

双法兰差压液位变送器的应用

本文就双法兰差压液位变送器在工程应用中的注意要点进行阐述——石油化工装置通常具有易燃、易爆、有毒以及有害的特点，为保障生产过程的安全平稳运行，及时准确地监控装置中的工艺参数尤为重要。液位是生产过程重要的参数之一，具有远传功能的液位仪表种类繁多，比如雷达液位计、伺服液位计、超声波液位计、差压液位计、浮球液位计、浮筒液位计以及核液位计等，而双法兰差压液位变送器是应用较普遍的一种液位仪表。

文 / 王云 范咏峰

双法兰差压液位变送器结构及测量原理

双法兰差压液位变送器由差压变送器、密封膜片法兰和带填充液的毛细管组成。根据使用要求密封膜片可采用平膜片或插入式膜片，另还可配带冲洗环等附件。根据使用要求可选用双边带毛细管，如图1所示，也可选用单边带毛细管，如图2所示。

双法兰差压液位变送器的测量原理为 $H_1 = \Delta p / g \rho$ 介 (1)

双法兰差压界位变送器的测量原理为 $H_2 = \Delta p / g (\rho_{\text{重介}} - \rho_{\text{轻介}})$ (2)
式中

H_1 —液位高度，单位 m；

H_2 —界位高度，单位 m；

Δp —测得差压，单位 Pa；

ρ —介质密度，单位 kg/m^3 ；

本文作者王云供职于山东济炼石化工程有限公司，范咏峰供职于中科合成油工程有限公司。



图1 双边带毛细管



图2 单边带毛细管

表 1 膜片规格受环境温度影响

膜片规格	漂移 (kPa/10℃)
DN50 (不锈钢膜片)	0.203
DN80 (不锈钢膜片)	0.011
DN100 (不锈钢膜片)	0.004

表 2 膜片规格受过程温度影响

膜片规格	漂移 (kPa/10℃)
DN50 (不锈钢膜片)	0.124
DN80 (不锈钢膜片)	0.017
DN100 (不锈钢膜片)	0.008

g —重力加速度, 单位 m/s^2 。
使用式(1)和式(2)计算液位、界位测量范围时, 还应根据实际选型和安装情况做正、负迁移。

从双法兰差压液位变送器的组成结构和测量原理来看, 此类仪表非常适用于易结晶、易沉淀、高黏度、易结焦、易聚合液体以及脏污介质, 且密度变化范围不大的液位和界位测量。

选型及使用

膜片材质的选择

常见膜片材质有 316LSS、哈氏合金、蒙乃尔、钽等, 无特殊要求时, 综合考虑适用性、耐用性和经济性, 通常膜片材质可以选择 316LSS。特殊工况及介质需特别对待。

比如湿硫化氢工况, 接液材质符合 NACE MR 0103 要求, 减缓腐蚀速率; 高温临氢工况, 由于氢分子很小, 在合适温度、压力、浓度环境下, 极容易快速进入和穿透接触金属材料的晶格中, 工程中可以在膜片表面镀金处理, 原因是金具有很好的致密

性和很强的耐腐蚀性, 可以有效减缓氢渗透速率, 延长仪表使用寿命; 磨损性介质选用加厚膜片或金刚膜片; 含氯腐蚀介质选用钽膜片; 碱性腐蚀介质选用蒙乃尔膜片; 此外还有陶瓷膜工艺、衬氟工艺等。

膜片规格的选择

膜片常见规格为 DN50、DN80 以及 DN100 种。

某品牌不带毛细管的单侧法兰膜片受温度影响见表 1、表 2。

膜片尺寸适当加大可以提供更好的测量灵敏度, 特别是对于低量程的差压测量, 建议使用较大的膜片尺寸。DN80 的膜片尺寸兼顾了灵敏度和安装便利性, 实际工程中通常采用 DN50 和 DN80 规格。

填充液的选择

不同的填充液有不同的温度—压力适用范围, 表 3 是常用填充液的部分特性。填充液的选择应结合工艺极限温度、环境极限温度 (即最低温和最高温)。比如工艺极限最高温 280℃, 需选用高温硅油, 而在国内北方寒冷

地区, 填充液为高温硅油的变送器无法直接使用, 需对毛细管做适当伴热和绝热处理, 同时也应注意变送器正常工作的适用温度范围。

填充液的选用, 不仅需要重视适用温度, 填充液的黏度、热膨胀系数也是不可忽视的考虑因素, 尤其在选用较长毛细管的场合、极端环境温度差大的场合。选用热膨胀系数小的填充液, 有利于减小环境温度变化带来的测量误差。

