

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 17287—1998  
idt ISO 4124:1994

---

## 液态烃动态测量 体积计量系统的统计控制

Liquid hydrocarbons—Dynamic measurement  
—Statistical control of volumetric metering systems

1998-04-02 发布

1998-10-01 实施

---

国家技术监督局 发布



## 目 次

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 前言 .....                               | Ⅲ  |
| ISO 前言 .....                           | Ⅳ  |
| 1 总则 .....                             | 1  |
| 2 统计测量 .....                           | 3  |
| 3 中心检定 .....                           | 7  |
| 4 在线检定 .....                           | 38 |
| 5 二次控制 .....                           | 51 |
| 附录 A(标准的附录) 统计表 .....                  | 55 |
| 附录 B(标准的附录) 95%和 99%概率的 $t$ -分布值 ..... | 57 |
| 附录 C(标准的附录) 正态(高斯)分布 .....             | 58 |
| 附录 D(标准的附录) 异常值检验 .....                | 59 |
| 附录 E(标准的附录) 多项式近似值的随机不确定度 .....        | 61 |
| 附录 F(标准的附录) 参考文献 .....                 | 61 |



## 前 言

本标准在技术内容和编写格式上等同采用了国际标准 ISO 4124:1994《液态烃动态测量 体积计量系统的统计控制》。本标准在第 1 章中增加了“1.2 引用标准”。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E 及附录 F 都是标准的附录。

本标准由中国石油天然气总公司提出。

本标准由石油工业标准技术委员会归口。

本标准起草单位：中国石油天然气总公司计量测试研究所。

本标准主要起草人：吴燕龙。

本标准参加起草人：马颖洁、安树民、陈福庆、孙宽。

本标准由中国石油天然气总公司计量测试研究所负责解释。

## ISO 前言

国际标准化组织(ISO)是由各国标准化团体(ISO 成员团体)组成的世界性的联合会。制定国际标准的工作,通常由 ISO 的技术委员会完成,各成员团体若对某技术委员会的工作感兴趣,均有权参加该委员会。与 ISO 保持联系的各国际组织(官方的或非官方的)也可参加有关工作。在电工技术标准化方面,ISO 与国际电工委员会(IEC)保持密切合作关系。

由技术委员会采纳的国际标准草案交各成员团体投票表决,需取得至少 75% 参加表决的成员团体同意才能作为国际标准正式通过。

国际标准 ISO 4124 是由 ISO/TC28 石油产品和润滑剂技术委员会石油动态测量分委员会 SC2 制定的。

标准使用者应该注意,所有的国际标准都在不断地进行修订,除另有说明外,本标准中所涉及到的任何其他参考国际标准同样意味着是最新版本。

# 中华人民共和国国家标准

## 液态烃动态测量 体积计量系统的统计控制

GB/T 17287—1998  
idt ISO 4124:1994

Liquid hydrocarbons —Dynamic measurement  
—Statistical control of volumetric metering systems

### 1 总则

#### 1.1 范围

在动态测量系统中,液态烃流量计的性能将随流动条件(即流过液体的流量、粘度、温度、压力和流体的密度)而改变,也会因流量计的磨损而发生变化。

本标准给出了使用合适的统计控制方法建立和监测流量计性能的指南,它适用于中心检定(离线检定)和在线检定的测量,这些方法也适用于任何体积或质量测量系统。

采集数据遵循的方法是以控制界限为依据的,同样,在 GB/T 17286. 3—1998(idt ISO 7278-3: 1995)中也叙述了确定这些数据可靠性的方法。

本标准叙述在选用的性能图上如何计算其预警限和故障限,以及如何将这些性能图用于日常测量和解释的方法。在中心检定和在线检定章节中,给出了使用的实例。

#### 1.2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 8023—1987 液体石油油品粘度温度计算图(neq ASTM D 341:1982)

GB/T 17286. 3—1998 液态烃动态测量 体积计量流量计检定系统 第3部分:脉冲插入技术  
(idt ISO 7278-3:1995)

#### 1.3 定义

本标准采用下列定义。

##### 1.3.1 检定 proving;校验 proof;校准 calibration

根据实际通过流量计的液体体积和体积管标准容积之间的关系确定流量计的性能。

##### 1.3.2 $K$ 系数 $K$ -factor

表示在一次检定运行的期间内,流量计产生的脉冲数( $N$ ),与在体积管检测开关之间用球或活塞置换的液体体积( $V$ )之间的关系。

通常  $K$ 系数为脉冲数( $N$ )与液体体积( $V$ )之比。建议用 GB/T 17286. 3 叙述的脉冲插入技术修正  $K$ 系数的值。

##### 1.3.3 流量计系数 meter factor

通过流量计的实际体积(由体积管确定的体积)同流量计累加计数器显示体积的比值。

#### 1.4 符号和单位

##### 1.4.1 通用符号

$h_1$ ——计量罐内的高液位,m;

$h_2$ ——计量罐内的低液位, m;  
 $E_h$ ——测量误差, mm;  
 $E_m$ ——流量计体积的误差, %;  
 $E_t$ ——温度误差, °C;  
 $K$ —— $K$ 系数, 单位体积的脉冲数;  
 $\Delta K$ —— $K$ 系数的变化量, 单位体积的变化脉冲数;  
 $MF$ ——流量计系数, 无量纲;  
 $MF_m$ ——平均流量计系数, 无量纲;  
 $MF_{\max}$ ——一组测量值中最大的流量计系数, 无量纲;  
 $MF_{\min}$ ——一组测量值中最小的流量计系数, 无量纲;  
 $N$ ——在一次检定运行期间, 流量计产生的脉冲数, 无量纲;  
 $p$ ——在线条件下的压力, kPa;  
 $p_0$ ——标准参比压力 101.325 kPa;  
 $t$ ——在线条件下的温度, °C;  
 $t_0$ ——标准参比条件下的温度 20 °C;  
 $T$ ——经过的时间, s;  
 $Q$ ——体积流量, m<sup>3</sup>/h;  
 $V_p$ ——标准参比条件 20 °C、101.325 kPa, 体积管的标准容积, L 或 m<sup>3</sup>;  
 $\nu$ ——流体的运动粘度, mm<sup>2</sup>/s。

#### 1.4.2 统计符号

$X$ ——量的真值;  
 $\mu$ ——平均值;  
 $\sigma$ ——标准偏差;  
 $x$ ——测量值;  
 $\bar{x}$ ——一组测量值的平均值;  
 $n$ ——重复测量的次数;  
 $m$ ——量的个数;  
 $s$ ——标准偏差的估计值;  
 $w$ ——一组测量值的极差;  
 $\bar{w}$ ——一组极差的平均值;  
 $t$ —— $t$ -分布的值;  
 $r$ ——重复性的估计值;  
 $\Phi$ ——自由度。

#### 1.5 中心检定 Central proving

在检定站内, 对流量计在实际使用的流量、粘度、温度和密度范围内进行检定, 用来确定流量计的性能称之为中心检定。

利用检定数据绘制流量计的性能图, 并使用该图确定流量计系数和流量或流量和粘度之间的关系。

利用二次控制的方法可以检测现场流量计性能有无任何大的偏差, 二次控制方法可监视两台并联或串联流量计的输出量。利用统计控制图可以确定流量计系数的长远偏差。

#### 1.6 在线检定 On-line proving

在流量计工作的条件下, 用活动式或固定安装的体积管检定流量计, 称之为在线检定。在流量、粘度、温度和密度出现明显变化时, 可以重新检定流量计。

使用统计控制图可以监视流量计系数的任何显著偏差或异常倾向。利用统计分析方法, 可以确定偏



差是由流动条件的变化、随机误差引起的,还是由其他某些可确定的原因而引起的。

## 2 统计测量

### 2.1 统计测量的原理

#### 2.1.1 引言

由中心检定或在线检定得到的测量值,可以提供通过流量计液态烃类流体参数(例如流量计系数、流量、温度、雷诺数)的随机变化性的信息。利用这些参数的随机变化性有可能给定实际观测偏差的概率水平,使用这些参数有可能给定实际观测偏差的概率水平,从而将正常的或“允许的”偏差同外部和系统影响(如流量计部件磨损)引起的偏差进行区分。

