T) and the flow computer into one transmitter. The multi-variable transmitter measures the pressure and temperature of the gas, the pressure drop and then calculates the mass flow.

While only one 4–20 mA signal is generally available, measurement of the other variables is available via HART communication. The functionality of three transmitters in one device reduces the installation cost of differential pressure mass flow measurement.

Multi-variable transmitters are frequently used with averaging pitot tubes. Turndown ratios up to 8:1 are obtainable. This turndown ratio is based on the maximum allowable flow rate that the averaging pitot tube can detect. The actual turndown rate for the user's specific application will be less, depending upon the maximum flow the user wants to detect. Limitations in low flow measurement capabilities still exist.

Multi-variable transmitters are also integrated into some vortex flow transmitters. These instruments measure the actual flow rate using a vortex; then, also measure the pressure and temperature and provide a correction to mass flow. These instruments tend to be rather expensive.

Thermal Mass Flow

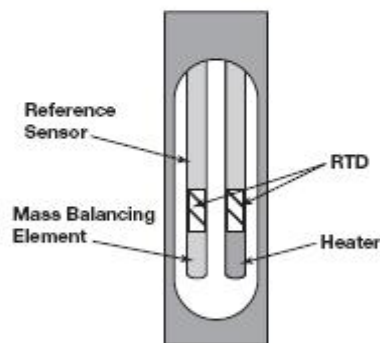
Thermal Mass Flow offers many advantages over other, more traditional, methods of measuring gas flow.

1. Mass flow measurement. Thermal mass flow transmitters provide a measurement of the mass flow rate of the gas based upon heat transfer. The gas flows past a heated surface creating a cooling effect. Heat transfer is caused by the mass (or molecular) flow of the gas providing a mass flow measurement. Correction of the gas flow rate for pressure and temperature is not required.
2. Excellent low flow sensitivity. Thermal technology can measure velocities down to 25 standard feet per minute —much lower than any other flow device. The heat transfer rate is greatest at low flow rates and decreases as the flow rate increases. This makes this technology especially sensitive for low velocity measurement.
3. Excellent turndown. Magnetrol's Thermal Mass Flow Transmitter offers the ability to measure the low velocities as well as high flow rates. This can provide a turndown rate of 100:1 or more depending upon the application requirements.
4. Low pressure drop. The insertion probe has little blockage of the pipe, thereby, creating very low pressure drops.
5. Ease in installation. Using an insertion probe, the instrument can easily be installed in a pipe or duct.
6. Factory Calibrated. Each instrument is calibrated by Magnetrol for the application specific requirements and configured to the user's specifications. The instrument can be installed and placed directly into service without any need for field set up, calibration, or adjustment.
7. Lowest installed cost. When considering options to measure mass flow, the TA1/TA2 has the lowest installed cost while providing excellent performance. No additional instrumentation is required to obtain a mass flow measurement.
8. Linear output signal. The TA1 and TA2 provide an output signal which is linear with the mass flow rate. Compare this against differential pressure flow measurement which provides a non-linear – square root curve of flow vs. signal which then must be linearized by the user.

Magnetrol offers two different thermal dispersion mass flow transmitters with different functionality to meet the user's application requirements:



The sensor used with Magnetrol's Thermal Mass Flow Transmitters is illustrated in Figure 6.



TA1/TA2 Sensor
Figure 6

The sensors on the TA1/TA2 are protected to prevent possible damage from "bottoming out" when inserted into a pipe. This is an important consideration if the probe is installed into the pipe with a compression fitting. There are two sensors — a heated sensor (shown on the right) and a reference sensor which measures the temperature of the gas. Precision matched Platinum RTDs are used for the temperature measurement. A mass balancing element is used to ensure that both sensors will respond the same to changes in temperature.

دماسنج ترموکوپلی

حوزه کاربرد

هدف این فصل ارائه اطلاعات لازم به کاربران برای انتخاب، نصب و استفاده از دماسنج ترموکوپلی می باشد.

تعاریف

دماسنج ترموکوپلی:

این نوع دماسنج شامل یک ترموکوپل جهت حس کردن دما و تولید نیروی محرک الکتریکی (emf)، وسیله‌ای برای درک emf و تبدیل آن به دما و نیز یک رابط الکتریکی جهت اتصال دو بخش قبل می باشد.

ترموکوپل:

ترموکوپل شامل ۲ رسانای الکتریکی غیرمشابه می باشد که هر کدام از دیگری عایق شده است. در مسیر این رساناها نقاط مشترکی وجود دارند. یک نقطه اشتراک، اتصال اندازه گیر نام دارد که در معرض دمای اندازه گیری قرار دارد و نقطه اشتراک دیگر، اتصال مرجع که دارای دمای معینی می باشد. سیم‌های ارتباطی:

این سیم‌ها رسانای الکتریکی هستند که برای اتصال ترموکوپل به دستگاه اندازه گیری emf استفاده می شوند.

