

DOI: 10.3969/j.issn.1001-4551.2013.10.008

差压式液位变送器在秦山三厂核岛系统中的应用

李世红, 王 伟

(中核核电运行管理有限公司三厂, 浙江 海盐 314300)

摘要: 针对秦山三厂核岛系统中差压式液位变送器在测量过程中出现的常见故障的问题, 首先研究了差压式液位变送器的测量原理, 并对如何进行差压式液位变送器的迁移进行了分析, 对照秦山三厂核岛系统差压式液位变送器测量过程中出现显示信号不正常的现象, 对这些故障现象根据具体情况进行了分析研究, 找出了造成这些故障现象的原因, 根据不同的故障现象制定出了相应的解决方案。研究表明, 这些解决方案的实施使秦山三厂核岛系统中差压式液位变送器在实际运行过程中经常出现的常见故障得到了彻底的解决, 目前, 秦山三厂核岛系统中差压式液位变送器测量信号稳定, 为核电站的安全稳定运行提供了有力保障。

关键词: 差压液位变送器; 核电厂; 核岛; 故障处理

中图分类号: TH86; TM623

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2013)10-1203-04

Application of differential pressure liquid transmitters in qinshan third plant nuclear island systems

LI Shi-hong, WANG Wei

(CNNC Nuclear Power Operations Management Third Plant, Haiyan 314300, China)

Abstract: Aiming at the usual trouble in the measurement about the differential pressure level transmitter of Qinshan third plant nuclear island system, the measure principle of differential pressure level transmitter was introduced first, and how to transfer liquid transmitter was analyzed. Then, contraposing the display signal abnormality of the differential pressure level transmitter of Qinshan third plant nuclear island system, the different usual trouble was investigated, the reason and proper solutions of different usual trouble was discovered. The results indicate that the usual trouble about the differential pressure level transmitter of Qinshan third plant nuclear island system is disappear when the proper solutions is executed. Now the display signal about the differential pressure level transmitter of Qinshan third plant nuclear island system is steady. The stable working of differential pressure level transmitter provides effective protection to safe operating of nuclear power plants.

Key words: differential pressure level transmitter; nuclear power plant; nuclear island; trouble disposal

0 引 言

秦山三厂重水堆核电站采用加拿大坎杜6重水堆核电技术, 电站自运营以来产生了良好的经济效益、环境效益和社会效益。核电站是一个庞大的系统, 为了保证反应堆能够安全、稳定地运行, 需要保证各个系统都按照设定的要求工作, 这就要通过各种探测器来收集各种信号, 把这些信号送到主控室进行控制, ROSEMOUNT1152, 1153系列的非智能核级差压变送

器就是秦山三厂核岛系统中应用最广泛、最重要的信号探测器之一。

差压液位变送器由于其性能稳定、精度高、性能价格比高等特点, 故在秦山三厂核岛各系统需要检测液位场合中, 使用非常广泛。目前差压液位变送器工艺成熟、技术先进, 并由原来的非智能性现已逐渐向智能型发展, 但目前考虑到核岛系统特有的抗辐射性、抗振性等要求, 智能型核级变送器还没有在核岛系统广泛使用。

收稿日期: 2013-06-03

作者简介: 李世红(1978-), 男, 山东菏泽人, 主要从事仪控检修方面的研究。E-mail: lishih@cnnp.com.cn

一个核电厂变送器测量信号的失效可导致边界阀门的开关失效从而会给核电厂带来严重的安全事故和经济损失。为保证电厂的安全停堆,在紧急情况下一些电动阀门必须开启,另一些必须关闭来保证系统隔断或防止放射性物质外泄,因此首先要保证变送器测量信号的准确性进而保证这些阀门的可用性^[1]。

本研究通过对秦山三厂核岛系统差压液位变送器测量易出现的故障进行分析并给出解决方案,从而保证变送器测量信号的准确性,进而为核反应堆和核电厂安全经济稳定运行提供有力保障。

1 差压式液位变送器的工作原理

压差检测中通常是采用弹性式压差仪表,要对压力和压差信号进行远距离传递的最好、最有效的方法是采用电变送的方法,电变送方法就是通过电气位移变换器将压力和压差产生的弹性元件的机械位移量转换成某种电气量,然后加以传送,秦山三厂采用的电容式压差变送器。

