فلومتر جرمی حرارتی چیست؟

فلومتر جرمی حرارتی (Thermal Mass Flow Meter) که با نام‌های فلومتر ترمال، فلومتر حرارتی و دبی‌سنج جرمی حرارتی نیز شناخته می‌شود، یکی از تجهیزات ابزار دقیق برای اندازه‌گیری دبی جرمی سیالات، به‌ویژه گازهای صنعتی است. این دستگاه با استفاده از اصل انتقال حرارت، میزان جرم گاز عبوری از خط لوله را در واحد زمان محاسبه می‌کند.



فلومتر صنعتی حرارتی در اندازه‌گیری مصرف هوای فشرده، گاز طبیعی، نیتروژن، دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای سازگار با دستگاه کاربرد دارد. یکی از ویژگی‌های مهم آن، اندازه‌گیری دبی جرمی بدون نیاز به محاسبه جداگانه چگالی از روی فشار و دما در بسیاری از کاربردهاست.

فلومتر جرمی حرارتی چگونه کار می‌کند؟

اساس عملکرد فلومتر ترمال، اندازه‌گیری میزان حرارتی است که جریان گاز از سنسور گرم‌شده دریافت می‌کند.



در بسیاری از مدل‌های صنعتی، این فرآیند با استفاده از دو سنسور دما انجام می‌شود:

1. **اندازه‌گیری دمای گاز:** سنسور اول دمای واقعی گاز عبوری را به‌عنوان دمای مرجع اندازه‌گیری می‌کند.
2. **گرم‌کردن سنسور دوم:** سنسور دوم با استفاده از انرژی الکتریکی تا دمای مشخصی بالاتر از دمای گاز گرم می‌شود.
3. **انتقال حرارت به جریان گاز:** با عبور گاز، بخشی از گرمای سنسور دوم به جریان منتقل می‌شود. با افزایش جریان جرمی گاز، میزان انتقال حرارت نیز تغییر می‌کند.

4. **محاسبه دبی جرمی:** مدار الکترونیکی دستگاه تغییرات حرارتی یا انرژی لازم برای حفظ اختلاف دمای سنسورها را اندازه‌گیری کرده و براساس کالیبراسیون، دبی جرمی گاز را محاسبه می‌کند.

در نهایت، مقدار اندازه‌گیری‌شده بسته به مدل دستگاه می‌تواند با واحدهایی مانند kg/h، kg/min یا Nm^3/h (حجم نرمال‌شده در شرایط مرجع مشخص) نمایش داده شود.

انواع فلومتر جرمی حرارتی

فلومترهای جرمی حرارتی (Thermal Mass Flow Meter) براساس ساختار سنسور و روش نصب به سه نوع اصلی تقسیم می‌شوند. انتخاب هر مدل به قطر لوله، محدوده دبی، نوع گاز و شرایط فرآیند بستگی دارد.



۱. درون خطی (Inline)

فلومتر مدل حرارتی اینلاین مستقیماً در مسیر لوله نصب می‌شود و گاز از داخل بدنه اندازه‌گیری دستگاه عبور می‌کند. این مدل برای اندازه‌گیری دبی هوای فشرده و گازهای صنعتی در خطوط لوله با سایز مناسب کاربرد دارد.

۲. اینسرشن (Insertion)

در فلومتر حرارتی اینسرشن، سنسور به‌صورت یک پروب وارد خط لوله می‌شود و جریان گاز را اندازه‌گیری می‌کند. این نوع برای لوله‌های بزرگ، کانال‌های انتقال هوا و سیستم‌های صنعتی با دبی بالا مناسب است.

۳. مویرگی (Capillary / Bypass)

در فلومتر حرارتی مویرگی، بخشی از جریان گاز از یک مسیر باریک یا لوله مویرگی عبور می‌کند و دبی براساس انتقال حرارت اندازه‌گیری می‌شود. این مدل بیشتر برای اندازه‌گیری جریان‌های کم گاز در آزمایشگاه‌ها، تجهیزات دقیق و سیستم‌های کنترل فرآیند کاربرد دارد.

تفاوت فلومتر جرمی حرارتی با سایر مدل‌های فلومتر جرمی

فلومتر ترمال (Thermal Mass Flow Meter) برخلاف سایر تجهیزات اندازه‌گیری دبی جرمی، از انتقال حرارت برای محاسبه میزان جریان سیال استفاده می‌کند. این دستگاه بیشتر برای اندازه‌گیری دبی گازهایی مانند هوای فشرده، نیتروژن و گاز طبیعی کاربرد دارد. در مقابل، فلومتر کوریولیس (Coriolis) با استفاده از ارتعاش لوله اندازه‌گیری، دبی جرمی مایعات و گازها را مستقیماً اندازه‌گیری می‌کند.