اصول عملکرد:

زمانی که اتصالات یک مدار بسته شامل دو نوع فلز مختلف، در دماهای مختلف باشند از مدار یک جریان الکتریکی عبور می کند. یک بخش از جریان الکتریکی تولیدی بواسطه برقراری تماس بین دو فلز با جنس متفاوت می باشد. بخش دیگر جریان الکتریکی بواسطه اختلاف دما در دو سر یک فلز خاص می باشد. برای این منظور دمای یکی از اتصالات را ثابت می کنیم (دمای صفر سانتیگراد) و دمای اتصال دیگر را اندازه گیری می کنیم.

دسته بندی دماسنج ترموکوپلی

دسته بندی این نوع دماسنج معمولاً بر اساس جنس مواد سازنده ترموکوپل انجام می شود. از محدوده مواد موجود و قابل استفاده در ترموکوپل، تنها مواد خاصی که به نحو مناسبی دارای خصوصیات زیر باشند بکار گرفته می شوند:

- خواص مکانیکی و شیمیایی
- نقطه ذوب

- خواص ترموالکتریک
 - قابلیت تولید دوباره و هزینه
- در زیر بعضی از ترکیباتی که بطور معمول برای تولید ترموکوپل ها استفاده می شوند به همراه ویژگی های هر کدام آورده شده است.
- دسته بندی این نوع دماسنج معمولا بر اساس جنس مواد سازنده ترموکوپل انجام می شود. از محدوده مواد موجود و قابل استفاده در ترموکوپل، تنها مواد خاصی که به نحو مناسبی دارای خصوصیات زیر باشند بکار گرفته می شوند:

- خواص مکانیکی و شیمیایی
 - نقطه ذوب
 - خواص ترموالکتریک
 - قابلیت تولید دوباره و هزینه
- در زیر بعضی از ترکیباتی که بطور معمول برای تولید ترموکوپل ها استفاده می شوند به همراه ویژگی های هر کدام آورده شده است.

نوع S

- ترکیب پلاتینیوم ۱۰ درصد رودیوم و پلاتینیوم
- محدوده کارکرد $630.74 \text{ to } 1064.43^{\circ}\text{C}$
- بصورت گسترده به عنوان یک وسیله برای کالیبراسیون سایر ترموکوپل ها بکار می رود

نوع R

- ترکیب پلاتینیوم ۱۳ درصد رودیوم و پلاتینیوم
- در یک دمای معین میزان emf تولیدی بیشتر از نوع S

نوع B

- ترکیب پلاتینیوم ۳۰ درصد رودیوم و پلاتینیوم ۶ درصد رودیوم
- در محدوده دمای بالاتر و با مقاومت مکانیکی بیشتر نسبت به دو نوع قبل

نوع T

- ترکیب مس و کنستانتان (۵۵ درصد مس و ۴۵ درصد نیکل)
- محدوده کارکرد $-300 \text{ to } 700^{\circ}\text{F}$

نوع J

- ترکیب آهن و کنستانتان
- کاربرد ترین ترمومتر صنعتی
- محدوده کارکرد $-200 \text{ to } 1400^{\circ}\text{F}$
- در محیط‌های غیر اکسیدی دارای پایداری کالیبراسیون خوب

نوع K

- ترکیب کرومل و آلومل
- محدوده کارکرد $-200 \text{ to } 2300^{\circ}\text{F}$
- مقاومت مکانیکی بالا

نوع E

- دارای بالاترین خروجی ترموالکتریکی
- مورد استفاده در سیستم‌های تعیین تشعشع
- دارای پایداری کالیبراسیون بالا در محدوده زیر 1000°F

مشخصات

محدوده و دقت

در جدول A.۱ حد بالای دمای پیشنهادی برای محافظت ترموکوپل در برابر خوردگی آورده شده است. همچنین محدوده خطا در کارکرد ترموکوپل‌ها و سیم‌ها در جدول A.۲ ارائه شده است. در جدول A.۳ نیز مقدار دما و emf تولیدی توسط ترموکوپل‌های مختلف ارائه شده است.