电容式压差变送器由感测部分和测量电路两部分组成,电容器的电容量由其两个极板的大小、形状、相对位置以及极板之间的电介质的介电系数所决定。若一个极板固定不动,而另一个极板随压差而变化其位置,电容器的电容量随着压差的变化而变化,通过测量电路将电容量的变化转换成电流或电压输出信号,送至有关单元实现显示和控制^[2]。

为了提高电容式压差传感器的灵敏度和改善其输出特性,实际采用的常是差动的形式,也就是将可动极板放置于两块固定极之间,当压差变化时,一个电容的电量增大而另一个电容的电容量则减小,因此其灵敏度可提高一倍而非线性又可大大降低。

电容式压差变送器的测量电路如图 1 所示,变送器的输出可以转换成电压、电流或频率等信号,然后放大。图 1(a)的交流电桥法是将两个电容器接于交流电桥的两个相邻臂上,交流电桥的输出经放大与相敏检波后进行测量^[3]。图 1(b)的双 T 网络法压差引起的电容变化转换成电压变化输出。在交流电源正半周时,通过二极管 D_1 对电容器 C_1 进行充电,在负半周时,电容器 C_1 经电阻 R_1 与 R_3 进行对地放电;而电容器 C_2 则在电源的负半周充电、正半周对 R_3 与 R_2 反向放电。因此 R_3 上两端的电压输出是由 C_1 与 C_2 的平均放电电流之差所决定的。当压差为零时, C_1 、 D_1 、 R_1 与 C_2 、 D_2 、 R_2 的参数相同,则通过 R_3 的平均放电电流之差为零。当压差不等于零时,差动电容 C_1 与 C_2 一个增大一个减小,使两者的平均放电电流不相等,因此 R_3 两端的电压输出也就有了相应的变化。

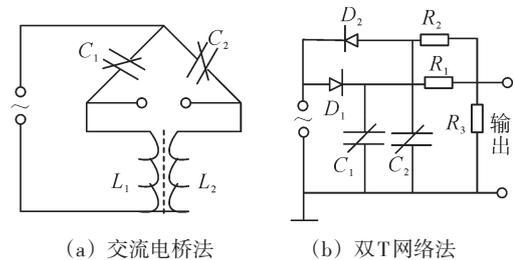


图 1 电容测量电路

2 差压式液位变送器的零点迁移

秦山三厂的核岛系统的差压式液位变送器由于安装位置、测量方式等不同,需要对变送器的零点进行迁移。变送器几种零点迁移的示意图如图 2 所示^[4]。

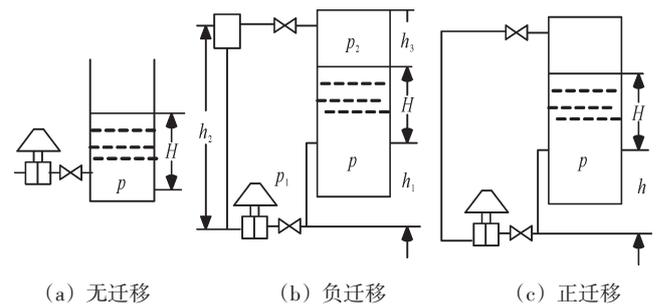


图 2 差压变送器检测液位原理图

2.1 变送器的无迁移

当差压式液位变送器安装在敞口容器上测量液位时,正压侧与容器低部(液位基准面)取压点在同一水平高度时;或差压式液位变送器的负压侧采用“干腿”系统,同时正压侧与容器低部(液位基准面)取压点在同一水平高度时,变送器的零点一般不需迁移^[5]。变送器得到的差压就是 $P = \rho g H$, 差压式液位变送器的标定范围为 $0 \sim \rho g H_{\max}$ (单位为 kPa)。变送器的差压与液位高度成正比关系,液位为零时变送器的压差也为零。液位达到满量程时,变送器的压差也达到满量程。