تفاوت اصلی این تجهیزات در روش اندازه‌گیری، نوع سیال قابل‌اندازه‌گیری، دقت، شرایط نصب و هزینه خرید است.

ویژگی	جرمی حرارتی	جرمی کوریولیس	اختلاف فشار با محاسبه جرم
روش عملکرد	انتقال حرارت	نیروی کوریولیس	اختلاف فشار و محاسبه چگالی
نوع سیال	عمدتاً گازها	مایعات و گازها	مایعات و گازها
اندازه‌گیری جرم	مستقیم، مبتنی بر خواص حرارتی	مستقیم	غیرمستقیم
دقت اندازه‌گیری	وابسته به ترکیب گاز و کالیبراسیون	معمولاً بسیار بالا	وابسته به سنسورها و جبران‌سازی
افت فشار	معمولاً کم در مدل‌های Insertion	وابسته به طراحی دستگاه	به‌دلیل عنصر محدودکننده جریان
هزینه خرید	معمولاً اقتصادی‌تر در کاربردهای رایج گازی	اغلب بالاتر	وابسته به تجهیزات و پیکربندی
کاربرد شاخص	هوای فشرده و گازهای صنعتی	اندازه‌گیری دقیق جرمی در فرآیندهای صنعتی	خطوط مجهز به اندازه‌گیری اختلاف فشار

راهنمای انتخاب فلومتر جرمی حرارتی بر اساس شرایط واقعی

انتخاب دبی سنج حرارتی (Thermal Mass Flow Meter) باید براساس نوع گاز، میزان دبی، قطر لوله، فشار و دمای کاری انجام شود. انتخاب نادرست دستگاه می‌تواند باعث خطای اندازه‌گیری، کاهش دقت و افزایش هزینه‌های نگهداری شود.

جدول انتخاب فلومتر جرمی حرارتی براساس کاربرد

شرایط کاربرد	مدل پیشنهادی	نکته مهم در انتخاب
اندازه‌گیری مصرف هوای فشرده	Insertion یا Inline	بررسی محدوده دبی، رطوبت و فشار کاری
اندازه‌گیری گاز طبیعی	فلومتر حرارتی سازگار با گاز طبیعی	بررسی ترکیب گاز و کالیبراسیون مناسب

اندازه‌گیری نیتروژن و CO_2	فلومتر جرمی حرارتی کالیبره‌شده برای گاز موردنظر	توجه به خواص حرارتی هر گاز
خطوط لوله با قطر بزرگ	Insertion(پروب‌دار)	تعیین عمق نصب سنسور و طول مستقیم لوله
خطوط لوله با قطر کوچک	Inline(درون‌خطی)	انتخاب سایز مناسب و بررسی افت فشار
جریان گاز با دبی متغیر	مدل دارای محدوده اندازه‌گیری گسترده	بررسی حداقل دبی و نسبت اندازه‌گیری
گازهای مرطوب یا آلوده	مدل تخصصی متناسب با شرایط یا فناوری جایگزین	احتمال خطای اندازه‌گیری بر اثر قطرات مایع و آلودگی سنسور
محیط‌های مستعد انفجار	مدل دارای تأییدیه ضدانفجار مناسب	بررسی گواهی Ex و تطابق با منطقه نصب

کاربردهای فلومتر جرمی حرارتی در صنایع مختلف

جریان سنج حرارتی (Thermal Mass Flow Meter) بیشتر برای اندازه‌گیری و کنترل دبی جرمی گازها در صنایع مختلف استفاده می‌شود. این دستگاه به دلیل افت فشار کم، حساسیت مناسب به جریان‌های پایین و امکان پایش مصرف گاز، در صنایع نفت و گاز، پتروشیمی، نیروگاهی و کارخانه‌های تولیدی کاربرد گسترده‌ای دارد.



مهم‌ترین کاربردهای فلومتر حرارتی عبارت‌اند از:

- **صنایع نفت، گاز و پتروشیمی:** اندازه‌گیری جریان گاز طبیعی، پایش مصرف گاز در فرآیندهای صنعتی و کنترل گاز ورودی به مشعل‌ها.
- **کارخانه‌ها و صنایع تولیدی:** اندازه‌گیری مصرف هوای فشرده در خطوط تولید، بررسی میزان مصرف واحدهای مختلف و کمک به شناسایی نشتی در شبکه هوای فشرده.
- **نیروگاه‌ها و تأسیسات حرارتی:** پایش دبی گاز سوخت ورودی به بویلرها، مشعل‌ها و تجهیزات تولید حرارت.
- **صنایع فولاد و فلزات:** اندازه‌گیری جریان آرگون، نیتروژن و سایر گازهای صنعتی در فرآیندهای تولید و عملیات حرارتی.
- **صنایع غذایی و نوشیدنی:** کنترل جریان دی‌اکسیدکربن (CO_2) و نیتروژن در فرآیندهایی مانند تولید نوشیدنی و بسته‌بندی مواد غذایی.

