AN695

压力传感器与 Microchip 模拟外设的接口

作者： *Bonnie Baker*
Microchip Technology Inc.

引言

压力测量器件可分为两类：一类将压力作为唯一激励源，另一类则需要使用电激励。仅由压力激励的机械器件，例如波纹管压力传感器、隔膜型压力传感器、管型压力传感器或压力计，通常都是纯机械系统的理想选择。在这些器件中压力的变化将导致系统产生机械应变，例如改变机械臂的位置或者管中的液位。

电激励的压力传感器工作在单片机环境下可发挥最大作用。如压阻式压力传感器、线性可调差动变压器（Linear Variable Differential Transformer，LVDT）或者电容式压力传感器都是这种类型的传感器。测量压力时最常用的就是压阻式压力传感器。

本应用笔记将重点讨论压阻式传感元件从传感器到单片机的信号调理路径。还将展示如何对此传感器的电输出信号进行放大、滤波和转换成数字信号，以供单片机的校准程序使用。在理论讨论完之后还给出了一个特别设计用来测量气压的具体的压力测量方案。

压阻式压力传感器

压阻式压力传感器是使用硅处理工艺生产的固态单片传感器。“压”表示压力，“阻”表示对直流电流流动的阻碍。由于压阻式压力传感器在晶圆上制成，这样每片晶圆可以生产出 300 到 500 个传感器。由于这些晶圆可以生产出大量的传感器，所以在市场上能够以比机械传感器低的价格购买到压阻式压力传感器。

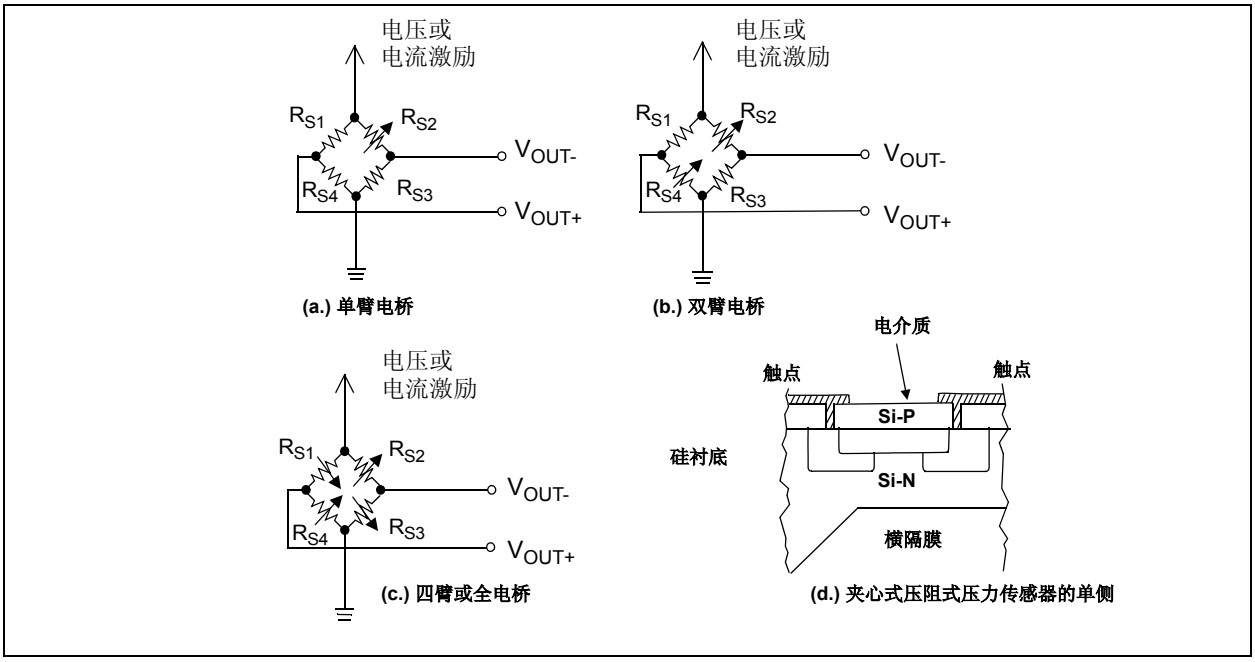


图 1：　惠斯通电阻电桥配置有可变单臂 (a.)、应激励而变的双臂 (b.) 或四臂 (c.) 电桥。压阻式压力传感元件通常为四臂电桥，并且在硅片内构造 (d.)。

此传感器的电阻按照惠斯通全桥配置进行布线，相比单臂或双臂传感器（见图 1.d) 而言，提高了传感器的灵敏度。当向四臂电桥施加正向差压时，作为响应，该电桥有两臂变成压缩状态，而其余两臂则变为拉伸状态。当向传感器施加反向差压时，传感器的横膈膜在反方向上被拉紧并且处于压缩状态的传感器变为拉伸状态，与此同时处于拉伸状态的传感器则变成压缩状态。压阻式压力传感器可以有（也可以没有）内部参考压力。如果有内部参考压力，则参考压力腔通常是通过将两片晶圆密封到一起构造而成。这种方法构造的传感器，其顶部为电阻材料，底部为横隔膜。

图 1 所示的压阻式电桥的上端采用了电压或电流激励。尽管激励（不管是电压激励还是电流激励）的幅值会影响传感器的动态输出范围，V_{OUT+} 和 V_{OUT-} 之间的最大压差的范围通常从几十毫伏到几百毫伏。传感器将该差分信号输出到可将其转换成单端信号的电子设备，该设备还可对该信号进行放大和滤波，为转换成数字信号做好准备。

电信号的处理途径

有多种方法可以捕捉传感器的小差分输出信号并将其转换为可用的数字码。图 2.a 中的框图显示了其中一种途径。通过该途径，使用仪表放大器（instrumentation amplifier， IA）可将电桥的小差分输出信号放大并将其从差分信号转换为单端信号。信号经由（也可以不经过）多路开关。随后信号流过低通滤波器。在执行 A/D 转换之前，低通滤波器将消除系统中频带外的噪声和不想要的频率。紧跟着，分立式 A/D 转换器将模拟信号转换为可用的数字码。单片机接收转换器的输出码，如果需要显示，则进一步对其进行校准和转换。在此信号路径中只需一个模拟滤波器，可将其放在多路开关的输出端。

