

# 流量测量系统的预防性维护

楚成任 何岩明 中国石油化工股份有限公司齐鲁分公司 (山东淄博 255400)  
纪波峰 纪纲 上海同欣自动化仪表有限公司 (上海 200070)

**摘要：**预防性维护的意义在于将故障或事故消灭在发生之前，减少损失。流量测量仪表的预防性维护大多属比较简单的操作，但也有比较复杂的操作，需要对被维护的仪表及系统有深入的了解，需要有比较扎实的专业基础和比较广阔的知识面，再加上仔细观察和深入的调查研究才能发现病因所在并解决问题。文中讨论了借助智能化流量测量仪表的自诊断信息了解仪表的状况；借助仪表原始数据与中间计算结果进行分析；借助仪表的趋势图对仪表可能存在的问题进行分析；借助 SCADA 系统提供的信息进行分析以及按照维护规程及经验对维护点进行预防性维护的方法，还举了很多实例。

**关键词：**智能流量计 流量测量系统 预防性维护 自诊断 SCADA

Preventive maintenance of flow measurement system

Chu Chengren, He Yanming SINOPEC Qilu branch ( zibo 255400)  
Ji bofeng, Ji gang Shanghai tontion automation instrumentation Co., Ltd (shanghai 200070)

Abstracts: The significance of preventive maintenance is to eliminate failures or accidents before they occur and reduce losses. Preventive maintenance of flow measuring instruments is mostly relatively simple operation, but there are also relatively complicated operations. Need to have an in-depth understanding of the instruments and systems being maintained, and have a solid professional foundation and broader knowledge, only with careful observation and deep investigation and research can we discover the root cause and solve the problem. The article discusses the use of the self-diagnostic information of the intelligent flow measuring instrument to know the status of the instrument, analyze by instrument raw data and intermediate calculation results, analyze the potential problems of the instrument by the trend chart of the instrument, analyze with the information provided by the SCADA system, preventive maintenance methods for facilities in accordance with maintenance regulations and experience, and also have many examples.

Keywords: intelligent flowmeter flow measurement system preventive maintenance  
self-diagnostic SCADA

## 1. 引言

预防性维护和响应式维修具有明显的差异。以汽车为例，车辆半路抛锚或在停车场难以发动，需响应式维修。而按维护规程更换三滤，检测水位以及在轮胎纹路磨平时予以换新等，均属预防性维护。

预防性维护的意义在于将故障或事故消灭在发生之前，或减少故障、事故的发生。减少损失<sup>[1]</sup>。

仪表也有预防性维护。例如仪表维修工每天进行的巡回检查，大多属于预防性维护。其中有检查仪表气源的供气品质及供气压力；检查现场仪表的密封点是否有介质外泄；监听旋转式仪表是否有杂音；仪表示值是否稳定等。预防性维护大多是比较简单的操作，不必多费口舌，但也有一些是难度较高的操作，下面就此类内容进行讨论，以便同行有所收获。

## 2. 借助智能化仪表提供的自诊断信息了解仪表的状况

智能化仪表可以提供很多自诊断信息，通过这些窗口可以窥见仪表的状况。例如

EJA110E 差压变送器能用代码显示 22 条自诊断结果，其中包括膜盒温度超范围，高（低）压侧堵塞等。查阅说明书中代码的含意，就可知道存在的问题。

这些自诊断结果均可在变送器自带的液晶显示屏上显示，也可用手操器远程操作去变送器内读取。但是，各种变送器在现场的分布范围是极其广阔的，数量也是巨大的。要对它们逐一访问读取诊断信息并非不可能，但要消耗可观的精力，更不要说经常访问了。解决这一困难的有效方法是由上位机自动定时访问。例如直接进 DCS 的变送器信号，可在 DCS 中运行设备监管程序，用 HART 通讯的方法将变送器的诊断结果读入并处理、显示等。

绝大多数用于计量的变送器并非与 DCS 相连，而是与相应的流量计算机相连，这时，流量计算机的 HART 通讯功能，可将变送器自诊断结果甚至差压值、静压值、膜盒温度等信息按设计的周期自动读入，然后显示，在状态异常时，经 Modbus 通讯口将状态信息送上位机（通常是 SCADA）保存，处理并发出告警信号。

