

# 流量计小信号切除的最优化

刘政利（广州热力有限公司，广州 510160）

纪 纲（上海同欣自动化仪表有限公司，上海 200070）

**提要：**叙述各种不同类型流量计小信号切除的目的意义，设置小信号切除的得失，介绍小信号切除的实施方法以及切除点设定的最优化。

**关键词：**流量测量 零点漂移 小信号切除 最优化

**Abstract：**The purpose of elimination of small signals in flowmeters is to overcome the bad results caused by “fictitious” because of various reasons. Different flowmeter built by different principle has different mechanism forming “fictitious”. Even in flowmeters with the same principle, it is still possible to get undetermined zero indication because of the different accuracy, quality, measured media, environment and installation condition. The test engineers should reasonably setup the elimination point based on specific requirement and situation.

**Keywords:** Flow measurement Zero drift Small signal elimination Elimination mode Optimization

## 0 引言

关于流量计中小信号切除的重要性，可从一个小故事说起。作者几年前为上海的一家热电厂做了一个小项目，目标是解决小流量测量问题。该厂通过一根大管道向一家大用户供应低压过热蒸汽，选用的是标准孔板流量计，测量范围为 0~160t/h。运行一段时间后发现，在用户主要生产装置运行的时候，流量计能正常测量；在主要生产装置停车的时候，流量计指示零。按照热电厂提供的调查资料，主要生产装置停车时，相对流量虽然较小，但不会是零，仅仅烧饭、洗澡就应当有 10t/h 左右的流量。为此，委托仪表公司对原有仪表进行改造。

现场检查后发现，原有流量计的小信号切除为固定点，切除点为满量程的 8.7%，对应 13.9t/h。也就是说，当实际流量 13.9t/h 时，仪表显示零属正常。但是，作为供汽方，蒙受的损失是巨大的。因为该用户的主要生产装置是新工艺、新流程，经常开开停停。

在这个项目中，作者采用了小信号切除点可任意设置的差压变送器和流量演算器代替了原来的固定切除点仪表，并合理确定了小信号切除点，运行结果，生活用蒸汽均能被如实地显示出来，从而维持了公正，为供方挽回了损失<sup>[1]</sup>。

## 1 差压流量计的小信号切除

差压式流量计是投入工业应用的多种流量计中，应用最广泛，历史最悠久的一种流量计，也是人们应用小信号切除技术最早的一种流量计<sup>[2]</sup>。

在早期的差压式流量计中，人们用 U 形管差压计显示节流装置送出的差压信号并换算到瞬时流量，用浮子式差压计、环秤式差压计显示瞬时流量并进行积算，由于技术条件的限制，无法应用小信号切除技术，只能用经常查对零点并在发现零点漂移时予以校正的方法消除零漂的影响。

自从电子技术进入差压式流量计后，模拟量运算电路和逻辑运算技术得到迅速发展，才使小信号切除有了技术基础。

在使用老式差压流量计来显示瞬时流量和进行积算时，使用者对流量计的零点漂移总是不满意的，差压计很小的零漂就会导致实际流量为零时，出现较大的流量示值，以致以较快的速率积算或莫名其妙地指示负值，使得仪表设计、制造和维修人员承受很大的压力。自从仪表中成功应用了小信号切除方法后，仪表维修人员卸下了一个包袱，因为它可以掩盖零漂的矛盾。

小信号切除方法在差压式流量计中尤其重要，是由差压式流量计的输入输出关系式中的平方根特性决定的。在差压式流量计中有下面的关系式，与此式相对应的图示见图 1。



$$q = \sqrt{A_{\Delta p}} \cdot q_{\max}$$

式中：  $q$  —— 流量示值，单位与  $q_{\max}$  一致；

$A_p$  —— 经无量纲化处理的差压信号，0 ~ 1；

$q_{\max}$  —— 流量测量上限，kg/h 或  $\text{Nm}^3/\text{s}$  等。

从图 1 可看出，在流量接近 0 的时候，曲线的斜率  $dq/dA_p$  近似无穷大，这就决定了流量零点示值的不稳定性。早期的差压计为 1.5 级精确度，即在一段时间内，差压示值零点漂移  $\pm 1.5\%$  也算正常，这样的

