

作者：Philip Holoch，高级传感器开发工程师，BELIMO Automation AG，瑞士欣维尔

克服乙二醇测量挑战

乙二醇普遍用于保护热传导液体在供暖、冷却及空气调节系统中免于冻结。通常，在屋顶装置、自然冷却装置、冷却塔等管道工程会暴露到外部环境中的系统中，以及在太阳能集热器等绿色能源应用中，都能找到乙二醇。乙二醇还可以用于区域冷却系统（如高层建筑）及低温能源网络，从而为众多客户服务。不过，在采用仅针对水的量表时，在任何系统中添加乙二醇都可能会导致热能测量中发生大量错误。现在，一款创新性的在线流量传感器已经上市，可自动检测并补偿液体成分中的变化，从而针对同时采用水和乙二醇的应用提供准确的容积流量和热能测量。本文将分享该独特产品背后的一些技术洞察力和理念。

优点和缺点

现代热传导液体都是复杂的混合物，含有约 60% 至 75% 的去离子水、25% 至 40% 的单乙二醇或丙二醇，且通常含有稳定剂、防腐剂、除氧剂及防污成分等添加剂。使用醇水混合物而非仅使用水作为热传导液体，一个较大的优点在于系统可以在零度以下运行。然而，使用这些混合物会附带产生许多问题。相对于水，这些混合物不仅价格高昂，而且热容量较低，因而流量需要提高 30% 才能达到相同的热传导效果。在低温时，醇水混合物也会变得非常粘稠，泵送能量需要提高 50% 至 100% 才能达到仅使用水时的热传导效果。另一个复杂因素在于乙二醇有毒，而丙二醇同许多添加剂一同使用时对环境不友好，这意味着液体的使用寿命结束时需要进行专业处置。

适当的配方

市场上难以计数的制造商生产的预混乙二醇之间，成分差异非常大，每家供应商都能针对指定应用提供一系列不同的配方。出于成本优化的目的，或者由于关于成分的新立法，这些预混乙二醇的准确成分还可能会定期发生变化，而通常制造商都不会将此类变化告知客户。此外，欧洲的普遍做法是购买预混乙二醇，而在北美地区，热传导液体还可以现场混合。由于液体的成分以及由此导致的物理属性会因以下原因而发生不可预知的变化，导致整个问题进一步复杂化：

- 降解，导致液体发生絮凝，通常原因是太阳能应用中发生过度热辐射；
- 出于调节系统中压力损失的目的而加水，导致乙二醇浓度被稀释（防冻效果下降或可能失效）；
- 因现场混合不精确而导致的添加剂浓度差异。

乙二醇测量挑战

热传导液体的成分发生任何变化，如上文所概括的各种变化，都可能会影响热传导液体的密度、热容量和粘性，进而影响所测得的热量（Q，见下文公式）和所测得的容积流量。

粘性变化会影响管道中的流量剖面或流速分布。因此，如果将针对水的热能表用于醇水混合物，上述任一液体属性发生变化都可能会导致累计热量测量错误，最高可达 40%。不过，如果正确的液体参数已知的话，则可以对此做出补偿。

热能 Q 由以下公式确定：

$$Q = \int \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot dt$$

Fehler! Textmarke nicht definiert.