图 2.b 显示的第二种途径在信号路径中也有一个仪表放大器（IA）。在仪表放大器对信号进行放大后，在模拟域中对信号进行滤波，然后用片内单片机的 A/D 转换器将其转换为数字信号。使用此类信号路径时，所有进入多路开关的信号都需要单独配置一个模拟滤波器。此外，单片机中转换器的速度和精度没有分立式 A/D 转换器高。这在具体应用中可能会产生问题。

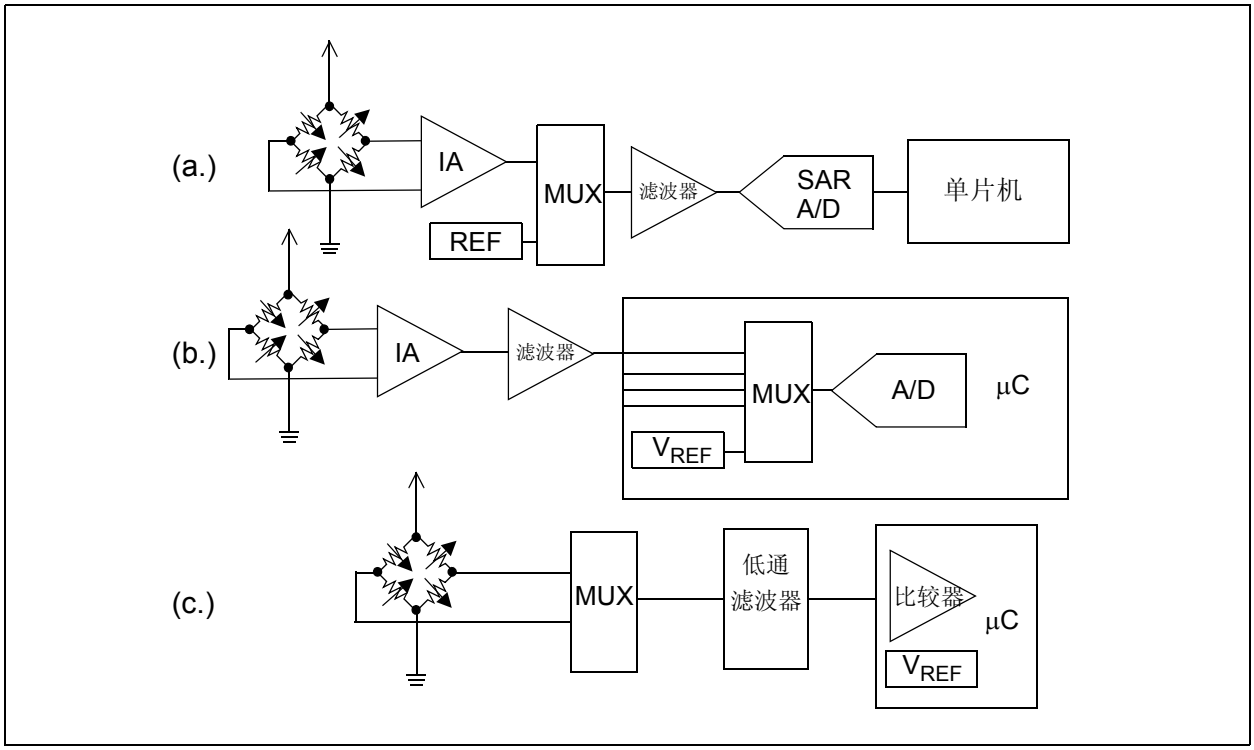


图 2：　本图所示为压阻式压力传感器信号调理路径的三个框图。本应用笔记会详细讨论前两个框图 a. 和 b.。在 AN717 （Microchip Technology Inc.）中会详细讨论最下面一个框图 （c.）。

© 2008 Microchip Technology Inc.

仪表放大器的选项和设计

在此应用中，为了生成单端输出信号，需要将两个来自电桥的低电压信号相减。得到的信号需要被放大，这样它才能匹配 A/D 转换器的输入范围。实现了相减和放大功能，这样传感器信号就不会受到其他错误信号的干扰。图 3 和图 4 显示的仪表放大器电路可实现所有这些功能。这两种配置都接收了两路互为反向的输入信号，将它们相减、并且将得到的结果信号进行放大。相减处理本能地抑制共模电压。结合使用这些功能可对信号电平进行转换，从而与信号源环境相容。

两个运放仪表放大器

图 3 所示为上述讨论的电路问题的解决方案。图 3 中的电路使用两个运算放大器和五个电阻来解决放大和相减问题。

由于双放大器能够很好地匹配带宽和温度性能，所以常用于此类分离设计。仪表放大器设计使用了运算放大器的高阻抗输入信号，所以极大地减少了直流信号中的源阻抗不匹配问题。此电路的传递函数为：

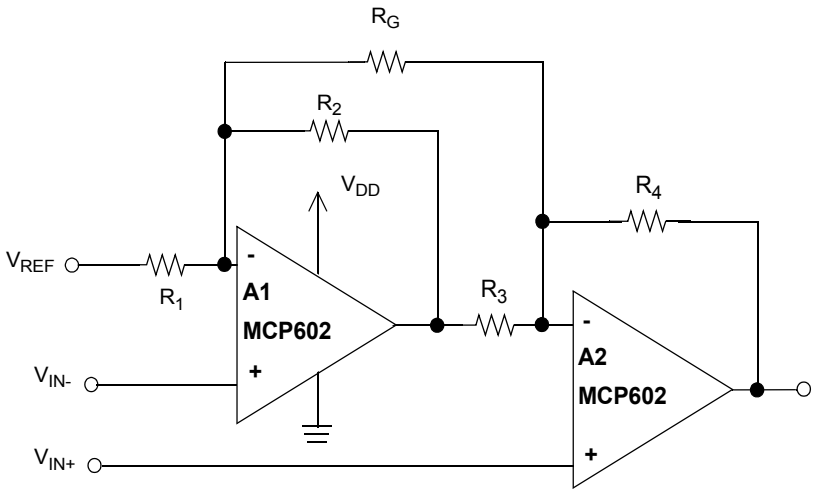
$$V_{OUT} = (V_{IN+} - V_{IN-})\frac{R_4}{R_3}\left(1 + \frac{1}{2}\left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_3}{R_4}\right) + \left(\frac{R_2 + R_3}{R_G}\right)\right) + V_{CM}\left(\frac{R_4}{R_3}\left(\frac{R_3}{R_4} - \frac{R_2}{R_1}\right)\right) + V_{REF}$$