图 1 所示的典型流量计算机中诊断详情画面，不仅显示流量计算机自诊断详情，如绿色字符所示。也显示从变送器中读得的诊断详情，如黄色字符所示。

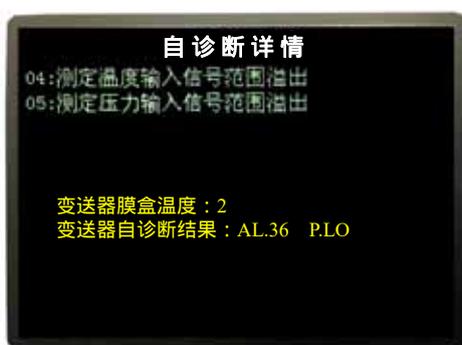


图 1 FC6000 二次表自诊断结果显示

FC6000 型通用流量演算器（彩色高清版）能用中文和符号显示 13 种自诊断结果。这些自诊断结果可在仪表的液晶显示器上显示，也可经数字通讯口上传到数据采集站，在计算机中用中文和符号显示，实现远程诊断。

其中有些诊断具有特殊的意义，例如

FC6000 型流量二次表有冗余功能：用于温度压力补偿的温度压力信号，如果超限，则流量二次表自动取预先设定的数据参与运算，从运算结果看不出有显著的差异，但实际上，误差是增大了。这时从自诊断结果画面可获得信息，及时予以处理。如图 1 所示。

#### 自诊断结果的图形化显示

前面所述的用代码显示自诊断结果和用中文+符号显示自诊断结果，简单而又方便，而且不需要专用的软件，勿需另外增加开支。但是只能显示比较简单的关系，如果关系很复杂，仍用这些方法显示就很困难了，应运而生的是图形化显示。例如在多声道超声流量计中，用图形显示各声道的多项指标，不仅简单明了，而且形象易懂。在图 2~图 4 中，分别显示各声道的平均增益、信号质量和声速比较，存在故障时的图形与正常时的图形，高低立见，从而为故障的判断提供了依据<sup>[2][3][4]</sup>。

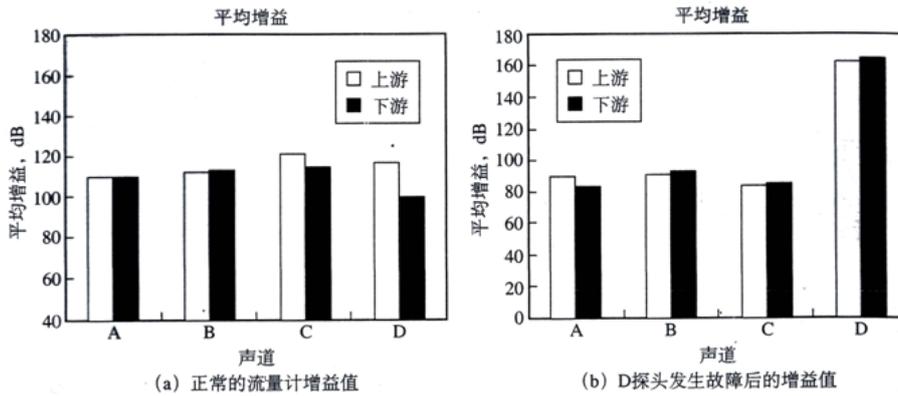


图2 各声道平均增益显示图

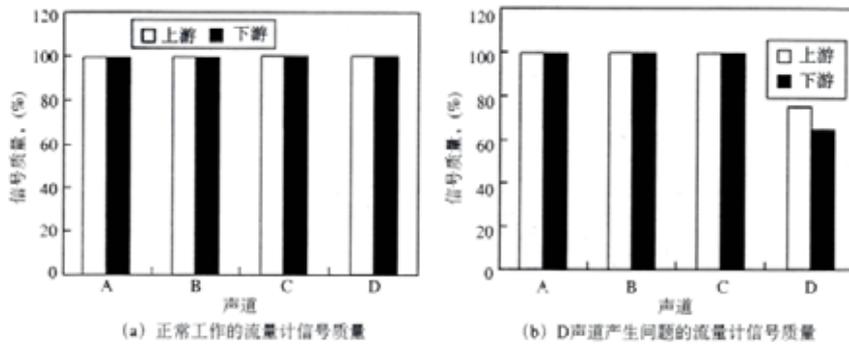
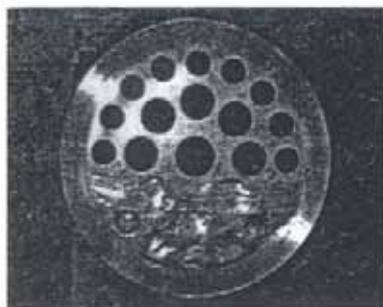
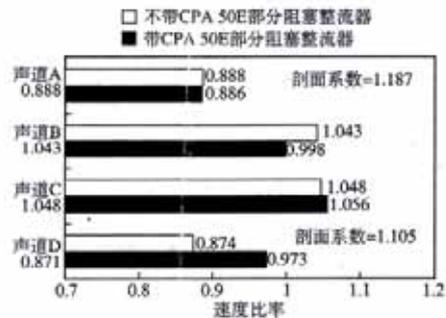