Fehler! Textmarke nicht definiert. $\dot{V}$ = 容积

流量

ρ = 密度

c_p = 热容量

ΔT = 温差（供给 - 返回）

值得信赖的流量测量

尽管这一问题多年来已经得到广泛的认知和理解，但直

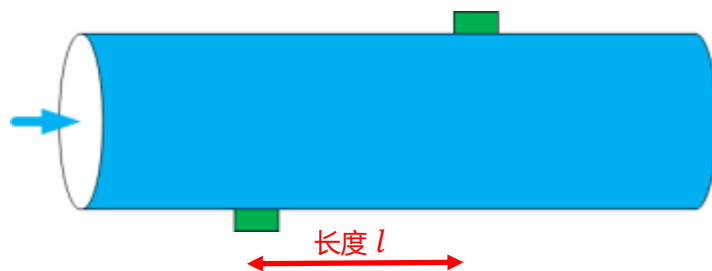
到前不久，唯一的选择只是接受这种潜在的测量差错，而在需要测量热传导的系统中避免使用乙二醇——欧洲严格限制在区域供暖网络中使用乙二醇，因为准确测量是确保向消费者正确收费必不可少的要素——或者投资昂贵的测量设备，以便手动对液体属性的变化做出补偿。不过，现在已经开发出了全新的在线流量传感器（搏力谋），可连续、自动实现乙二醇测量和补偿，从而确保最佳 HVAC 系统性能。该方法运用超声波渡越时间技

术，与电磁流量传感器不同，提供了一种对铁磁问题不敏感的热量测量方法，使用寿命比叶轮技术长，适用于不同乙二醇浓度的广泛热传导液体。

工作原理

这种全新的超声波流量计采用两个偏移传感器（图 1），通过测量热传导液体中的声音速度确定流速。利用从下部传感器到上部传感器通过的超声波脉冲，可以测量下游渡越时间，然后反转所述流程以便测量上游渡越时间。所述渡越时间会因通过传感器管路的液体流量而有所不同：下游脉冲因流量而获得加速度，上游脉冲则因流量的阻碍而变慢。所述超声波脉冲的渡越时间可以用于确定测得的流速 (v_{meas})。

流速



$$v_{meas} = c \cdot \frac{l}{2} \cdot \left(\frac{1}{tt_{down}} - \frac{1}{tt_{up}} \right)$$

v_{meas} = 测得流速

c = 常数

l = 长度

tt = 渡越时间

tt_{down} = 下游渡越时间

tt_{up} = 上游渡越时间

图 1：利用超声波测量容积流量。

此数据与介质温度相结合，可用于计算运动粘度 (η) 并确定容积流量。不过，由于容积流量需要的是流经管道直径的流速平均值，而不仅仅是单一路径的值，因此结果会受到流量剖面差异的影响（图 2）。对于层流（灰色），中心位置的流速最高，管道壁处的流速较低。与此相对，对于湍流（蓝色），管道直径上的流速实际上是相同的。这一影响通常在生产期间进行补偿，通过利用正确的曲线来校准流量传感器。不过，由于流量剖面受到液体粘性的影响，因此，系统中存在乙二醇的话，可能会导致重大测量差错。

容积流量

$$\dot{V} = \int v \cdot dA = A \cdot \bar{v}$$

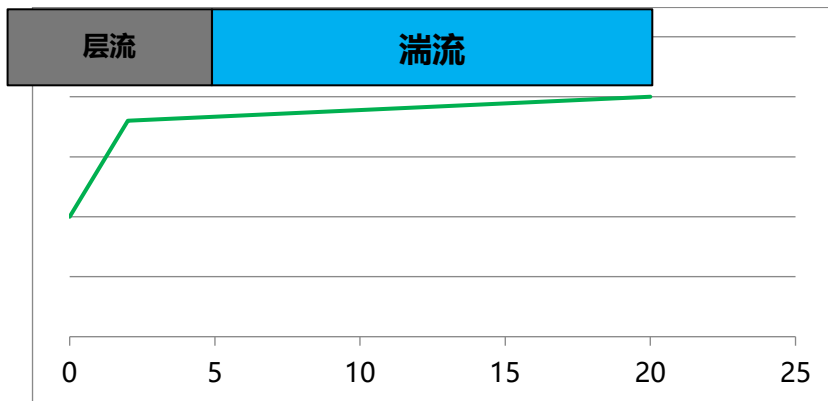


图 2：计算平均流速。

另一种方法是采用雷诺数 (Re) 而非流速。

$$Re = \frac{v \cdot D}{\eta}$$

v = 流速

D = 直径

η = 运动粘度

F_{in} = 惯性力 (inertial forces)

F_{vi} = 粘性力 (viscous forces)

