

一种投入式液位变送器测漏系统设计

冷飞国

上海立格仪表有限公司 上海 201109

摘要: 本论文详细介绍投入式液位变送器的结构特点与测试关键要点, 深入阐述测漏系统的工作原理、配套夹具设计要点, 并对装配工艺、密封方式以及系统自检漏等环节展开探究。旨在避免因设计缺陷导致产品检测误判, 同时为国内流程工业变送器产品的设计与制造工艺完善提供参考依据。

关键词: 液位变送器; 漏率; 差压变送器; 卡套接头; 卡套三通; 精密球阀引言

在投入式液位变送器的制造生产过程中, 受工艺水平与材料特性的影响, 产品存在泄漏风险。为防止产品因泄漏在使用过程中失效, 生产厂家通常会对产品进行测漏。当前, 常见的测漏方法与仪器众多, 氦质谱检漏法和水压检漏法应用较为广泛。然而, 氦质谱检漏系统价格高昂、系统复杂、工序繁琐, 且依赖专用氦气源; 水压检漏法虽成本较低, 但可操作性欠佳, 不适用于产品的批量测试。本文提出一种全新设计方案, 选用廉价易获取的压缩空气作为测试介质, 不仅降低了使用与维护成本, 而且系统结构简单、操作便捷, 一次可实现多个产品同时测漏, 有效提升了产品生产效率和。

1 设计方案概述

液位变送器测漏系统自身的内漏问题, 会严重影响产品泄漏率检测的准确性, 甚至导致对产品漏率的误判。为减少系统内漏带来的误差, 在系统集成过程中, 所选用零部件的精度必须严格符合设计要求。优先选择正规且具备行业资质厂家生产的零部件, 这样既能缩短设计周期, 又能提高调试组装效率。

该测漏系统主要由测漏系统与测试夹具两部分构成。测漏系统以工厂常用的压缩空气为介质, 通过手动操作, 将气体流路分隔为两个独立的密封腔体, 借助差压变送器对两腔体内压力差的监测, 来判定单位时间内的泄漏量。测试夹具采用 O 型密封圈圆柱静密封方式, 将液位变送器的检测部分密封在测漏系统的一个独立密封腔体内, 以五组产品为一个工位进行测试, 大幅提升了测试效率。在设计测试夹具时, 需综合考虑产品压紧力方案, 确保测试过程中产品不会因气压作用而移位; 同时, 密封方式要在保证可靠性的前提下, 兼顾产品装夹与取放的便捷性。

作者简介: 冷飞国(1981-), 男, 中级工程师, 一级注册计量师。主要从事压力变送器结构设计、工艺开发、产品应用等工作。

2 系统的实施情况

该液位变送器测漏系统已应用于工厂液位变送器生产的过程检查与出货检查环节。在生产过程中, 能够及时发现因泄漏导致的产品不良问题, 并第一时间进行处理, 有效缩短了维修时间。同时, 提升了产品的可靠性与企业的产品质量, 为企业带来了显著的经济效益。

通过该系统的应用, 成功解决了液位变送器生产与组装过程中无法有效测漏的难题, 将质量问题控制在企业内部, 确保出厂产品均为优质产品。此外, 减少了因产品在客户现场使用时出现泄漏故障而引发的返修事件, 极大地提升了客户对企业产品质量的认知度与可信度。

3 液位变送器相关分析

液位变送器作为专门用于测量介质体积、液高、重量的传感器, 是在压力变送器基础上发展而来。由于不同密度的液体在不同高度产生的压力呈线性关系, 通过特定公式换算, 即可实现对介质各项参数的测量与传送。

为确保液位变送器安全可靠运行, 必须防止介质进入信号转接传送部分。在实际生产中, 零件加工误差、密封圈装配损坏、零件材质缺陷等因素, 都可能导致密封失效。通过对液位变送器结构分析可知, 测试要点主要集中在两个部位: 一是压力传感器与基座的连接部分, 该部位通过一套 O 型密封圈进行密封, 若 O 型密封圈损坏或基座公差不符合设计要求, 极易导致密封失效引发泄漏; 二是管体与基座的连接部分, 此部位采用一套 O 型密封圈与表面焊接双重密封方式, 但同样存在 O 型密封圈损坏、加工公差超标、焊接缺陷等问题, 这些都可能造成密封失效。因此, 压力传感器与基座连接位置、管体与基座连接位置的泄漏检测, 直接关系到产品的整体质量。

4 测漏系统原理

4.1 测漏系统原理

测漏系统基于高精差压变送器进行设计, 将测试

件与标准腔分别连接至差压变送器的高低压两端。首先对两端同时加压,并保持一段时间使压力平衡,随后利用阀门将其分隔为两个独立腔体,通过检测两腔体内的压力差,精准判断工件是否存在泄漏。