图3 正常和故障状态下信号质量的比较图



(a) 部分阻塞的整流器



(b) 两种情况下的剖面系数比较

图4 整流器部分阻塞后的诊断结果显示图

### 3. 借助仪表原始数据与中间计算结果进行分析

智能化仪表可以设计得透明度相当高,即从原始信号的输入,到各个节点中间计算结果的显示,再到最终计算结果的输出,各个环节都可看得一清二楚,这样既可为调试和维修人员开展工作提供方便,又增强了利益悠关方对仪表的信任感。图5所示为FC6000型流量二次表的一幅原始信号和中间计算结果画面。

流量输入信号	249.8 Hz
温度输入信号	107.82 Ω
压力输入信号	14.672 mA
03未补偿测定流量 $Q_f$	100.48
06补偿系数 $k$ 运算值	3.94097
07补偿系数 $k'$ 运算值	1.00000
补偿系数 $k_a$ 运算值	1.00000
补偿系数 $k_\varepsilon$ 运算值	1.00000
41使用状态气体压缩系数 $Z_f$	1.00000
42设计状态气体压缩系数 $Z_d$	1.00000

图 5 FC6000 中的原始信号和中间计算结果画面例

关于这幅画面的应用，下面举一个实例。有一次上海市金山区有一家化工厂的仪表调试人来电话咨询，说是他正在调试的一台横河公司 DY 型涡街流量计与 FC6000 型二次表配合，测量氮气流量，仪表投入运行后，工艺专业反映说流量示值约低 20%，涡街输入二次表的是频率信号，设定的流量系数也没有错，管道上的压力表显示 0.4MPa，介质温度为室温，于是作者叫对方看一下画面中的“06”条显示的数值，显然温度压力补偿系数严重偏小。作者问了压力输入电流值和压力变送器量程，计算压力应有值，与二次表显示的压力值也相同，于是怀疑是不是压力通道画面中的“压力类型”，错将表压力设定为绝对压力，后来做了检查，果然设置错了，做了纠正后，流量示值陡增 25%左右，从而解决了问题。

#### 4. 借助仪表的趋势图对仪表系统可能存在问题进行分析

例如在双量程差压流量计中，流量切换点附近的曲线基本上应是连续的，因为在这一点，来自低量程差压变送器的信号，应当只有万分几的误差，但是来自高量程差压变送器的信号却可能有较大的误差，但是因为在全量程范围内，流量示值 1%，所以切换处流量示值的跳跃，最大也就是 1.0%左右，这样的数量级在趋势图中，不留心是看不出跳跃的。如图 6 所示。如果能看出跳跃，必然存在问题。

图 6 所示为广东某市特种设备检测研究院安全阀型式试验装置上使用三量程差压流量计，用于蒸汽流量测量，在正式使用前，做了一次“低 中 高”量程切换以及“高 中 低”量程切换试验，从图 6 可看出，曲线非常平滑，根本看不出切换是在哪一点发生的。但是如果处理得不好，量程切换时就会出现明显的阶梯状。