上述流量计特性的真值及其变化范围,可在控制图上(见 2.2.5)表示。它可表示流量计最早出现不正常的预警限,也可表示流量计发生故障情况的故障限,本标准给定预警限值取 95% 的概率,而故障限值取 99% 的概率。这说明测量过程在统计控制下时,在正常变化条件下,落到故障限以外的测量值只存在 1% 的机会。一旦建立了控制图,以后检定流量计的测量值可定期地加到控制图上,由此可以监视流量计在一段时期内性能的变化趋势。

利用这种方法建立控制图,应使用统计方法得到可靠的估计值。收集数据和监视流量计的开始阶段称为“学习(准备)阶段”。此阶段应足够长,以便对流量计的特性的真值作出可靠估计。

在建立、使用和维护控制图以前,必须了解应用的统计处理方法。

#### 2.1.2 测量值的分布

任何物理量的测量值,不管是直接测量(例如用温度计测量温度),还是间接测量(例如流量计系数),都存在误差。该误差有时是系统的,并可指出产生误差的确定原因,例如,温度变化大时可导致流量计系数也出现大的变化。如果不是这样,数据分散可能与随机的因素有关,这就要按统计方法进行处理。

随机误差的大小常常随被测量值的变化而产生很大的变化(此时,随机误差常用百分数表示),或者随某些外部的因素而变化。例如,  $K$  系数的误差将随流量发生相应的变化(见图 1)。因此,对测量期间的运行条件进行控制是非常重要的(见 2.2.2)。实际上,误差的分布近似于高斯(Gaussian)(正态)分布。如果已知它的两个参数,正态分布就可以完全确定。这种情况下的两个参数,用  $\mu$  表示平均值(期望值),用  $\sigma$  表示标准偏差。高斯分布的详细叙述见附录 C。

测量值分布的每个参数都被认为有一个真值,在代数上用希腊或罗马大写字母表示。参数的估计值或统计值在代数上用罗马小写字母表示。必要时,也用加括号代数表示其性质。例如,测量值  $x$  的标准偏差估算值将表示为  $s(x)$ (见 2.1.4)。最重要的统计量是期望值、标准偏差、一组测量值的极差及不确定度。

#### 2.1.3 真值的估计

已知一组测量值  $x_i (i=1 \sim n)$ , 最接近真值的估计值就是该组测量值的平均值  $\bar{x}$ (被叫做“ $\bar{x}$ ”)即:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \cdots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \cdots \cdots \cdots (1)$$

只要不存在系统误差,当  $n$  趋向无穷大时,估计值  $\bar{x}$  将趋近于真值  $\mu$ 。

#### 2.1.4 标准偏差的估计

标准偏差  $\sigma(x)$  是单次测量值  $x$  随机误差的量度。 $\sigma^2(x)$  常见的无偏估计值是  $s^2(x)$ , 即:

$$s(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{n}{(n-1)} \bar{x}^2} \quad \cdots \cdots \cdots (2)$$

由下式给出另一种估计值:

$$s(x) = \frac{\bar{w}}{D(n)} \quad \cdots \cdots \cdots (3)$$

式中:  $\bar{w}$ ——使用多组  $n$  个测量值时,测量值的平均极差;

$D(n)$ ——换算系数(见附录 A)。

随着依据的极差值变小,这种估计的可靠性很差。当以单个极差值为依据时,估计值只能作为粗略的校验。

平均值估计的标准偏差,有时称之为标准偏差,据此可导出:

$$s(\bar{x}) = s(x) / \sqrt{n} \quad \dots\dots\dots (4)$$

很明显,随着测量值数量  $n$  的增加,标准偏差减少了,从而使真值估计值的可信度提高了。

### 2.1.5 不确定度的估计

一个估计值的可靠性可以用不确定度的范围来表示。而真值以一个规定的置信度或概率落在这个范围内。用统计的术语来说,就是置信区间。包含估计值  $x$  的不确定度区间是  $x \pm u(x)$ , 这里的  $u(x)$  称之为不确定度,  $x+u(x)$  和  $x-u(x)$  称之为不确定度的限值, 这个限值之间的差  $2u(x)$  称之为不确定度的范围。一般概率水平是 95% 和 99%。这时,  $n$  个测量值的平均值  $\bar{x}$  的真值估计值, 可用下面的方法表示:

真值 =  $x \pm u(x)$   $n$  个测量值, 95% 的概率。

当  $n=1$ ,  $\bar{x}$  变成单次测量值  $x$ 。

若根据长期的试验已知标准偏差  $\sigma$ , 不确定度这时也是已知的, 则给出在 95% 概率下的不确定度:

$$U(\bar{x}) = 1.96\sigma(\bar{x}) = 1.96\sigma(x) / \sqrt{n} \quad \dots\dots\dots (5)$$

当  $n=1$  时,  $\bar{x}$  变成单次测量值  $x$ 。1.96 的值是两边概率为 95% 的正态标准偏差(见附录 C)。

如果以自由度  $\Phi$  为依据, 按  $s(x)$  估计单个测量值的标准偏差, 这时估计的不确定度如下:

$$u(x) = t_{95, \Phi} s(\bar{x}) = t_{95, \Phi} s(x) / \sqrt{n} \quad \dots\dots\dots (6)$$

当  $n=1$ ,  $\bar{x}$  又变成单次测量值  $x$ 。

$t_{95, \Phi}$  是相当于以自由度  $\Phi$  为基础的标准偏差的估计值, 两边概率为 95% 的  $t$ -分布值(见附录 B)。自由度应看作是独立测量值的数量, 并依据这个数量估计标准偏差。已知有  $n$  个测量值, 因在估计平均值时已经少去一个自由度, 所以  $s$  服从自由度为  $\Phi = (n-1)$  的  $t$ -分布。

$t$ -分布是自由度的函数, 给定概率的  $t$  值在大小上将随  $\Phi$  的增加而减少。随着  $\Phi$  趋向于无限大, 使  $t$ -分布趋向于高斯分布。有时分别使用 2 和 3 作为概率为 95% 和 99% 下  $t$  值的近似值, 这些数值对于按 10 到 20 次测量值作出估计是合适的。

### 2.1.6 重复性的估计

重复性这个术语用在不确定度时指的不是单独的一组测量值或(如 2.1.5 中所说的那种)测量平均值, 而是指两个单独测量值之间的差别, 因为两个测量值  $x_1$  和  $x_2$  之间差值的标准偏差(见 2.1.8)是:

$$\sigma(x_1 - x_2) = \sqrt{2}\sigma(x_1) = \sqrt{2}\sigma(x_2) \quad \dots\dots\dots (7)$$

故重复性估计值  $r$  为:

$$r = \sqrt{2}u(x) \quad \dots\dots\dots (8)$$

此时,  $u(x)$  应按单独测量值  $x_i$  而不是按平均值  $\bar{x}$  计算, 式(5)和式(6)将变成:

$$U(x) = 1.96\sigma(x) \quad \dots\dots\dots (9)$$

和

$$u(x) = t_{95, \Phi} s(x) \quad \dots\dots\dots (10)$$

注意, 实际使用的重复性值应按一组独立测量值推导出来(不含成对的可怀疑的测量值)。且标准偏差的估计值应按自由度至少为 20, 最好在 30 以上作出估计。

### 2.1.7 极差的估计

可以把重复性概念(两个测量值之间差的不确定度)推广到 3 个或者更多测量值的极差分布。为此有必要引入以单位标准偏差(相当于一个选定的概率水平)表示的测量值极差值  $E_1(n)$  或  $E_2(n, \Phi)$ (见附录 A)。