该比值的实际意义在于，流速分布与给定的雷诺数和几何分布相似。因此，作为雷诺数的函数而绘制的校正因数 (k) (用于建立起容积流量与通过管道横截面的平均流速之间的联系) 不受液体粘性的影响，然后将所得到的水和醇水校准曲线相互叠加。这意味着该传感器可以用水校准，并且还可以准确测量粘性已知的任何其他液体。图 3 概括了这一过程。

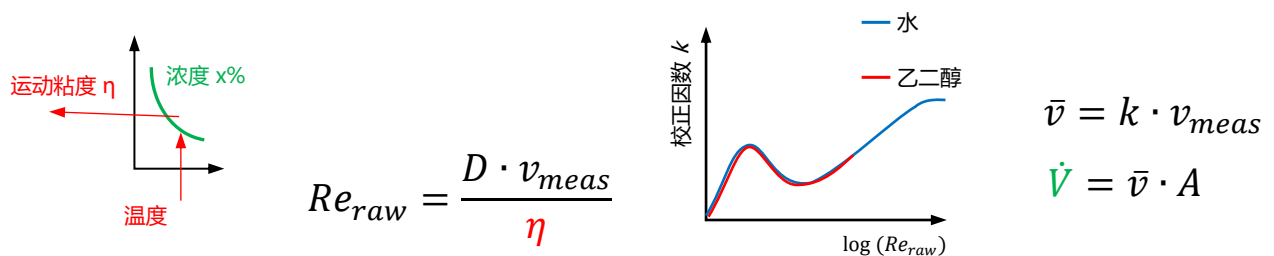


图 3：自动乙二醇补偿算法概览。

这种采用雷诺数的方法已经用于开发专利自动乙二醇补偿算法，能够选择正确的液体属性进行流量和能量计算，且可以用于广泛的热传导液体，确保在任何 HVAC 应用中都能实现准确、可重复的测量。

结果准确，不会发生漂移

图 4 和 5 中清楚地展示了乙二醇补偿的益处。如果没有补偿（图 4），则体积流量测量可能会发生高达 30% 的差错；而运用自动乙二醇浓度（图 5），则将漂移降到了最低，且大幅降低了测量差错的程度。