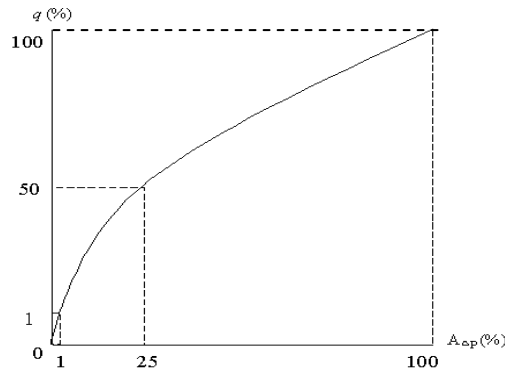


图 1 流量  $q$  与差压  $A_p$  的关系

漂移所对应的流量值即为 12.2%。为了自圆其说，仪表制造厂就规定流量示值在 30% 以下不计差，这就是老的仪表工程师所说的差压式流量计量程比（范围度）为 3 : 1 的由来。

当电动单元组合仪表发展到 DDZ- 系列后，差压变送器精确度等级提高到 0.5 级，仪表制造厂推荐将小信号切除点调整到差压上限的 1%，对应的流量值为 10%FS。

当差压变送器精确度进一步提高到 0.2 级时，差压变送器的零点漂移性能得到进一步改善，但是，差压变送器零漂仅仅是差压式流量计零漂的一个方面，差压流量计是一个系统，除了差压变送器零漂之外还有差压信号的传递失真和流量演算器等也都会引入零漂，综合多方面的因素，世界上很多仪表制造厂都将差压切除点减小为 0.75%，对应的流量值为 8.7%。仪表制造技术还在不断改进，现在的差压变送器已经提高到 0.075 级。差压信号传递也有了改进，由于采用一体化结构，差压信号传递失真可做到忽略不计，所以对于由中低压差变送器组成的一体化节流式流量计，小信号切除值降到  $2\%q_{\max}$ ，系统仍能很好地工作，不会出现“无中生有”现象<sup>[3]</sup>。

人们为什么热衷于将小信号切除点一降再降？这是因为小信号切除既有得又有失。得到的是掩盖了各种原因引起的流量显示值的零点漂移，从而消除烦人的“无中生有”现象；失去的是当实际流量低于切除点时，一概显示零，从而引起使用者的不满，因此，仪表制造厂和系统调试人员，在确保不出现“无中生有”的前提下，总是尽量降低小信号切除点，而仪表制造技术的改进，也为这一做法提供了物质基础，所以随着差压变送器精确度、稳定性的提高，随着仪表结构的改进，小信号切除点也越来越小。

## 2 流量小信号切除的意义与目的

流量仪表小信号切除的目的，总的来说是掩盖“无中生有”的情况，但是，各种不同原理的流量计，切除的意义和切除值的合理确定，也有很大差异。

### 电磁流量计

电磁流量计零点漂移的原因主要有以下几点：



电极表面被粘附了一层绝缘物；

流体的电导率有明显的变化；

受到外界干扰；

电极送出的毫伏信号，在放大和转换过程中出现零漂；

流量测量管上下游某一段管内未充满液，而管道压力又有波动时，使得平均流量为零，而流经电极的轴向流速却有一定幅度的摆动。这种摆动幅值虽然很小，但由于电磁流量计精确度，现在已经达到很高的水平，所以，仍然能够观察到。

电磁流量计的小信号切除点，一般比差压式流量计小得多，设置在 1%FS 处就能满足要求。

#### 涡街流量计

涡街流量计号称不存在零点漂移，但是流量信号用 4~20mA 输出时，由于模拟电路总有一定幅值的零漂，所以，需要设置小信号切除，而当流量信号用脉冲形式输出时，也必须设置小信号切除，这就耐人寻味了。