已知  $\sigma(x)$ , 则  $n$  个测量值的极差值为:

$$W = \sigma(x)E_1(n) \quad \dots\dots\dots (11)$$

若以自由度  $\Phi$  为标准偏差的估计值(它根据独立的测量值得到且不包含可疑的测量值), 则其极差值可用下式估计:

$$w = s(x)E_2(n, \Phi) \quad \dots\dots\dots (12)$$

实际上, 上述两种情况每种计算得到的限值, 相当于实践中在给定概率下的极差( $n$  个测量值)。对应于 95% 概率的极差值作为建立统计控制的检验(见 2.2.2)。也可用这种方法识别异常值(见 2.2.3), 但必须用附录 D 中给出的异常值检验方法进行确认。同重复性一样, 在实践中使用极差的估计值, 也应按自由度至少为 20, 最好为 30 以上得到, 且不包括怀疑的测量值。

### 2.1.8 误差的组合

考虑一个间接测量值  $y$ , 它是利用  $m$  个中间测量值  $x_1, x_2, \dots, x_m$  按下列函数计算求得的:

$$y = F(x_1, x_2, \dots, x_m) \quad \dots\dots\dots (13)$$

如果  $m$  个中间测量值在代数上是独立的, 也就是说没有一个可从其他量计算出来, 则间接测量的统计结果可按以下说明推导出来。

2.1.8.1 对于真值的估计值  $\bar{y}$ (见 2.1.3), 可将相应的平均值代入式(13)计算出来:

$$\bar{y} \approx F(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m) \quad \dots\dots\dots (14)$$

这种方法适用于近似线性函数  $F$ 。

2.1.8.2 下式给出对  $y$  标准偏差的估计值  $s(y)$ (见式 14):

$$s^2(y) = \left[ \frac{\partial F}{\partial x_1} s(x_1) \right]^2 + \left[ \frac{\partial F}{\partial x_2} s(x_2) \right]^2 + \dots + \left[ \frac{\partial F}{\partial x_m} s(x_m) \right]^2 \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中灵敏度系数  $\partial F / \partial x_i$  是根据已知的  $x_i$  或  $\bar{x}_i$  的平均值的估计。

注意, 在上式中使用的标准偏差的估计值可按单独的一组测量值(式 2), 或者按平均值(式 4)计算。此外, 上式的适用范围最好是一个或多个  $\sigma(x_i)$  为已知的, 而不是按  $s(x_i)$  估计的。

2.1.8.3 对  $y$  的不确定度估计值  $u(y)$ (见 2.1.5)在形式上同式(13)类似, 即:

$$u^2(y) = \left[ \frac{\partial F}{\partial x_1} u(x_1) \right]^2 + \left[ \frac{\partial F}{\partial x_2} u(x_2) \right]^2 + \dots + \left[ \frac{\partial F}{\partial x_m} u(x_m) \right]^2 \quad \dots\dots\dots (16)$$

再次说明, 在上式中所用不确定度的估计值可为单独测量值或平均值, 也可为已知的  $u(x_i)$  不确定度值。

## 2.2 测量程序

### 2.2.1 引言

为了用数理统计得到的控制图来监视流量计的性能, 一般来说应按下列步骤建立统计控制:

- 建立统计控制图。
- 在规定的操作条件下进行检定, 取得测量数据。
- 对测量值进行可靠性检验, 并用它建立新的性能图, 或者把它加到原来已有的性能图上。
- 如果已经累积足够的“学习(准备)阶段”的测量值, 将测量值添加到控制图上, 或者使用测量值建立新的控制图。

### 2.2.2 统计控制

在未加规定或操作条件可变的情况下取得的测量值, 是没有统计意义的。为建立统计控制, 应特别注意诸如温度和流量等参数测量的准确性, 并且所有的外部影响都应加以考虑。

通常, 定量地建立统计控制是很困难的, 但是, 在已知操作条件下, 检验性能图和由获得的一组测量值算出最大允许的极差是可以做到的。至少, 应该十分清楚地了解测量程序和正确地操作设备。

### 2.2.3 测量的可靠性

获得一组  $n$  个重复测量值后, 必须对其进行异常值检验(异常值剔除)。但是, 应该强调的是不能随

意丢掉测量值。应该努力找出那些异常值产生的原因,然后采取校正措施。如果找不到更多的造成数据分散的原因,就可用狄克逊(Dixon)或格拉布斯(Grubbs')的方法进行检验(见附录 D)。如果使用这些方法检验出有应该被剔出的数据,那么它可以不被统计在内并应再取得一些测量数据。而且还应该证明,异常值不是由于未予控制的变量象温度或流量这种的变化而产生的(见 2.2.2)。

对于一组测量值的操作条件来说, $K$  系数的分散性早已经确定(见 2.2.4)。此时不确定度的限值已是已知的,如果某个测量值处在对应于 95% 置信概率范围以外,它将被看作是一个异常值。当只有两个测量值是有效时,且其差超过重复性限度(见 2.1.6),则这两个测量值都是可疑的。同样,如果观测的极差超过最大值, $n$  个测量值的极差也是可疑的(见 2.1.7)。

#### 2.2.4 性能图

在性能图上用图解方法可表示流量计的特性,如图 1 所示,在该例中平均流量计系数以一个操作条件(即流量)为函数的形式给出。在图 1 中按  $n$  个重复测量值(典型的  $n=5$  或  $n=10$ )的极差表示变化性,而且还可用不确定度的范围来表示。

应按每种流量计和油品绘制各自的性能图,并且应注明属于哪种操作条件(例如温度范围)。但是,在中心检定站,对同等级流量计可以进行较宽操作条件范围的测量,“性能图”可采用对比表或曲面的形式表示(此时流量计系数是两个或更多操作变量的函数)(见 3.3)。

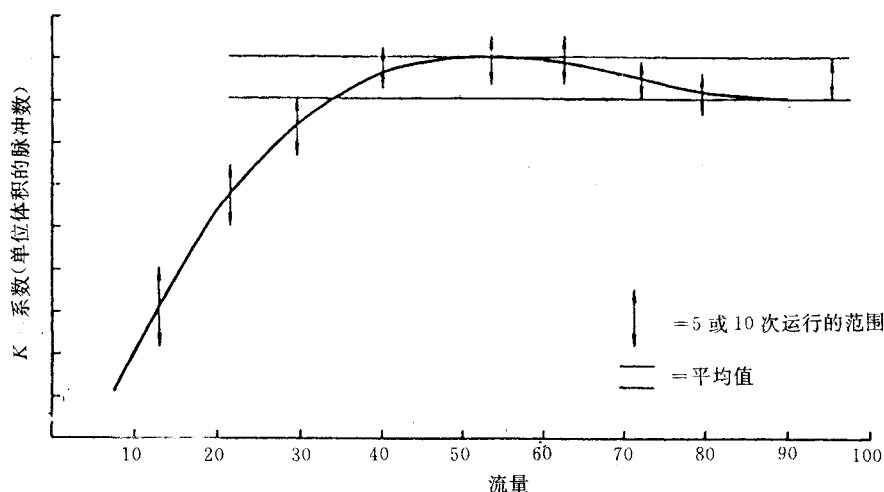


图 1 性能图—— $K$  系数与流量的关系(表示 5 到 10 次连续运行的分散性)