- **تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب:** اندازه‌گیری هوای ورودی به سیستم‌های هوادهی و پایش جریان بیوگاز تولیدشده در فرآیند تصفیه.
- **صنایع دارویی و آزمایشگاهی:** اندازه‌گیری و کنترل دبی گازهای فرآیندی مانند نیتروژن و هوای فشرده در تجهیزات و خطوط تولید.
- **سیستم‌های تهویه و انتقال هوا:** پایش جریان هوا در کانال‌های صنعتی با استفاده از مدل‌های مناسب، به‌ویژه فلومتر حرارتی Insertion.

نحوه نصب فلومترهای حرارتی

نصب صحیح فلومتر حرارتی (Thermal Mass Flow Meter) تأثیر مستقیمی بر دقت اندازه‌گیری دبی گاز و عملکرد دستگاه دارد. محل نصب، جهت جریان، طول مستقیم لوله، عمق قرارگیری سنسور و شرایط گاز از مهم‌ترین عواملی هستند که هنگام نصب باید بررسی شوند.



روش نصب این تجهیزات با توجه به نوع دستگاه دبی سنج متفاوت است و معمولاً به دو صورت درون‌خطی (Inline) و درج‌شونده (Insertion) انجام می‌شود.

۱ .نصب فلومتر حرارتی درون‌خطی (Inline)

در این روش، دبی سنج مستقیماً در مسیر لوله نصب می‌شود و گاز از داخل بدنه دستگاه عبور می‌کند.

- ابتدا جریان گاز را قطع کرده و فشار خط را به‌صورت ایمن تخلیه کنید.
- محل نصب را با توجه به سایز لوله و فاصله از اتصالات انتخاب کنید.
- مس فلومتر حرارتی را با اتصال فلنجی، رزوه‌ای یا اتصال مشخص‌شده توسط سازنده نصب کنید.
- جهت فلش روی بدنه دستگاه را با جهت جریان گاز هماهنگ کنید.
- پس از اتصال برق و سیگنال خروجی، آب‌بندی و عملکرد دستگاه را بررسی کنید.

۲ .نصب فلومتر حرارتی پروب‌دار (Insertion)

در این روش، سنسور فلومتر از طریق یک اتصال مخصوص وارد لوله می‌شود .این نوع نصب برای خطوط لوله با قطر بزرگ و سیستم‌های انتقال گاز کاربرد دارد.

- ابتدا محل مناسبی روی خط لوله انتخاب کنید.
- اتصال نصب، مانند نازل یا اتصال فشاری مناسب، را طبق دستورالعمل سازنده آماده کنید.
- پروب را تا عمق تعیین‌شده در دفترچه فنی وارد لوله کنید.
- سنسور را متناسب با جهت جریان گاز تنظیم کنید.
- اتصالات مکانیکی را محکم کرده و از آب‌بندی مناسب اطمینان حاصل کنید.
- تنظیمات مربوط به نوع گاز، قطر داخلی لوله و محدوده دبی را بررسی کنید.

نکته ایمنی: نصب یا خارج‌کردن پروب از خطوط تحت فشار، تنها در صورت استفاده از مجموعه مخصوص نصب تحت فشار (Hot Tap) و رعایت دستورالعمل سازنده مجاز است.

۳ .رعایت فاصله مستقیم لوله هنگام نصب

برای جلوگیری از خطای اندازه‌گیری، باید فاصله مناسبی بین جریان سنج و تجهیزاتی مانند زانویی، شیر کنترل و تبدیل لوله رعایت شود.

برای مثال، در مدل Endress+Hauser t-mass I 300، مقادیر زیر در برخی شرایط نصب توصیه شده‌اند:

تجهیزات قبل از فلومتر	فاصله مستقیم ورودی
زانویی ۹۰ درجه	20D
دو زانویی ۹۰ درجه در یک صفحه	25D
تبدیل کاهنده	20D
تبدیل افزاینده	30D
شیر کنترل	50D

در این مثال، فاصله مستقیم خروجی 5Dاست. منظور از Dقطر اسمی لوله در دستورالعمل این مدل است. این اعداد برای تمام فلومترهای حرارتی یکسان نیستند و باید طبق دفترچه سازنده بررسی شوند.

۴ .نکات مهم هنگام نصب و راه‌اندازی فلومتر حرارتی

- **جهت نصب:** فلش روی دستگاه باید مطابق جهت جریان گاز باشد.
- **جلوگیری از رطوبت:** محل و زاویه نصب باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که تجمع مایعات و میعانات روی سنسور به حداقل برسد.
- **جلوگیری از آشفتگی جریان:** فلومتر نباید بدون رعایت فاصله مجاز، بلافاصله بعد از شیرآلات یا زانویی نصب شود.
- **تنظیم نوع گاز:** نوع و ترکیب گاز باید با تنظیمات و کالیبراسیون فلومتر مطابقت داشته باشد.
- **بررسی اتصالات:** برق، ارت و خروجی‌های دستگاه مانند 4-20mA یا HART باید طبق نقشه فنی متصل شوند.

