

مقدمه‌ای بر

البراردقیق صنعتی

ترجمه، گردآوری، و تالیف:

مهندس عبدالکریم محمدی



انتشارات قدیس

www.Qeddis.com

سرشناسه : ماندگاری، عبدالکریم، ۱۳۶۴ -
 عنوان و نام پدیدآور : مقدمه‌ای بر ابزار دقیق صنعتی/ ترجمه، گردآوری و تالیف عبدالکریم ماندگاری.
 مشخصات نشر : تهران: قدیس، ۱۳۹۲.
 مشخصات ظاهری : ۴۰۵ ص.: مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار.
 شابک : ۲۰۰۰۰۰ ریال 9-46-600-978 :
 وضعیت فهرست نویسی : فیبا
 موضوع : کنترل فرایندها -- ابزار و وسایل
 موضوع : ابزار اندازه‌گیری
 موضوع : مهندسی کنترل -- ابزار و وسایل
 رده بندی کنگره : ۱۳۹۲ ۷م۲م/۱۵۶/ATS
 رده بندی سی : ۶۸۱/۲
 شماره ثبتی ملی : ۲۳۲۴۲۷۰



انتشارات قدیس

مقدمه‌ای بر ابزار دقیق صنعتی

ترجمه، گردآوری و تالیف مهندس عبدالکریم ماندگاری

سر: قدیس

صفحه‌آرایی: حنی ل. ۹۳۳-۱۳۶۶

لیتوگرافی، چاپ و جلدی: رادین

نوبت و سال چاپ: اول ۱۳۹۲

شمارگان: ۱۰۰۰

قیمت: ۲۰۰۰۰ تومان

شابک: ۹-۴۶-۶۴۵۰-۶۰۰-۹۷۸

حق چاپ محفوظ و منحصراً مخصوص ناشر است

دفتر مرکزی و مرکز پخش:

تهران، خیابان انقلاب، خیابان ۱۲ فروردین، پایین‌تر از وحید نظری، نبش بن‌بست حقیقت، پلاک ۴ واحد ۵

تلفن: ۰۹۱۹۵۵۰۷۱۲۵ - ۰۹۱۲۲۷۰۴۸۳۷ - ۶۶۴۱۱۳۸۱-۶۶۴۰۳۵۴۸

صانعی: ۶۶۴۱۲۳۹۵-۶۶۴۰۸۱۶۵

مراکز پخش: نسیم: ۶۶۴۶۲۴۹۱-۶۶۹۷۵۹۸۴

دانشیران: ۶۶۴۰۰۲۲۰-۶۶۴۰۰۱۴۴

آزاده: ۶۶۴۱۵۷۵۳-۶۶۴۱۴۳۷۴

فهرست مطالب

۱۹	فصل اول / مفاهیم و تعاریف
۱۹	۱-۱. مقدمه
۱۹	۱-۱-۱. اندازه‌گیری (Measurement)
۱۹	۲-۱. تجهیزات تشکیل دهنده سیستم‌های اندازه‌گیری
۱۹	۱-۲-۱. سنسور (Sensor)
۱۹	۲-۲-۱. ترانسدیوسر (Transducer)
۲۰	۳-۲-۱. ترانسمیتر (Transmitter)
۲۱	۴-۲-۱. کنترلر (Controller)
۲۲	۵-۲-۱. عنصر نهایی (Final element)
۲۳	۶-۲-۱. رکوردر (Recorder)
۲۳	۷-۲-۱. نشان‌دهنده (Indicator)
۲۳	۳-۱. خواص و ویژگی‌های تجهیزات اندازه‌گیری
۲۳	۱-۳-۱. خطا (Error)
۲۴	۲-۳-۱. صحت (Accuracy)
۲۴	۳-۳-۱. دقت (Precision)
۲۵	۴-۳-۱. حساسیت (Sensitivity)
۲۵	۵-۳-۱. رنج (Range)
۲۵	۶-۳-۱. محدوده (Span)