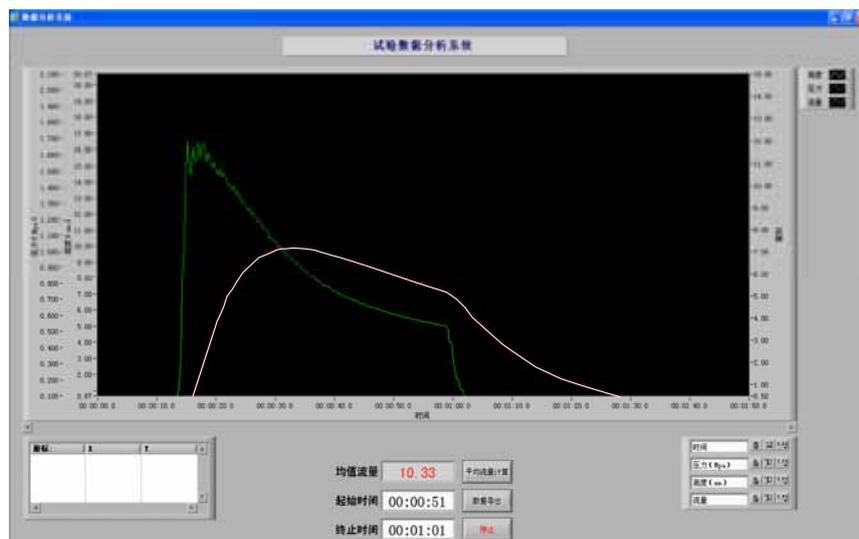


图 6 三量程流量计瞬时流量趋势图

高低量程两台差压变送器，在切换点附近只要有一台误差较大，趋势图在切换点处就会出现明

显的阶梯状。这种图形在流量二次表的趋势图显示中，同样可以看出来。

## 5. 借助 SCADA 系统提供的信息进行分析

SCADA 系统能对一个较大的网络系统内各计量点的数据进行自动采集、存储，并按使用要求进行各项计算以及监控，例如对重要参数进行越限报警，对各项经济指标进行计算，并根据计算结果生成趋势图等，例如在供热网中，管损是最重要的经济指标，对管损统计数据及其趋势图进行分析，往往能收到事半功倍的效果。

### (1) 以管损数据为线索发现涡街流量计漏脉冲

上海的一家药业公司建有全厂蒸汽计量网的 SCADA 系统 2006 年在全厂设备停车大检修之后，从 SCADA 给出的管损统计数据中发现了一个异常情况，即存在百分之十几的负管损，而且来自锅炉房的煤耗数据也出现异常情况，本来 1 吨煤可烧 5 吨汽，可现在连 4 吨都到了，这两条信息都指向蒸汽总表 FIQ303（见图 7），怀疑总表流量示值严重偏低<sup>[5]</sup>。

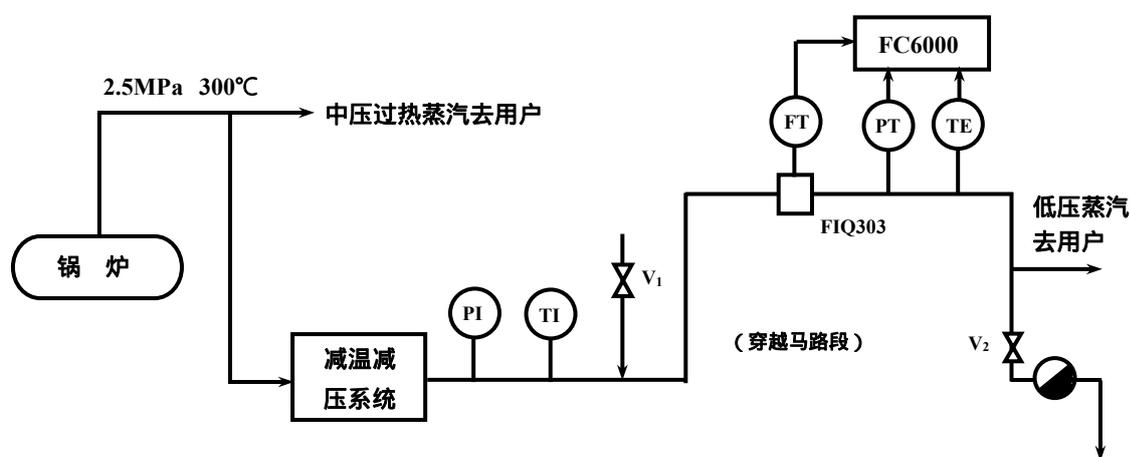


图 7 低压蒸汽流量测量系统图

该工厂的锅炉房除了向全厂供应中压过热蒸汽外，还经减温减压系统向全厂供应 0.4MPa (g) 160 低压过热蒸汽。FIQ303 就是对这路蒸汽进行计量的总表。

于是仪表服务人员对蒸汽总表进行了检查，这是一台 DN400 涡街流量计。先检查了涡街流量传感器的脉冲输出信号，无异常情况，又检查了流量二次表的数据设置，也无差错，只是发现应当指示 160 左右的蒸汽温度严重偏低，并已与汽液相平衡温度相等，于是怀疑蒸汽带水严重，使涡街流量计出现漏脉冲现象，随之打开图 7 中的疏水器前切断阀 V2，结果疏水二十分钟才将大管道中的积水排尽。这时再观察流量读数，升高到正常值。处理结论是蒸汽严重带水，引起涡街流量计漏脉冲<sup>[5][6]</sup>。

