بسم اللّٰه الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مکانیک-تبدیل انرژی

موضوع: بررسی و تحقیق در طراحی و ساخت یک فلومتر کالریفیک برای متان

استاد راهنما:

دکتر شاه نظری

ارائه دهنده:محمد حسن والی

شهریور ۹۱

چکیده

با توجه به نیاز اندازه گیری دبی در همه صنایع، آزمایشگاه های تحقیقاتی ملی، دانشگاهی، نیروگاهها و تمامی مراکزی که با گذر دبی و کنترل دبی سر وکار دارند، وجود دبی سنج امری الزامی می باشد. از این رو به فکر تحقیق پیرامون نوع خاصی از دبی سنج افتادیم. از میان دبی سنج های موجود دبی سنج های حرارتی کالریفیک نسبت به یک سری از دبی سنج ها از دقت بالاتری برخوردارند و نسبت به یک سری از دبی سنج ها امکانات کمتری برای ساخت نیاز دارند. به همین دلایل و با تحقیقات اولیه به بررسی این نوع دبی سنج ها و ساخت آنها پرداخته ایم. در این نوع دبی سنج از انتقال حرارت به سیال و اندازه گیری میزان افزایش دما در سیال استفاده می شود. در این پایان نامه پس از بررسی دبی سنج های حرارتی و طراحی اجزای موجود در آن به مدلسازی به کمک نرم افزار جهت بهینه سازی اولیه پرداخته ایم. جهت انجام مدلسازی از دو نرم افزار GAMBIT و FLUENT استفاده شده است. پس از آن نمونه دبی سنج ساخته شده است و پس از تست و مقایسه با دبی سنج کالیبره شده ای، نتایج را بررسی کرده و معادله کالیبراسیون دبی سنج بدست می آید و نرم افزاری جهت اندازه گیری دبی به کمک وارد کردن دو دمای اولیه و ثانویه سیال تهیه شده است.

کلمات کلیدی : دبی سنج حرارتی، دینامیک سیالات محاسباتی، انتقال حرارت، کالیبراسیون.

فهرست

فصل اول :مقدمه ۱۱

۱-۱مقدمه ۱۲

۱-۲مشخصه ی آرام یا آشفته بودن جریان ۱۳

۱-۳تکنیک اندازه گیری دبی ۱۴

۱-۴روش های اندازه گیری دبی ۱۵

۱-۴-۱روش های استنتاجی ۱۵

۱-۴-۲روش های جابجایی مثبت ۱۷

۱-۴-۳روش های اندازه گیری جرمی ۱۷

۱-۵روتامتر ۱۷

۱-۶ انواع دبی سنج حرارتی ۲۲

۱-۶-۱دبی سنج با اندازه گیری مقدار حرارت از دست داده یک جسم داغ به جریان سیال ۲۲

۱-۶-۱-۱دبی سنج حرارتی با اختلاف دمای ثابت ۲۴

۱-۶-۱-۲دبی سنج حرارتی با جریان ثابت ۲۵

۱-۶-۱-۳جریان سنج سیم داغ ۲۵

۱-۶-۲دبی سنج گرما سنجی(دبی سنج با اندازه گیری افزایش دما جریان سیال عبور کرده از روی یک جسم داغ) ۲۶