应注意到此传递函数中放大了输入信号以及两个信号的共模电压。当 $R_1 = R_4$ 和 $R_2 = R_3$ 时会抑制共模电压。假设这样，传递函数则变成：

$$V_{OUT} = (V_{IN+} - V_{IN-})\left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{2R_1}{R_G}\right) + V_{REF}$$

由于电阻不匹配造成的共模抑制误差为：

$$CMR = 100*\left(\frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{\text{（不匹配误差%）}}\right)$$



$$V_{OUT} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{2R_1}{R_G}\right)(V_{IN+} - V_{IN-}) + V_{REF} = \left(\frac{4 + 60k\Omega}{R_G}\right)(V_{IN+} - V_{IN-}) + V_{REF}$$

其中 $R_1 = 30k\Omega$ 和 $R_2 = 10k\Omega$

图 3： *两个运放仪表放大器接收两路输入信号的差分信号并对其进行放大，同时抑制两路输入信号的任何共模电压。*

此配置的交流共模抑制很弱。这是因为 V_{IN-} 上的共模信号通过 A1 反相一次，然后经由 A2 产生第二个传播延时。V_{IN+} 的共模信号仅经由一个运算放大器（A2）。此外，两个运算放大器有不同的闭环增益，从而也具有不同的闭环带宽。

有两个因素限制了仪表放大器的共模输入范围。第一个因素与 A1 放大器在响应 V_{IN-} 和 V_{IN+} 输入信号以及参考电压 V_{REF} 时的操作有关。通过下列公式可将 A1 和 A2 上同相输入信号放大为 A1 输出端信号：

$$V_{OUT-A1} = V_{IN-}\left(\frac{(R_G R_2 + R_1 R_2 + R_1 R_G)}{(R_1 R_2)}\right) - V_{IN+}\left(\frac{R_2}{R_G}\right) - V_{REF}\left(\frac{R_2}{R_1}\right)$$

第二个限制此电路共模输入范围的因素则与放大器本身的输入摆幅限制有关。

如果电路工作在单电源环境下，那么通常需要一个参考电压，其大小通常是输入信号共模电压的一半。在图 4 中，V_{REF} 充当了此功能。可以使用如图 4.a 所示的精密参考电压芯片，或者如图 4.b 所示在参考电压输出点之间串联两个相等的电阻，来单独地实现此参考电压。

匹配 $R_2/R_1 = R_3/R_4$ 的另外一个好处是使用一个电阻 R_G 就能更改电路增益。

本仪表放大器电路具有高阻抗输入和可编程增益功能。此电路解决方案中需要改善的地方是让共模抑制不受增益影响且具有更好的频率特性。只有具有三个运算放大器的仪表放大器配置可实现以上性能特征。

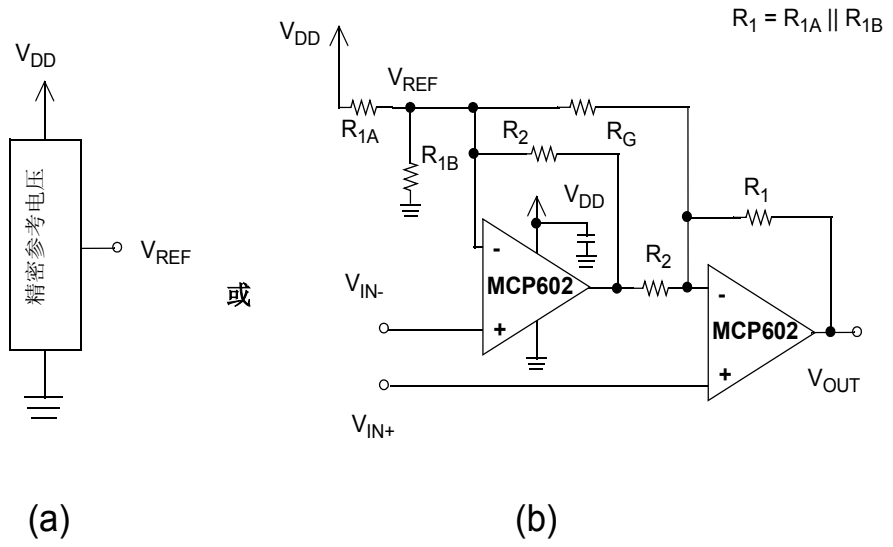


图 4：　单电源环境下可以使用独立的参考电压（a）或者在参考电压即电源电压两端跨接一个电阻分压器（b）为两个运放仪表放大器提供参考电压。

© 2008 Microchip Technology Inc.

三运放仪表放大器

图 5 给出了一个较常用的仪表放大器配置示例。

在此电路配置中，三个放大器中的两个（A1 和 A2）放大两路输入信号。第三个放大器 A3 用来将前两路放大的输入信号相减，从而提供单端输出信号。此电路的传递函数为：

$$V_{OUT} = V_{IN+}\left(1+\frac{2R_{F2}}{R_G}\right)R_4\left(\frac{R_1+R_2}{(R_3+R_4)R_1}\right)Ð$$

$$V_{IN-}\left(1+\frac{2R_{F1}}{R_G}\right)\left(\frac{R_2}{R_1}\right)+V_{REF}\,R_3\left(\frac{R_1+R_2}{(R_3+R_4)R_1}\right)$$

如果 $R_{F2} = R_{F1}$、$R_1 = R_3$ 且 $R_2 = R_4$，则公式简化为：

$$V_{OUT} = (V_{IN+} - V_{IN-})\left(1+\frac{2R_F}{R_G}\right)+V_{REF}$$

由于同一硅片上的放大器质量相同，因而通常在三运放仪表放大器的分立式设计中使用四重放大器。和双运放仪表放大器相比，输入信号路径（V_{IN+} 和 V_{IN-} 上）是完全对称的。这是通过将 V_{IN+} 和 V_{IN-} 信号经由相同数量的放大器送到输出端并使用共模增益电阻 R_G 实现的。

由于输入级是对称的，所以共模电流不会经过 R_G。此电路的共模抑制主要取决于 A3 放大器周围电阻的匹配程度。当 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ 时，不管电路的前端增益如何，共模信号都将与增益因子 1 相乘。因此，只要信号在 A1 和 A2 的输入输出裕度限制范围内，就能在各种增益条件下处理大共模信号。如果电路中存在来自输入放大器的共模误差，那么将在输出级将其消除。