从工作原理来说，涡街流量计不存在零点漂移，理由是在流速为零时，旋涡发生体后面不会有旋涡产生，因此也就无脉冲输出。其实，用不到流速为零，只要流体的流速低到一定数值，相应的雷诺数脱离紊流区间 ( $Re_D < 2300$ )，旋涡已经不会产生。既然如此，在涡街流量计中为什么还要设置小信号切除呢？原因很简单，即在雷诺数很低时，虽然没有旋涡产生，也没有因此而输出的脉冲，但是干扰会趁虚而入，例如管道振动产生的干扰，射频干扰等，由于涡街流量计的脉冲信号放大器是变增益放大器，输入脉冲信号幅值越低，增益越大<sup>[4]</sup>，所以，在无脉冲信号输入时，增益最大，这就为干扰信号的钻入开了方便之门。好在人们还有小信号切除这个手段。

由于涡街流量计的探头输出的脉冲信号，其幅值与流过旋涡发生体的流体的流速平方成正比<sup>[4]</sup>，在仪表制造厂承诺的  $Re_D = 20000$  而保证正常测量的流速区间，探头输出的信号幅值较大，因而信噪比也较大，干扰不易侵入，而在流速较低，干扰容易侵入时，则采用小信号（以频率来表征）切除方法，从而使仪表既能做到在流速较高时保证正常测量，又能做到在流速低于承诺的可测最小流量对应值时，稳定地指示零。

#### 超声流量计

时差法超声流量计是现在应用最广泛的一种超声流量计，它是基于超声顺流传播时间和逆流传播时间差的测定，不仅能测量正向流流量，也能测量反向流流量。当流速为零时，顺流传播时间和逆流传播时间应相等，但是由于换能器不完全对称和性能的时漂、温漂，也会出现流量示值的零漂，因此，流量转换器中也设置有小信号切除，但切除点设置到 1%FS 已足够。

#### 涡轮流量计

涡轮流量计是基于流过涡轮流量传感器时，流体对涡轮叶片产生推力，从而导致涡轮旋转。当流速为零和流速虽不为零但低于起动灵敏度时，涡轮不会旋转，因此，就原理来说，也不存在零点漂移问题。但是，如果以 4~20mA 的形式输出流量信号，则因模拟电路本身的特殊性，也会产生一定的零漂，因此也需引入不大于 1%FS 的小信号切除。

### 3 流量小信号切除的实现方法与选用

#### 在非智能型仪表中的实现方法

在 CPU 进入流量测量仪表之前，小信号切除全部采用硬件的方法实现，图 2 所示是 DDZ- 系列仪表开方积算仪中典型的小信号切除电路原理图。它由比较电路和电子开关组成。图中的  $V_L$  由高稳定度电压源和电阻器、电位器组成的分压电路组成，提供小信号切除的设定值。



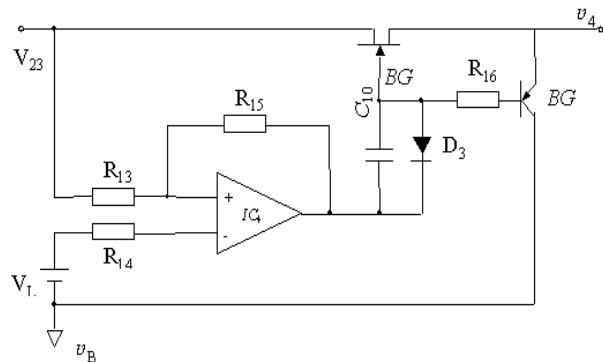


图2 DDZ- 小信号切换电原理图

自从 CPU 进入流量测量仪表，小信号切除采用软件的方法来实现，不仅切除点准确可靠，而且操作使用方便。只要在对话框或菜单中，选定切除模式和切除点数值，仪表运行后，就能准确无误地完成切除操作。

#### 切除模式的选定

图 3 所示为智能差压变送器两种典型的切除模式。其中图 3 (a) 为开平方关系切换到零，切除点既可以选用制造厂推荐值 ( $8.7\%q_{\max}$ )，也可以自行选定。