#### 2.2.5 控制图

##### 2.2.5.1 制图的准备

在足够长的学习阶段以后(例如已得到 15 组检定数据), $K$  系数真值的估计值可在控制图上表示出来。图 2 是一个例子,每次输入图中的值是根据四次检定运行求得的 5 个  $K$  系数的平均值。预警限和故障限就是不确定度的限值,是在学习阶段结束后分别对应于 95% 和 99% 的概率估计出来的。如果检定过程在统计控制内,那么便有 5% 的测量结果会落在预警限以外,1% 的测量结果落在故障限以外也是合理的。

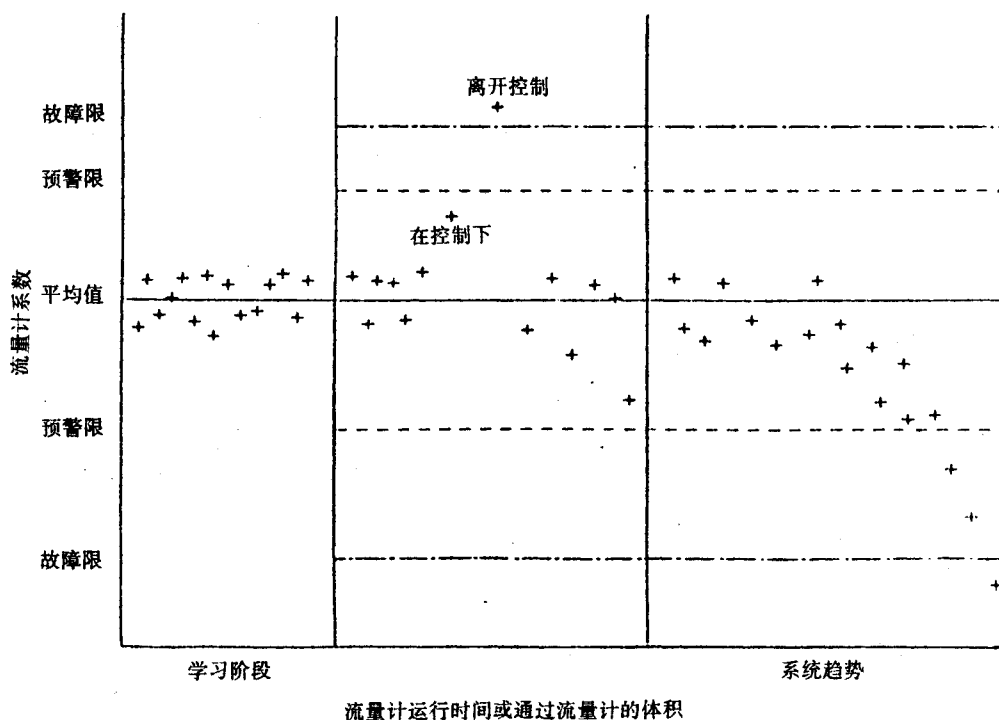


图 2 控制图

图 2 不但给出测量值是否“在控制范围内”，而且还给出随时间或体积总量系统趋势的例子。应注意：如果系统的趋势明显，则可通过平均值和控制范围的适当移动重新绘制控制图。例如，流量计元件长期磨损后就会如此。

#### 2.2.5.2 平行控制图

对于不同目的测量值，例如  $K$  系数和流量，按其共同的时间或体积流量坐标作出控制图。它便于考虑一个量值同另一个量值之间的相关关系，也便于研究  $K$  系数产生主要偏差的原因。

#### 2.2.5.3 移动平均值控制图

使用移动平均值控制图可以监视长期的流量计性能。在学习阶段以后，控制图上每个点将是最后十组检定运行的平均值（见图 2）。这将提供一个移动的“窗口”，该窗口不受短期偏差的影响，利用该窗口可识别斜率的变化（长期漂移）或阶梯的变化（ $K$  系数的恒定漂移）。

#### 2.2.5.4 非线性控制图

图 1 中所示的性能图，如果预警限和故障限被分别标在曲线的两侧便成为一张控制图。在这种情况下，性能图是以学习阶段的测量值为基础。根据这些测量值及以前能用的经验数据，在给定流量范围可以给出  $K$  系数的标准偏差的估计值。这时，还可以估计出控制范围并在图上绘制出来。

#### 2.2.5.5 相协调的图

通过比较流量计与计量罐或流量计与流量计的体积量，可监视流量计长期的性能。当一台流量计的读数定期地同另一种测量手段（例如罐测量）按相同液体体积测量结果相比较时，分别累积每种设备通过的体积量，并把两个体积量之差与一个体积累积总量的比用百分数表示。在相协调图上，该差值的真值应该是零，因为随着累积体积的增加，该差值趋向于零。否则，表明流量计已经损坏或出现偏差。

### 3 中心检定

#### 3.1 数据的收集

##### 3.1.1 检定条件

### 3.1.1.1 概述

用中心检定站储存的不同油品可以完成流量计的首次检定和周期检定,以便必要时能覆盖较宽的粘度范围。

在检定运行期间,应确定流量计系数与流量、流量计系数与粘度之间的关系。由于流量计系数将与压力  $p$ 、温度  $t$  和流量  $Q$  有关,因此在检定时,必须尽可能地使压力和温度保持不变。

在检定运行期间,将确定容积式流量计的流量计系数与流量的关系。如果这种流量计所用的油品具有较宽粘度范围(粘度小于  $20 \text{ mm}^2/\text{s}$ ),那么应建立每种油品的流量计系数曲线。

对于涡轮和推理式流量计,它们的性能与雷诺数有关。所以,最好应确定流量计系数与雷诺数或  $(Q/D)$  的关系。

如果压力和温度有些变化,必须足够小,以保证该变化对流量计系数合成不确定度的影响不会超过  $\pm 0.01\%$  的影响。此变化应该小于体积管标准容积的不确定度,其值通常是  $\pm 0.02\%$  到  $\pm 0.05\%$ 。

### 3.1.1.2 压力

压力应在流量计和体积管出口处(或附近)测量,压力值的变化范围应保持在  $\pm 50 \text{ kPa}$ 。

### 3.1.1.3 温度

液体的温度应在流量计和体积管处(或附近)测量。开始时应让足够的油品通过系统进行循环,以保证有稳定的温度条件。对于流量计和标准器之间小于  $0.1^\circ\text{C}$  的温度变化,可以认为是仪表的误差,而不是液体温度的变化。

### 3.1.1.4 流量

根据标准器在标准参比条件下的体积,利用检测开关开始和最后信号之间的时间间隔,计算平均流量。

### 3.1.1.5 粘度

每次检定运行都要确定油的密度和粘度(至少在两个不同温度下进行测量,例如  $20^\circ\text{C}$  和  $40^\circ\text{C}$ )。

### 3.1.1.6 流量计的数据

在不同流量条件下,流量计产生的脉冲数由电子计数器累加。在累加的过程中,分别由检测开关控制开启和停止。为了保证  $0.01\%$  的最大不确定度,可采用合适的脉冲插入技术。

### 3.1.1.7 检定次数

相同流量下的每个检定点应至少重复检定两次。如果分散度较大,则需要进一步测量(见 3.2.2)。

### 3.1.1.8 要求检定的流量点数

对每种给定的流体,应在不少于 5 个不同的流量点下检定流量计,其中应包括最大和最小的流量。在操作范围内得到流量点数的最小值与流量计的实际性能有关。例如,流量计系数随流量变化较大时,检定过程中所需要流量点便增多。

### 3.1.1.9 粘度点的数量

应尽可能在相同的温度和压力条件下,用实际流体、流量范围来完成检定。依据被检流量计的类型选择粘度和粘度变化的间隔,也就是说,在检定中,要兼顾到流量计系数对粘度变化的灵敏度。