فصل دوم: تئوری دبی سنج ۲۷

۲-۲مزایای دبی سنج حرارتی ۲۸

۲-۳تئوری دبی سنج ۲۹

۲-۳-۱سیلندر تامسون ۲۹

۲-۳-۲دبی سنج حرارتی لوله باریک ۳۲

۲-۴مسیر فرایند ساخت دبی سنج.. ۳۳

فصل سوم: طراحی ومشخصات طرح.. ۳۵

۳-۱لوله اصلی ۳۶

۳-۱-۱جنس لوله.. ۳۶

۳-۱-۲طول لوله ۳۶

۳-۱-۳قطر لوله.. ۳۶

۳-۲المنت حرارتی ۳۷

۳-۲-۱شکل المنت ۳۷

۳-۳ترمومتر ۳۸

۳-۴منبع تغذیه.. ۳۹

۳-۵طراحی اولیه دبی سنج... ۴۰

فصل چهارم: مدلسازی به کمک نرم افزار وساخت دبی سنج.. ۴۹

۴-۱مدلسازی.. ۴۹

۴-۲مدلسازی در نرم افزار GAMBIT... ۵۰

۴-۲-۱مراحل مدلسازی در نرم افزار GAMBIT... ۵۱

۴-۲-۲مش بندی در نرم افزار GAMBIT.. ۵۳

۴-۲-۳تعیین شرایط مرزی و نواحی پیوستگی در نرم افزار GAMBIT... ۵۵

۴-۳مدلسازی در FLUENT.. ۵۸

۴-۳-۱تاثیر تعداد المنت بر دبی عملکرد سنج... ۵۸

۴-۳-۲تاثیر فاصله ترموکوپل ثانویه از المنت بر عملکرد دبی سنج.. ۶۲

۴-۳-۳تاثیر تغییرات دبی بر عملکرد دبی سنج.. ۶۷

۴-۴ نحوه ساخت.. ۷۱

فصل پنجم: تست دبی سنج ۷۳
۵-۱تست دبی سنج ۷۴
۵-۲تعمیم نتایج تست ۷۸
۵-۳نرم افزار محاسبه دبی ۷۹
فصل ششم: جمع بندی و کارهای آینده ۸۴
۶-.۱جمع بندی ۸۵
۶-۲کارهای آینده ۸۷
۶-۲-۱عایق کردن لوله اصلی دبی سنج وملحقات آن ۸۷
۶-۲-۲استفاده از انواع دیگری از المنت برای تولید حرارت ۸۷
۶-۲-۳تغییر مقدار فرورفتگی ترموکوپل در داخل لوله اصلی ۸۹
مراجع ۹۰
ضمیمه ۹۲
نحوه بدست آوردن معادلات مربوط به چگالی و ظرفیت گرمایی ۹۲
عکس های مربوط به تست دبی سنج ۹۶

فهرست اشکال

شکل ۱-۱روتامتر ۱۸

شکل ۱-۲دبی سنج حرارتی از نوع اندازه گیری مقدار حرارت از دست داده یک جسم داغ به جریان سیال...... ۲۴

شکل ۱-۳نمودار ارتباط بین مجذور جریان و جذر سرعت... ۲۵

شکل ۱-۴انواع پراب به کار رفته در جریان سنج سیم داغ.. ۲۶

شکل ۲-۱سیلندر توماس با اجزای تشکیل دهنده آن ۲۹

شکل ۲-۲ دبی سنج حرارتی به همراه مسیر فرعی ۳۲

شکل ۲-۳محل قرار گیری سنسورها وگرمکن و تغییرات دما در طول لوله سنسور.. ۳۳

شکل ۳-۱لوله اصلی به کار رفته در نمونه ۳۷

شکل ۳-۲پوشش های سرامیکی به کار رفته در المنت.. ۳۸

شکل ۳-۳ترموستات ها و ترموکوپل های به کار رفته در نمونه.. ۳۹

شکل ۳-۴منبع تغذیه به کار رفته در نمونه ۴۰

شکل ۴-۱مدلسازی دبی سنج در نرم افزار GAMBIT.. ۵۱

شکل ۴-۲ مدل سازی لوله اصلی و دو المنت در GAMBIT.. ۵۲

شکل ۴-۳مدل سازی ترموکوپل در نرم افزار GAMBIT.. ۵۳

شکل ۴-۴شرایط مش بندی نمونه در نرم افزار GAMBIT... ۵۴

شکل ۴-۵ نمونه بدست آمده پس از مش بندی در نرم افزار GAMBIT.. ۵۵

شکل ۴-۶شرایط اعمال شده برای شرایط مرزی یک المنت در نرم افزار GAMBIT.. ۵۶

شکل ۴-۷نمونه بدست آمده برای حالت ۱ المنت ۵۷

شکل ۴-۸نمونه بدست آمده برای حالت ترموکوپل با فاصله ۳cm از المنت ۵۷

شکل ۴-۹نمونه بدست آمده برای حالت ترموکوپل با فاصله ۱cm از المنت ۵۷

شکل ۴-۱۰مساحت اجزای مختلف نمونه یک المنتی در FLUENT... ۵۹

شکل ۴-۱۱ مساحت اجزای مختلف نمونه دو المنتی در FLUENT.. ۵۹

شکل۴-۱۲ دمای متوسط بر روی المنت برای نمونه یک المنتی ۶۰

شکل۴-۱۳ سمت راست توزیع دما در راستای محور x ،سمت چپ توزیع دما در راستای محور yدر نمونه یک المنتی ۶۱