### (2) 以流量趋势图为工具查找引发严重管损的根源

在 SCADA 系统中，管损不仅用报表的形式显示，而且用趋势图的形式显示，其中趋势图显示不仅包含有管损的数字，而且包含管损发生的确切时间，从而有利于寻根究底。

这是发生在江苏常州某热电厂的实例。

该公司热网建有 SCADA 系统，其管理人员告知，从 2013 年 4 月 2 日起，发生管损陡增的现象，如图 8 所示。

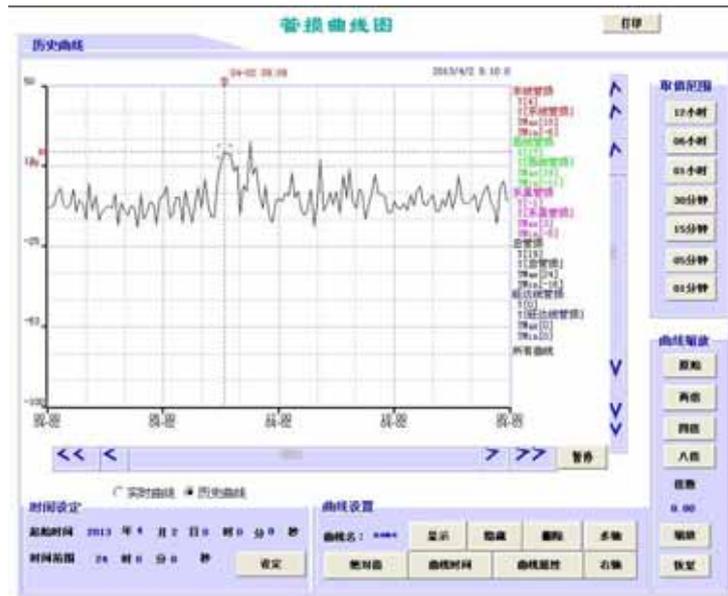


图8 供热网管损陡增

从图8中可见，在这天的0:00~8:30时间段，全网管损平均值仍然只有0.5%左右，但从9:00开始，管损突然跳到19%左右，显然，从9:00开始有重大的事件发生<sup>[7]</sup>。

该公司供热管网共有4路总管，通过这些总管将蒸汽送往各用户。每根总管的关口计量表都直接用于计算各路总管的管损，计算结果都用管损趋势图进行显示，从当天的各总管管损趋势图进行因果分析，发现在4路总管中有3路，管损随时间变化的关系稳定不变，但第2路管损趋势图与图8所示的趋势图具有大致相同的波形，显然，这一天开始的管损陡增不是别的原因引发的，只是由于第2路总管管损陡增引起的。

接下来是分析该路总管每天上午九时开始管损增大的原因，因为从统计数据计算，九时开始管损增大，是由于分表之和比关口表示值少15t/h左右，这不是个小数字，那末这15t/h的蒸汽到哪里去了呢？

查看该路总管上8个分表的流量趋势图，发现有一个用汽单位的两台流量计，每天上午九时起用汽量大增，与该路总管管损图在时间和波形上密切相关，于是就怀疑该路总管管损陡增是由于这两个计量点计量不准引发的。这两个计量点的流量趋势图如图10和图11所示。