虽然在流量计运行的范围内,通常按等间隔选择粘度,但在流量计系数对粘度变化特别敏感的地方,应选择补充的粘度点。

## 3.1.2 检定报告

检定报告应记录首次检定和周期检定的结果和条件,其中包括下列资料:

- a) 中心检定站的资质证书;
- b) 体积管的标准容积;
- c) 流量计的特征(制造厂、型号和系列号);
- d) 准确详细的检定条件。

## 3.2 收集数据的可靠性和结果值

### 3.2.1 中心检定的操作条件

尽管 3.1.1.1 中蕴含了,中心检定站检定期间的检定条件是不变的,但循环使用流体的温度常常有微小变化,因此,可根据温度变化来计算粘度。

如果已知流量计系数的不确定度(参见 3.2.3),则在检定期间,某参数的任何变化所引起流量计系数变化的不应产生大于给定不确定度的某个百分数,此百分数的典型值为 30%。

### 3.2.2 收集数据的可靠性

在估计流量计系数和作出此估计的分散度以前,使用下面的检验方法来检验收集数据的可靠性。

#### 3.2.2.1 异常值检验

对每个流量和粘度( $Q, \nu$ )要进行  $n(n \geq 3)$  次检验。

为了剔除异常值,可采用狄克逊检验(见附录 D1)或格拉布斯检验方法(见附录 D2)。

#### 3.2.2.2 短期变化或分散性的检验

检验流量计系数的分散性和变化性有两种方法:重复性检验和极差检验。

##### 3.2.2.2.1 重复性检验

在每个测量点( $Q, \nu$ ),两次测量值差的绝对值能够针对重复性  $r$  来进行检验。如果  $r$  是未知的,应该使用测量值平均  $MF_m$  的某一给定的百分数,其典型的值是 0.05%。

如果差的绝对值小于或等于  $r$ ,则保留两个测量值。如果差的绝对值超过  $r$ ,在给出全部  $n$  次测量值的同时,至少还应追加三个测量值,进行重复性检验。但是,现在使用的是最分散测量值和剩下的  $n-1$  次测量值的平均值之间差的绝对值。

如果其差的绝对值小于或等于

$$r \cdot \sqrt{\frac{n}{2(n-1)}}$$

则保留全部测量值;如果其差的绝对值超过

$$r \cdot \sqrt{\frac{n}{2(n-1)}}$$

则最分散的测量值应该被剔除,并且重复进行检验,直到得到一组可接受的测量值。然而,如果从 20 个测量值中剔除两个或两个以上的测量值,则应停止检定运行,并进行分析研究。

##### 3.2.2.2.2 极差的检验

在每个测量点( $Q, \nu$ )上,对  $n > 2$  测量值的极差,可以针对最大的  $W$  进行检验。此时  $MF_{\max}$  和  $MF_{\min}$  分别是最大和最小的测量值。如果流量计系数测量值的标准偏差是已知的,或者可根据以前的测量值进行估计,则对应于 95% 的概率,使用  $E_1(n)$  或  $E_2(n, \Phi)$  制表的值,用式(11)或式(12)可计算  $W$ 。若标准偏差是未知的,则用测量值的平均值  $MF_m$  的某一给定百分数代替  $W$ ,其典型值为 0.05%。

如果  $(MF_{\max} - MF_{\min})$  小于或等于  $W$ ,则保留所有的测量值。如果  $(MF_{\max} - MF_{\min})$  超过  $W$ ,则最分散的测量值应该被剔除,重复检测过程直至得到一组可接受的测量值。在这种情况下,针对新的  $n$  值,将重新计算  $W$ 。但是,如果在不多于 20 次测量值中剔除两个或两个以上的测量值,则应停止检定运行,并进行分析研究。

如果  $\sigma$  或  $s$  是未知的,则可以用下面比值来检验测量值

$$\frac{MF_{\max} - MF_{\min}}{MF_{\max} + MF_{\min}}$$

如果比值小于 0.000 25,则其结果可接受。

### 3.2.3 结果值

在每个检定点( $Q, \nu$ ),按 3.2.2 中规定的方法检验后,流量计系数是保留测量值的算术平均值。

按上述的流量计系数(算术平均值)的不确定度,用式(5)和式(6)计算。

### 3.2.4 流量计系数随( $Q, \nu$ )的变化

在整个流量和粘度范围内已确定流量计系数后,应对流量计系数的变化进行检验。对不同粘度范围,应考虑相应的流量范围。

计算的比值:

$$\frac{MF_{\max} - MF_{\min}}{MF_{\max} + MF_{\min}}$$

该比值应小于已给定的限值,这个限值的典型值是 0.025%。 $MF_{\max}$ 和 $MF_{\min}$ 分别是流量计系数在整个检定范围内的最大值和最小值。

### 3.3 性能图

#### 3.3.1 概述

中心检定站有一组固定安装的体积管,用于检定、测量涡轮及容积式流量计。

测量的目的是建立被检流量计的性能图。按不同的流量和 $Q/\nu$ 比确定流量计系数,并用多项式、表格和对比表的方法表示合适的流量计系数。

#### 3.3.2 数据的整理

##### 3.3.2.1 流量

根据在标准参比条件( $t_{0p}$ 和 $p_{0p}$ )下体积管两个检测开关之间的容积 $V_p$ (L)及检定装置中置换器置换该容积所需要的时间 $T_1$ (s),计算流量 $Q$ (m<sup>3</sup>/h)。在已知温度 $t$ 、压力 $p$ 条件下,流量用下式给出:

$$Q = 3.6 \frac{V_p}{T_1} [1 + C_{tp}(t - t_{0p}) + C_{pp}(p - p_{0p})] \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中: $C_{tp}$ ——体积管的温度修正系数;

$C_{pp}$ ——体积管的压力修正系数。

##### 3.3.2.2 粘度

在检定温度 $t$ 下,油的粘度(mm<sup>2</sup>/s),便可在检定温度下直接测得,或按下式进行计算:

$$\lg \cdot \lg[\nu + f(\nu)] = A - B \cdot \lg(t + 273.15) \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中 $A$ 和 $B$ 是用两个不同温度下的油粘度计算求得的常数。(见 GB/T 8023)

#### 3.3.2.3 流量计特性

##### 3.3.2.3.1 $K$ 系数

以单位体积脉冲数表示的 $K$ 系数是在假设流量计和体积管有相同的温度、压力的条件下,用式(19)计算求得:

$$K = \frac{N}{V_p} \cdot \frac{1 + C_{tm}(t - t_{0m}) + C_{pm}(p - p_{0m})}{1 + C_{tp}(t - t_{0p}) + C_{pp}(p - p_{0p})} \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中: $N$ ——检定运行期间记录的脉冲数;

$V_p$ ——在标准参比条件下体积管的标准容积;

$C_{tm}$ ——流量计温度产生膨胀的修正;

$C_{pm}$ ——流量计压力产生膨胀的修正;

$C_{tp}$ ——体积管温度产生膨胀的修正;

$C_{pp}$ ——体积管压力产生膨胀的修正;

$t$ ——通过流量计和体积管的液体温度;

$p$ ——通过流量计和体积管的液体压力;

$t_0$ ——标准参比温度;

$p_0$ ——标准参比压力。

##### 3.3.2.3.2 $K$ 系数修正因数

流量计修正系数(无量纲)通常是流量计的流量计算机中永久储存的正常 $K$ 系数和新的 $K$ 系数之间的比值:



$$\text{流量计修正系数} = K_{\text{正常}}/K \quad \dots\dots\dots (20)$$

### 3.3.2.3.3 相对误差

涡轮流量计的相对误差一般按下式计算：

$$E = \frac{\text{测量的体积值} - \text{标准的体积值}}{\text{标准的体积值}} \quad \dots\dots\dots (21)$$