毛细管长度越长, 毛细管内径越大, 则填充液体积越大, 其热胀冷缩的影响也越大, 同时毛细管长度越长, 测量响应时间也越长, 因此毛细管长度不宜过长, 毛细管内径不宜过大, 有利于减小温度变化造成附加误差, 此处与为提高响应时间选用较大内径要求又是矛盾的, 实际工程中宜选择合适的内径, 通常普通硅油可以选择毛细管内径 1.1 mm, 高温硅油 (适用温度上限≥300℃) 可以选择毛细管内径 1.9 mm。选用黏度较小的填充液, 有利于提

表 3 常用填充液特性 (25℃)

填充液	温度极限 /℃ (绝压 $p < 100$ kPa)	温度极限 /℃ (绝压 $p > 100$ kPa)	相对 密度	热膨胀系数 / (mL °C ⁻¹)	黏度 / (MPa · s)
DC200 硅油	-45~100	-45~205	0.93	0.00108	9.5
DC704 硅油	0~200	0~315	1.07	0.00095	44
惰性卤代烃	-45~175	-45~175	1.85	0.000864	6.5
SYLTHERMTMXLT	不适用	-75~150	0.85	0.001199	1.6

高响应时间。

毛细管规格的选择

双法兰差压液位变送器的毛细管通常有多种长度及内径规格可选, 仪表的响应时间和测量精度很大程度上受毛细管长度、毛细管内径和填充液特性影响。显然毛细管越长时, 压力传导距离就越长, 即增加了响应时间。毛细管内径越小, 节流效应越显著, 压力传导阻力越大, 即增加了响应时间。

填充液黏度越大, 响应时间就越大。对于测量对象为直径较大的容器, 比如大型成品油储罐, 由于液位变化率比较小, 通常对双法兰差压液位变送器的响应时间可忽略。对于测量对象为直径较小的容器, 液位变化率较快的工况, 可能需要关注仪表的响应时间造成的影响。

毛细管内密封的填充液由于热胀冷缩效应, 会随着环境温度变化而膨胀和收缩, 膨胀和收缩均会作用在法兰膜片和变送器传感元件上。

理论上, 通常选型中宜采用双等边、同内径的毛细管, 且填充液类型应一样, 有利于抵消或减小因环境温度造成填充液的热胀冷缩而引起的测量误差。当选用双边不等长毛细管或单边带毛细管时, 填充液因温度而出现的

热胀冷缩会引起测量误差。特殊需求应寻求制造商提供建议。

毛细管长度的选择根据测量对象的上 / 下法兰距、仪表可安装条件、工况场合选取, 要求既满足测量要求, 又应尽可能短。

值得注意的, 在使用双法兰差变测量液位或界位时, 尽管选用了双等边同内径同填充液的毛细管, 且膜片形式也相同的双法兰差压液位变送器, 抵消了因环境温度造成填充液热胀冷缩的作用力, 但无法抵消上、下法兰口之间毛细管填充液密度因温度变化而改变, 致使此段毛细管填充液的静压也相应改变的影响。

比如, 在环境温度 35℃ 时双法兰差压液位变送器调零, 在冬季环境温度 -15℃ 时, 因温度变化造成上、下法兰口之间的毛细管内填充液密度改变, 由 $p = \rho gh$ 可知, 其调零的迁移量也发生改变, 引起零点漂移。

选型设计规范的要求

现行 SH/T3005—2016《石油化工自动化仪表选型设计规范》对双法兰差压液 / 界位变送器有以下主要要求:

第 8.2.1 条正文 a) 对于界面测量, 可选用差压液位变送器, 但应确保上部液面始终高于上部取压口; b) 对于量程 (差压) 小于 5 kPa、密度变化超过

设计值 $\pm 5\%$ 时, 不宜选用差压液位变送器; c) 对于含易燃易爆、有毒性、气相在环境温度下易冷凝等场合, 宜选用毛细管远传双法兰差压液位变送器, 两根毛细管长度宜相同; d) 对于腐蚀性、较黏稠、易气化、含悬浮物等液体, 宜选用平法兰式差压液位变送器; e) 对于易结晶、易沉淀、高黏度、易结焦、易聚合等液体, 宜选用插入式法兰差压液位变送器。

其中 SH/T3005—2016 第 6 章节部分内容也适用于双法兰差压液 / 界位变送器:

第 6.3.7 条正文: 当选用膜片密封带毛细管远传式压力 (差压) 变送器时, 毛细管应选用 316SS 不锈钢, 铠装层宜选用 300 系列不锈钢且长度不宜超过 15 m。密封膜片的最低材质应为 316LSS。