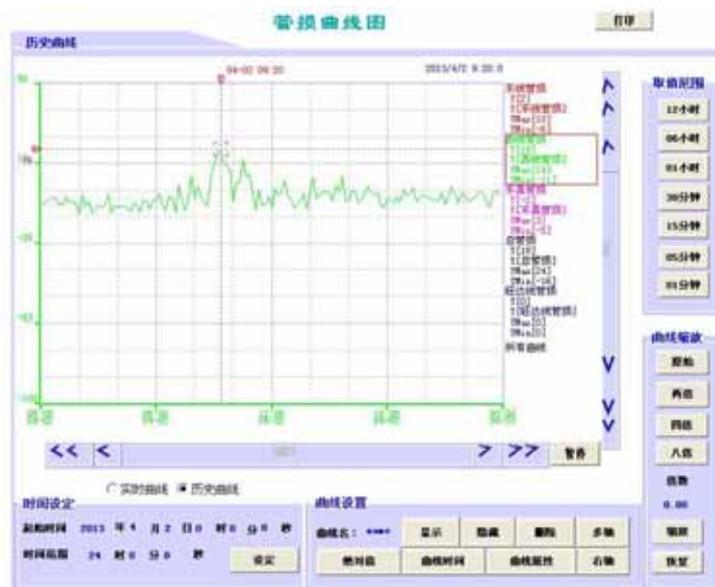


图9 第二路总管管损趋势图

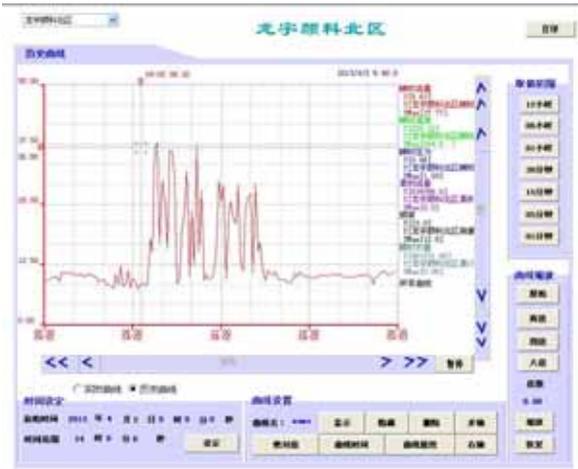


图 10 XX 北区流量趋势图

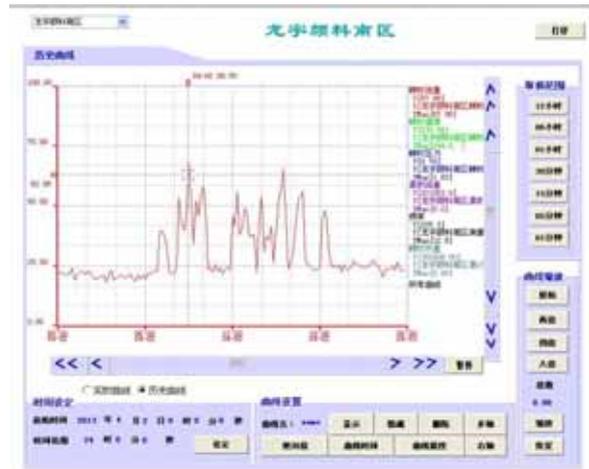


图 11 XX 南区流量趋势图

从进一步的因果分析，怀疑这两套流量计在每天九时起严重偏低，导致进出该总管的流量数据严重不平衡。

这两个计量点所计的蒸汽都是用户用于湿料热风干燥。这个公司的产品是颜料，每天下午和夜间生产的颜料都是湿料，按照他们的作业计划要在第二天的上午用热风干燥的方法予以干燥，制成粉料，这一工艺过程需要消耗大量蒸汽。

从图 10 和图 11 所示的趋势图可见，这两个计量点的蒸汽在上午九时之前并不是不使用，只是流量小一些，大约为 10t/h 左右，而从上午九时以后流量更大些，如果说这两台表偏低，那在上午九时前为什么管损数毫无察觉？

经进一步调查研究发现，这两个计量点采用的测量方法是涡街流量计+压力变送器+温度传感器+流量演算器的方法，而具体选用的涡街流量计是国内某个品牌的产品。公称口径分别是 DN300 和 DN250，经调查，这个品牌的涡街流量计在测量气体和蒸汽时，保证测量精度的上限流速是 40m/s，从图 10 可知，在上午九时之前未开热风干燥时，DN300 的一台流量计（图中的北区），最大质量流量为 19t/h，DN250 的一台流量计（图中的南区），最大质量流量为 10t/h。这时流过涡街流量计测量管的流体流速可用式（1）计算<sup>[8][9]</sup>。

$$V = q_m / \rho_f / \frac{\pi}{4} D^2 \quad (1)$$

式中 V —— 流速，m/s；  
 $q_m$  —— 质量流量，kg/h；  
 $\rho_f$  —— 流体密度，kg/m<sup>3</sup>；  
 D —— 管道内径，m。