۷-۳-۱. حداکثر فشار کاری (Maximum working pressure) ۲۵

۸-۳-۱. پایداری (Stability) ۲۶

۹-۳-۱. پاسخ‌دهی (Response) ۲۶

۱۰-۳-۱. قابلیت تفکیک (Resolution) ۲۶

۱۱-۳-۱. قابلیت اطمینان (Reliability) ۲۶

۱۲-۳-۱. هیستریزیس (Hysteresis) ۲۶

۱۳-۳-۱. خطی بودن (Linearity) ۲۷

۱۴-۳-۱. کالیبراسیون (Calibration) ۲۸

۱۵-۳-۱. درift ۲۸

فصل دوم / مقدمه‌ای بر ابزار دقیق ۲۹

۱-۲. مقدمه‌ای بر فشار ۳۱

۱-۱-۲. نیروی اعمال شده توسط سیالات ۳۱

۲-۱-۲. نیروی اعمال شده توسط جامدات ۳۶

۲-۲. اندازه‌گیری فشار ۳۷

۱-۲-۲. واحدهای اندازه‌گیری ۳۷

۲-۲-۲. تبدیل واحدهای اندازه‌گیری ۴۱

۳-۲-۲. فشار تفاضلی (Differential Pressure) ۴۳

۳-۲. مانومترها ۴۴

۱-۳-۲. مانومتر ساده (Basic Manometer) ۴۴

۲-۳-۲. انواع مانومترها ۴۹

۳-۳-۲. ایمنی ۵۴

۴-۲. ترانسدیوسرهای فشار نوع مکانیکی ۵۵

۱-۴-۲. بوردن تیوب (Bourdon Tubes) ۵۵

۲-۴-۲. بیلوز (Bellows) ۶۲

۳-۴-۲. دیافراگم (Diaphragm) ۶۶

۵-۲. المان‌های فشار نوع الکتریکی ۷۱

۱-۵-۲. پل و تستون ۷۱

۲-۵-۲. ترانسدیوسرهای پتانسیومتری (Potentiometric Transducers) ۷۳

۷۵	۲-۵-۳. ترانسدیوسرهای خازن متغیر خطی (Linear Variable capacitor Transducers)
۷۷	۲-۵-۴. ترانسدیوسرهای نوع ترانسفورماتور تقاضلی متغیر خطی
۷۹	۲-۵-۵. سنسورهای فشار نوع سلف متغیر (Variable Inductor Pressure Sensors)
۸۰	۲-۶. المان‌های فشار الکترونیکی
۸۰	۲-۶-۱. ترانسدیوسرهای نوع کرنش سنج (Strain Gage Transducers)
۸۵	۲-۲. ترانسدیوسرهای پیزوالکتریک (Piezoelectric Transducers)
۸۶	۲-۱. گج فشار نوع انتقال حرارتی (Thermal transfer gage)
۸۸	۲-۶-۴. سنج فشار نوع یونیزاسیون (Ionization gage)
۹۰	۲-۶-۵. $K = \frac{m}{n}$ سنج
۹۱	۲-۷. ملاحظات نصب و اندازه‌گیری
۹۲	۲-۷-۱. دستگاه‌های حفاظ (Protection Device)
۹۹	۲-۷-۲. فرونشانی و ترفند صفر (Zero Suppression and Elevation)

فصل سوم / مقدمه‌ای بر اندازه‌گیری دما

۱۰۳	۳-۱. مقدمه‌ای بر اندازه‌گیری دما
۱۰۵	۳-۱-۱. مقیاس‌های دما (Temperature Scales)
۱۰۵	۳-۱-۲. مقیاس عملی بین‌المللی دما (International Practical Temperature Scale)
۱۰۸	۳-۱-۳. دستگاه‌های اندازه‌گیری دما
۱۰۹	۳-۱-۴. عوامل مؤثر بر صحت اندازه‌گیری
۱۱۰	۳-۲. ترمومترها
۱۱۷	۳-۳-۱. ترمومترهای نوع مایع در شیشه (liquid-In-glass Thermometers)
۱۱۷	۳-۳-۲. ترمومترهای پر شده (Filled Thermometers)
۱۲۱	۳-۳-۳. ترمومترهای دو فلزی (Bimetallic Thermometers)
۱۲۹	۳-۳-۴. انتخاب
۱۳۰	۳-۳. ترموکوپل (Thermocouple)
۱۳۱	۳-۳-۱. اثر سبیک (The Seebeck Effect)
۱۳۱	۳-۳-۲. انواع ترموکوپل
۱۳۶	۳-۳-۳. جداول مرجع ترموکوپل