TABLE 3.1A Recommended Upper Temperature Limits for Protected Thermocouples Upper Temperature Limit for Various Wire Sizes (Awg), DEG C (DEG F)

Thermocouple Type	No. 8 Gage (3.25mm (0.128 in.))	No. 14 Gage (1.63mm (0.064 in.))	No. 20 Gage (0.81mm (0.032 in.))	No. 24 Gage (0.51mm (0.020 in.))	No. 28 Gage (0.33mm (0.013 in.))
T		371 (700)	260 (500)	204 (400)	204 (400)
J	760 (1400)	593 (1100)	482 (900)	371 (700)	371 (700)
E	871 (1600)	649 (1200)	556 (1000)	427 (800)	427 (800)
K	1260 (2300)	1093 (2000)	982 (1800)	871 (1600)	871 (1600)
R & S				1482 (2700)	
B				1705 (3100)	

TABLE 3.2A LIMITS OF ERROR OF THERMOCOUPLES AND EXTENSION WIRES FOR STANDARD WIRE SIZES

Thermocouple Type	Temp. Range, °C	Limits of Error		Extension Wire Type	Temp. Range, °C	Limits of Error	
		Std.	Special			Std.	Special
T	-184 to -59	---	±1%	TX	-69 to +93	±0.8°C	±0.6°C
	-101 to -59	±2%	±1%				
	-59 to +93	±0.8°C	±0.4°C				
	+93 to +371	±3/4%	±3/8%				
J	0 to 277	±2.2°C	±1.1°C	JX	0 to 204	±2.2°C	±1.1°C
	277 to 760	±3/4%	±3/8%				
E	0 to 316	±1.7°C	---	EX	0 to 204	±1.7°C	---
	316 to 871	±1/2%	---				
K	0 to 277	±2.2°C	±1.1°C	KX	0 to 204	±2.2°C	---
	277 to 1260	±3/4%	±3/8%				
R & S	0 to 536	±1.4°C	---	---	---	---	---
	536 to 1482	±1/4%	---				
B	871 to 1705	±1/2%	---	---	---	---	---

TABLE 3.3A TEMPERATURE-EMF RELATIONSHIP FOR THERMOCOUPLES

Temperature, Deg F	Emf-Millivolts						
	(Pt-10Rh) S (vs Pt)	(Pt-13Rh) R (vs Pt)	(Pt-30Rh) B (vs Pt)	(Cr vs) K (Alumel)	(Iron vs) J (Constantan)	(Cr vs) E (Constantan)	(Cu vs) T (Constantan)
32	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
200	0.595	0.596	0.02	3.82	4.91	5.87	3.967
400	1.474	1.504	0.18	8.31	11.03	13.75	9.525
600	2.458	2.547	0.47	12.86	17.18	22.25	15.773
700							19.100
800	3.506	3.677	0.89	17.53	23.32	31.09	
1000	4.596	4.868	1.43	22.26	29.52	40.06	
1200	5.726	6.125	2.09	26.98	36.01	49.04	
1400	6.897	7.436	2.85	31.65	42.96	57.92	
1600	8.110	8.809	3.72	36.19			
1800	9.365	10.237	4.68	40.62			
2000	10.662	11.726	5.72	44.91			
2200	11.989	13.255	6.84	49.05			
2400	13.325	14.798	8.03	53.01			
2600	14.656	16.340	9.28				
2800	15.979	17.875	10.56				
3000	17.292	19.394	11.85				
3300			13.84				

حساسیت

میزان حساسیت ترموکوپل با دما تغییر می‌کند. در جدول زیر مقدار متوسط توان ترموالکتریک یک ترموکوپل معمولی ارائه شده است.

Thermocouple	Average dE/dT , Microvolts per Deg F for the Range Specified
Copper-Constantan	28.0 (32-650°F)
Iron Constantan	32.0 (32-1400°F)
Chromel-Alumel	23.0 (32-2200°F)
Platinum-10% Rhodium	
-Platinum	6.3 (1000-2650°F)
Chromel-Constantan	42.0 (32-1400°F)

زمان پاسخ

مدت زمان لازم برای پاسخ ترموکوپل به تغییرات دمایی، تابعی از جرم و هندسه بخش حسگر و انواع انتقال حرارت موجود بین بخش حسگر و محیط طراف می‌باشد. با افزایش نسبت مساحت به جرم بخش حسگر، زمان پاسخ کاهش می‌یابد.

کاربرد و نصب

منابع خطا

نتایج آزمایشات نشان می‌دهند که بین مقدار اختلاف دمای اتصال اندازه‌گیر و اتصال مرجع با عدد emf تولیدی یک رابطه معین وجود دارد. در صورتی که اتصال مرجع در یک دمای معین (دمای انجماد آب) قرار گیرد، مقدار emf تولیدی توسط ترموکوپل به عنوان تابعی از دمای اتصال اندازه‌گیر بدست می‌آید. بنابراین، دماسنج کالیبره شده و برای اندازه‌گیری دما آماده می‌شود. اجزای یک ترموکوپل باید نسبت به هم و نسبت به محیط اطراف عایق باشند. این اقدامات پیشگیرانه در مورد قرار گیری ترموکوپل در محیط های رسانا نظیر لوله‌ها نیز باید انجام شوند.

