

流量信号传送失准浅析

王健

中煤陕西能源化工集团有限公司

摘要: 在流量测量系统中, 流量信号从传感器传送到变送器或转换器, 在传送过程中常常发生传送失准、失真的情况, 这种失准导致流量测量结果产生附加误差, 有时甚至整套流量计无法使用。经研究发现, 这种信号失准现象普遍存在而且异常复杂, 失准的机理和失准的程度不仅因测量方法的不同而异, 而且与流体的种类及工况密切相关。本文剖析了差压流量计测量时的信号失准机理和处理方法。

关键词: 流量; 信号传递; 失准

在信息技术中, 信号传达、失准失真的现象普遍存在, 在流量测量中也是如此。一套流量测量仪表大多是由几个单位组成, 流量信号从一个单元传送到另一个单元, 在此信号传送过程中, 如果存在信号传送失准, 必将引起流量测量的附加误差, 严重的情况下, 测量结果与应有值相差甚远, 令仪表工程师们异常烦恼, 为此人们花费精力开展对这一现象的研究。

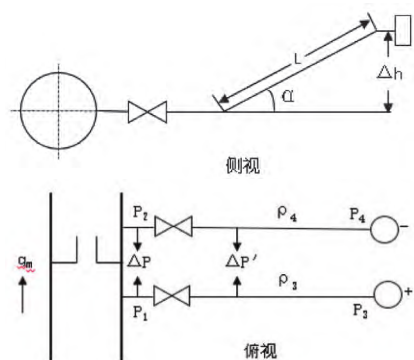
流量信号传送失准的现象不仅普遍存在, 而且异常复杂。失准的机理不仅因测量方法的不同而异, 而且与流体的类型与流体的工况密切相关, 要对流量信号传送失准进行全面的论述是一件困难的事情, 由于篇幅和诸多因素的限制, 本文仅对个别种类的流量计, 测量个别种类的流体, 在某些工况下的流量信号传送失准现象进行剖析, 分析失准的机理及处理方法及处理结果。

1 差压流量计测量水平管道内蒸汽流量

1.1 冷凝罐前的差压信号传送失真

在用标准差压流量计测量蒸汽流量时, 差压装置送出的差压信号传送到冷凝罐时, 往往会产生一定的失真, 即冷凝罐接收到的差压信号 $\Delta P'$ 与差压装

置送出的差压 ΔP 不相等。下面对 $\Delta P'$ 与 ΔP 及诸因素的关系做一分析, 其中差压装置与冷凝罐之间的结构性连接如图1所示, 为了分析方便, 管路的走向做了一点简化。



式(7)中的 $\Delta h \cdot g (\rho_4 - \rho_3)$ 即为传送失真, 其中

$$\rho_4 = f(P_2) \quad (8)$$

$$\rho_3 = f(P_1) \quad (9)$$

这是因为倾斜导管内蒸汽已进入饱和状态。因为 P_2 与 P_1 很接近, 所以 ρ_4 与 ρ_3 很接近, 因此传送失真值 $\Delta h \cdot g (\rho_4 - \rho_3)$ 可忽略。

4) 当倾斜正压管内积液时引起的差压信号传送失真值计算正压管内积液, 按 $P_1=5.3$ MPa 查饱和水密度表得

$$\rho_3 = 769.4 \text{ Kg/m}^3 \quad (10)$$

负压管内仍为蒸汽, 按 $P_1=5.3$ MPa, 查饱和蒸汽密度表得

$$\rho_4 = 27.63 \text{ kg/m}^3 \quad (11)$$

其实应按 P_2 查饱和蒸汽密度表, 但因 P_2 是 ΔP 的函数, 其值在全量程范围内都是在变化的, 所以近似值以 P_1 代之。将式(10)和(11)值代入得

$$\begin{aligned} \Delta P' &= \Delta P + \Delta h \cdot g (27.64 - 769.4) \\ &= \Delta P + \Delta h \cdot g (-741.8) \end{aligned} \quad (12)$$

5) 当倾斜负压管内积液时引起差压信号传送失真值计算得

$$\Delta P' = \Delta P + \Delta h \cdot g (741.8) \quad (13)$$

6) 当倾斜导压管内的汽液混合物的差压信号传送失真值计算时, 两根导压管如果其中一根是冷的, 另一根是烫的, 可认为一根内积满液体, 另一根为蒸汽, 如果两根管都是温吞的, 则可认为两根管内充满汽液混合物, 传递失真在 $-741.8 \sim 741.8 \Delta h g$ 之间变化。由于汽液比例可能是变化的, 所以失真值也是在变化的。

7) 正负压管内全部充满液体时的失真值讨论: 如果正负压管内全部充满液体, 表现为两根管道都是冷的, 因为冷水可以认为是不可压缩流体, 所以可以认为两根管道内液体密度相等, 即 $\rho_3 = \rho_4$, 代入式, 则 $\Delta P' = \Delta P$, 即无传送失真。