۱۴۱	۴-۳-۳. طراحی ترموکوپل
۱۴۷	۵-۳-۳. اجزای اسمبلی ترموکوپل
۱۵۱	۶-۳-۳. چند نکته‌ی مهم در مورد نصب و راه‌اندازی
۱۵۶	۷-۳-۳. بررسی صحت ترموکوپل
۱۵۸	۴-۳. آشکارسازهای مقاومتی دما
۱۵۹	۱-۴-۳. اصول عملکرد RTD ها
۱۶۱	۲-۳. طرح‌های سنسور
۱۶۶	۳-۴. تجهیزات ابزار دقیق قرائت RTD
۱۶۸	۴-۳. RTD ها
۱۶۹	۴-۳. RTD های مورد استفاده در کاربردهای خاص
۱۷۰	۵-۳. ترمیستور
۱۷۱	۱-۵-۳. ویژگی‌های ترمیستور
۱۷۵	۲-۵-۳. طرح‌های ترمیستور
۱۷۶	۳-۵-۳. صحت ترمیستور
۱۷۸	۶-۳. پایرومترهای تابشی
۱۷۹	۱-۶-۳. اصول پایرومترهای تابشی
۱۸۵	۲-۶-۳. انواع پایرومترها
۱۹۲	۳-۶-۳. صحت پایرومتر

فصل چهارم / مقدمه‌ای بر اندازه‌گیری سطح ۱۹۵

۱۹۷	۱-۴. مقدمه‌ای بر اندازه‌گیری سطح
۱۹۷	۱-۱-۴. اندازه‌گیری سطح به صورت مستقیم
۱۹۸	۲-۱-۴. اندازه‌گیری سطح به صورت غیر مستقیم
۲۰۱	۳-۱-۴. اندازه‌گیری سطح به صورت پیوسته و مداوم
۲۰۲	۴-۱-۴. اندازه‌گیری سطح به صورت نقطه به نقطه
۲۰۳	۵-۱-۴. انتخاب دستگاه‌های اندازه‌گیری
۲۰۳	۲-۴. سنسورهای سطح نوع بصری
۲۰۳	۱-۲-۴. چوب ژرفاسنج و شاقول عمق‌سنج

۲۰۶	 گنج شیشه‌ای و شیشه‌ی مرئی (Sight glasses and Gage glasses)
۲۱۱	 (Float Devices) دستگاه‌های شناوری
۲۱۵	 (Magnetic-Type Float Devices) دستگاه‌های شناوری نوع مغناطیسی
۲۱۸	 (Variable displacement Devices) دستگاه‌های جابه‌جایی متغیر
۲۱۸	 ۱-۳-۴ اصل ارشمیدس
۲۱۹	 ۲-۳-۴ اصول جابه‌جایی متغیر
۲۲۴	 ۳-۴ اندازه‌گیری سطح واسط دو مایع
۲۲۵	 ۴-۲-۴ دستگاه‌های اندازه‌گیری سطح جابه‌جایی متغیر
۲۲۸	 ۵-۳-۴ بردها
۲۳۰	 (Head pressure measurement sensors) سنسورهای اندازه‌گیری فشار ستون مایع
۲۳۰	 ۱-۴-۴ فشار هیدروستاتیک
۲۳۲	 ۲-۴-۴ اندازه‌گیری سطح مخزن روغن
۲۳۴	 ۳-۴-۴ جعبه دیافراگم (Diaphragm box)
۲۳۵	 ۴-۴-۴ سنسورهای تله هوایی (Air trap sensor)
۲۳۶	 ۵-۴-۴ حباب هوا یا نیوب میرج (Air Bubble or Surge tube)
۲۳۷	 ۶-۴-۴ اندازه‌گیری سطح مخزن سربسته
۲۴۲	 ۵-۴ سنسورهای سطح نوع الکتریکی
۲۴۳	 ۱-۵-۴ ظرفیت خازنی (Capacitance)
۲۴۸	 ۲-۵-۴ رسانایی (Conductivity)
۲۴۹	 ۳-۵-۴ مقاومت (Resistance)
۲۵۲	 ۶-۴ سنسورهای اولتراسونیک و صوتی
۲۵۳	 ۱-۶-۴ اصول عملکرد
۲۵۵	 ۲-۶-۴ اندازه‌گیری نقطه‌ای
۲۵۸	 ۳-۶-۴ اندازه‌گیری پیوسته
۲۵۹	 ۴-۶-۴ سنسورهای اولتراسونیک غیر تهاجمی
۲۶۰	 ۵-۶-۴ مزایا و معایب
۲۶۰	 ۷-۴ دیگر دستگاه‌های اندازه‌گیری سطح
۲۶۰	 ۱-۷-۴ پدال دوار (Rotating Paddle)

