

MEMS 压力传感器基础知识一

引言

MEMS 微机电系统简而言之，就是用半导体技术在硅片上制造电子机械系统，再形象一点说就是做一个微米纳米级的机械系统，这个机械系统可以把外界的物理、化学信号转换成电信号。MEMS 压力传感器就是这样一种微型机电系统，具有电源，接口电路，执行器，微传感器和信号处理等系统。而 MEMS 压力传感器量程单位一般采用物理学上的压强单位，对不熟悉此类定义的工程师来说，可能略有陌生，故本文对与 MEMS 压力传感器相关的物理单位做个简单介绍。

压力与压强

压力

定义:垂直压在物体表面上的力叫压力。

物理学上的压力，是指发生在两个物体的接触表面的作用力，或者是气体对于固体和液体表面的垂直作用力，或者是液体对于固体表面的垂直作用力。例如足球对地面的力，物体对斜面的力，手对墙壁的力等。

压力的方向是垂直于接触面，并指向被压物体（注意：“垂直”与“竖直”意义不同），产生条件是物体之间接触且发生相互挤压。压力并不都是由重力引起的，通常把物体放在桌面上时，如果物体不受其他力，则压力 F =物体的重力。

压强

定义: 物体单位面积上受到的压力叫压强。

物理意义: 压强是表示压力作用效果的物理量。

公式: $p=F/S$, 其中各量的单位分别是: p : 帕斯卡 (Pa) F : 牛顿 (N) S : 平方米 (m^2),

液体压强公式为 $p=\rho gh$, 其中 ρ 表示液体的密度 (kg/m^3), $g\approx 9.8N/kg$, h 表示液体的深度 (m)。

压力和压强的区别

压强是描述压力产生的效果的物理量，和压力以及受力面积这两个物理量都有关系。

压强是物体和物体间的相互作用产生的，它存在于受力的两物体的接触面上。压强不但有大小，也有方向，其方向和压力的方向相同。

压力是指垂直作用在物体表面上的力，它的方向总是指向支持物并和支持物的表面垂直。在具体的问题中，压力的方向和支持物的位置有关，这里必须要明确的是，我们不能有压力的方向总是竖直向下的错误认识。

压力和重力是两个完全不同的概念，产生压力的因素很多，而重力仅仅是由于地球对物体的吸引而产生的。压力的大小并不一定等于物体的重力，放在水平面上的物体，在竖直方向处于平衡状态时，它对水平面产生的压力在数值上才等于物体的重力。

固体压强、液体压强、气体压强

固体压强

(1) 定义:

固体压强是指物体所受压力的大小与受力面积之比或物体单位面积上受到的压力，其用来比较压力产生的效果。压强越大，压力的作用效果越明显。压强的计算公式是: $p=F/S$, 压强的单位是帕斯卡 (简称帕), 符号是Pa。

(2) 压强的利用:

增大压强: 当受力面积不变时, 增大压力; 当压力不变时, 减小受力面积; 压力增大的同时减小受力面积都可以增大压强。如墙钉、斧头、安全锤都是增大压强的例子。

减小压强: 受力面积不变时, 减小压力; 压力不变时, 增大受力面积; 压力减小的同时增大受力面积都可以减小压强。如: 铁轨、履带式推土机、大象的脚掌都是减小压强的例子。

液体压强

(1) 定义:

液体压强, 简称液压, 是指在液体容器底、内壁、内部中, 由液体本身的重力而形成的压强。

液体压强产生的原因: 液体受重力作用且具有流动性。

液体压强计算公式： $p = \rho gh$ 来计算，其中 ρ 表示液体的密度 (kg/m^3)， $g \approx 9.8\text{N/kg}$ ， h 表示液体的深度 (m)。从公式中看出：液体的压强只与液体的密度和液体的深度有关，而与液体的质量、体积、重力、容器的底面积、容器形状均无关。

(2) 液体压强的规律：

液体对容器底和侧壁都有压强，液体内部向各个方向都有压强；在同一深度，液体向各个方向的压强都相等；液体的压强随深度的增加而增大；相同高度，不同液体的压强与液体的密度有关。

大气压强

大气对浸在它里面的物体的压强叫做大气压强，简称大气压，气压是大气压强的简称，是作用在单位面积上的大气压力，即等于单位面积上向上延伸到大气上界的垂直空气柱的重量。因为空气受重力作用并且具有流动性，所以向各个方向都有压强。