1.2 倾斜导压管内为什么会积液

在汽液平衡状态下, 饱和水的密度要比饱和汽的密度大几十倍甚至几百

倍, 冷凝罐中溢出的饱和水与来自蒸汽母管的蒸汽在倾斜导管内相遇, 由于存在很大的密度差, 理应饱和水能顺畅地流向母管, 蒸汽能顺畅地流到冷凝罐, 但若根部阀通径太小或流路不满足“直通”要求, 则饱和水很容易被吊在阀门上方而引起积液。

在用针型阀做根部阀时, 经常发生“积液”事件分析其原因为两点: 一是通径太小, 常用的 DN10 或 (或 1"/2) 针阀。节流孔内径仅有 6.4 mm; DN6 (或 1"/4) 针阀节流孔径更小, 仅有 4.4 mm。二是针型阀低进高出的结构。当安装在水平管道上的针型阀手柄向上时, 流路容易形成 U 形液封, 从而使饱和水回流受阻。如果将手柄布置在水平方向, 将 U 形流路改为在同一水平面内的弯曲, 流动受阻情况则可大为改善。如果将针型阀改为直通阀, 例如闸阀或球阀, 通径在 10 mm 以上, 则阀的上方完全不会积水。

1.3 防止冷凝罐前差压信号传递失真的另一个方法

从式(7)所示的冷凝罐前差压信号传递失真, 与高度差 Δh 和密度差 $\Delta \rho$ 的乘积成正比, 如果能使 Δh 和 $\Delta \rho$ 中的一个为 0, 则 $\Delta h \cdot g \cdot \Delta \rho$ 也就为 0 其实要做到 $\Delta h=0$ 很简单, 只要将冷凝罐布置在差压装置相同高度即可。

1.4 冷凝罐高度不相等也会引起差压信号传递失真

冷凝罐前的导压管内, 如果充满蒸汽, 差压装置产生的差压信号可以不失真地传递到冷凝罐的上方, 但若两个冷凝罐的高度不相等, 也会因为液柱高度不相等, 静压头不相等而引起差压信号的传递失真。在用标准差压流量计测量蒸汽流量时, 冷凝罐的作用是将蒸汽同差压变送器隔离开来, 以免后者被烫伤。具体做法是使蒸汽在冷凝罐中冷凝变成凝结水, 从而将蒸汽差压信号转换成水的差压信号, 由差压变送器测量。

蒸汽在冷凝罐内放出热量变成凝结水后, 使罐内水位升高。当水位高

于溢流口后, 就从导压管流回蒸汽母管。此溢流口就是导压管与冷凝罐的连接处, 具体地说是圆形流通截面的下口。因此, 正负压溢流口的高度须相等, 如果有 10 mm 的高差, 就会引起 98 Pa 的差压信号传送失真。如果正压罐高 10 mm, 则凝结水差压失真 98 Pa; 如果负压罐高 10 mm, 则失真 -98 Pa。而对于长径喷嘴差压装置, 由于两个凝结罐之间相距较远, 往往高度相差 20 mm, 用肉眼都分辨不出。因此须用水平尺精准测量并整改到位。

1.5 凝结水差压信号的传递失真

两个冷凝罐送往差压变送器的差压信号, 在传输过程中, 也容易产生传送失真。常见的因素有两个, 其一是导压管坡度不符合要求, 以致在导压管内积气。有的导压管最高点应当装排气阀而没有装。其二是伴热保温不对称。引起两根导压管内的凝结水存在密度差, 密度差与液柱高度的乘积, 即为差压信号传递失真值。

1.6 差压变送器高低压室未充满被测介质而引起测量误差

在差压式流量计的有关规程中, 强调差压信号传输通道中须充满被测介质。常见的问题是差压变送器高低压室内排气不彻底, 这往往与差压变送器选型欠合理有关。对于高低压室既设置排气口又设置排液口的差压变送器, 如果安装方位也合理, 则不会存在排气不彻底的问题。

1.7 关于冷凝罐积气问题

导压管及冷凝罐内, 在通蒸汽之前均充满空气, 如果冷凝罐顶部未设排气口, 则空气占据冷凝罐的上方而导致冷凝罐液位降低, 引起差压信号传递失真。

处理方法是设法排除最高点的积气。如果差压变送器附近设有排污阀, 则可加大排污量。对于高温高压蒸汽测量对象, 有时担心排污阀烫坏, 可采用降压排污法, 就是将排污阀开足, 用根部阀控制排污量。这时, 冷凝罐和排污

阀处的压力均接近大气压,短时排气温度为 100℃,待排出物完全不带水时,表明蒸汽已进入过热状态,温度会高于 100℃,就可关闭排气阀,停止排气。

1.8 如何检测差压信号传递失真的确切值

综上所述,差压装置送出的差压信号要经过 4 个环节才能在差压变送器的输出显示屏上读出。这四个环节引入的误差是多少,可以用仪表误差校验的方法得到。就是在差压装置处送一个标准信号,然后读出差压变送器显示值,最后计算误差。

将流量计下游的蒸汽总阀关闭,差压装置中的蒸汽停止流动,于是其送出的差压信号就为 0,这时差压变送器的输出如果大于 0 Pa,则为正偏差;如果小于 0 Pa,则为负偏差。