2.2 变送器的正迁移

秦山三厂的核岛系统的液位变送器较多的安装在容器最小液位面的下部几米处。当变送器的负压侧采用“干腿”系统或直接对空时,需要对差压式液位变送器的零点进行正迁移。此时作用在变送器的压差为:

$$\Delta P = \rho_1 h_1 g + \rho g H \quad (1)$$

式中: h_1 —变送器正侧至最小液位面的距离; H —被测容器液体高度; ρ , ρ_1 —被测液体的密度、取压管线里液体的密度。

当 $H=0$ 时, $\Delta P = \rho_1 h_1 g > 0$, 对于无迁移的变送器,此时输出为高于下限值 4 mA; 当容器液位达到满量程即 H 为上限时,变送器的输出高于 20 mA。为了维持变送器在 H 为 0 时输出 4 mA, H 为上限时仪表输出 20 mA, 需要同时

增大变送器出入的上、下限。下限为 $\rho_1 h_1 g$ (单位为 kPa), 上限 $(\rho_1 h_1 g + \rho g H_{\max})$ (单位为 kPa), 变送器的标定范围为 $[\rho_1 h_1 g - (\rho_1 h_1 g + \rho g H_{\max})]$ (单位为 kPa)。

2.3 变送器的负迁移

秦山三厂的核岛系统的液位变送器较多的采用“湿腿”系统测量液位, 正压侧取压管接至容器的最小液位面处, 负压侧取压管接至容器的顶部并冲满液体, 变送器安装在设备最小液位面的下部几米处, 这样的安装和测量方式需要对差压式液位变送器的零点进行负迁移。此时正负压侧的压力分别为^[6]:

$$\begin{cases} P_{\text{正}} = \rho_1 h_1 g + \rho g H + P_g + \rho_2 h_3 g \\ P_{\text{负}} = \rho_1 h_2 g + P_g \end{cases} \quad (2)$$

变送器的压差为:

$$\Delta P = P_{\text{正}} - P_{\text{负}} = \rho_2 h_3 g + \rho g H - \rho_1 g (h_2 - h_1) \quad (3)$$

式中: ρ , ρ_1 , ρ_2 —被测液体的密度、取压管线里液体的密度和容器顶部气(汽)相的密度; h_1 , h_2 —变送器正负压侧到容器的最小液位面处和容器顶部的高度; H , h_3 —容器液体高度和容器顶部气(汽)相的高度, P_g —容器中气相(汽相)的压力。

从变送器计算公式可看出, 当 $H=0$ 时 $\Delta P = \rho_2 g (h_3 + H_{\max}) - \rho_1 g (h_2 - h_1)$, 由于 ρ_2 远小于 ρ_1 , $h_2 > h_1$, 所以 $\Delta P < 0$, 对于无迁移变送器的输出低于其下限值 4 mA, 而且在实际工作中, 往往 $\rho_1 > \rho$, h_3 一般也不为零, 所以即使 H 为上限值, 变送器的输出仍会低于其下限值 4 mA, 这样变送器就无法正常工作。因此要在变送器上调整迁移量, 即在维持原来量程不变的条件下, 同时减少变送器的输入的上、下限, 使变送器的输出与液位成比例关系^[7]。

下限为: $[\rho_2 g (h_3 + H_{\max}) - \rho_1 g (h_2 - h_1)]$ (单位为 kPa);

上限为: $[\rho g H_{\max} + \rho_3 h_3 g - \rho_1 g (h_2 - h_1)]$ (单位为 kPa);

变送器的标定范围为: $[\rho_2 g (h_3 + H_{\max}) - \rho_1 g (h_2 - h_1)] -$

$[\rho g H_{\max} + \rho_3 h_3 g - \rho_1 g (h_2 - h_1)]$ (单位为 kPa)。

3 秦山三厂差压式液位变送器的常见故障分析和处理方法

差压式液位变送器的故障种类很多, 秦山三厂的核岛系统中差压式变送器均采用 ROSEMOUNT1152, 1153 型变送器性能比较稳定, 很少出现变送器本身故障现象, 主要是取压管线产生的问题较多, 这里主要介绍秦山三厂的核岛系统中的液位变送器测量中常见故障和解决方法。