#### 上午九时前的流速计算

从有关采集资料知，这两台蒸汽流量计工况条件为  $P_f = 0.8 \text{ MPa}$ ，温度为 280，查表得  $\rho_f = 3.618 \text{ kg/m}^3$ ，此时 DN300 流量计  $q_m = 19 \text{ t/h}$ ，代入式（1）得  $V = 20.6 \text{ m/s}$ ；

DN250 流量计  $q_m = 10 \text{ t/h}$ ，代入式（1）得  $V = 15.6 \text{ m/s}$ 。因此，上午九时前，这两台涡街流量计的流速都未高于上限流速，所以测量精确度是有保证的。

#### 上午九时后的流速计算

从趋势图显示的上午九时后的最大流量代入式（1）计算，DN300 流量计， $V = 68.3 \text{ m/s}$ ，DN250 流量计， $V = 56.3 \text{ m/s}$ ，显然已大大超过仪表允许的上限流速，从而水落石出。后来厂方换上了两台上限流速允许 80m/s 的优质涡街流量计，解决了问题。

### (3) 瞬时流量趋势图划直线另有原因

流量信号是一种时间常数很小的信号，正常的流量信号总是存在微小的噪声，如果一点噪声都没有，在趋势图上表现为一根直线，就要怀疑存在问题。下面罗列几个例子。

#### 流量变送器已出错

有些智能化流量变送器例如单声道超声流量计，受到强烈干扰而无法正常工作后，其自诊断系统会做出判断，将其输出的流量值保持在 a. 测量下限值；b. 测量上限值；c. 出错前的流量值；d. 用户指定的流量值。这时相应的流量趋势图就会呈一根没有噪声的直线。

#### 差压式流量计导压管结冰

差压式流量计常用来测量水流量和蒸汽流量，在寒冷的冬季如果导压管结冰，则差压信号传递受阻，趋势图会划直线，这时应及时处理，以防变送器的膜盒冻坏。

#### 差压式流量计中差压已超上限

在差压式流量计中，大多数情况下，差压超上限的同时流量也超上限，这时值班人员会及时发现问题。但有一类负荷由于特定的原因，差压超上限而流量却未超上限，例如工厂里的浴室用蒸汽。一到开汽时间，操作人员就把通往水箱的加热蒸汽阀开足，导致流量计安装处的蒸汽压力大幅度降低，以致比孔板计算书中的常用压力低很多，而差压变送器输出因受上限限幅的影响，以致被限制在 21.6mA 左右，经温度压力补偿后，流量示值低于满度，从而使流量趋势图画出一根小于满度值的直线，这时，除非观察该计量点的差压原始信号，否则难以发现问题所在。在图 5 所示的原始信号和中间计算结果画面中，当流量输入信号指定为 4~20mA 时，则“流量输入信号”就显示 mA 值。变送器输出饱和时，就会显示 21.6mA。除此之外，当上述情况出现时，在图 1 所示的自诊断结果画面中，也会有“测定流量范围溢出”的提示。

## 6. 按维护规程及经验对维护点进行预防性维护

### 过滤器阻力降检查

有些关键的过滤器需要根据滤网的堵塞情况适时排污，滤网的堵塞情况可用过滤器前后压差的数值进行分析判断，因此要定期检查此压差。

### 垫片收缩的预防性维护

流量计安装离不开垫片，其中金属缠绕石墨垫片因其弹性好、强度高、耐高温、能够承受较高的压强而使用最为普遍。但它有一个绕不开的缺陷，即新的垫片在高温条件下使用一段时间后会有一定的收缩，尤其是停用一段时间，垫片温度显著降低时，收缩更加明显，于是本来旋得很紧的螺帽，变得松了，尤其时高温高压条件使用的垫片，在因停用冷却后松的更加显著。这时如果不及时将螺帽紧一下，垫片密封处就会有介质外泄。因此应适时检查一下螺帽的压紧程度，进行预防性维护。