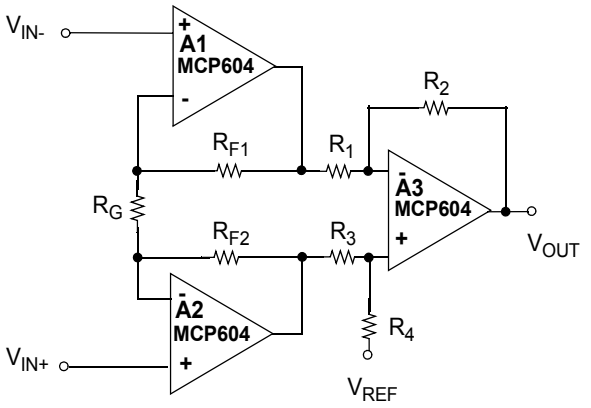
如果 R_1/R_2 等于 R_3/R_4 的假设不成立，则将产生明显的共模电压误差。由于此电路中电阻不匹配引起的共模抑制（CMR）误差的计算结果为：

$$CMR = 100^*\left(\frac{1+\frac{R_2}{R_1}}{(\text{不匹配误差 \%})}\right)$$

在 $R_1 = R_3$ 并且 $R_2 = R_4$ 的情况下

此误差的影响可使用一个 12 位、5V 的系统进行说明：假设其电路增益为 100V/V，共模电压范围为 0 到 5V，不匹配误差为 ±1%。使用上述公式，计算得出这种类型的共模偏移量引起的误差为1mV。电压值稍低于1LSB。

在单电源环境下，参考电压应等于输入信号的中间值。图 5 中电路的参考电压值用 V_{REF} 表示。这个参考电压的目的和功效只是使输出信号移入放大器的线性区域内。



其中 $R_{F1} = R_{F2}$ 且 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$

$$V_{OUT} = \left(1+\frac{2R_F}{R_G}\right)(V_{IN+} - V_{IN-}) + V_{REF}$$

图 5： *这是仪表放大器的三运放实现形式。*

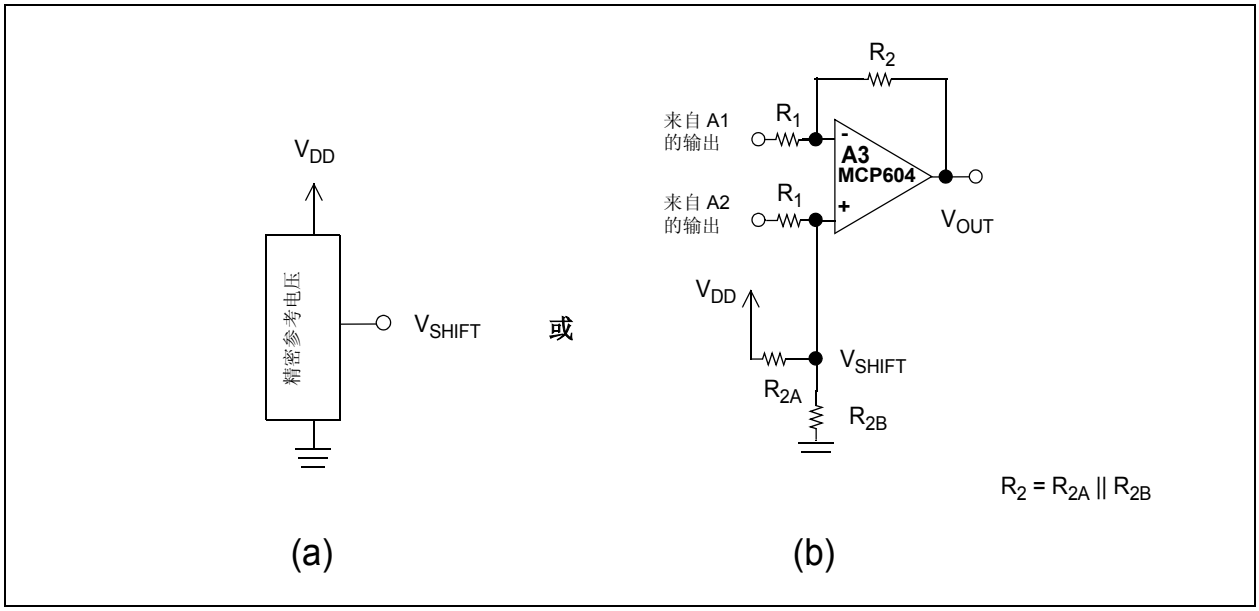


图 6： *使用精密参考电路（a.）或电阻分压电路（b.）来实现图 5 中的参考电压。*

可以使用精密参考电压或者图 6 中显示的电阻网络来实现 V_{REF} 电路功能。

模拟滤波

在数字设计方面一个争议很大的论点是：是否需要模拟滤波器以及数字滤波器能否取代模拟滤波器，后者是讨论的重中之重。

尝试解决此类模拟信号问题的设计人员的一个常见假设是宣称他们只测量直流信号，所以无需考虑滤波。不幸的是，电子设备和环境中的噪声来源没有这个“智能”去满足设计人员的需求。因此，如果没有滤波器，那么电路中的噪声将显著高于预期值。

一旦承认需要滤波器，接下来下一个争论就是滤波方式：应为模拟滤波还是数字滤波，或者两者兼具。

编程人员通常假定他们可以使用数字滤波消除所有的噪声。在某种程度上这是对的，但是，时间和存储器的耗用太大，而且实际上这也不太可能实现。

模拟滤波器从一开始就为编程人员解决了大量头疼的事情。模拟滤波器在电路设计中的功能和数字滤波器一样。例如，模拟滤波器将消除 A/D 转换过程中所产生的混叠误差（如果这些信号允许通过 A/D 转换器）。一旦转换过程中允许这些误差，则不可能在数字域将好的信号从混叠信号中区分出来。模拟滤波器还可以消除信号中尖峰和毛刺信号产生的大信号噪声。

这些信号通常是无意中产生的，如不控制则始终具有破坏性。使用模拟滤波器的缺点是会增加噪声门限值，尤其是使用了大增益的噪声放大器。

只要模拟滤波器实现了抑制频带外噪声的功能，就可使用数字滤波器来减少频带内的噪声门限值。这可以通过使用过采样算法实现。实时修改数字滤波器比修改模拟滤波器方便很多，因为数字滤波器只与编程有关而不像模拟滤波器需要修改电阻和电容。虽然数字滤波器具有所有这些优点，但其响应时间却不尽如人意。数字滤波器必须在执行计算前先收集一定数量的转换数据。数字滤波器的算法极有可能放慢响应时间并且产生输出延时。如果不要求实时响应功能，那么数字滤波器的这个缺点不会影响电路的正常工作。

 © 2008 Microchip Technology Inc.