3.1 液位变送器指示偏高

秦山三厂核岛的液位变送器指示偏高问题主要出现在采用湿腿方式测量的液位变送器上, 由于变送

器的负压侧取压管安装在被测容器的顶部, 并且取压管充满液体, 而一般情况下容器的实际液位均与容器顶部有一定的距离, 顶部为气(汽)体。在刚完成变送器反冲水时, 变送器的负压侧充满液体, 负压侧产生的静压为设计压力, 液位变送器测量准确。但由于运行工况的变化(如容器压力突然下降, 甚至产生负压)导致负压侧取样管内的液体少量被吸走或由于取压口附近环境温度的升高导致负压侧取样管内的液体少量蒸发等原因, 导致负压侧产生的静压低于设计压力, 使液位变送器的差压升高导致指示偏高。出现这类问题后, 首先要对负压侧进行反冲水, 保证变送器的负压侧满水^[8]。再采用在液位变送器的负压侧取压管引一根补水管, 通过维持微小的负压侧补水流量保证液位变送器的负压侧不跑水来彻底解决该问题。

3.2 液位变送器指示偏低或稳定缓慢

该现象主要出现在液位变送器采用“干腿”方式测量, 变送器的负压侧取压管安装在被测容器的顶部且为气体。在机组长时间运行后, 由于个别液位变送器的负压侧取压管气相湿度较高, 使液位变送器的负压侧有小量的凝结水, 导致负压侧的压力升高, 使变送器的压差减少, 液位指示偏低^[9]。个别变送器的低压侧取压管线布置不合理, 管线在布置过程中产生 U 型管段, 当变送器的低压侧的取压管线有凝结水时, 容易在 U 型管段产生水封, 导致变送器的低压侧不能及时地反映被测设备气相压力, 使液位变送器反映缓慢或指示失效。通过打开变送器的低压侧的疏水阀对低压侧进行疏水来恢复变送器的正常指示, 当液位变送器的低压侧的取压管线有 U 型管段产生水封时, 通过对其取压管线反冲气并修改其管线的布置位置^[10]消除 U 型管段就可以使差压式液位变送器指示正常。

3.3 差压式液位变送器指示波动较大

差压式液位变送的标定量程一般比较小, 从几个千帕到十几个千帕, 一般不超过一百千帕, 液位变送器的取压管线冲满液体。但由于变送器需要定期拆下标定, 在完成变送器的标定回装时, 稍有疏忽导致变送器的取压管或变送器的腔室内有少量气泡, 由于气体的压缩性强、稳定性差, 容易造成液位变送器指示波动较大。一般在出现液位变送器指示波动较大问题后, 关闭变送器的取压隔离阀或拆下变送器先确认变送器本身是否存在波动。如变送器本身没有波动现象, 则对变送器的腔室和取压管线进行反冲水^[11] (由于 CANDU-6 型核电站的特点, 不能直接放水, 同时放水容易造成取压管线堵塞), 保证变送器的腔室和取压管线的水没有气泡就可以消除缺陷。

(下转第 1276 页)

示,当 I/O1 输出方波脉冲的宽度(半个周期)为 $35 \mu\text{s}$, 大于采样窗口宽度, I/O3 输出波形与 I/O1 一致,证明已将输入信号认作有效输入。由于理论上 I/O3 输出较 I/O1 有 $29.1 \mu\text{s}$ 的延时,已接近脉冲宽度,故 I/O3 与 I/O1 输出近似为反相。

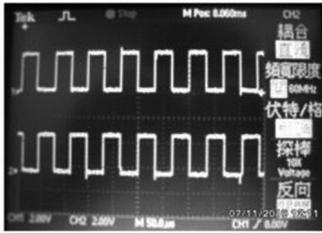


图5 信号脉宽高于采样窗宽时噪声抑制图(每栅格宽度为 $50 \mu\text{s}$)

3.3 双核飞控计算机性能验证

本研究使用 PC 机作为上位机,通过 RS-232 接口建立起上位机与双核飞控机原理样机的通信连接。由上位机发送指令,对原理样机的 I/O、A/D、D/A、COM 通道的接口资源进行包括启动、关断、修改工作模式等控制,原理样机运行相关程序支持上位机的控制操作。测试结果表明:同时启动 10 路离散量通道、8 路 PWM 通道、8 路 A/D 转换通道、8 路 D/A 转换通道和 4 通道串口,在 6 次每 2 h 的运行过程中,界面回显数据表明各通道符合设置的工作模式要求,各串口也无丢码或错码,双核飞控计算机性能稳定可靠。