شکل۴-۱۴ دمای متوسط بر روی المنت برای نمونه دو المنتی.. ۶۱

شکل ۴-۱۵سمت راست توزیع دما در راستای محور x ،سمت چپ توزیع دما در راستای محور yدر نمونه دو المنتی ۶۲

شکل ۴-۱۶سمت راست توزیع دما در راستای محور x ،سمت چپ توزیع دما در راستای محور yدر نمونه با فاصله ترموکوپل ثانویه ۱ سانتیمتری از المنت ۶۳

شکل ۴-۱۷نمودار هیستوگرام توزیع دما بر روی ترموکوپل ثانویه در نمونه با فاصله ترموکوپل ثانویه ۱ سانتیمتری از المنت ۶۴

شکل ۴-۱۸سمت راست توزیع دما در راستای محور x ،سمت چپ توزیع دما در راستای محور yدر نمونه با فاصله ترموکوپل ثانویه ۳ سانتیمتری از المنت ۶۴

شکل۴-۱۹ نمودار هیستوگرام توزیع دما بر روی ترموکوپل ثانویه در نمونه با فاصله ترموکوپل ثانویه ۳ سانتیمتری از المنت ۶۴

شکل ۴-۲۰نمودار هیستوگرام توزیع دما بر روی ترموکوپل ثانویه در نمونه با فاصله ترموکوپل ثانویه ۵ سانتیمتری از المنت ۶۶

شکل ۴-۲۱دمای متوسط بر روی المنت برای نمونه با دبی m^{۳}/s ۱۰$^{-۵}$ * ۴,۲۶۵.. ۶۷

شکل ۴-۲۲سمت راست توزیع دما در راستای محور xسمت چپ توزیع دما در راستای محور yدر نمونه با دبی m^{۳}/s ۱۰$^{-۵}$*۴,۲۶۵.. ..... ۶۸

شکل۴-۲۳ نمودار هیستوگرام توزیع دما بر روی ترموکوپل ثانویه در نمونه با دبیm^{۳}/s ۱۰$^{-۵}$ * ۴,۲۶۵ .... ۶۸

شکل ۴-۲۴دمای متوسط بر روی المنت برای نمونه با دبی m^{۳}/s ۱۰$^{-۵}$*۱۷,۰۶.............................. ...۶۹

شکل ۴-۲۵سمت راست توزیع دما در راستای محور xسمت چپ توزیع دما در راستای محور yدر نمونه با دبی

۱۷,۰۶*۱۰$^{-۵}$ $m^{۳}/s$ ۶۹

شکل۴-۲۶ نمودار هیستوگرام توزیع دما بر روی ترموکوپل ثانویه در نمونه با دبی$m^{۳}/s$ ۱۷,۰۶*۱۰$^{-۵}$ ۷۰

شکل۴-۲۷ لوله اصلی پس از انجام سوراخ کاری بر روی آن ۷۱

شکل۴-۲۸نمونه دبی سنج ساخته شده ۷۲

شکل ۵-۱نمودار تغییرات دبی خوانده شده بر اساس دبی محاسبه شده در توان ثابت ۱,۵وات ۷۷

شکل۵-۲نمودار تغییرات دبی خوانده شده بر اساس دبی محاسبه شده در توان ثابت ۲,۵۳۵وات ۷۸

شکل۵-۳نرم افزار محاسبه کننده دبی ۸۲

شکل۵-۴ محاسبه یک دبی به کمک نرم افزار محاسبه کننده دبی ۸۳

شکل۶-۱شکل شماتیک دبی سنج ۸۶

شکل ۶-۲نمونه خام المنت مسی ۸۸

شکل ۶-۳المنت مسی مدل شده در نرم افزار GAMBIT ۸۸

فهرست جداول

جدول ۴-۱نمونه های مدل شده در نرم افزار GAMBIT ۵۱
جدول ۵-۱ نتایج بدست آمده در توان ۱,۵وات و فشارنسبی۱,۵ بار........ ۷۵
جدول ۵-۲ نتایج بدست آمده در توان ۲,۵۳۵وات و فشارنسبی۱,۵ بار........ ۷۶

فصل اول :مقدمه

۱-۱مقدمه

اندازه گیری دبی در بیشتر صنایع بسیار مهم می باشد.اندازه گیری دبی سهم بسیار مهمی در صنایع وابسته به مواد شیمیایی دارد. تنظیم مواد ورودی به دستگاهها،کنترل کیفی و عملکرد فرایند[۱] های پیوسته بدون اندازه گیری دبی غیر ممکن است.