نکات اساسی

- از آنجایی که مقدار دمایی که ترموکوپل گزارش می‌کند همان دمای اتصال اندازه‌گیر می‌باشد، باید تا حد امکان دمای اتصال را به دمای محیط اندازه‌گیری نزدیک کنیم.
- برای کاربردهای خاص می‌توان از آرایش سری و موازی ترموکوپل‌ها نیز استفاده نمود.

مزایا و معایب

مزایا

- طراحی و کارکرد ساده
 - اندازه کوچک، قابل انعطاف و قابل نصب بر روی مکانهای با دسترسی بد
 - مناسب برای کنترل از راه دور
 - هزینه اولیه پایین
 - مناسب برای گستره وسیعی از دماها
 - دقت بسیار بالا
- معایب
- سیگنال خروجی نسبتاً کوچک بوده و وسیله اندازه‌گیری دقیقی نیاز دارد
 - دمای اتصال مرجع را باید بدانیم

دماسنج مقاومتی

حوزه کاربرد

هدف این فصل ارائه اطلاعات لازم به کاربران برای انتخاب، نصب و استفاده از دماسنج مقاومتی می باشد.

تعاریف

دماسنج مقاومتی

در این نوع دماسنج با استفاده از مقاومت الکتریکی، دما اندازه گیری می شود. این وسیله شامل یک بخش حسگر به نام رسیستور، بخش اندازه گیری مقاومت و بخش رابط الکتریکی بین دو قسمت قبل می باشد.

رسیستور

شامل یک بخش فلزی حسگر، معمولاً به فرم سیم، دارای خواص مقاومت - دمایی پایدار و قابل تولید می باشد.

اصول عملکرد

اساس عملکرد این نوع دماسنج ها بر پایه این واقعیت است که اغلب فلزات و بعضی نیمه رساناها با تغییر دما، مقاومت الکتریکی شان تغییر می کند. می توان تغییرات مقاومت نسبت به دما در بعضی از فلزات را بصورت یک رابطه معین ریاضی بیان نمود. به عنوان مثال برای پلاتینیوم رابطه زیر را خواهیم داشت:

که در این رابطه

مقاومت ترمومتر در دمای T R_t

مقاومت ترمومتر در دمای 00°C R_0

ضرایب ثابت وابسته به جنس سیم A, B

دسته‌بندی دماسنج مقاومتی

در زیر مشخصات انواع مختلف دماسنج‌های مقاومتی را مشاهده می‌کنید. این دسته‌بندی بر اساس جنس ماده سازنده رسیستور می‌باشد.

دماسنج مقاومتی پلاتینیومی دقیق

- محدوده دمای $-82.96 \text{ to } 630.74^{\circ}\text{C}$

- نسبت R_t / R_0 در دمای 100°C بیشتر از ۱.۳۹۲۵

- انواع مختلف با کاربردهای خاص

در زیر مدل‌های مختلف دماسنج مقاومتی را مشاهده می‌کنید

دماسنج مقاومتی پلاتینیومی صنعتی

- محدوده دقت $\pm 0.1^{\circ}\text{degC}$ کافی می‌باشد

- روش ساخت متفاوت نسبت به مدل دقیق

دماسنج مقاومتی پلاتینیومی صنعتی

- محدوده دقت کافی می‌باشد

- روش ساخت متفاوت نسبت به مدل دقیق

دماسنج مقاومتی نیکل

- هزینه کمتر نسبت به پلاتینیوم

- محدوده دمای $-75 \text{ to } 150^{\circ}\text{C}$

- پایداری خصوصیات نسبت به پلاتینیوم کمتر

- دقت اندازه‌گیری $\pm 0.5^{\circ}\text{degF}$

دماسنج مقاومتی مس

- محدوده دمای $-60 \text{ to } 400 \text{ }^{\circ}\text{F}$
- دقت اندازه‌گیری $\pm 0.1 \text{ deg } F$
- تمایل به اکسید شدن در دماهای بالا
- مقاومت پایین نسبت به پلاتینیوم و نیکل
- پایداری کالیبراسیون عالی نسبت به نیکل

دماسنج مقاومتی غیرفلزی

- حساسیت، دقت، سرعت پاسخ و پایداری کالیبراسیون بهتر از نوع فلزی
- محدوده دمای کوچک
- هزینه بالا

مشخصات

محدوده کارکرد

ترموکوپل‌های مقاومتی دقیق را می‌توان بصورت ترکیبی در محدوده $-269 \text{ to } 630.74 \text{ }^{\circ}\text{C}$ بکار برد. ترموکوپل‌های مقاومتی صنعتی را نیز در محدوده $-182.97 \text{ to } 1064 \text{ }^{\circ}\text{C}$ می‌توان بکار برد.