### 定期检查差压变送器零位

流量测量系统中使用着大量的差压变送器，这些变送器中的绝大多数是与差压装置一起组成差压式流量计。由于差压式流量计分度的平方根特性，对差压输出的零点稳定性要求特别高。例如管道内流体停止流动后，差压变送器零位只要有 0.1% 的偏差，就会使流量有 3.16% 的示值。因此，有必要定期检查差压变送器的零位。前化学工业部颁发的行业标准 HGJ1079-79 化工仪表维护检修规程中规定，差压变送器应每个月检查一次零位，这对老式的差压变送器来说是完全必要的。现在大家使用的差压变送器准确度已大大提高，零点的长期稳定性已经非常好，但是环境温度的变化和介质静压的变化，还会使仪表零位产生明显的偏移，所以不定期的检查其零位仍然有必要<sup>[10][11]</sup>。

### 核对智能化仪表的关键数据

流量测量仪表现在已经普遍实现智能化。在智能变送器、传感器、二次表中都有一个存放数据的菜单，菜单中的一些关键数据只要稍作修改，流量测量结果就可能百分之几甚至百分之几十的变化，如果该流量计用于贸易交接，则流量示值的异常变化就会对供方或需方的利益造成损害。为

此，工程师们想方设法杜绝擅自修改关键数据事件的发生。比较成熟的方法有：a. 应用密码技术；b. 在仪表中采用数据追忆技术；c. 将仪表中的关键数据上传到 SCADA 系统中，并用软件的方法将相关的数据与保存在计算机中的正确数据进行比较，如果不相符，则发出报警信号。在三个方法中，密码技术已使用多年，优点和缺点大家已熟知，不再赘述。第三个方法也很成熟，但是只有在建有 SCADA 系统的环境下才能实施。而第二个方法既简单又实用，但是一般只在二次表中使用。具体做法是将菜单的每一次修改均如实记录并无法将痕迹擦除，只要按说明书提示的方法操作，就可调阅这些记录。图 12 所示为 FC6000 型流量二次表的菜单追忆实例。



图 12 设置数据追忆画面

## 7. 结束语

流量测量仪表的预防性维护与响应式维修有所不同，但有时两者的界限又不那么清晰。有时又带有故障查找的性质。但不管怎么样，目标都是解决问题。

流量测量仪表现在已普遍实现智能化。对它们进行预防性维护主要是通过其自诊断信息，原始数据及中间计算结果画面以及趋势图进行洞察，寻找蛛丝马迹。

SCADA 系统在流量测量系统诊断方面具有独特的作用。从其显示的数据和趋势图不仅可对单台仪表进行分析，而且能对一个网络中多台仪表之间的关系进行分析。

基于维护规程和经验的预防性维护也很重要。其中经验不仅包含个人的经验，更重要的是吸取前人的经验。因此需要广泛阅读相关资料，并消化吸收。

流量测量仪表的种类很多，预防性维护的内容也千差万别，但基本的方法和目标相同，本文只是想抛砖引玉和交流经验，但愿这方面的成果越来越多。

### 参考文献

1. 练水青. 浅谈炼化企业仪表自动化设备的预防性维护. 石油化工自动化 2010, (1): 71~73, 83.
2. 高飞. 超声波流量计诊断技术在天然气计量中的应用. 石油化工自动化. 2020, (56)5: 64~67.
3. 潘丕武, 张明. 天然气计量技术基础. 北京: 石油工业出版社. 2013. 300~301.
4. 武因超, 纪纲. 流量测量仪表的现状与发展趋势. 自动化仪表. 2020, (41)7: 1~6.
5. 纪纲, 纪波峰. 流量测量系统远程诊断集锦. 北京: 化学工业出版社. 2012.
6. 余小寅, 夏维琳. 蒸汽严重带水对涡街流量计的影响. 医药工程设计. 2008, (29): 4.
7. 何志俊, 殷胜军, 纪波峰, 纪纲. 管损统计在热网 SCADA 系统中的应用. 自动化仪表. 2017, (38)6: 93~95, 99.
8. 姜仲霞, 姜川涛, 刘桂芳. 涡街流量计. 北京: 中国石化出版社, 2006.
9. 纪纲. 流量测量仪表应用技巧(M) 第 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2009.
10. 纪纲, 朱炳兴, 王森. 仪表工试题集 现场仪表分册 第 3 版. 北京: 化学工业出版社, 2014.
11. 朱炳兴. 变送器选用与维护[M]. 北京: 化学工业出版社. 2001.

( 本文来自《石油化工自动化》2022 年第 6 期 )