- **بررسی عملکرد:** پس از راه‌اندازی، مقدار دبی، وضعیت خطاها و عملکرد خروجی دستگاه کنترل شود.

کالیبراسیون فلومتر حرارتی چگونه انجام می‌شود؟

کالیبراسیون فلومتر ترمال (Thermal Mass Flow Meter) فرآیندی است که طی آن دقت اندازه‌گیری دستگاه با استفاده از تجهیزات مرجع بررسی می‌شود. ازآنجاکه عملکرد این فلومتر براساس انتقال حرارت است، نوع و ترکیب گاز، محدوده دبی، شرایط نصب و آلودگی سنسور می‌توانند بر صحت اندازه‌گیری تأثیر بگذارند.



مراحل کالیبراسیون فلومتر حرارتی صنعتی

1. **بررسی اولیه دستگاه:** وضعیت سنسورها، اتصالات، تنظیمات نوع گاز و احتمال آلودگی یا آسیب‌دیدگی بررسی می‌شود.
2. **آماده‌سازی شرایط آزمون:** دستگاه در شرایط پایدار قرار می‌گیرد و نوع گاز، فشار، دما و سایر پارامترهای آزمون مشخص می‌شوند.
3. **بررسی نقطه صفر:** در شرایط بدون جریان، مقدار نمایش‌داده‌شده بررسی می‌شود . در صورت نیاز و مطابق دستورالعمل سازنده، تنظیم صفر انجام می‌گیرد.
4. **مقایسه با جریان سنج مرجع:** دبی گاز در چند نقطه از محدوده کاری، مانند ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد محدوده آزمون، تنظیم و مقدار اندازه‌گیری‌شده با دستگاه مرجع معتبر مقایسه می‌شود.
5. **محاسبه خطای اندازه‌گیری:** اختلاف مقادیر اندازه‌گیری‌شده با مقادیر مرجع محاسبه و با حدود خطای مجاز مقایسه می‌شود.
6. **تنظیم و ثبت نتایج:** در صورت نیاز و امکان فنی، تنظیمات دستگاه اصلاح شده و آزمون مجدداً انجام می‌شود. نتایج در گزارش کالیبراسیون ثبت می‌شوند.

هر چند وقت یک‌بار فلومتر حرارتی باید کالیبره شود؟

زمان کالیبراسیون دوره‌ای به شرایط کاری، حساسیت فرآیند، میزان آلودگی گاز، سابقه عملکرد دستگاه و توصیه سازنده بستگی دارد .در بسیاری از کاربردهای صنعتی، بازه ۱۲ماهه می‌تواند نقطه شروعی برای برنامه‌ریزی باشد؛ اما این فاصله باید براساس نتایج کالیبراسیون‌های قبلی و الزامات فرآیند تنظیم شود.

نکته مهم: تنظیم نقطه صفر یا بررسی الکترونیکی سنسور به‌تنهایی جایگزین کالیبراسیون کامل دبی نیست. همچنین برای دستیابی به بالاترین دقت، بهتر است آزمون با گاز واقعی فرآیند یا روش جایگزین تأییدشده توسط سازنده انجام شود.

خدمات کالیبراسیون فلومتر جرمی حرارتی در یاس کنترل

یاس کنترل خدمات کالیبراسیون تجهیزات ابزار دقیق و جریان سنج های صنعتی را ارائه می‌دهد.

برای بررسی امکان کالیبراسیون فلومتر ترمال، می‌توانید برند، مدل دستگاه، نوع گاز و محدوده اندازه‌گیری را در اختیار کارشناسان مجموعه قرار دهید تا روش مناسب بررسی شود.

خرید و قیمت فلومتر جرمی در یاس کنترل

برای **خرید فلومتر جرمی حرارتی در مشهد و تهران** و اطلاع از **قیمت روز فلومتر حرارتی**، می‌توانید با کارشناسان **یاس کنترل** در ارتباط باشید. قیمت این تجهیزات با توجه به برند، مدل، نوع نصب (Inline یا Insertion)، محدوده اندازه‌گیری و مشخصات فنی متفاوت است. مجموعه یاس کنترل با ارائه مشاوره تخصصی در زمینه تجهیزات ابزار دقیق، به شما کمک می‌کند تا دبی سنج مناسب را براساس نوع گاز، دبی و شرایط کاری انتخاب کنید. برای دریافت قیمت و استعلام موجودی فلومترهای جرمی حرارتی با یاس کنترل تماس بگیرید.