دقت اندازه‌گیری

ترموترهای مقاومتی در محدوده کاربردشان دارای بالاترین دقت ممکن هستند. نوع دقیق ترموکوپل پلاتینیومی دارای دقت $\pm 0.01 \text{ deg } C$ و نوع صنعتی دارای دقت $\pm 1.5 \text{ deg } C$ می‌باشند.

زمان پاسخ

زمان پاسخ این نوع دماسنج‌ها بر اساس جنس‌شان، تغییرات زیادی دارد. زمان پاسخ بر مبنای تشخیص ۹۰ درصد تغییرات دما توسط دماسنج تعیین می‌شود.

کاربرد و نصب

منابع خطا

به دلیل بزرگ بودن مساحت بخش حسگر در دماسنج‌های مقاوم‌تی، مقدار خطای تشعشعی نسبت به دماسنج ترموکوپلی بزرگ‌تر می‌باشد.

نکات اساسی

از آنجایی که رسیستور دماسنج دارای عایق الکتریکی و گرمایی می‌باشد، باید جریان الکتریکی اندازه‌گیر را تا حد ممکن کوچک انتخاب کنیم تا باعث افزایش دما و در نتیجه تخریب دمای اندازه‌گیری شده نشود.

مزایا و معایب

مزایا

- این ترموکوپل‌ها در محدوده $1950 \text{ to } 450 \text{ oF}$ قابل استفاده‌اند.

دقت بالا

پایداری و قابلیت تولید مجدد بالا

معایب

جرم بیشتری نسبت به نوع ترموکوپلی دارند.

زمان پاسخ بزرگ و در نتیجه پاسخ به تغییرات دمای کند دارند.

هزینه بالاتری نسبت به ترموکوپل‌ها دارند.

دماسنج انبساط جزئی

حوزه کاربرد

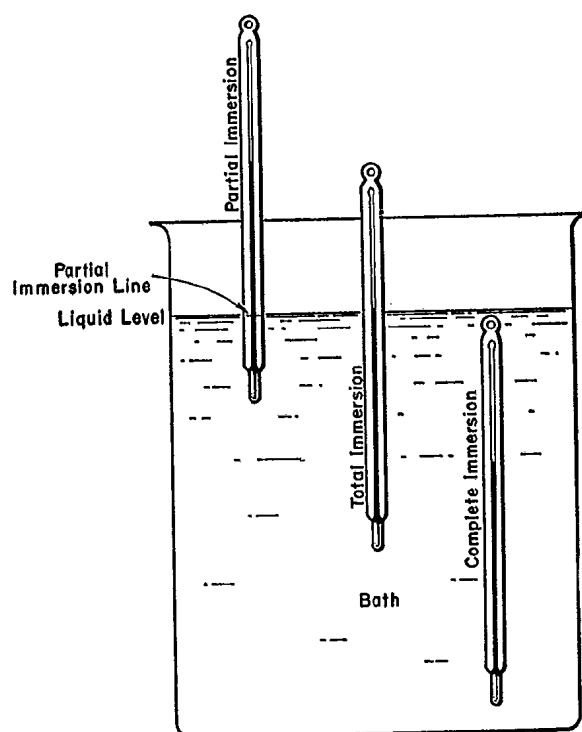
هدف این فصل ارائه اطلاعات لازم به کاربران برای انتخاب، نصب و استفاده از دماسنج ابساط جزئی می-باشد.

تعاریف

دماسنج انبساط جزئی

در این نوع دماسنج با استفاده از انبساط جزئی مایع درون یک محفظه شیشه‌ای بسته، دما اندازه‌گیری می‌شود. این دماسنج شامل حباب جداره نازک شیشه‌ای و یک میله موئین شیشه‌ای می‌باشد که بخشی از آن با مایع انبساطی پر شده است.

بر اساس میزان غوطه‌وری دماسنج در محیط اندازه‌گیری، سه نوع دماسنج خواهیم داشت که در شکل زیر مشاهده می‌کنید.



اصول کارکرد

طرز کار این نوع دماسنج ساده می‌باشد و بر اساس انبساط مایع درون حباب و تغییر سطح قرارگیری مایع در لوله موئین، دمای محیط اندازه‌گیری می‌شود.

دسته‌بندی دماسنج انبساط جزئی

دماسنج آزمایشگاهی

بدنه شیشه‌ای دارای درجه بندی می‌باشد. مایع درون لوله موئین خاصیت چسبیدن به بدنه شیشه را دارد.