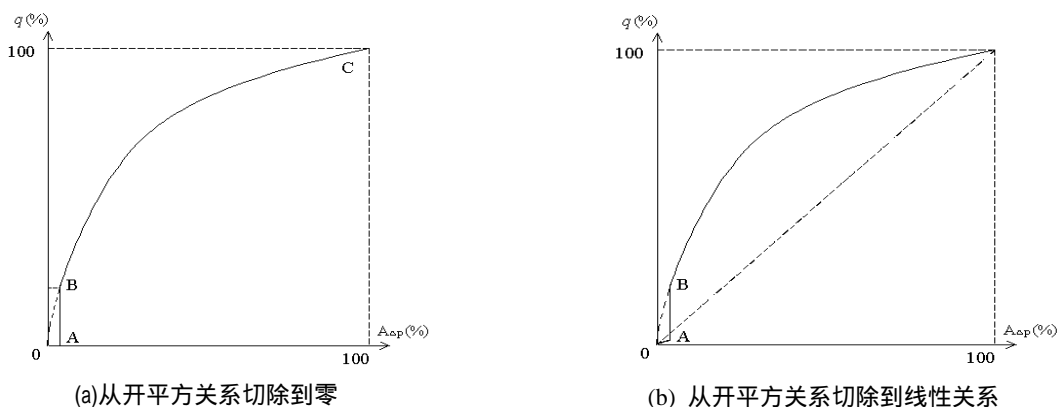


图3 智能差压变送器中两种典型的切换模式

这种切除模式的优点是流量信号低于设定值后，变送器能稳定地输出零信号（4mA 或数字信号），但是，在实际流量确实为零（例如切断阀已关死并确认无泄漏）时，零点究竟漂移了多少，却完全不知，如果选用图 3 (b) 的切除模式，则可从变送器的残余输出中观察漂移量。残余输出尽管很小但毕竟不为零，那不是问题解决得还不够彻底吗？不用着急，因为可在后级仪表中解决。由于差压变送器输出信号一般都要送后级仪表如流量演算器、积算仪或 DCS、PLC，在后级仪表中只需将切除点设置在输入信号的 0.75%FS 已足够。

#### 利用折线表实现小信号切除

有些老式流量转换器、变送器，由于出厂年份较早，没有设计小信号切除功能，还有些流量转换器、变送器虽有小信号切除功能，但开放这一功能并对其设定值进行调试需要专用软件或专用手持终端，这时，就可用后级仪表中的折线表完成小信号切除任务。不管是模拟输入信号还是频率输入信号，切除原理是相同的。图 4 所示是利用折线法实现小信号切除的原理图。



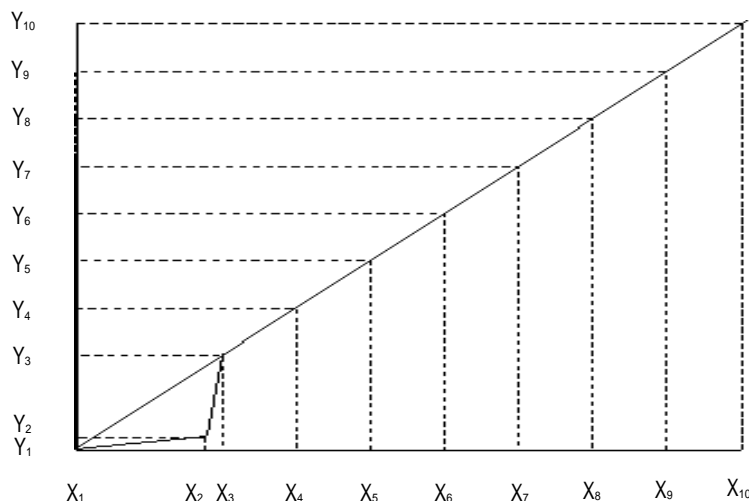


图 4 利用 9 段折线实现小信号切除

从图 4 中可看出,  $X_1 \sim X_{10}$  为流量二次表的输入信号,  $Y_1 \sim Y_{10}$  是  $X_1 \sim X_{10}$  各点相对应的放大系数。其中  $X_1$  为输入信号零点,  $X_2 \sim X_3$  为切除转换点; 只要将  $X_3 \sim X_{10}$  各点对应的放大系数设置为 1, 而将  $X_1$  和  $X_2$  点所对应的放大系数设置为接近 0 的足够小的数值 (如果  $Y_1 = Y_2 = 0$  不允许), 仪表运行后就可实现小信号切除。