اندازه گیری دبی سیال در مواردی می تواند بسیار مهم و حیاتی باشد مانند میزان دبی خون در رگهای انسان و یا مقدار دبی اکسیژن مایع در یک راکت فضا پیما.تعداد زیادی از تحقیقات پروژه ها و فرایند های صنعتی وابسته به اندازه گیری دبی سیال برای انجام دادن آنالیز ها می باشد. این آنالیز ها می تواند آنالیز اقتصادی،آنالیز زیست محیطی و سایر موارد باشد.[۱]

مهندسان و متخصصان مدت زمان طولانی به دنبال ساخت یک دبی سنج جهانی،یک ابزار با رنج اندازه گیری بالا،با دقت اندازه گیری بالا در طیف وسیع شرایط کاری(فشار ودما های مختلف) و انعطاف در سر وکار داشتن با مایعات،گازها و مخلوط گاز ومایع بدون درجه بندی[۲] مجدد،اتصال آسان در مسیر لوله،کار کردن بدون توقف،استحکام بالا در مقابل تغییرات دبی،آشفتگی[۳]،ارتعاشات و نیاز حداقلی به تعمیرات و افت فشار بسیار پایین هستند.البته متاسفانه دبی سنجی با این شرایط هنوز در حد یک آرزو می باشد.[۲]

دبی مواد در یک فرایند یا سیستم می تواند بوسیله روش های مختلفی که وابسته به نوع مواد و شرایط آن می‌باشد، اندازه گیری شود.نوع دبی،حجم،تغییرات فشار و دما،دقت خواسته شده و کنترل خواسته شده را می توان مثالهایی از این شرایط نام برد.تعداد زیادی روش دقیق و قابل اعتماد برای اندازه گیری دبی وجود دارد.تعدادی از این روش ها فقط برای مایعات قابل استفاده است.تعدادی فقط برای بخارها وگازها قابل استفاده است و تعدادی هم برای هر دو قابل استفاده است.سیال ها ممکن است از انواع مختلف باشند مانند شفاف یا کدر[۴]،تمیز یا کثیف،مرطوب یا خشک،ساینده [۵]یا خورنده[۶] باشد.جریان سیال می تواند چند فاز،بخار،مایع ویا اشباع باشد.جریان می تواند آرام یا آشفته باشد.ویسکوزیته ها ممکن است متغیر باشد.فشار می تواند از نزدیک به خلا تا چندین برابر فشار جو باشد و دما می تواند از دماهای بسیار پایین تا صدها درجه ی سانتیگراد متغیر باشد.

---

[۱] process
[۲] calibration
[۳] upset
[۴] opaque
[۵] erosive
[۶] corrosive

تغییرات دبی مورد نیاز می تواند از چند قطره در ساعت تا هزاران لیتر بر دقیقه متغیر باشد.نسبت حداکثر بر حداقل دبی می تواند از ۱:۱تا ۱۰۰:۱ یا حتی بزرگتر، متغیر باشد.با این تفاسیر تعداد بسیار زیادی شرایط و احتیاجات مختلف وجود دارد،و برای انتخاب روش صحیح احتیاج به درک کاملاً دقیقی بر روش های مختلف باید وجود داشته باشد.

آگاهی از تعدادی از مشخصه[۱] های پایه ای سیالها و دبی سیال برای انتخاب بهترین روش اندازه گیری دبی در یک کاربرد خاص در شرایط مشخص شده لازم می باشد.مشخصه ها و خواصی[۲] که مورد نیاز است عبارتند از:ویسکوزیته،چگالی،قابلیت تراکم،دما و فشار ومانند اینها می باشد.در بیشتر کاربردها،آگاهی از نوع جریان از نظر آرام با آشفته بودن آن حائز اهمیت می باشد.

۱-۲مشخصه ی آرام یا آشفته بودن جریان

زمانی که سرعت حرکت سیال در داخل یک لوله یکنواخت بسیار پایین است.حرکت ذرات سیال در مسیر مستقیم و به موازات دیوار کانال می باشند.سرعت ذرات در مرکز کانال بیشترین می باشد و به صورت تئوری در دیواره های کانال صفر می باشند.در این حالت جریان را جریان آرام می نامیم.زمانی که سرعت دبی رو به افزایش می رود،حرکت ذرات از حالت آرام، آرام،آرام خارج شده و دارای حرکات تصادفی و مختلف بیشتری می شود در عمل این اتفاق در بازه باریکی از سرعت سیال اتفاق می افتد.سرعت تقریبی که در آن تغییر رخ می دهد،سرعت بحرانی می نامند.جریان بالاتر از این حد را جریان آشفته می نامند.