دماسنج صنعتی

بخش حباب و قسمتی از بدنه شیشه‌ای درون یک لوله فلزی قرار دارند. بخش حباب بصورت مستقیم یا با استفاده از محافظ دماسنج درون محیط اندازه‌گیری غوطه‌ور است.

مواد سازنده دماسنج

شیشه

جنس مواد موجود در دماسنج، تاثیر مهمی بر روی کارکرد بهینه آن دارند. شیشه‌های حباب و لوله دماسنج باید بنحو مناسبی امکان ایجاد اتصال قوی را فراهم کنند. در محدوده دمای عملکرد دماسنج، نباید بر اثر تغییر دما نرم یا شکننده شوند.

مایع انبساطی

مایع درون دماسنج باید درجه خلوص بالایی داشته باشد تا رفتار انبساطی ثابتی از خود نشان دهد. همچنین باید به لحاظ فیزیکی و شیمیایی دارای خواص ثابت و قابل قبولی در محدوده دمای خاص باشند.

مشخصات

محدوده کارکرد

مشخصات کاربری بر اساس جنس مواد موجود در دماسنج تعیین می‌شوند.

دقت اندازه‌گیری

در اینجا نیز دقت دماسنج وابسته به جنس مواد سازنده و نوع کاربرد آن و نیز دقت کالیبراسیون می‌باشد. این نوع دماسنج در مقایسه با دماسنج‌های مقاومتری دارای دقت کمتری هستند.

زمان پاسخ

نمودار زمان پاسخ - دما در این دماسنج‌ها بصورت تابع نمایی می‌باشد. زمان پاسخ نیز بر اساس مدت زمان لازم برای تشخیص ۶۳ درصد از تغییرات دما توسط دماسنج بدست می‌آید.

لوازم جانبی

این نوع دماسنج معمولاً به همراه محافظ استفاده می‌شود.

کاربرد و نصب

منابع خطا

مهمترین منبع خطا در استفاده از این نوع دماسنج، بی‌توجهی به نحوه کالیبراسیون آن می‌باشد. به عنوان مثال، در مورد دماسنج‌هایی که برای شرایط غوطه‌وری کامل کالیبره شده‌اند، در صورتی که دمای محیط اندازه‌گیری را در حالتی که دماسنج بصورت جزئی غوطه‌ور است اندازه بگیریم، خطا وارد اندازه‌گیری می‌شود. این خطا را بر اساس روابط موجود در فصل ۵ استاندارد ASME PTC19.3 اصلاح می‌کنند.

منبع دیگر تولید خطا، تاخیر زمانی دماسنج در تعیین دمای محیط می‌باشد. قطر و ضخامت حباب دماسنج باید به اندازه کافی کوچک باشند تا خطای تاخیر کاهش یابد. سایر منابع خطا در مورد اثرات فشار محیط اطراف در حین اندازه‌گیری و تغییرات در حجم حباب شیشه-ای بر روی میزان دمای اندازه‌گیری شده می‌باشند.

نکات مهم

- محل قرار گیری حباب به درستی انتخاب شود. دماسنج به منابع گرما نزدیک نباشد.
- دماسنج بر اساس پارامترهایی نظیر محدوده کاربرد، زمان پاسخ و نحوه اندازه‌گیری دما انتخاب شود.
- در مورد داده‌های اندازه‌گیری شده در مواردی به اصلاح نیاز می‌باشد. این موارد به همراه یک مثال در فصل ۵ استاندارد ASME PTC 19.3 آورده شده است.

مزایا و معایب

مزایا

- در محدوده‌های دمایی، دقت و حساسیت مختلف قابل دسترسی هستند
- کالیبراسیون ثابتی دارند
- نسبتاً ارزان
- عدم نیاز به سیستم تامین توان جانبی

معایب

- نسبتاً شکننده
- کمترین قابلیت اطمینان در محدوده دمای بخار فوق گرم
- محدوده بالای دمای کارکرد معمولاً در حد تست عملکرد نیست

منابع خطا در اندازه گیری دما

مقدمه

در حالت کلی در سیستم‌هایی که با فاز گاز سروکار داریم، خطای اندازه‌گیری بیشتر از سیستم‌های با فاز مایع و جامد می‌باشد. در سیستم‌های سیال ساکن و یا سیستم‌های متحرک با سرعت کم، دماسنج تحت اثر پدیده‌های انتقال حرارت جابجایی بین قسمت حسگر خودش و سیال، انتقال حرارت از طریق رسانش و تشعشع با محیط اطراف دمای سیال را اندازه‌گیری می‌کند. در مورد سیستم‌هایی که گاز با سرعت زیاد از آن‌ها عبور می‌کند، بدلیل وجود اثرات گرمایش آیرودینامیکی تعیین دما سخت‌تر خواهد شد. در ادامه منابع اصلی تولید خطا در اندازه‌گیری دما و روش‌های تعیین و کاهش خطا بررسی می‌شوند.