- ۲۶۲ ۲-۷-۴. پدال ارتعاشی (Vibrating Paddle)
- ۲۶۳ ۳-۷-۴. اندازه‌گیری سطح با استفاده از سنجش دما
- ۲۶۴ ۴-۷-۴. دستگاه‌های تشعشع هسته‌ای (Nuclear Radiation Devices)
- ۲۷۰ ۵-۷-۴. اندازه‌گیری سطح ثقلی (Gravimetric Level Measurement)

فصل دوم / مقدمه‌ای بر اندازه‌گیری فلو

- ۲۷۵ ۱-۱-۱. خواص سیالات (بخش اول)
- ۲۷۵ ۱-۱-۱. چگالی (Density)
- ۲۷۷ ۲-۱-۵. فشار بر روی چگالی
- ۲۸۱ ۱-۱-۵. چگالی نسبی (Specific Gravity)
- ۲۸۳ ۲-۱-۵. خواص سیالات (بخش دوم)
- ۲۸۵ ۱-۲-۵. فلو (Flow)
- ۲۸۶ ۲-۲-۵. ویسکوزیته (Viscosity)
- ۲۸۷ ۳-۲-۵. اثر دما بر روی ویسکوزیته (Effect of Temperature on Viscosity)
- ۲۸۸ ۴-۲-۵. عدد رینولدز (Reynolds Number)
- ۲۹۰ ۳-۵. اندازه‌گیری فلو
- ۲۹۰ ۱-۳-۵. نرخ فلو (Flow Rate)
- ۲۹۱ ۲-۳-۵. نرخ فلو حجمی (Volumetric Flow Rate)
- ۲۹۲ ۳-۳-۵. نرخ فلو جرمی (Mass Flow Rate)
- ۲۹۳ ۴-۵. فلومترهای اختلاف فشاری
- ۲۹۳ ۱-۵-۵. قانون برنولی (Bernoulli's Law)
- ۲۹۷ ۲-۵-۵. اُرفیس پلِیت (Orifice Plate)
- ۳۰۳ ۳-۵-۵. تیوب ونچوری (Venturi Tube)
- ۳۰۵ ۴-۵-۵. فلو نازل (Flow Nozzles)
- ۳۰۷ ۵-۵-۵. تپ زانویی (Elbow-Tap)
- ۳۰۸ ۶-۵-۵. تیوب پیتوت (Pitot Tubes)
- ۳۰۹ ۵-۵. فلومترهای مغناطیسی (Magnetic Flowmeters)
- ۳۱۰ ۱-۵-۵. اصول عملکرد (Principle of Operation)