4 结束语

本研究着重从飞控计算机处理器架构、电路简化、接口优化、失控自恢复、噪声抑制与接地等方面引入了富有特色的可靠性设计理念,整个系统的抗干扰设计

方案完整,工程实用价值进一步提高;相关的抗干扰设计理念在其他嵌入式系统中同样可以推广使用。

同时,本研究通过模拟程序跑飞、电源电压过压欠压、输入引脚高频等干扰信号验证了对应设计措施的有效性。进一步又通过硬件平台整体性能的长时间拷机测试,验证了平台整体的可靠性。随着后续飞控计算机投入工程应用,还需按国军标中有关电磁兼容性试验要求,进行数项电干扰、磁干扰的抗干扰能力测试。

参考文献(References):

- [1] 何 斌. 电子战无人机电磁兼容性设计[J]. 电子信息对抗技术, 2007, 22(1): 45-48.
- [2] 何 宏, 王云亮, 张志宏. 电磁兼容与印制电路板[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- [3] 郭 彪, 肖 军, 郑志伟. 影响靶机的电磁干扰及抑制方法研究[J]. 电子测量技术, 2010, 33(2): 32-34.
- [4] 张晓云, 陈 岳, 张 翼. 强电设备数字化改造中的抗干扰设计[J]. 机电工程技术, 2011, 40(8): 174-177.
- [5] 黄大庆, 李 勃. 无人机电磁兼容传导与辐射测试项目剪裁法[J]. 光学精密工程, 2009, 2(1): 380-387.
- [6] 杨柳庆, 肖前贵, 刘久富. 无人机飞控软件抗干扰设计[J]. 微计算机信息, 2008, 24(2): 52-54.
- [7] Texas Instrument Corporation. TMS320F28335 Digital Signal Controllers Data Manual [M]. Texas Instruments Corporation, 2007.
- [8] 高 振. 基于双 DSC 的无人机飞控计算机核心系统的设计与实现[D]. 南京: 南京航空航天大学自动化学院, 2011.
- [9] 罗秋风, 蒋孟浩, 王海涛. 飞行控制计算机采集处理系统的设计与实现[J]. 测控技术, 2010, 29(8): 30-34.
- [10] Cypress Semiconductor Corporation. Ultra37000 CPLD Data Manual [M]. Cypress Semiconductor Corporation, 2004.

[编辑: 李 辉]

(上接第 1205 页)

4 结束语

差压式液位变送器被广泛应用于秦山三厂核岛系统中,经过多年的运行表明差压式液位测量变送器测量方式具有结构简单、安装方便、便于操作维护、工作可靠、对被测容器破坏少等特点,有效地保证了测量信号的稳定性、准确性,在秦山三厂从没有因变送器信号失效而发生安全事故,为核电站安全稳定运行提供了有力的保障。

参考文献(References):

- [1] 向婉成. 控制仪表与装置[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [2] 叶江祺. 热工测量和控制仪表的安装[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992.

- [3] 沈英林. 热工仪表与自动控制技术问答[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [4] 张永德. 过程控制仪表及装置[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [5] 李自平. CANDU6 型反应堆情况简介[K]. 国家核安全局, 1997.
- [6] 上海核工程研究设计院. 秦山三期重水堆核电站工程初步设计(第三卷核岛各系统)[R]. 上海核工程研究设计院, 1997.
- [7] 秦山第三核电有限公司. 秦山三期重水堆核电站 CANDU6 工程手册[K]. 秦山第三核电有限公司, 1994.
- [8] 钱 明. 智能电动执行器[J]. 自动化仪表, 1993(3): 23-25.
- [9] 周春晖. 过程控制工程手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1994.
- [10] 陆德民. 石油化工自动控制设计手册[M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 1984.
- [11] 朱继洲. CANDU 堆核电厂核岛系统及其运行[M]. 西安: 西安交通大学核电培训中心, 1998.

[编辑: 洪炜娜]