سرعت بحرانی بر اساس فاکتور های مختلفی پیدا شده است که شکل بی بعد شده آن را عدد رینولدز می نامند.مقدار عدد رینولدز برای یک لوله دایروی به شکل زیر می باشد.

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \qquad ۱-۱$$

---

[۱] characteristic
[۲] properties

که در آن:

v= سرعت سیال برحسب متر بر ثانیه

d = قطر لوله برحسب متر

ρ= چگالی سیال بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب

μ= ویسکوزیته سیال بر حسب پوآز

در شرایط عادی، برای عدد رینولدز تا ۲۱۰۰دبی سیال آرام فرض می شود ، اگر عدد رینولدز از ۴۰۰۰بیشتر باشد جریان آشفته فرض می شود و در حالت ۲۱۰۰ تا ۴۰۰۰ جریان حالت گذرا دارد و جریان نه کاملاً خواص حالت آرام را دارد و نه حالت آشفته.(البته لازم به ذکر است اعداد بیان شده برای حالت آرام و آشفته در منابع مختلف کمی با اعداد گفته شده ممکن است اختلاف داشته باشد.)

۱-۳تکنیک اندازه گیری دبی

اندازه گیری مقدار دبی می تواند براساس ۱-مقدار دبی و ۲-کل دبی بیان شود.

مقدار دبی بر اساس مشخصه های زیر نشان داده می شود:

۱-سرعت سیال در جهت مشخص۲-مقدار دبی حجمی عبوری و ۳-مقدار دبی جرمی عبوری

اندازه گیری کل دبی می تواند بر اساس ۱-کل حجم و ۲-کل جرم بیان شود.

کل حجم و کل جرم(برای شرایط سیال غیر قابل تراکم) از روابط زیر بدست می آید:

۱-۲

$$\text{کل حجم}=\int Qdt = \int (Av)dt$$

۱-۳

$$\text{کل جرم}=\int mdt = \rho \int Qdt$$

که در آن: A,m,Q,v به ترتیب سرعت سیال، دبی حجمی سیال، دبی جرمی سیال و سطح مقطع عبوری سیال می باشند.

و میزان کل دبی حجمی یا جرمی عبوری از یک نقطه در بازه زمانی مشخص به صورت زیر بدست می آید.

$$Qt=Q\int dt \qquad ۴-۱$$

$$mt=m\int dt \qquad ۵-۱$$

بنابراین دو نوع دبی سنج وجود دارد:

۱-دبی سنجی که دبی لحظه ای را اندازه گیری می کنند ۲-دبی سنجی که مقدار کل دبی عبور کرده را نشان می دهند.

۱-۴روش های اندازه گیری دبی

دبی سنج هایی که دبی لحظه ای را اندازه گیری می کنند، را می توان به سه گروه دسته بندی کرد:

۱-نوع استنتاجی[۱] ۲-نوع جابجایی مثبت[۲] و ۳-نوع اندازه گیری جرم[۳]

۱-۴-۱روش های استنتاجی

بیشتر دبی سنج ها نتایج خود را بوسیله اندازه گیری استنتاجی بدست می آورند. روش های استنتاجی بدین گونه می باشند که خود دبی به صورت مستقیم اندازه گیری نمی شود بلکه با اندازه گیری پارامتر دیگری که به دبی مربوط می باشد، بدست می آید. پارامتر ها ممکن است فشار، دما، نیرو، جابجایی یا مانند اینها باشد. اطلاعات

---

[۱] inferential

[۲] Positive displacement

[۳] Mass measurement

بدست آمده بوسیله حسگرها[۱] را به سرعت تبدیل می کنند. و با توجه به روابط محاسبه دبی حجمی می توان با داشتن سرعت و مساحت سطح مقطع دبی حجمی را بدست آورد، وبرای بدست آوردن دبی حجمی کلی در بازه زمانی خاص می تواند به راحتی از دبی حجمی لحظه ای در بازه زمانی انتگرال گرفت.