#### 4 切除点选定的最优化

仪表制造厂提供的小信号切除点一般有两种, 一种是固定切除点, 另一种是自定切除点, 其中固定切除点又有  $0\%q_{\max}$  切除点和  $8.7\%q_{\max}$  切除点。这里,  $0\%q_{\max}$  切除点其实就是不切除。看上去, 切除点的选定具有很大的自由度, 其实不然, 流量小信号切除有最优化的概念。

前面说到, 流量小信号切除是为了解决流量计零点漂移的一种掩盖矛盾的方法, 并不是采用了小信号切除后仪表的零漂就不存在了, 而是零漂依旧, 只是不让观察者看到而已。因此, 就需要而言, 如果不设置小信号切除能够过得去, 最好不要切除。

但是模拟器件的温漂、时漂对流量计零点的影响往往是双向的, 差压信号的传递失真以及振动等干扰的侵入均属不确定因素, 所以, 小信号切除又是必须的。

在小信号切除要与不要之间, 切除值大与小之间如何取值, 这就是最优化的概念。总的原则是在能达目的的前提下, 将切除值尽量选的小一些。

前面说到, 对差压式流量计来说, 如果被测介质是干气体, 由于可忽略差压信号的传递失真, 同时, 差压上限又取得较高, 差压变送器的精确度也较高, 可以将切除点设置得很小, 甚至可暂不切除, 待仪表投运后如果不出现“无中生有”情况, 就可一直用下去, 如果出现“无中生有”情况, 则可根据漂移的幅值, 适当放些余量, 设定切除点。

零点漂移严重的差压式流量计, 被测介质往往是湿气体和蒸汽, 引压管线又较长, 有的还带伴热保温, 差压信号传递失真严重。差压变送器精确度较低, 有的还属微差压等级。这时候, 切除点如果设置太低, 解决不了问题。

涡街流量计的小信号切除具有特殊的意义, 有些品牌的产品, 在仪表出厂前, 已根据承诺的可测最小流量预先设定好。在现场开表投运时, 可根据具体的使用要求和具体的现场环境合理调试。一般可分三种情况:

如果仪表用于过程控制, 对可测最小流量一般要求不高, 可保持制造厂设置的切除点。

如果仪表用于计量, 一般要求可测最小流量尽可能小, 可根据现场振动情况和干扰情况对切除点



进行合理调整，适当减小切除值。

在现场调试中，小信号切除值的设定往往还要与其他可调参数如触发电平调整、增益调整等相配合，才能收到满意的效果。

切除点调整后，应注意观察仪表运行情况，如果出现“无中生有”现象，可将切除点适当升高或作其他处理。即使切除点使制造商的设定值，也需注意观察。

## 5 结束语

流量仪表中的小信号切除，是流量测量中的特殊需要，它是为了克服各种原因引起的“无中生有”所导致的不良后果。

各种不同原理的流量计，产生“无中生有”现象的机理也不同。同一种原理的流量计，由于其精确度的差异，仪表品质的差异，被测介质的差异，现场环境的差异以及安装情况的差异，零点的不确定性也有很大差异。调试人员应根据具体的要求和具体条件合理设定切除点。

流量小信号切除最优化没有一个公式可套，它只是在使用要求与可能达到的可测最小流量之间寻找一个最佳点，通常由现场调试决定。

## 参考文献

- 1 骆美珍，龚毅，陈少华.提高差压法流量测量精确度点滴. 石油化工自动化.1998，5：41～43
- 2 蔡武昌，孙淮清，纪纲.流量测量方法和仪表的选用. 北京：化学工业出版社，2001
- 3 王建忠，纪纲.节流式差压流量计为何仍有优势.第七届工业仪表与自动化学术会议论文集，66～72，2006年5月，上海
- 4 姜仲霞，姜川涛，刘桂芳.涡街流量计.北京：中国石化出版社，2006年1月：80
- 5 纪纲.流量测量仪表应用技巧.北京：化学工业出版社，2003

（摘自《自动化仪表》2007年第10期51-54）