

CO₂ 和 H₂ 流量测量的挑战

科隆超声波和科里奥利流量计应对技术挑战——氢和二氧化碳这两种气体目前被大家广泛关注。现在人们通过利用氢能减少二氧化碳的排放，然而这并不容易，需要一定的技术和测量。如果想通过超声波或科里奥利流量计，成功测量氢和二氧化碳，则需要一些物理方法。

文 / Hilko den Hollander

能源转型的两大重要支柱，分别是使用 H₂ 作为能源载体，以及 CO₂ 捕获和存储 (CCS : Carbon Capture and Storage)。虽然对石化和化工领域中的 H₂、食品和饮料行业中 CO₂ 的过程测量已经开展多年，但是实现高精度的测量依然存在特定的挑战。在本文中我们将进一步介绍科隆公司 (KROHNE) 的超声波和科里奥利流量计，是如何应对 H₂ 和 CO₂ 技术挑战的背景。

相态

与大多数的介质相同，CO₂ 有 4 个相态：固体、气体、液体和超临界，如图 1 所示。当常规的操作条件接近于相态临界点时，应当关注相态的变化。例如：在 60 bar (870 psi) 和 20°C (68°F) 时，CO₂ 呈现为液相，密度为 780 kg/m³ (49 lbs/cft)；当压力下降到 56 bar (812 psi) 时，它将转变为密度为 185 kg/m³ (12 lbs/cft)

本文作者供职于 KROHNE 科隆公司。

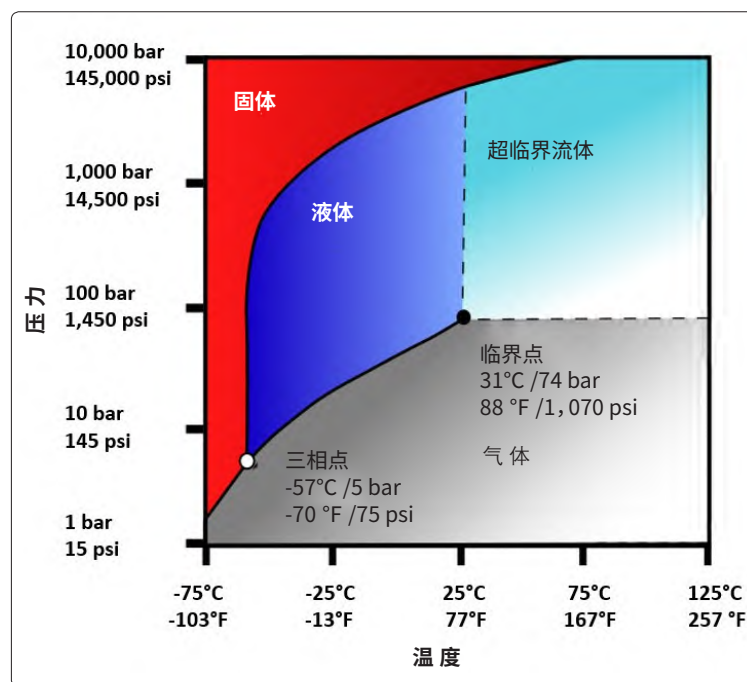


图 1 CO₂ 的相态图

的气体。也就是说，压力的小幅下降就会导致密度的显著变化，

从而影响到测量结果。在高压和高温状态下，CO₂ 处于超临界态。虽然超临界听起来有些难以理解，但在其他应用中也并不鲜见。例如，甲烷的临界点为 46 bar (670 psi) 和 -83°C (-117°F)，这意味着典型的 60 mpa (870 psi)

且在环境温度下的甲烷应用，也处于超临界态。

氢气的临界点是 13 bar (188 psi) 和 -240°C (-400°F)，因此，只有在大幅冷却时它才能转化为液体。在 -240°C (-400°F) 的临界温度时，至少需要 13 mpa (188 psi) 才能将氢气转化成液体；在环境压力下，氢气需要被冷却到



图2 KROHNE OPTISONIC 4400-2 声道气体超声波流量计

-253℃ (-423°F) 才能液化。

超声波流量计所面临的挑战

超声波测量原理，可用于单相的气体、液体或超临界态，但每个相态都需要特定的仪表配置。而CO₂还具有一项特别的挑战——分子热弛豫效应——令CO₂分子“吸收”超声波信号。这种现象并不仅限于CO₂，但CO₂的吸收峰，位于制造商常用的超声波换能器的频率范围内。由于吸收峰的频率与压力相关，所以在选型时，制造商会选择与吸收峰频率有显著差异的换能器。所以，在宽泛的工作压力范围内，依然能够保证仪表的测量性能。科隆双声道气体超声波流量计如图2所示。

对于氢气的应用，还必须考虑低密度和高声速的问题。低密

度的氢气，令超声波的信号更难以穿透介质并到达接收端的换能器。为了应对这一挑战，制造商将审慎地选择换能器的频率，以尽可能地提高声学性能。氢气中的高声速，将导致超声波信号，在换能器之间的传输时间极短。因此，接收端换能器必须随时待命，以接收来自发射端的信号。

由于目前还没有大型的CO₂或H₂流量校准设施，所以，超声波流量计通常采用水、空气或天然气进行校准。根据需要，还可以进行雷诺数的校准，在校准过程中尽可能地模拟现场的流态。例如，水在7倍的流速下，与液态的CO₂十分相似。若有必要，还可以推算出基于水的雷诺数曲线，这与LNG流量计的雷诺数推算方式类似。



图3 KROHNE OPTIMASS 6400——应用在低温LNG上的科里奥利流量计

科里奥利流量计所面临的挑战

科里奥利流量计如图3所示，为单相流体提供高精度的流量测量，流体可以是液体、气体或超临界态。此外，还可以测量多相流。当测量CO₂时，应注意避免接近临界点的工艺条件，这可能会导致密度的大幅突变。在测量气体时，尤其是测量低密度的氢气时，应注意流量计对最低密度的要求，以确保流量计的性能。在实践中，这就意味着需要确保最低的工作压力。通常，用水来校准科里奥利流量计。因为是直接测量质量流量，所以仪表不受到流体属性或流向的影响。

更多思考

捕获的CO₂可能包含其他气体，如N₂或O₂。当接近相变线时，可能会出现两相流，其中CO₂处于液相，而其他物质处于气相。另外，还需要特别关注CO₂中的游离水，这可能会导致碳酸腐蚀（ $\text{Fe} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} > \text{FeCO}_3 + \text{H}_2$ ）。

科里奥利或超声波流量计，是否是理想的测量方案，最终还是取决于应用的具体要求。科里奥利流量计，直接测量质量流量，无需入口直管段。全通径的超声波流量，压损可忽略不计，并且口径齐全。

当下，测量标准的发展尚未完全跟上能源转型的步伐，例如欧洲的MID MI-002就未涉及气态的CO₂，因为它不是可燃气态。

此外，对温/压校正表格和体积/质量转换表格的认证，也有待完善。对于这些状况，科隆正在积极地与当地的计量部门（如NMI）合作，以寻找理想的解决方案。