气压大小与高度、温度等条件有关，一般随高度增大而减小。在水平方向上，大气压的差异引起空气的流动。表示气压的单位，习惯上常用水银柱高度。因为大气压不是固定不变的，大气压的变化跟高度有关。离地面越高的地方，大气层就越薄，那里的大气压就应该越小，也就是说大气压强随高度的增加而减小。大气压的变化还跟天气有关，在不同时间，同一地方的大气压并不完全相同。当空气中含有较多水蒸气时，空气密度要变小，大气压也随着降低。为了比较大气压的大小，科学家对大气压规定了一个“标准”：在纬度 45° 的海平面上，当温度为 0°C 时，760 毫米高水银柱产生的压强叫做标准大气压。一个标准大气压等于 760 毫米高的水银柱产生的压力，它相当于一平方米面积上承受 1.0336 公斤重的大气压力，也可以说 101.325kPa。根据液体压强的公式 $p = \rho gh$ ，水银的密度是 $13.6 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ，因此 760mm 高水银柱产生的标准大气压强计算公式如下：

$$1\text{atm} = 13.6 \times 10^3 \text{kg/m}^3 \times 9.8\text{N/kg} \times 0.76\text{m} \approx 1.013 \times 10^5 \text{N/m}^2$$

压强单位区分

帕斯卡 (Pa) /百帕 (hPa) /千帕(kPa)/兆帕 (MPa)

压强的单位是帕斯卡，简称帕 (符号 Pascal 或 Pa)，它等于 N/m^2 ，由于帕斯卡这个单位非常的小，不便于计算，有时候人们还会使用从帕斯卡衍生出的其它一些单位，比如百帕 (hPa)、千帕 (kPa)、兆帕 (MPa)。

巴 (bar) 和毫巴 (mbar)

巴 (bar) 是一个工程上常用的单位，它被定义为 $1\text{bar} = 10^5 \text{Pa} = 100\text{kPa}$ ，如表 1 所示。同时常用的还有毫巴 (符号 mbar)，早先气象学中常用毫巴，后改用等值的国际单位百帕。

毫米汞柱、毫米水银柱 (mmhg)，托 (Torr)

毫米汞柱即毫米水银柱 (mmhg)，是指直接用水银柱高度的毫米数表示压强值的单位，毫米与毫巴间可以进行换算。1 个标准大气压强值相当于 760mm 水银柱所产生的压强。毫米汞柱这个压力单位书写不方便，因而，为了纪念发现真空的托里拆利，德国把毫米汞柱命名为“托” (Torr)。后来，国际标准化组织使用“Torr”作为压强单位。托值规定为标准大气压 (1954 年定义) 的 $1/760$ ，即： $1\text{Torr} = 1\text{mmhg}$ 。与毫巴类似，常用的还有毫托 (符号 mTorr)， $1\text{mTorr} = 10^{-3}\text{Torr}$ ，由于 1 毫托表示的是 1 微米水银柱的压力，有时英美国家的文献资料也会把 1 毫托叫做 1micron。

公斤力 (kgf/cm^2)

公斤力也称“公斤压力”或者“公斤力/平方厘米”，有时也会直接简称“公斤”，其符号为 (符号 kgf/cm^2)，即每平方厘米有 1 公斤的力。

磅每平方英寸 (PSI)

与公斤压力类似，在英制单位中还会经常使用 PSI 表示压力，PSI 即 Pounds per Square Inch，表示单位平方英寸上 1 磅的力。

结论

MEMS 压力传感器是一种微型机电系统，具有电源，接口电路，执行器，微传感器和信号处理系统。传统的机械压力传感器是基于金属弹性体受力变形，由机械量弹性变形到电量转换输出，因此它不可能如 MEMS 压力传感器那样，像集成电路那么微小，而且成本也远远高于 MEMS 压力传感器。相对于传统的机械量传感器，MEMS 压力传感器的尺寸更小，测量精度更精细，性价比同时也大幅度提高。压力传感器量程单位一般为千帕 (kPa)，不过也有会碰到其他单位的情

况，故本文对工程上常用的压强单位进行梳理，表 1 能方便工程师在实际操作中快速查找换算，使工程师在实际应用中快速作业。

单位	kgf/cm ² (公斤力/平方厘米)	MPa (兆帕)	bar (巴)	标准大气压 (atm)	mm water (毫米水柱)	mmHg/Torr (毫米水银柱/托)	PSI (磅每平方英寸)
kgf/cm ² (公斤力/平方厘米)	1	0.098	0.981	0.968	10 ⁴	735.559	14.223
MPa (兆帕)	10.197	1	10	9.869	1.020 × 10 ⁵	7500.617	145.038
bar (巴)	1.020	0.1	1	0.987	1.020 × 10 ⁴	750.062	14.504
标准大气压 (atm)	1.033	0.101	1.013	1	1.033 × 10 ⁴	760	14.696
mm water (毫米水柱)	10 ⁻⁴	9.807 × 10 ⁻⁶	9.81 × 10 ⁻⁵	0.968 × 10 ⁻⁴	1	7.356 × 10 ⁻²	1.422 × 10 ⁻³
mmHg/Torr (毫米水银柱/托)	1.36 × 10 ⁻³	1.333 × 10 ⁻⁴	1.333 × 10 ⁻³	1.316 × 10 ⁻³	13.595	1	1.934 × 10 ⁻²
PSI (磅每平方英寸)	7.031 × 10 ⁻²	6.895 × 10 ⁻³	6.895 × 10 ⁻²	6.805 × 10 ⁻²	7.031 × 10 ²	51.715	1

表 1.压强单位换算表