本系统采用的差压变送器为单晶硅压阻式,当被测压力 P1、P2 分别作用于高低压端隔离膜片时,压力通过硅油传递给测量硅片。在差压作用下,硅片发生形变,使其阻值变化,即可获得差压数值。

在使用压缩空气作为测试介质时,需先对其进行过

滤干燥处理,以降低温度变化和压缩形变对压力测量的影响;同时,要将压力调整至适合液位变送器量程的范围,避免因压力过高损坏产品。进气球阀A、间隔球阀B、放气球阀C均需选用高精度产品,因为球阀自身的泄漏会直接导致整个测漏系统失效。此外,差压变送器应具备显示输出功能,实时显示两腔体内压力变化值,并设置预设报警功能,当差压值达到设定值时,及时发出报警信号^[1]。

4.2 测漏系统结构

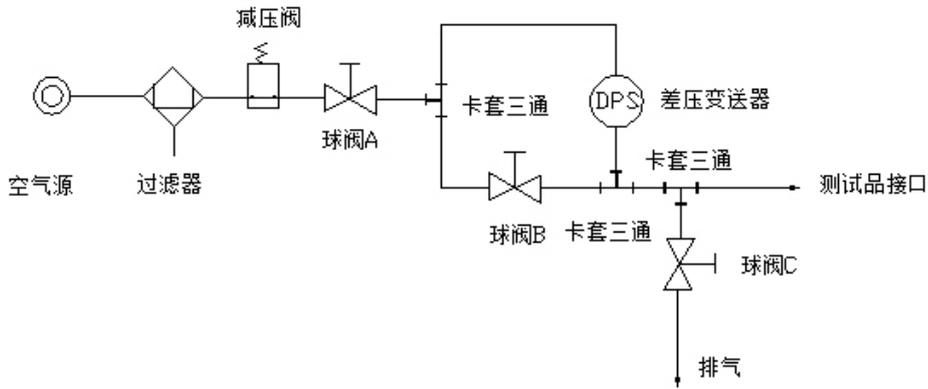


图1

5 测试夹具设计

5.1 夹具受力分析

在机械设计中,需在满足预定功能的基础上,追求性能优良、效率高、成本低,确保设备在使用期限内安全可靠、操作便捷、维修简单且造型美观。

机械夹具在实际运行中,一旦出现故障而不能正常发挥夹持作用,便处于失效状态。其失效原因包含断裂、塑性变形等多种情况,深入分析可归结为强度、刚度等方面的因素,如强度不够易断裂,刚度不足会弹性形变,耐磨性差则过度磨损,稳定性不佳致连接松弛、摩擦打滑,温度变化也会影响性能。

设计液位变送器测试夹具时,由于其为静态连接,主要需考虑夹具的承压能力,重点从强度和刚度方面进行设计。该测试夹具采用五工位操作模式,因此首先要确保五工位顶板的压合力满足要求。经计算,单台液位变送器受力 $F_b = P \times S = 2 \times 10^5 \times 6.155 \times 10^{-4} = 123\text{N}$,五工位顶板压合力 $F_a = 5 \times F_b = 615\text{N}$,即压合板承受的静载荷必须大于 615N。

5.2 密封方式分析

密封方式主要分为静密封和动密封,本测试夹具仅用于液位变送器泄漏检测,不存在往复运动,属于静密

封范畴。静密封又可细分为圆柱静密封和平面静密封,圆柱静密封的泄漏间隙为径向间隙,平面静密封的泄漏间隙为轴向间隙。为便于测试过程中产品的更换,夹具采用圆柱静密封方式,并选用 O 型密封圈作为密封件。

选用 O 型密封圈时,需重点考虑其压缩率和拉伸量,O 型密封圈与密封沟槽尺寸的合理配合,对形成恰当的压缩率和拉伸量至关重要,这直接影响密封性能和使用寿命。一般情况下,圆柱静密封的压缩率 W 取值为 10% - 15%,平面静密封取值为 15% - 30%,拉伸量取值范围为 1% - 5%。压缩率 W 计算公式为 $W = (d_0 - h) / d_0 \times 100\%$ (其中 d_0 为 O 型圈自由状态下的截面直径, h 为 O 型圈槽底与被密封表面的距离,即压缩后的截面高度);拉伸量 a 计算公式为 $a = (d + d_0) / (d_1 + d_0)$ (其中 d 为轴径, d_1 为 O 形圈内径)^[2]。

5.3 加工精度分析

采用 O 型密封圈的间隙密封方式,对轴孔与密封槽的加工精度要求极高。主要从以下三个方面进行分析:

1)尺寸公差:轴孔与轴采用间隙配合,若尺寸过小,轴无法顺利装入轴孔;若尺寸过大,间隙不合理,在压力作用下易导致密封挤压失效。密封槽与 O 型密封圈的配合尺寸同样关键,尺寸过大,O 型密封圈无法发挥密