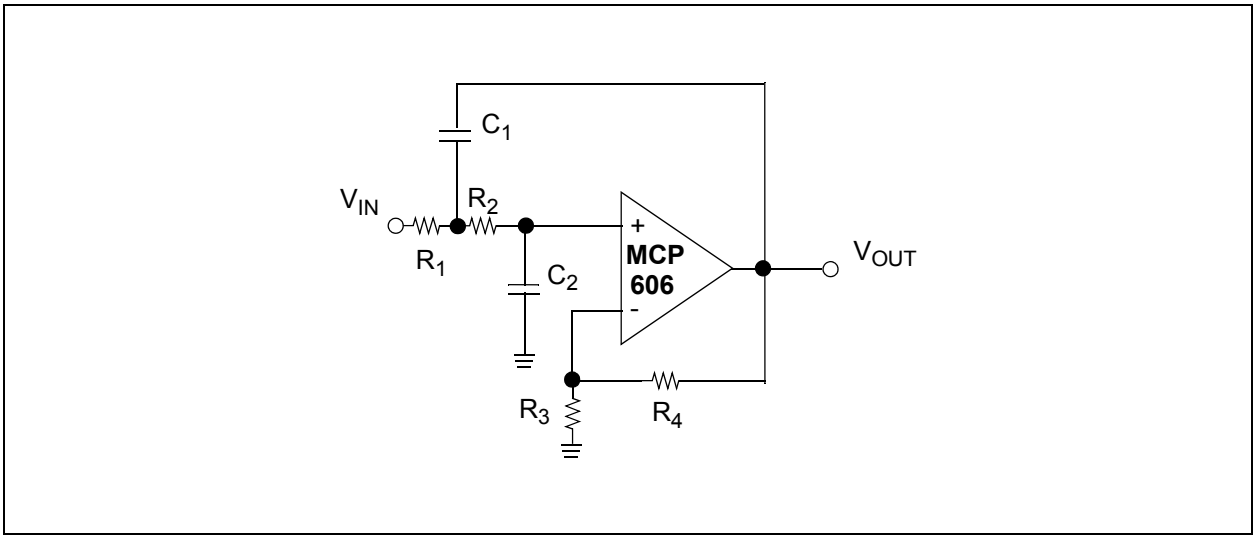


图 7：　通过使用 FilterLab™ 软件，具有通带内同相增益的二阶低通滤波器可配置为 Butterworth、Bessel 或 Chebyshev 滤波器。

如上所述，低通滤波器最基本的硬件实现要求为每个极点配置一个电容和一个电阻。有源滤波器每两个极点配置一个放大器，这样有一个额外的好处，就是可以防止阻抗冲突和信号路径的性能降低。

图 7 所示的二阶低通滤波器是一种由 R.P Sallen 和 E.L.Key. 在 1995 年给出的经典电路。这种滤波器实现了正的直流增益。在单电源环境下由于过程中无需提供参考电压，这样极大地简化了实现过程。本电路不仅可滤除高频噪声，还可用来放大输入信号。

对本滤波器的进一步研究表明可通过将 R_4 短路和 R_3 开路将电路的增益配置为 +1V/V。在此配置下，极有可能在整个满幅输入范围内处理放大器的输入信号。

如图 8 所示，通过使用一个放大器、三个电阻和两个电容，可实现低通滤波器的二阶多反馈电路。此滤波器的直流增益为负增益，并且可方便地通过改变 R_3 和 R_1 的比值进行调整。在单电源环境下使用时，此电路通常需要在放大器的同相输入端上连接一个参考电压。

这是用在测量气压的应用中的滤波器电路。本滤波器设计将包括一个可调参考电压。

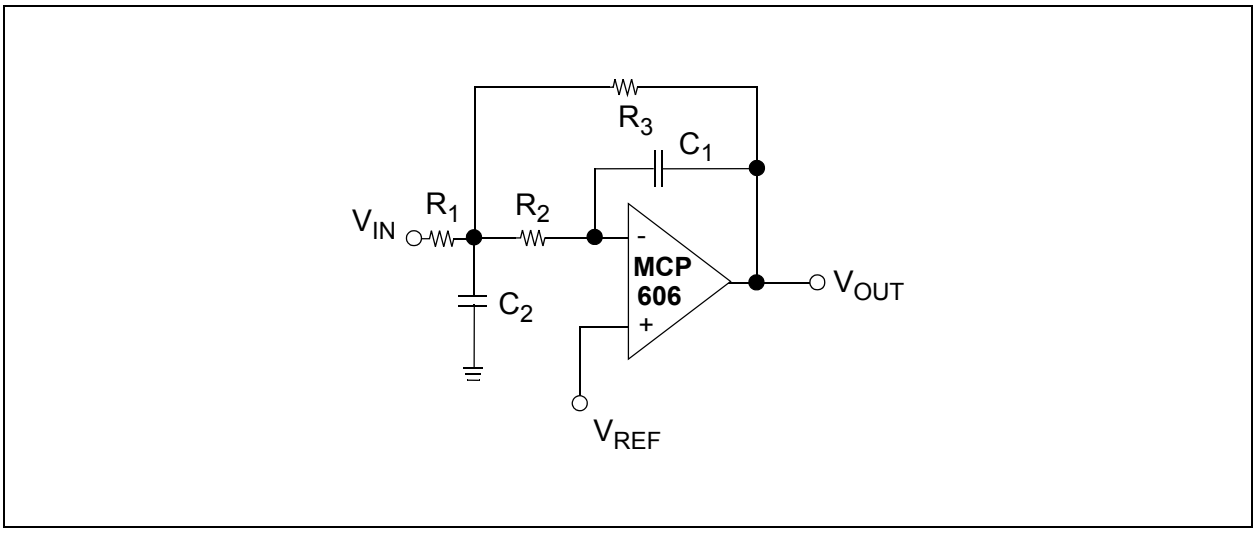


图 8：　通过使用 FilterLab™ 软件，具有通带内反相增益的二阶低通滤波器可配置为 Butterworth、Bessel 或 Chebyshev 滤波器。