خطای رسانش

خطای رسانش یا خطای شناوری^۷ به دلیل وجود اختلاف دما در سنسور دما تولید می‌شود (به عنوان مثال در سیم‌های یک ترموکوپل بین بخش اندازه‌گیری و بخش اتصال). از روابط زیر با دقت خوبی برای تعیین خطای رسانش استفاده می‌شود.

$$T_{sg} = T_i - \left[\frac{T_w - T_{sg}}{\cosh(mL)} \right] \quad (6) \quad [16]$$

⁷ Immersion Error

که در این رابطه داریم:

T_{sg}	دمای استاتیک گاز فارنهایت
T_i	دمای تعیین شده توسط سنسور
T_w	دما در نقطه اتصال (دیواره محیط اندازه گیری)
L	طول شناوری سنسور دما
M	ضریب
H	ضریب انتقال حرارت جابجایی
P	محیط جانبی سنسور دما
K	رسانش گرمایی سنسور دمایی
a	مساحت مقطع رسانش سنسور دما

از رابطه فوق دریافت می شود که افزایش پارامتر mL به هر نحوی باعث کاهش خطای رسانش می شود.

خطای تشعشع

در صورتی که سنسور دما به سطوحی با دمای کمتر یا بیشتر از خودش دید داشته باشد، انتقال حرارت تشعشعی رخ می دهد، میزان خالص انتقال حرارت تشعشعی با رابطه زیر بدست می آید:

$$q_r = 0.1714 F_{\epsilon} F_A A_s \left[\left(\frac{T_i}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_r}{100} \right)^4 \right] \quad (7)$$

در این رابطه داریم:

q_r	نرخ خالص انتقال تشعشع
F_{ϵ}	ضریب صدور موثر
F_A	ضریب شکل
A_s	مساحت سطح سنسور دما
T_i	دمای تعیین شده توسط سنسور
T_r	دمای متوسط محیط اطراف

با توجه به اینکه سطح مقطع سنسور در مقایسه با محیط اطراف آن کوچک می‌باشد و با فرض اینکه ضریب دید سنسور به محیط اطراف ۱ باشد، رابطه بالا بصورت زیر ساده می‌شود:

$$q_r = 0.1714 \epsilon_s A_s \left[\left(\frac{T_i}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_r}{100} \right)^4 \right]^* \quad (8)$$

انتقال حرارت در محیط با سرعت کم

در صورتی که سنسور در یک محیط با سرعت کم قرار گیرد و انتقال حرارت به صورت رسانش و تشعشع وجود داشته باشند، رابطه بالانس انرژی در حالت پایا برای سنسور بصورت زیر می‌باشد:

$$hA_s (T_{sg} - T_i) = 0.1714 \epsilon_s A_s \left[\left(\frac{T_i}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_r}{100} \right)^4 \right]^* + ka \frac{(T_i - T_w)^*}{L} \quad (9)$$

همانطور که در رابطه بالا دیده می‌شود، با کاهش اثرات انتقال حرارت رسانش و تشعشع، دمای سنسور به دمای استاتیک گاز محیط اندازه‌گیری نزدیک می‌شود.

اثر انتقال حرارت آیرودینامیکی

این نوع انتقال حرارت بدلیل ساکن شدن گاز در حین عبور در مجرا در نزدیکی سنسور می‌باشد. دمای سنسور در این حالت از دمای استاتیک گاز بیشتر است. دمای استاتیک گاز برابر دمای گزارش شده توسط سنسوری است که همراه با گاز و با سرعتی معادل با آن، در شرایط آیزنتروپیک در حال حرکت است. در صورتی که گاز بصورت آیزنتروپیک در محل حسگر دما به سکون برسد، بدلیل تبدیل انرژی جنبشی به انرژی داخلی، دمای گاز در حال سکون افزایش می‌یابد که به این دما دمای کل یا سکون گفته می‌شود. دمای سکون و استاتیک گاز با رابطه زیر به هم مرتبط می‌شوند:

$$T_t - T_{sg} = V^2 / 2Jgc_p \quad (10) \quad [20]$$

در این رابطه داریم:

$V \text{ ft/sec}$	سرعت گاز
$J = 778 \text{ ft Ib}_f / \text{Btu}$	ارزش حرارتی معادل
g_c	ثابت ابعادی
$C_p \text{ Btu} / \text{Ib}_m \text{ deg } F$	حرارت مخصوص در فشار ثابت