还可表示为：

$$E = \frac{1 - MF}{MF} \quad \dots\dots\dots (22)$$

## 3.3.3 流量计校准和性能图

### 3.3.3.1 涡轮流量计和容积式流量计校准

#### 3.3.3.1.1 容积式流量计

对于粘度在 20 mm<sup>2</sup>/s 以上的油品，其粘度对容积式流量计基本没有影响。所以，流量计系数主要是随流量(Q)而变。

应使用与被测油品同类的油检定这些流量计。性能图可将 MF、K 或 E 表示为流量的函数。如表示相对误差与流量之间的关系特性图(见图 3)。

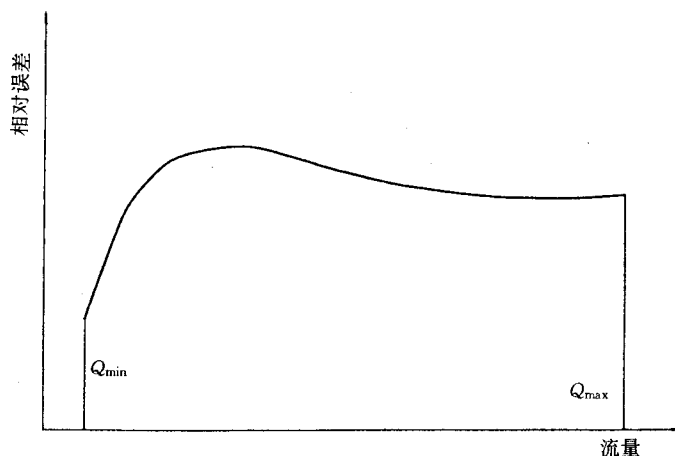


图 3 性能图

#### 3.3.3.1.2 涡轮流量计

当用运动粘度小于 1 mm<sup>2</sup>/s 的同类油品或者粘度变化很小的油品时，油品不会使流量计系数产生大于 0.1% 的变化，这时流量计系数只是流量的函数。性能图可将 MF、K 或 E 表示为流量的函数。如表示相对误差与流量关系的性能图(见图 3)。

在使用多种油品或存在较大粘度变化时，对于涡轮流量计，如螺旋面双叶片涡轮流量计，可以绘制通用的检定曲线(UCC)(见 3.3.3.2)。该性能图可将 MF 表示为 Q/ν 的函数(见图 4)。

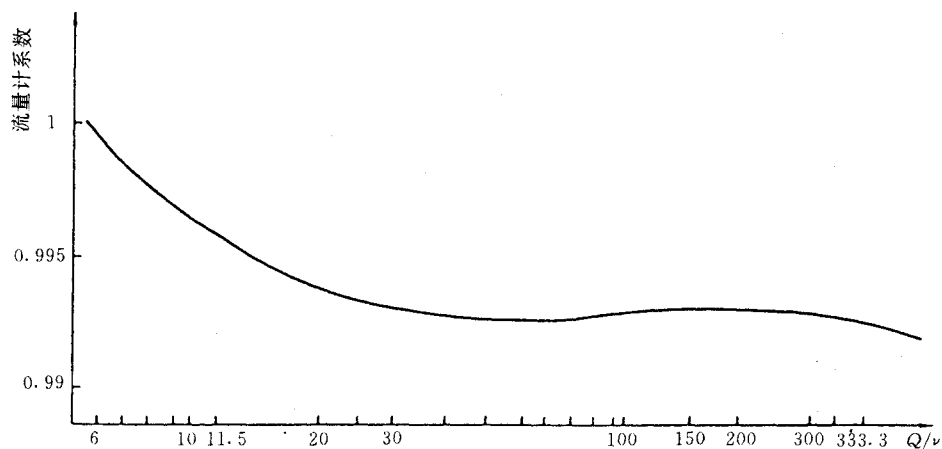
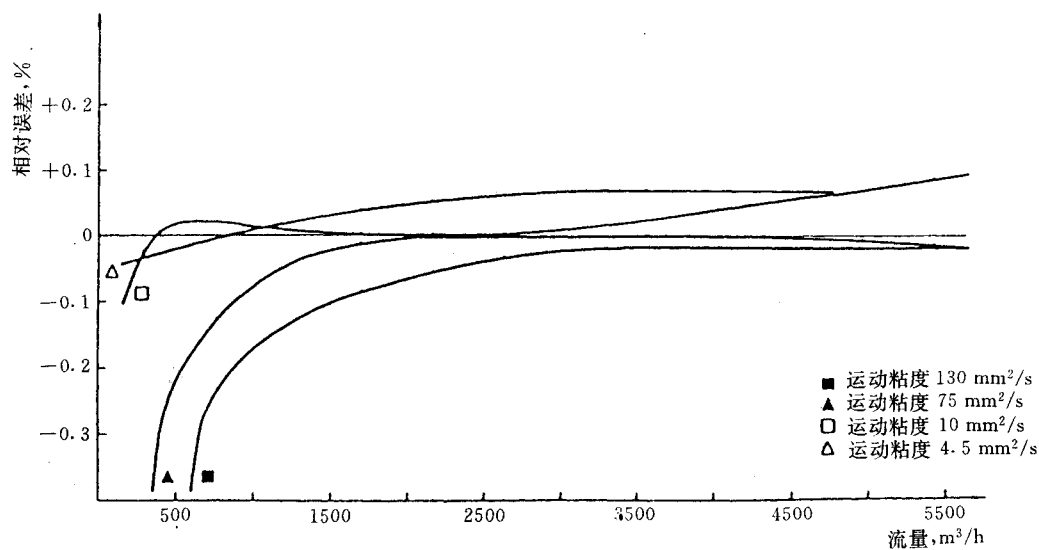


图 4 性能图

使用不可能绘制 UCC 曲线的流量计,可以建立流量和粘度的表格。性能图是在已知粘度下,将  $MF$ 、 $K$  或  $E$  表示为流量的函数(见图 5)。

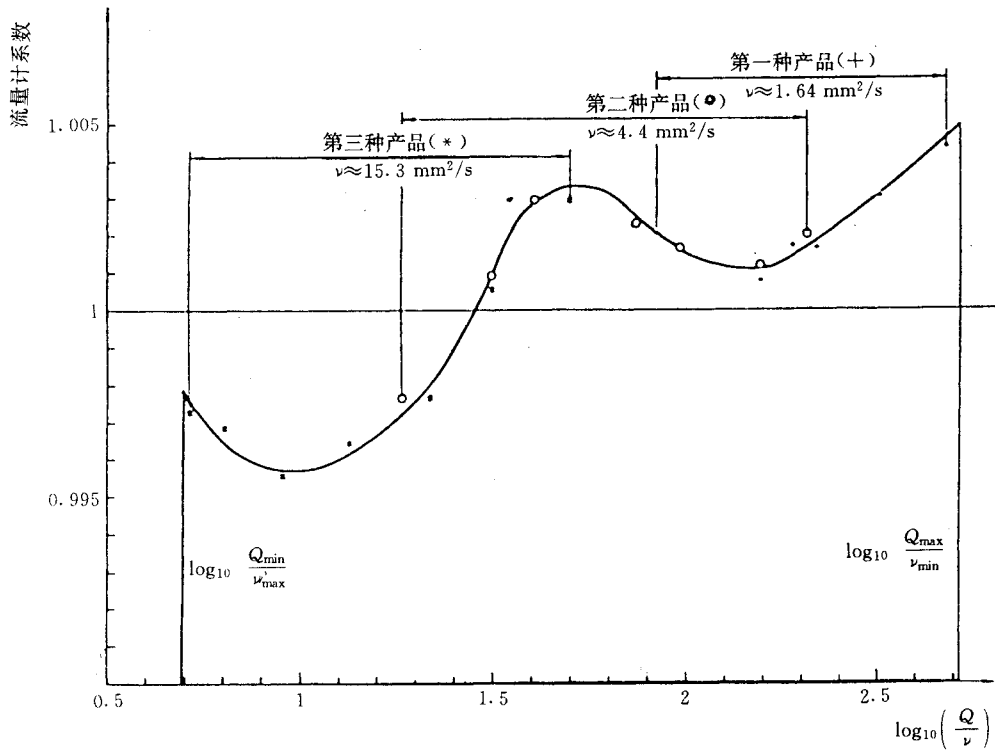


$$E=f(Q)$$

图 5 性能图

### 3.3.3.2 涡轮流量计的通用检定曲线

利用按不同油品、流量和粘度所得到的结果,作出表示  $MF$  与  $Q/\nu$  关系的曲线(UCC)。这种曲线还可按自变量为  $Q/\nu$  整理成一个多项式(见图 6),也可用表格形式表示为真值表(见表 1 或表 2)。