气压检测

设计气压检测系统需要考虑海拔高度和分辨率。预计我们的传感器将放置在大约离海平面20,000英尺的高度。海平面的标称压强为 14.7 帕斯卡，而 20,000 英尺海拔的标称压强为6.75帕斯卡。这两个高度之间的压强差为7.95 帕斯卡。在这个范围内，适当的压力传感器应具有相对于片内真空压强的绝对值，其最大范围为 15 帕斯卡。由于主要天气变化引起的压强变化值约为0.18帕斯卡，所以 0.015 帕斯卡的分辨率比测量值高 10 倍以上。图 9 所示为用于本次设计讨论的电路。

此应用的重要压力传感器参数包括工作压强范围、灵敏度、室温范围 （25°C） 、失调误差和温度影响 （见表1）。虽然本传感器的范围从 0 到 15 帕斯卡，但此应用不会使用较低范围内的数值。传感器的最小差分输出电压值将为 40.5 mV （6.75 帕斯卡或 20,000 英尺），传感器最大输出电压值将为 88.2 mV（14.7 帕斯卡或海平面标称压强值）。在使用仪表放大器将模拟信号转换成数字信号前要将传感器的输出电压放大。

参数 （带有 5V 激励）	规范
工作压强范围	0 到 15 帕斯卡
灵敏度	6.0mV/ 帕斯卡 （典型值）
满刻度量程	90mV （标准值）
零压力失调电压	± 300μV
温度对量程的影响（0 到 70°C）	± 0.5% FSO
温度对失调的影响（0 到 70°C）	± 500μV

表 1： *SenSym 的 SCX015 型传感器的规格参数表明这是一个用来测量气压的很好的传感器。*

SenSym 的 SCX015 型传感器的规格参数表明这是一个用来测量气压的很好的传感器。

注意温度问题不在本应用笔记的讨论范围内。可在 Microchip 的 AN679、AN684、AN685 和 AN687 中找到关于温度检测电路的详细信息。

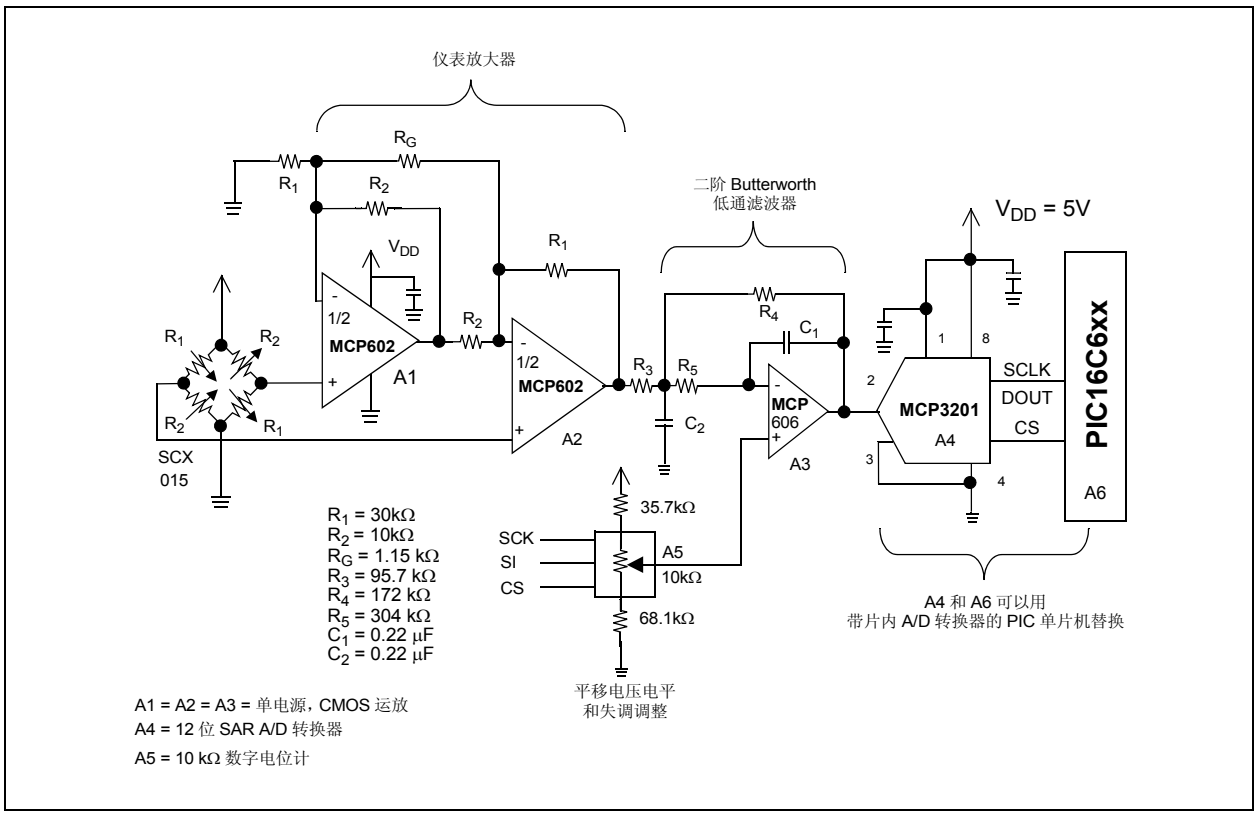


图 9： *通过仪表放大器（A1 和 A2）对 SCX015 型压力传感器的输出电压进行放大，然后用二阶低通滤波器（A3）进行滤波、放大和电平位移，最后用 12 位 A/D 转换器 （A5）将模拟信号转换为数字信号。*

 © 2008 Microchip Technology Inc.