انتقال حرارت در محیط با سرعت بالا

در صورت وجود انتقال حرارت آیرودینامیکی و نیز وجود رسانش و تشعشع، بالانس حرارتی حسگر دما بصورت زیر می باشد:

$$h_e A_s (T_a' - T_w) = 0.1714 \epsilon_s A_s \left[\left(\frac{T_i}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_r}{100} \right)^4 \right] + k_a \frac{(T_i - T_w)^*}{L} \quad (12) \quad [20]$$

در این رابطه T_a دمای آدیاباتیک و h_e ضریب انتقال حرارت جابجایی معادل می باشد. ضریب معادل وابسته به رژیم جریان، مشخصات هندسی و نحوه قرارگیری حسگر می باشد و با استفاده از روابط مناسب در مراجع ۲۲ و ۲۴ فصل اول استاندارد *ASME PTC 19.3* بدست می آید.

خطای گذرا

در بعضی مواقع در حین انجام تست عملکرد، شرایط گذرا بوجود می آید. در این حالت حسگر دما باید قابلیت تشخیص این تغییرات را داشته باشد. پارامتر مهم در پاسخگویی یک حسگر دما به تغییرات، زمان پاسخ حسگر می باشد. زمان پاسخ برابر با مدت زمان لازم برای حسگر جهت تشخیص ۶۳.۲ درصد تغییرات اعمالی می باشد. بنابراین حسگر با زمان پاسخ کمتر، قابلیت بیشتری در تعیین دما در حالت گذرا دارد.

بخش سوم

نکات مهم در تهیه گزارش آزمایشگاه ترمودینامیک

بمب کالریمتر بدون همزن

سوالات :

- ۱- سنسورهای مورد استفاده معرفی شود و کارکرد آن تشریح شود.
- ۲- بهترین سنسورها برای این آزمایش مشخص شود.
- ۳- عوامل خطا در این آزمایش مشخص شود.
- ۴- مشخصات دستگاه بیان شود.
- ۵- موارد مورد اندازه گیری بیان شود.
- ۶- نمودار آزمایش را در محوره‌های زمان - درجه حرارت رسم کنید .
- ۷- دمای پایداری تقریب زده شود و روش تقریب بیان شود.
- ۸- ارزش حرارتی سوخت تعیین شود.
- ۹- آنالیز خطا شود. (از بخش آنالیز خطا جزوه کمک گرفته شود.)
- ۱۰- محصولات احتراق را معرفی کنید .
- ۱۱- بر روی نتایج محاسبات و شرایط انجام آزمایش بحث کنید.

دستگاه تست کمپرسور

- ۱- سنسورهای مورد استفاده معرفی شود و کارکرد آن تشریح شود.
- ۲- بهترین سنسورها برای این آزمایش مشخص شود.
- ۳- عوامل خطا در این آزمایش مشخص شود.
- ۴- موارد مورد اندازه گیری بیان شود.
- ۵- بازده حجمی و ایزو ترمال سیستم تعیین شود.
- ۶- آنالیز خطا شود. (از بخش آنالیز خطا جزوه کمک گرفته شود).
- ۷- بر روی نتایج محاسبات و شرایط انجام آزمایش بحث کنید.

پمپ حرارتی

- ۱- سنسورهای مورد استفاده معرفی شود و کارکرد آن تشریح شود.
- ۲- بهترین سنسورها برای این آزمایش مشخص شود.
- ۳- عوامل خطا در این آزمایش مشخص شود.
- ۴- موارد مورد اندازه گیری بیان شود.
- ۵- محاسبه Q_1 تا Q_8 و ضرایب عملکرد مختلف و منعکس نمودن نتایج درجدول مناسب برای هر مرحله .
- ۶- رسم نمودارهای تغییرات گرمای مستغله به هوا ، گرمای گرفته شده از آب ، قدرت الکتریکی ورودی و افتهای حرارتی برحسب زمان ، در یک دستگاه ، برای پمپ حرارتی .
- ۷- رسم سیکلهای مربوط به پمپ حرارتی و کولر در نمودار فشار – آنتالپی فریون ۲۲
- ۸- بحث در مورد سیکل کارکرد
- ۹- رسم سیکلها در نمودار دما آنتالپی برای هر دو حالت ایده ال و واقعی
- ۱۰- آنالیز خطا شود. (از بخش آنالیز خطا جزوه کمک گرفته شود).
- ۱۱- بر روی نتایج محاسبات و شرایط انجام آزمایش بحث کنید.

فشار محیط :

دمای محیط:

تاریخ :

متغیر	مرحله	1	2	3	4	5	6	7	8
T_1									
T'_1									
T_2									
T'_2									
T_3									
T_4									
T_5									
T_6									

H_1								
V								
I								
(P) E								