多项式方程：  
 $MF = a_0 + a_1 \cdot \lg(Q/\nu) + a_2 \cdot \lg^2(Q/\nu) + \dots + a_6 \cdot \lg^6(Q/\nu)$   
 $a_0 = 0.847\ 995\ 41 \quad a_1 = 0.753\ 462\ 37 \quad a_2 = -1.474\ 550\ 3$   
 $a_3 = 1.428\ 418\ 5 \quad a_4 = 1.474\ 550\ 3 \quad a_5 = -0.018\ 590\ 46$   
 $a_6 = 1.428\ 418\ 5$

图 6 性能图——UCC 多项式

表 1 性能表——对比表

| 流量计系数<br>运动粘度,mm²/s | 流量,m²/h |         |         |         |         |         |         |         |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                     | 100     | 200     | 300     | 400     | 500     | 600     | 700     | 800     |
| 1.00                | 1.001 7 | 1.001 3 | 1.002 8 | 1.004 2 | 1.004 4 | 1.003 2 | 1.000 5 | 0.996 3 |
| 2.00                | 1.002 5 | 1.001 7 | 1.001 1 | 1.001 3 | 1.002 0 | 1.002 8 | 1.003 6 | 1.004 2 |
| 4.00                | 1.000 1 | 1.002 5 | 1.002 3 | 1.001 7 | 1.001 3 | 1.001 1 | 1.001 1 | 1.001 3 |
| 6.00                | 0.997 9 | 1.001 5 | 1.002 5 | 1.002 5 | 1.002 1 | 1.001 7 | 1.001 4 | 1.001 2 |
| 8.00                | 0.996 8 | 1.000 1 | 1.001 9 | 1.002 5 | 1.002 5 | 1.002 3 | 1.002 0 | 1.001 7 |
| 10.00               | 0.996 4 | 0.998 9 | 1.001 0 | 1.002 1 | 1.002 5 | 1.002 6 | 1.002 4 | 1.002 2 |
| 12.00               | 0.996 5 | 0.997 9 | 1.000 1 | 1.001 5 | 1.002 2 | 1.002 5 | 1.002 6 | 1.002 5 |
| 14.00               | 0.996 8 | 0.997 2 | 0.999 2 | 1.000 8 | 1.001 7 | 1.002 3 | 1.002 5 | 1.002 6 |
| 16.00               | 0.997 1 | 0.996 8 | 0.998 5 | 1.000 1 | 1.001 2 | 1.001 9 | 1.002 3 | 1.002 5 |

注：多项式曲线同图性能(图 6)的曲线相同。

表 2 性能表

| 流量, m <sup>2</sup> /h<br>流量计系数<br>运动粘度, mm <sup>2</sup> /s | 50      | 100     | 150     | 200     | 250     | 300     | 350     | 400     | 450     |
|------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1                                                          | 0.997 3 | 0.997 9 | 0.998 9 |         |         |         |         |         |         |
| 2                                                          | 0.996 6 | 0.997 3 | 0.997 2 | 0.997 9 | 0.998 7 |         |         |         |         |
| 3                                                          | 0.994 4 | 0.997 4 | 0.997 3 | 0.997 1 | 0.997 4 | 0.997 9 | 0.998 5 | 0.998 9 | 0.998 9 |
| 4                                                          | 0.992 9 | 0.996 6 | 0.997 5 | 0.997 3 | 0.997 1 | 0.997 2 | 0.997 5 | 0.997 9 | 0.998 3 |
| 5                                                          | 0.992 4 | 0.995 5 | 0.997 2 | 0.997 5 | 0.997 3 | 0.997 2 | 0.997 2 | 0.997 3 | 0.997 6 |
| 6                                                          | 0.992 6 | 0.994 4 | 0.996 6 | 0.997 4 | 0.997 5 | 0.997 3 | 0.997 2 | 0.997 1 | 0.997 2 |
| 7                                                          | 0.993 2 | 0.993 5 | 0.995 9 | 0.997 1 | 0.997 4 | 0.997 4 | 0.997 3 | 0.997 2 | 0.997 1 |
| 8                                                          | 0.994 0 | 0.992 9 | 0.995 1 | 0.996 6 | 0.997 3 | 0.997 5 | 0.997 4 | 0.997 3 | 0.997 2 |
| 9                                                          | 0.994 7 | 0.992 5 | 0.994 4 | 0.996 1 | 0.997 0 | 0.997 4 | 0.997 5 | 0.997 4 | 0.997 3 |
| 10                                                         | 0.995 3 | 0.992 4 | 0.993 8 | 0.995 5 | 0.996 6 | 0.997 2 | 0.997 4 | 0.997 5 | 0.997 4 |
| 11                                                         | 0.995 5 | 0.992 4 | 0.993 3 | 0.994 9 | 0.996 2 | 0.996 9 | 0.997 3 | 0.997 5 | 0.997 5 |
| 12                                                         | 0.995 3 | 0.992 6 | 0.992 9 | 0.994 4 | 0.995 7 | 0.996 6 | 0.997 1 | 0.997 4 | 0.997 5 |
| 13                                                         |         | 0.992 8 | 0.992 6 | 0.994 0 | 0.995 3 | 0.996 3 | 0.996 9 | 0.997 2 | 0.997 4 |
| 14                                                         |         | 0.993 2 | 0.992 5 | 0.993 5 | 0.994 8 | 0.995 9 | 0.996 6 | 0.997 1 | 0.997 3 |
| 15                                                         |         | 0.993 6 | 0.992 4 | 0.993 2 | 0.994 4 | 0.995 5 | 0.996 3 | 0.996 9 | 0.997 2 |
| 16                                                         |         | 0.994 0 | 0.992 4 | 0.992 9 | 0.994 0 | 0.995 1 | 0.996 0 | 0.996 6 | 0.997 0 |
| 17                                                         |         | 0.994 4 | 0.992 4 | 0.992 7 | 0.993 7 | 0.994 8 | 0.995 7 | 0.996 3 | 0.996 8 |
| 18                                                         |         | 0.994 7 | 0.992 6 | 0.992 5 | 0.993 4 | 0.994 4 | 0.995 3 | 0.996 1 | 0.996 6 |
| 19                                                         |         | 0.995 0 | 0.992 7 | 0.992 4 | 0.993 1 | 0.994 1 | 0.995 0 | 0.995 8 | 0.996 4 |
| 20                                                         |         | 0.995 3 | 0.992 9 | 0.992 4 | 0.992 9 | 0.993 8 | 0.994 7 | 0.995 5 | 0.996 1 |
| 21                                                         |         | 0.995 4 | 0.993 2 | 0.992 4 | 0.992 7 | 0.993 5 | 0.994 4 | 0.995 2 | 0.995 9 |
| 22                                                         |         | 0.995 5 | 0.993 4 | 0.992 4 | 0.992 6 | 0.993 3 | 0.994 2 | 0.994 9 | 0.995 6 |
| 23                                                         |         | 0.995 5 | 0.993 7 | 0.992 5 | 0.992 5 | 0.993 1 | 0.993 9 | 0.994 7 | 0.995 4 |
| 24                                                         |         | 0.995 3 | 0.994 0 | 0.992 6 | 0.992 4 | 0.992 9 | 0.993 7 | 0.994 4 | 0.995 1 |
| 25                                                         |         |         | 0.994 2 | 0.992 7 | 0.992 4 | 0.992 8 | 0.993 4 | 0.994 2 | 0.994 9 |
| 26                                                         |         |         | 0.994 5 | 0.992 8 | 0.992 4 | 0.992 6 | 0.993 2 | 0.994 0 | 0.994 7 |
| 27                                                         |         |         | 0.994 7 | 0.993 0 | 0.992 4 | 0.992 5 | 0.993 1 | 0.993 7 | 0.994 4 |
| 28                                                         |         |         | 0.994 9 | 0.993 2 | 0.992 4 | 0.992 5 | 0.992 9 | 0.993 5 | 0.994 2 |
| 29                                                         |         |         | 0.995 1 | 0.993 4 | 0.992 5 | 0.992 4 | 0.992 8 | 0.993 4 | 0.994 0 |
| 30                                                         |         |         | 0.995 3 | 0.993 6 | 0.993 6 | 0.992 4 | 0.992 7 | 0.993 2 | 0.993 8 |
| 31                                                         |         |         | 0.995 4 | 0.993 8 | 0.992 7 | 0.992 4 | 0.992 6 | 0.993 0 | 0.993 6 |
| 32                                                         |         |         | 0.995 5 | 0.994 0 | 0.992 8 | 0.992 4 | 0.992 5 | 0.992 9 | 0.993 5 |
| 33                                                         |         |         | 0.995 5 | 0.994 2 | 0.992 9 | 0.992 4 | 0.992 4 | 0.992 8 | 0.993 3 |