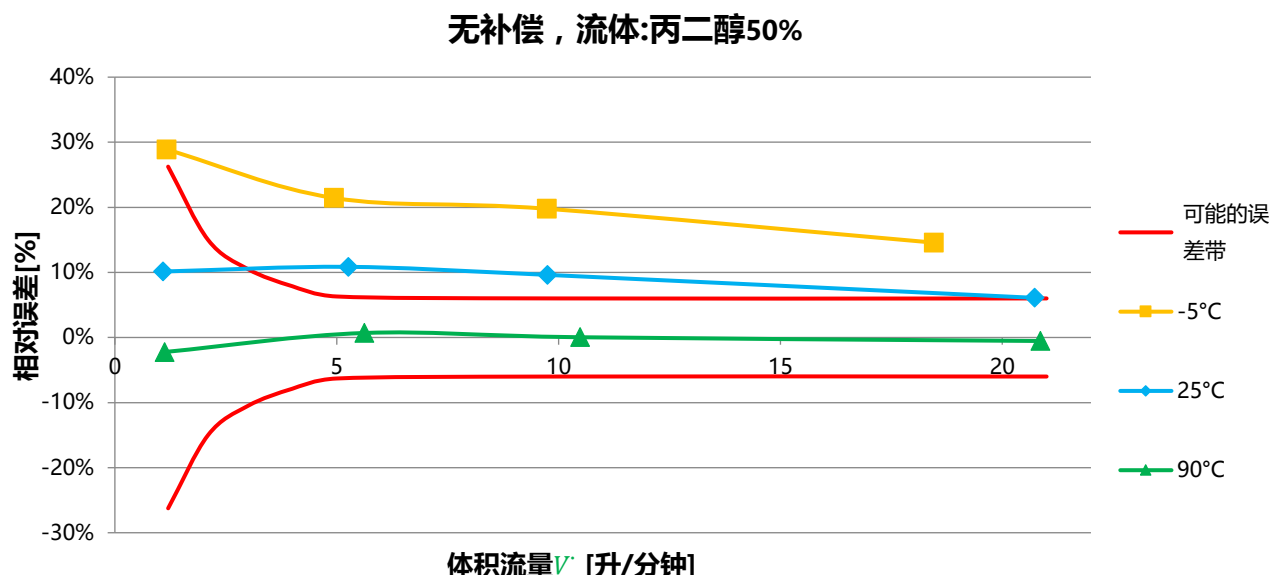


图 4: 不进行粘性补偿时，乙二醇对体积流量测量的影响。

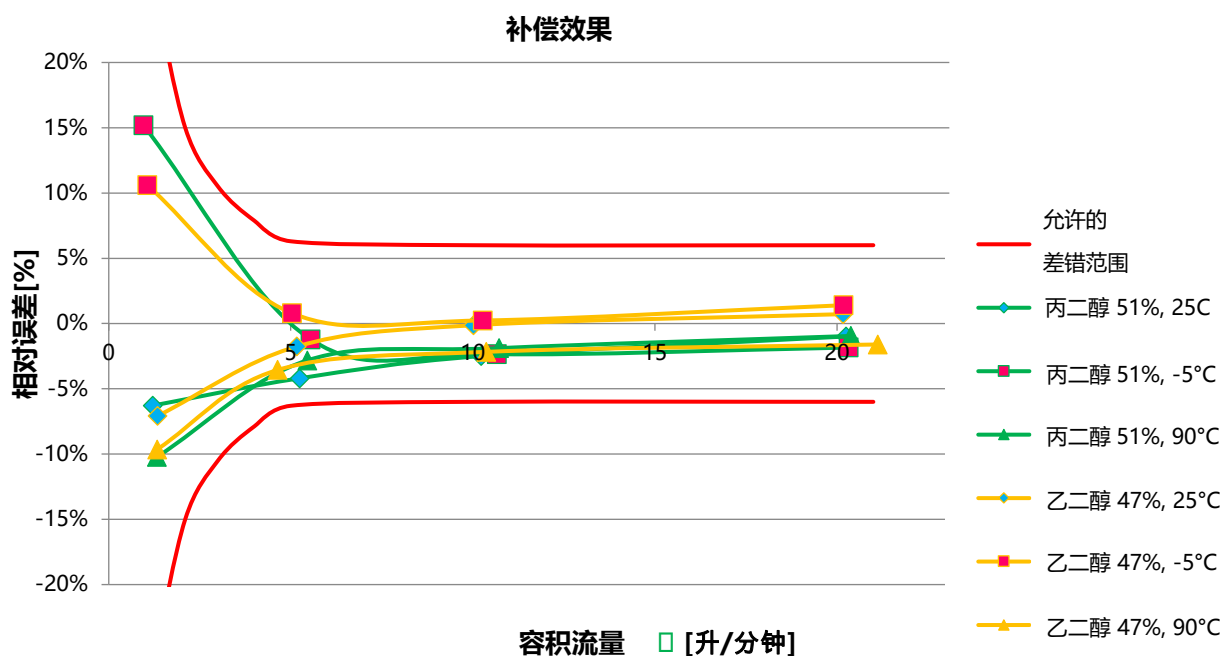


图 5：对体积流量测量进行乙二醇补偿的效果。

结论

利用超声波渡越时间技术自动测量和补偿乙二醇浓度，这种在线流量传感器的开发是热能测量领域的重大进步。只需一个“安装即忘记”的流量传感器，就可以对热传导液体时刻变化的粘度和热容量做出补偿。该传感器没有活动部件，极为耐用，无需校准，可确保所测量流量的正确性。因此，该传感器是实现准确、可重复的测量以及提高暖通空调(HVAC) 系统可控性和效率的理想选择。