۳۱۳	 ۲-۵-۵. فلومترهای مغناطیسی AC (AC Magnetic Flowmeters)
۳۱۴	 ۳-۵-۵. فلومترهای مغناطیسی DC (DC Magnetic Flowmeters)
۳۱۵	 ۶-۵. فلومترهای حرارتی (Thermal Flowmeters)
۳۱۵	 ۱-۶-۵. بادسنج‌های رشته‌ای حرارتی (Hot Wire Anemometers)
۳۱۷	 ۲-۶-۵. فلومترهای گرماسنجی (Calorimetric Flowmeters)
۳۱۹	 ۷-۵. فلومترهای اولتراسونیک (Ultrasonic Flowmeters)
۳۲۳	 ۸-۵. فلومترهای جرمی
۳۲۳	 ۱-۸-۵. فلومتر جرمی نوع گشتاور زاویه‌ای (Angular Momentum Mass Flowmeter)
۳۲۵	 ۲-۸-۵. فلومترهای کوریولیس (Coriolis Flowmeters)
۳۳۰	 ۳-۸-۵. پل وراثون و هیدرولیکی (Hydraulic Wheatstone Bridge)
۳۳۱	 ۹-۵. فلومترهای جابه‌جایی مثبت (Positive Displacement Flowmeter)
۳۳۳	 ۱-۹-۵. فلومتر نوع دیسک لغزنده (Nutating Disc Flowmeter)
	 ۲-۹-۵. فلومتر جابه‌جایی معین نوع چرخ‌دنده حلزونی (Helical Gear Positive Displacement Flowmeter)
۳۳۵	 ۳-۹-۵. فلومترهای جابه‌جایی معین نوع پیستون متغیر (Oscillating Piston Positive Displacement Flowmeters)
۳۳۶	 ۴-۹-۵. فلومترهای نوع پرده دوار (Rotary Vane Flowmeters)
۳۳۸	 ۵-۹-۵. فلومترهای نوع پروانه‌ای برنده و فلومترهای نوع دیافراگمی مضوی
۳۴۰	 ۱۰-۵. فلومترهای نوع توربین محوری (Vortex Turbine Flowmeters)
۳۴۴	 ۱۱-۵. روماترها (Rotameters)
۳۴۶	 ۱۲-۵. فلومترهای گردابی
۳۴۷	 ۱-۱۲-۵. فلومترهای گرداب افشانی (Vortex shedding flowmeters)
۳۴۹	 ۲-۱۲-۵. طراحی (Design)
۳۵۰	 ۳-۱۲-۵. فلومتر نوع گرداب پیش‌رونده (Vortex Precession Flowmeter)

پیش‌گفتار مؤلف

امروزه اهمیت سیستم‌های کنترل و ابزار دقیق در واحدهای صنعتی بر کسی پوشیده نیست. از لحاظ تاریخی ظهور بخش عمده‌ای از سیستم‌های کنترل و ابزار دقیق را می‌توان همراه با شکل‌گیری صنایع نفت و گاز در جهان مشاهده کرد. در صنایع فوق از جمله واحدهای پالایش نفت، گاز، و پتروشیمی، عمل کنترل پروسه‌ها تقریباً به صورت دائمی و پیوسته صورت می‌گیرد. ابزار دقیق امکان به کارگیری و پیاده‌سازی پروسه‌های پیچیده‌ای که راه‌اندازی و نگهداری آن‌ها بدون کنترل اتوماتیک مشکلی یا غیر ممکن است را فراهم می‌کند. مبحث ابزار دقیق به این‌که روش‌های مختلف اندازه‌گیری کمیت‌های فیزیکی می‌پردازد. در کاربردهای صنعتی غالباً چهار کمیت اصلی یعنی دما، فشار، سطح و فلو به‌طور وسیعی اندازه‌گیری می‌شوند.

در کتاب حاضر به اصول مکتوب و قواعد فیزیکی حاکم بر تجهیزات ابزار دقیق پرداخته شده است. در فصل اول، مفاهیم و تعاریف اولیه بیان شده و در هر یک از فصول بعدی به ترتیب دستگاه‌ها و روش‌های اصلی اندازه‌گیری پارامترهای فشار، دما، سطح، و فلو را بحث و بررسی قرار می‌گیرند. این مجموعه در اصل برای کسانی تألیف شده که قصد ورود به حوزه‌ی ابزار دقیق را دارند. خواندن این کتاب برای دانشجویان رشته‌های مهندسی برق و شیمی می‌تواند مفید باشد. با یادگیری تعاریف و اصول فیزیکی بیان شده در این کتاب، خواننده دید خوبی را نسبت به تجهیزات ابزار دقیق پیدا خواهد کرد.

در اینجا لازم می‌دانم از مساعدت تمامی همکاران و دوستان عزیزم به‌ویژه جناب آقای یاری نموده‌اند، به ویژه جناب مهندس محمد هاشم زحلی نژاد، مهندس نادر تاجیک، مهندس مهرداد قسام‌تایع بردبار و جناب آقای محمد کاظم شکرخوار صمیمانه قدردانی نمایم. به‌طور کلی این اثر خالی از اشکال نیست، لذا کمبودها را در صورت امکان به دیده‌ی اغماض بنگرید و در صورت تمایل می‌توانید انتقادات و پیشنهادات خود را از طریق آدرس پست الکترونیکی kmandegari@gmail.com با اینجانب در میان بگذارید. پیشاپیش از توجه و حسن نیت شما خواننده عزیز کمال سپاس و قدردانی را دارم.

عبدالکریم ماندگاری