1.9 如何做到差压信号传递失真值为 0

1) 按照 ISO2186—2007 的规定,将冷凝罐配置在差压装置取压口相同高度,则式(1)和式(2)中的 $\Delta h=0$;2) 按照 GB/T2624—2006 和 ISO5167—2022 的规定,根部阀采用直通阀,则导压管内汽压交换可顺畅进行;3) 两个冷凝罐布置在相同高度;4) 冷凝罐到差压变送器的垂直高差尽量缩短,并使正负导压管表面温度相同;5) 冷凝罐与差压变送器之间的导压管按照相关标准保持规定坡度;6) 差压变送器型号选高低压室各有两个排放口的类型,并将高低压室内空气排净。

2 双量程喷嘴流量计测量中压蒸汽流量

陕西榆林某热电站蒸汽总管用双量程喷嘴流量计测量中压蒸汽流量,测量范围为 0 ~ 300 t/h。两只冷凝罐等高,差压变送器零点正常。蒸汽总阀门关闭后,流量示值应为 0,而实际是低量程差压变送器输出 9 mA,高量程差压变送器输出 4.9 mA。

低量程差压变送器量程为 3 kPa,开

平方运算在差压变送器中完成,其输出 9 mA 对应的差压约为 293 Pa。由于总管上的阀门已关闭,总管内蒸汽已停止流动,流量传感器输出的差压已为 0,为什么差压变送器接收到的差压信号却有 293 Pa。由于高量程差压变送器和低量程差压变送器的输出,都表明所接收到差压信号约为 293 Pa,显然这 293 Pa 的差压是由差压信号的传递失真所引起。

从来自现场的差压信号引压管和差压变送器安装照片可以看出,导压管从冷凝罐引出后,大多为垂直走向,只有一段长度约为 6.5 m 的水平段搁在水平线槽的顶部敷设。坡度没有保证。不仅如此,由于水平段长达 6.5 m,很有可能存在反向坡度,以致引压管内积气,引起 293 Pa 的差压信号传递失真。

为什么水平导压管内积气会引起差压信号传递失真呢?这要从压力信号传递关系分析。水平管段一旦积气,就有压力传递关系。按照流体静力学原理,流量传感器将所产生的绝对静压传送到冷凝罐,其中正压罐静压传到 P_3 ,则

$$P_3 = P_1 + g\rho(h_1 + h_2) \quad (14)$$

绝对静压从 P_3 传到 P_5 , 那么

$$P_5 = P_3 + g\rho h_3 \quad (15)$$

如果负压管内不积气,则

$$P_6 = P_2 + g\rho(h_1 + h_3) \quad (16)$$

从式(14)得

$$P_1 = P_3 - g\rho(h_1 + h_2) \quad (17)$$

$$\begin{aligned} dP &= \Delta P' - \Delta P = P_5 - P_6 - P_1 + P_2 \\ &= P_5 - P_6 - P_1 + P_2 \end{aligned} \quad (18)$$

式中:

P_1 — 流量传感器正压口处绝对静压, Pa;

P_2 — 流量传感器负压口处绝对静压, Pa;

P_3 — 正压信号管内积气点绝对静压, Pa;

P_5 — 差压变送器正压信号输入口处绝对静压, Pa;

g — 重力加速度, m/s^2 , $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$;

h_1 、 h_2 、 h_3 — 位差, m;

dP — 差压偏移值, Pa;

ΔP — 流量传感器送出的差压信号, Pa;

$\Delta P'$ — 差压变送器接收到的差压信号, Pa。

将式(15)(16)(17)代入式(18)得 $dP = 293 \text{ Pa}$ 。

这是正压管内积气而负压管内未积气所引起的差压信号传递失真值。由于 dP 与积气高度(位差)成正比,按流体静力学关系计算, h_2 应为 0.0299 m。如果负压管内也积气,则 dP 的值为正压管积气所引起的失真值和负压管内积气所引起的失真值叠加。

从上面的分析计算可知,该流量计在总管内蒸汽已停止流动时,却有流量指示,是因为导压管坡度不符合要求,引起导压管内积气,产生 293 Pa 的信号传递失真。后来将冷凝罐下方的切断阀拆除,使水平导压管具有一定的坡度,从而消除积气,使流量零点恢复正常。

3 结语

流量测量系统出现的失准问题,绝大多数不是流量计本身存在问题,而是系统设计、安装、调试、运行等环节中存在问题,这些问题多数是由相关仪表人员对被测对象要求的认识、对使用条件要求的认识、对流体特性的认识、对仪表特性的认识不全面、不准确引发的。本文以实例分析的形式剖析了几种常见典型的失准问题的诊断方法,为行业内解决类似问题提供了思路借鉴。

参考文献:

- [1] 纪纲,朱炳兴,王森.仪表工试题集—现场仪表分册[M].北京:化学工业出版社,2014.
- [2] 孙江平,戴峥,蔡方明,等.气体的可膨胀性对流量测量的影响及对策研究[J].石油化工自动化,2018.54(5):4.