第 6.3.8 条正文: 所选择的填充液应符合 6.2.4 条 f) 项的规定, 膜片密封差压变送器两端的毛细管应具有同样的长度, 还应考虑下列因素: a) 工艺极限温度; b) 填充液的温度范围; c) 环境极限温度; d) 毛细管的长度和内径对响应时间的影响。

现行 HG/T20507—2014《自动化仪表选型设计规范》也有上述类似条款, 不再赘述。

由上述两本现行规范相关内容可见,规范要求的条款与本文上述章节分析及阐述的内容要点是一致的。

工程常见应用

如图3所示容器上、下法兰口连接规格DN50/PN50/RF,法兰距为2 000 mm。介质为减二线油,温度120℃,操作压力1.4 MPa(G),极端环境低温-17℃。

根据以上条件,可选用双法兰差压液位变送器,选用平膜片,膜片材质选用316SS,填充液选用DC200,连接规格DN50/PN50/RF,配带双等边毛细管,如图3左侧所示,毛细管长度选用可根据容器现场可安装条件选择,通常尽可能短。通常考虑变送器低于下法兰口安装,毛细管内径一般根据供货商推荐选用。

安装时,两条毛细管应捆扎在一起并固定,必要时采用电伴热带对毛细管进行恒温伴热并做绝热处理。如国内东北地区,夏季与冬季极端环境温度差可达60~70℃,出于填充液的工作温度需求,以及减小环境温度造成的附加误差,均应考虑采取伴热和绝热措施。

也可选用单边毛细管配置,

如图3右侧所示,此配置建议与供货商进一步取得技术确认。特别是对于现场环境温度变化范围大的场合,应充分考虑因单侧毛细管内填充液热胀冷缩而带来的测量误差。

若工况特殊,如加氢工艺的热高分罐,介质为热高分油,高温高压临氢,则膜片选用316LSS镀金,填充液选用高温硅油。高温临氢工况,实际工程中可以选择设计温度 $\geq 230^{\circ}\text{C}$ 作为选择镀金膜片的临界温度。

对于易结晶和黏稠度高的介质,可以选用插入式膜片形式,但选用插入式膜片的缺点是无法安装取压口的工艺手阀,当膜片破损或仪表故障时,无法在线拆除维护。

对于高真空工况,应选用真空适用型仪表,此类仪表的密封膜片及填充液在真空条件下充装,且组件还可以采用全焊接结构,同时应注意选用的填充液种类要避免工况条件下气化。

以下是在真空条件下常见保护密封系统的几种方式:

- 1) 使用高温填充液。
- 2) 对于41.4 kPa(A)以下的真空,使用100%全焊接结构。
- 3) 使用真空脱气油。

因为随着压力接近全真空,若仪表产品质量不合格,填充液一般都含有微量截留的空气和气体,当接近绝对零压力时,这些气体往往会显著膨胀造成测量误

差,甚至是膜片破损。

笔者遇见项目中选用非真空适用型的双法兰差压液位变送器用于接近绝对真空的场合,在试开工时膜片就破损漏油的现象,后期选用真空适用型仪表后,运行3年使用良好。

对于一些长型塔器、大罐存储罐,可能需要测量大量程的液位,通常需要10~15 m甚至更大的量程需求。这种情况下,不宜选用双法兰差压液位变送器,因为毛细管长度过长,通过上述的分析可知附加的测量误差会非常大,响应时间也会增大。

总结

双法兰差压液位变送器由于工作原理简单且维护量小,互换使用程度高且经济性好等优点而使用广泛,但其测量技术指标受多方面影响,包括膜片材质、规格、厚度,填充液种类,毛细管长度和内径等影响,选用时应综合考虑各种因素。

但不可忽视的是工程中的设计密度与工况密度还是有差别的,而且可能是不定期变化的。比如一种物料设计密度 $1\,000\text{ kg/m}^3$,正常液位高度1 m,则此时测得差压值 $\Delta p=10\text{ kPa}$,而当由于某种原因物料实际工况密度为 $1\,050\text{ kg/m}^3$,正常液位高度1 m,则此时测得差压值 $\Delta p=10.5\text{ kPa}$ 。

若使用时仍以密度为 $1\,000\text{ kg/m}^3$ 计算,则显示液位高度为1.05 m,与实际液位高度相差0.05 m,因此对于一些液/界位控制要求不高的场合,使用双法兰差压液位变送器测量液/界位的各种附加误差,在一定范围内其实是可以接受的。●



图3 双法兰差压液位变送器测量液位示意图