封作用；尺寸过小，会造成 O 型密封圈过度挤压，导致损坏或装配困难。

2)形位公差：在机械装配中，形位公差的重要性不容忽视。就轴孔与密封槽而言，若其同心度公差未能达到规定标准，将会引发一系列问题。此时，O 型密封圈在安装后无法被均匀挤压，进而出现局部密封失效的状况，更存在潜在的泄漏风险，这会对整个设备的正常运行和安全性产生不利影响。

3)粗糙度精度：在机械加工进程中，轴孔与密封槽表面的加工质量对密封效果影响显著。具体而言，其走刀痕越小，意味着表面越平整光滑，粗糙度精度等级随之越高。如此一来，O 型密封圈在与该表面挤压接触时，能够实现更为紧密的贴合，从而极大地提升了密封性能的可靠性，有效保障了设备的正常运行与密封稳定性。

6 系统相关工艺与应用

6.1 装配工艺的实现

液位变送器测漏系统由测漏系统和测试夹具两部分组成，通过阀门控制气路实现产品泄漏检测。因此，测漏系统与测试夹具各连接部位的装配必须确保可靠无泄漏。本系统气路采用卡套连接方式，能够有效保证管路连接的密封性；选用进口精密球阀，其高泄漏等级可确保单位时间内无外漏和内漏现象；夹具密封筒连接部分采用氩弧焊接工艺，从根源上杜绝泄漏可能，确认后在进行下一步操作。

6.2 系统自检漏

测漏系统安装完成后，需进行自检漏操作，目的是检测系统自身存在的误差。系统误差产生的原因主要有以下四个方面：

1)显示仪表误差：在工业生产及各类检测场景中，显示仪表的精准度至关重要。然而，当显示仪表零点不准确时，便会给测量结果带来偏差。同时，现场复杂的环境因素如光线的明暗变化、温度的高低起伏、磁场的强弱干扰等，都会对显示仪表造成影响，进而不可避免地产生测量误差，影响数据的真实性与可靠性。

2)系统管路微漏误差：由于材质内部结构、连接接头松紧程度、焊缝焊接质量等因素，系统管路可能存在微小泄漏，这些微漏累积起来会导致测量误差。

3)环境温度影响误差：密封腔体两侧环境温度不一致，会使腔内压力产生差异，从而造成测量误差。

4)间隔球阀制造公差误差：在间隔球阀的相关应用

中，其制造公差若存在不一致的情况，将会引发一系列问题。当球阀关闭时，由于左右两侧密封腔所受球阀阀芯的作用不尽相同，这种差异就会导致两侧压力出现不一致的现象。而压力的不均衡状态，不可避免地会给整个系统的运行带来误差，影响间隔球阀的工作性能与可靠性。

通过系统自检漏，能够准确掌握系统自身误差，并进行清零处理，避免因系统误差导致产品检漏误判。

6.3 测漏系统应用

该测漏系统应用于液位变送器生产过程，主要用于检测液位变送器传感器连接部分和管体焊接连接部分的泄漏情况。能够快速、准确地测量出五组液位变送器单位时间内的泄漏总量，满足批量生产的检测需求。在生产过程检查和出货检查环节的应用，使企业能够及时发现泄漏导致的产品不良问题，迅速处理，缩短维修时间，提升产品可靠性与质量，为企业创造显著经济效益。同时，有效解决了以往液位变送器生产组装过程中无法测漏的难题，将质量问题控制在企业内部，减少客户现场产品泄漏返修事件，极大提升了客户对企业产品质量的认可度和信任度^[1]。

结论

本研究基于实际生产需求，综合运用所学知识，对投入式液位变送器测漏系统进行了全面设计与深入分析。详细阐述了测漏系统原理、结构、装配工艺，以及测试夹具的受力分析、密封方式、加工精度和结构装配等内容。通过该测漏系统的设计与应用，成功解决了企业生产中液位变送器检漏难题，充分体现了产品测漏对保障产品质量可靠性的重要意义，同时有效避免了因测漏环节导致的生产效率降低问题。此外，该系统无需采购昂贵的检漏仪器，为企业节省了成本，创造了良好的经济效益。随着工业自动化水平的不断提高以及对产品质量要求的日益严格，液位变送器测漏技术仍有较大的发展空间。作为机械设计领域的从业者，应持续学习先进理论知识，并积极应用于实践，不断推动机械产品设计向更合理、更实用的方向发展。

参考文献：

- [1] 王宇奇 张剑伟 易绍祥. 基于PLC控制的变送器自动测漏系统的研究 [J].
- [2] 周策 张剑伟 易绍祥.CLY-1型多参数智能测漏系统的研发 [J].
- [3] 朱千锋.基于单片机的测漏仪器的探究[J].