روش های استنتاجی برای اندازه گیری دبی عبارتند از:

۱-نوع ارتفاع[۲]:که در آن دبی از اختلاف فشار اندازه گیری شده در خلال یک گلویی مهندسی شده بدست می آید.

۲-نوع سطح متغیر[۳] یا روتامتر[۴]:که در آن دبی از جابجایی یک جسم که از تعادل نیروی وزن در مقابل نیروی سرعت نتیجه شده بدست می آید.

۳-مغناطیس سنج[۵]:که در آن دبی از سرعت بدست می آید.

۴-توربین سنج[۶]:که در آن دبی از فاکتور مشخصی از سرعت بدست می آید.

۵-نشان سنج[۷]:که در آن دبی از یک نیرو سنج بدست می آید.

۶-دبی سنج حرارتی:که در آن دبی از خواص حرارتی بدست می آید.

۷-چرخش سنج[۸]:که در آن دبی از نوسانات دما و فشار بدست می آید.

۸-صوت سنج[۹]:که در آن دبی از سطح نویز واثر داپلر بدست می آید.

---

[۱] sensor
[۲] Head type
[۳] Variable area
[٤] rotameter
[٥] Magnetic meter
[٦] Turbine meter
[٧] Target meter
[٨] Swirl meter
[٩] Sonic meter

۱-۴-۲روش های جابجایی مثبت

روش جابجایی مثبت اساساً بر گرفتن و آزاد کردن یک حجم ثابت(مقدار گسسته) از سیال شبیه به کار پمپ می باشد.این عمل از طریق یک پیستون رفت و برگشتی،پره گردنده یا دیافراگم[۱] قابل انعطاف انجام می گردد.این اندازه گیر عموماً فقط مقدار کل حجم سیال عبوری را اندازه می گیرد.شایان ذکر است که این نوع دبی سنج یک دبی سنج حجمی می باشد و فقط در شرایط ثابت بودن چگالی می تواند به عنوان یک دبی سنج جرمی مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۴-۳روش های اندازه گیری جرمی

میزان دبی جرمی می تواند از دبی حجمی ضربدر چگالی سیال بدست بیاید.اما وضعیت آن طوری هم که به نظر آسان می آید، نیست. به این دلیل که چگالی از دما و فشار سیال تاثیر می گیرد بنابراین ساده نیست محاسبه دبی جرمی تحت شرایطی که دما و فشار تغییر می کند.بنابراین دبی سنج های جرمی صحیح در حال حاضر به ندرت در کاربردهای صنعتی استفاده می شوند.دبی سنج های جرمی با اعمال ضرایب تصحیح را در شرایطی که دما و فشار تغییر می کند می تواند استفاده شود..

چگالی گازها و بخارها تاثیر زیادی از فشار و دما می گیرد.همان طور که بیان شد بیشتر دبی سنج های جرمی بر پایه دبی سنج های حجمی ساخته می شوند بنابراین دانستن چگالی سیال برای بدست آوردن دبی جرمی صحیح لازم است.

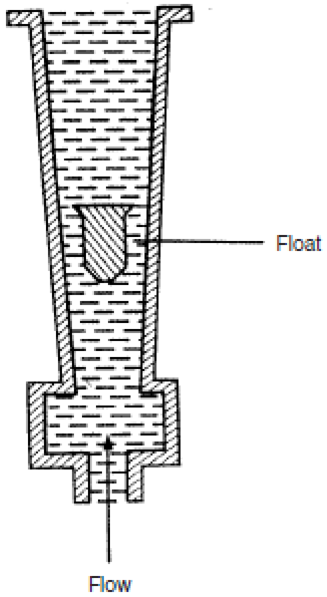
صنایعی که از دبی سنج های جرمی استفاده می کنند محدود می شوند به صنایع با ارزش بالا.

۱-۵روتامتر

شامل یک لوله مخروطی عمودی به همراه یک جسم شناور که می تواند آزادانه در لوله حرکت کند، می باشد.شکل یک روتامتر را در زیر می بینید.

---

[۱] diaphragm



شکل ۱-۱روتامتر [۴]

همانطور که در شکل نیز می بینید جریان سیال از سمت پایین به بالا می باشد.زمانی که سیالی وجود ندارد شناور در کف لوله قرار می گیرد.قطر شناور به گونه ای ساخته شده است که به طور کامل دریچه ورودی را بپوشاند.زمانی که جریان سیال در لوله شروع می شود و به شناور می رسد،اثر شناوری سیال بر شناور آن را حرکت می دهد.معمولاً،شناور دارای چگالی بیشتر از مواد عبوری می باشد.بنابراین نیروی شناوری به تنهایی برای بلند کردن آن کافی نیست.مسیر شناور بسته باقی می ماند تا زمانی که فشار مواد عبوری به اضافه نیروی شناوری توانایی غلبه بر فشار حاصل از وزن شناور را داشته باشد.