仪表放大器设计

此传感器需要电压激励。要确定图 9 中电路所需的增益，应使用最大传感器输出和允许的仪表放大器输出之间的关系式进行计算。如上所述，传感器的最大差分输出为 88.2 mV。仪表放大器允许的输出范围为 V_{DD} 至 100 mV。在一个 5V 的系统中， V_{DD} = 5V，放大器输出电压最大值等于 4.9V。传感器的最小输出电压为 40.5 mV。由于输出电压为正电压并且仪表放大器工作在单电源环境下，传感器的最小输出电压不能驱动仪表放大器的输出电压为负。（因此，图 3 和图 4 中生成的参考电压与地电位相等。）

通过最大输出电压除以最大输入电压来计算增益。使用这样的计算方法可计算得到系统的正确增益为 55.6V/V。可使用图 5 中的增益公式进行计算：

$$R_G = \frac{2R_1}{\left(GA-1-\frac{R_1}{R_2}\right)}$$

如果 $R_1 = 30k\Omega$并且$R_2 = 10k\Omega$,

$$R_G = \frac{60k\Omega}{(55.6-4)}$$

$$= 1.15k\Omega$$（最接近于 1% 的值）

在此增益下， IA 的最大输出电压值为 88.2mV*55.6V/V 或 4.9V，最小输出电压值为 40.5mV*55.6V/V 或 2.3V。

由于仪表放大器级的增益相对较大，因而使用低失调电压的放大器是较理想的。双路 CMOS 放大器 MCP607 可保证自身的输出失调电压不会超过 250 μV。此放大器的最大 25μA 的低静态电流使得此器件备受电池供电应用的青睐。

滤波器设计

现已求得了压力传感器输出信号的正确差分信号并且经过了放大，消除噪声就可使 12 位 A/D 转换的结果具有可重复性并且可靠。记住仪表放大器电路的输出电压不会实现 0V 到 5V 的满摆幅。因此，滤波级也将用于实现二阶增益单元以及对失调电压进行调整。

此滤波器的截止频率为 60Hz。这将消除在转换过程中被混叠返回到信号路径中的任何电源频率。在这种情况下，选择截止频率为 10Hz。低于 10Hz 的任何截止频率都需要配置很大的电容，这使得电路过大并且电路板实施困难。在 10 Hz 和 60 Hz 之间的总衰减约为 -30dB。换句话说，仪表放大器输出信号中频率为 60 Hz 的成分将被衰减 0.031 倍。牢记仪表放大器已经抑制了所有 60 Hz共模信号的大部分，这种衰减级别已足够消除信号路径中所有剩余的 60 Hz 噪声。

此滤波器的放大和失调调整特性也用在这部分应用电路中。假定仪表放大器的输出信号为 2.3V 到 4.9V，那么此信号的峰到峰电压值为 2.6V。 1.8V/V 的增益将产生约 4.7V 峰到峰电压的输出摆幅。对增益为 2.8V/V 的电路的可调失调电压进行配置，以确保信号落在放大器的输出电压范围（其值介于电源值之间）内。此调节电路也可用于消除在传感器或仪表放大器中产生的系统失调误差。

可以使用 Microchip Technology 的 FilterLab™ 软件对图 9 中滤波器电路进行设计。使用 FilterLab™ 程序可将两个电容的值调整为 0.22 uF。这样调整是为了使电容尺寸足够小以便可以使用表面贴装型电容。

将一个 10 kΩ 的数字电位计与一个 68.1 kΩ 和一个 35.7 kΩ 的电阻串联，可实现对滤波器电路的失调调整。数字电位计的滑片可将电路的失调电压调整 3.0 V 到 3.4 V。此失调调整电路的输出是使用滤波器/放大器进行放大的，所以失调调整电路信号与传感器信号组合后的标称值为：

$V_{OUT\text{-}FILTER}$ = -1.8V/V （标称输入信号）
+ 2.8V/V （标称参考电压）

$V_{OUT\text{-}FILTER}$ = -1.8V/V （3.6V）+ 2.8V/V （3.2V）

$V_{OUT\text{-}FILTER}$ = 2.48V

此滤波电路的放大器的重要规格参数是输入电压噪声。单CMOS放大器MCP601的典型噪声密度为29nV/√Hz@1kHz。

A/D 转换器设计

此模拟信号路径设计的最后一步是插入模数转换器。转换器将连续的模拟信号量化为离散的数字信号。一旦确定了应用需要转换的位数，就可以选择合适的转换器。

模拟信号的范围已经与 A/D 转换器的输入范围 （0 到 5V）非常匹配。

气压的范围为 6.75 帕斯卡到 14.7 帕斯卡。好天气到强暴风雨天气之间的预计气压增长值约为 0.18 帕斯卡。这样，此设备的最小分辨率应为 0.015 帕斯卡。10 位转换器很容易满足这个要求。如果需要的分辨率为 0.002，则 12 位 A/D 转换器更为适合。

Microchip 提供了大量的模数转换器可供此类应用使用。如果想要分立式解决方案，那么可以使用 12 位的 MPC320X 系列和 10 位的 MCP300X 系列传感器。

一般来说，相比片上转换器而言，分立式 A/D 转换器具有更高的精度，还具有伪差分输入特性和更快的转换速度。此类器件的伪差分功能可实现抑制小共模信号的配置。此外，单通道器件可应用于同步采样应用中，例如电机控制。由于通常在抗混叠滤波器之前连接有一个多路开关，所以使用单转换器的应用电路所需的模拟滤波器较少。

如果片上 A/D 转换器更适合实际应用，那么 PIC 单片机产品线中有大量的转换器可与所用的各种单片机上的其他外设结合使用。

集成解决方案可提供分立式解决方案不具备的一定程度的灵活性。这种灵活性体现在工作方式的灵活性方面，此时可以动态地重新配置器件的参考电压和采样速度。灵活的 I/O 配置可使电路板的布线易于实现。

Microchip 的分立式和集成 A/D 转换器同样适用于图 9 所示的压力传感器电路。

结论

本应用笔记中探讨的设计难题是如何将压力传感器电桥的小差分信号进行放大，滤波和转换成数字信号。要实现这个目标，我们使用了双运放仪表放大器放大从压力传感器输出的差分信号并且将其转换为单端输出信号。放大级之后是二阶 Butterworth 抗混叠滤波器用来降低噪声，以便 A/D 转换器可以达到完整的 10 位精度。

推荐采用板上 A/D 转换器或分立式 A/D 转换器，并给出了这两种策略的利弊。本应用无需用到数字滤波。

参考书目

Tandeske, Duane, Pressure Sensors, Marcel Dekker, Inc., 1991

“Anti-Aliasing Analog Filters for Data Acquisition Sys-tems”, Baker, Bonnie C., AN699, Microchip Technol-ogy Inc.

“Making a Delta-Sigma converter with a Microcontrol-ler”, Baker, Peter, Darmawaskita, Butler, AN700, Microchip Technology, Inc.

“Using Operational Amplifiers for Analog Gain in Embedded System Design”, Baker, Bonnie C., AN682, Microchip Technology, Inc.