زمانی که شناور به سمت بالا می رود،یک مسیر حلقوی بین سطح داخلی لوله شیشه ای و پیرامون شناور ایجاد می شود.شناور به بالا رفتن ادامه می دهد تا زمانی که مسیر حلقوی به اندازه ای باشد که کل مواد آمده از میان لوله عبور کند.و همانطور که گفته شد فشار سرعت سیال یا گاز اثر می کند تا زمانی که این نیرو به اضافه اثر شناوری دقیقاً برابر وزن شناور باشد.سپس شناور به یک تعادل دینامیکی می رسد.

اضافه کردن میزان دبی باعث بالا رفتن شناور در داخل لوله می شود و طبیعتاً کاهش میزان دبی باعث پایین آمدن شناور در داخل لوله می شود.این بدین معنی می باشد هر موقعیت قرار گیری شناور در داخل لوله متناظر با یک میزان خاص دبی می باشد.و می توان محل شناور را بوسیله مقیاس کالیبره شده متصل به شیشه خواند،و میزان دبی را می توان به طور مستقیم و با دیدن محل شناور بدست آورد.

اگر ما فرض کنیم روتامتر ما کاملاً عمودی باشد، معادله انرژی به صورت زیر می باشد:

۶-۱
$$\frac{P_۲}{w}+\frac{V_{m۲}^{۲}}{۲g}=\frac{P_۱}{w}+\frac{V_{m۱}^{۲}}{۲g}$$

یا۷-۱
$$V_{m۲}^{۲}-V_{m۱}^{۲}=\frac{۲g}{w}(P_۱-P_۲)$$

که در آن:

P= فشار استاتیکی بر حسب نیوتن بر متر مربع

V_m= سرعت متوسط سیال بر حسب متر بر ثانیه

w= وزن مخصوص سیال بر حسب نیوتن بر متر مکعب

با توجه به شکل ۱-۱ اگر فرض کنیم، فشاری که بالا برنده شناور از انتها می باشد، فشار سکون باشد. بعلاوه فرض شود فشار پایین برنده شناور فشار استاتیکی $P_۲$ باشد. بنابراین معادله تعادل شناور در هر موقعیتی به شرح زیر می باشد.

۸-۱
$$A_f\left(P_۱+\frac{V_{m۱}^{۲}}{۲g}w\right)+V_f w=A_f P_۲+V_f w_f$$

که در آن:

A_f= سطح موثر سیال بر حسب متر مربع

V_f= حجم شناور بر حسب متر مکعب

w_f= وزن مخصوص شناور بر حسب نیوتن بر متر مکعب

البته رابطه پیوستگی نیز احتیاج داریم:

۹-۱
$$Q=V_{m۱}A_۱=V_{m۲}A_۲$$

که در آن:

$A_{۱}$=مساحت ورودی لوله مخروطی بر حسب متر مربع

$A_{۲}$=مساحت بین شناور و لوله

بنابر این داریم:

$$Q = A_{۲}\sqrt{\frac{۲gV_f}{A_f}\left(\frac{w_f}{w} - ۱\right)}$$

$$= A_{۲}\sqrt{\frac{۲gV_f}{A_f}\left(\frac{\rho_f}{\rho} - ۱\right)} \qquad ۱۰-۱$$

که ρ و ρ_f که به ترتیب چگالی سیال و چگالی شناور بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب می باشد.

ما در ادامه خواهیم دید، محل قرار گیری شناور (x) در داخل لوله بیانگر میزان دبی حجمی می باشد. بنابراین مقدار بالا رفتن شناور وابسته به مساحت حلقوی بین شناور و لوله مخروطی می باشد و به آن مساحت روزنه سنج متغیر می گویند.

رابطه دیگری برای میزان دبی حجمی در روتامتر به این شکل می باشد:

$$Q = (A_{t-}A_f)\sqrt{۲g\frac{V_f(\rho_f - \rho)}{A_f\rho}} \qquad ۱۱-۱$$

که در آن:

A_t=مساحت لوله بر حسب متر مربع