“Building a 10-bit Bridge Sensing Circuit using the PIC16C6XX and MCP601 Operational Amplifier”, Baker, Bonnie C., AN717, Microchip Technology, Inc.

“Precision Temperature Sensing with RTD Circuits”, Baker, Bonnie C., AN687, Microchip Technology, Inc.

“Temperature Sensing Technologies”, Baker, Bonnie C., AN679, Microchip Technology, Inc.

“Thermistors in Single Supply Temperature Sensing Circuits”, Baker, Bonnie C., AN685, Microchip Technol-ogy, Inc.

“Single Supply Temperature Sensing with Thermocou-ples”, Baker, Bonnie C., AN684, Microchip Technol-ogy, Inc.

 © 2008 Microchip Technology Inc.

注：

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术指标。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下， Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是 “牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展中。 Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案（Digital Millennium Copyright Act）》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。**Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。** Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。如果将 Microchip 器件用于生命维持和 / 或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任，并加以赔偿。在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中或以其他方式转让任何许可证。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、 Microchip 徽标、 Accuron、 dsPIC、 KEELOQ、 KEELOQ 徽标、 MPLAB、 PIC、 PICmicro、 PICSTART、 PRO MATE、 rfPIC 和 SmartShunt 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

FilterLab、 Linear Active Thermistor、 MXDEV、 MXLAB、 SEEVAL、SmartSensor 和 The Embedded Control Solutions Company 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Analog-for-the-Digital Age、 Application Maestro、 CodeGuard、 dsPICDEM、 dsPICDEM.net、 dsPICworks、 dsSPEAK、 ECAN、 ECONOMONITOR、 FanSense、 In-Circuit Serial Programming、 ICSP、 ICEPIC、 Mindi、 MiWi、MPASM、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、 mTouch、 PICkit、 PICDEM、 PICDEM.net、 PICtail、 PIC32 徽标、 PowerCal、 PowerInfo、 PowerMate、 PowerTool、 REAL ICE、 rfLAB、 Select Mode、 Total Endurance、 UNI/O、WiperLock 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 是 Microchip Technology Inc. 在美国的服务标记。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2008, Microchip Technology Inc. 版权所有。

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
ISO/TS 16949:2002

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2002 认证。公司在 PIC® MCU 与 dsPIC® DSC、KEELOQ® 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器和模拟产品方面的质量体系流程均符合 ISO/TS-16949:2002。此外， Microchip 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

全球销售及服务网点

美洲

公司总部 Corporate Office
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277
技术支持：
http://support.microchip.com
网址：www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta
Duluth, GA
Tel: 678-957-9614
Fax: 678-957-1455

波士顿 Boston
Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 Chicago
Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

达拉斯 Dallas
Addison, TX
Tel: 1-972-818-7423
Fax: 1-972-818-2924

底特律 Detroit
Farmington Hills, MI
Tel: 1-248-538-2250
Fax: 1-248-538-2260

科科莫 Kokomo
Kokomo, IN
Tel: 1-765-864-8360
Fax: 1-765-864-8387

洛杉矶 Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608

圣克拉拉 Santa Clara
Santa Clara, CA
Tel: 408-961-6444
Fax: 408-961-6445

加拿大多伦多 Toronto
Mississauga, Ontario, Canada
Tel: 1-905-673-0699
Fax: 1-905-673-6509

亚太地区

亚太总部 Asia Pacific Office
Suites 3707-14, 37th Floor
Tower 6, The Gateway
Harbour City, Kowloon
Hong Kong
Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

中国 – 北京
Tel: 86-10-8528-2100
Fax: 86-10-8528-2104

中国 – 成都
Tel: 86-28-8665-5511
Fax: 86-28-8665-7889

中国 – 香港特别行政区
Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

中国 – 南京
Tel: 86-25-8473-2460
Fax: 86-25-8473-2470

中国 – 青岛
Tel: 86-532-8502-7355
Fax: 86-532-8502-7205

中国 – 上海
Tel: 86-21-5407-5533
Fax: 86-21-5407-5066

中国 – 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829
Fax: 86-24-2334-2393

中国 – 深圳
Tel: 86-755-8203-2660
Fax: 86-755-8203-1760

中国 – 武汉
Tel: 86-27-5980-5300
Fax: 86-27-5980-5118

中国 – 厦门
Tel: 86-592-238-8138
Fax: 86-592-238-8130

中国 – 西安
Tel: 86-29-8833-7252
Fax: 86-29-8833-7256

中国 – 珠海
Tel: 86-756-321-0040
Fax: 86-756-321-0049

台湾地区 – 高雄
Tel: 886-7-536-4818
Fax: 886-7-536-4803

台湾地区 – 台北
Tel: 886-2-2500-6610
Fax: 886-2-2508-0102

台湾地区 – 新竹
Tel: 886-3-572-9526
Fax: 886-3-572-6459

亚太地区

澳大利亚 Australia - Sydney
Tel: 61-2-9868-6733
Fax: 61-2-9868-6755

印度 India - Bangalore
Tel: 91-80-4182-8400
Fax: 91-80-4182-8422

印度 India - New Delhi
Tel: 91-11-4160-8631
Fax: 91-11-4160-8632

印度 India - Pune
Tel: 91-20-2566-1512
Fax: 91-20-2566-1513

日本 Japan - Yokohama
Tel: 81-45-471- 6166
Fax: 81-45-471-6122

韩国 Korea - Daegu
Tel: 82-53-744-4301
Fax: 82-53-744-4302

韩国 Korea - Seoul
Tel: 82-2-554-7200
Fax: 82-2-558-5932 或
82-2-558-5934

马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-6201-9857
Fax: 60-3-6201-9859

马来西亚 Malaysia - Penang
Tel: 60-4-227-8870
Fax: 60-4-227-4068

菲律宾 Philippines - Manila
Tel: 63-2-634-9065
Fax: 63-2-634-9069

新加坡 Singapore
Tel: 65-6334-8870
Fax: 65-6334-8850

泰国 Thailand - Bangkok
Tel: 66-2-694-1351
Fax: 66-2-694-1350

欧洲

奥地利 Austria - Wels
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦 Denmark-Copenhagen
Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829

法国 France - Paris
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 Germany - Munich
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

意大利 Italy - Milan
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

荷兰 Netherlands - Drunen
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

西班牙 Spain - Madrid
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

英国 UK - Wokingham
Tel: 44-118-921-5869
Fax: 44-118-921-5820

01/02/08