表 2 (完)

| 流量, m <sup>2</sup> /h<br>流量计系数<br>运动粘度, mm <sup>2</sup> /s | 50 | 100 | 150     | 200     | 250     | 300     | 350     | 400     | 450     |
|------------------------------------------------------------|----|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 34                                                         |    |     | 0.995 5 | 0.994 4 | 0.993 0 | 0.992 4 | 0.992 4 | 0.992 7 | 0.993 2 |
| 35                                                         |    |     | 0.995 5 | 0.994 6 | 0.993 2 | 0.992 5 | 0.992 4 | 0.992 6 | 0.993 0 |
| 36                                                         |    |     | 0.995 3 | 0.994 7 | 0.993 3 | 0.992 6 | 0.992 4 | 0.992 5 | 0.992 9 |
| 37                                                         |    |     | 0.995 2 | 0.994 9 | 0.993 5 | 0.992 6 | 0.992 4 | 0.992 5 | 0.992 8 |
| 38                                                         |    |     |         | 0.995 0 | 0.993 7 | 0.992 7 | 0.992 4 | 0.992 4 | 0.992 7 |
| 39                                                         |    |     |         | 0.995 2 | 0.993 8 | 0.992 8 | 0.992 4 | 0.992 4 | 0.992 6 |
| 40                                                         |    |     |         | 0.995 3 | 0.994 0 | 0.992 9 | 0.992 4 | 0.992 4 | 0.992 6 |

### 3.3.3.2.1 多项式方法

对已知数据组 $[\lg(Q/\nu), MF]$ , 可用给定幂次的多项式来对这些点进行最佳拟合。一般使用的方法是\*\*最小二乘法\*\* (见附录 E)。

依照曲线的形状可选择多项式的幂次。一般来说, 4 至 6 次幂的多项式是足够的。多项式的随机不确定度小于  $\pm 0.1\%$  (见附录 E)。

必须检查是否有足够数目的点 ( $n$ ), 满足有 ( $d$ ) 次幂的函数。所选择的最佳点数至少取多项式幂次加一的二倍  $[n=2(d+1)]$ , 点的分布尽可能均匀。

### 3.3.3.2.2 粘度、流量及流量计系数对比表 (简称对比表)

根据 UCC 曲线, 已知作为流量和粘度函数的流量计系数, 可建立双参数的表格 ( $Q/\nu$ )。

如果从表格中找不到相应流量或粘度的流量计系数, 则在最接近的数据之间用插入法来求解。

### 3.3.3.2.3 表格

利用涡轮流量计的检定资料建立的表格。这种表与对比表类似, 但应有较小的粘度间隔。

## 3.4 控制图和检验

依据应用类型的不同 (见 2.2.5), 可以制成流量计系数,  $K$  系数或相对误差的控制图和检验。

### 3.4.1 流量计的质量

在中心检定站, 检定的流量计应该有足够稳定的性能, 在整个运行期间能获得好的重复性。

### 3.4.2 检定的周期

检定的周期可以是时间的函数, 或者是测量的总体积的函数。一旦达到这两个界限中的一个, 应立即检定流量计。

如果在测量时有任何故障, 虽然没有达到检定的期限, 也应重新检定流量计。

#### 3.4.2.1 以时间为依据再次检定

流量计系数的漂移通常每年约为  $0.1\%$ 。为保证检定的有效性的, 适当选择两次连续检定之间的时间间隔。

时间间隔主要以流量计运行的经验为依据, 即使流量计未使用, 通常六个月到一年也应检定一次。

#### 3.4.2.2 以体积为依据再次检定

流量计的再次检定也需要按通过流量计的体积来规定。该体积的大小可按控制图上说明的流量计使用情况来决定。

### 3.4.3 流量计的控制图和检验

根据两次相邻检定流量计产生的流量计系数的变化监视流量计。若符合下列准则, 流量计则可使用; 否则, 必须对流量计进行分析研究。

- a) 新检定曲线  $E_{\max}$  和  $E_{\min}$  之间的差值应小于 0.5% (见图 7)。  
 b) 老的和新的曲线之间的差值应小于 0.1% (见图 8)。

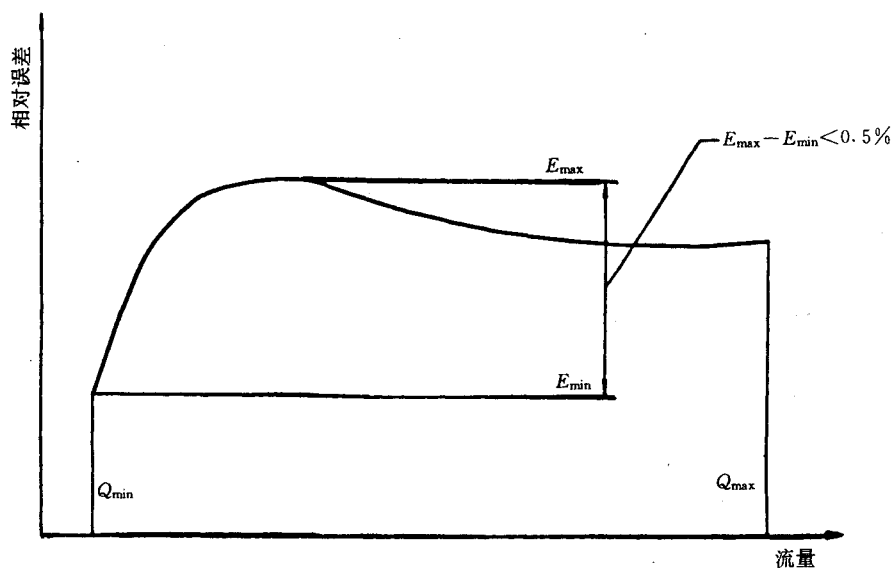


图 7 控制图

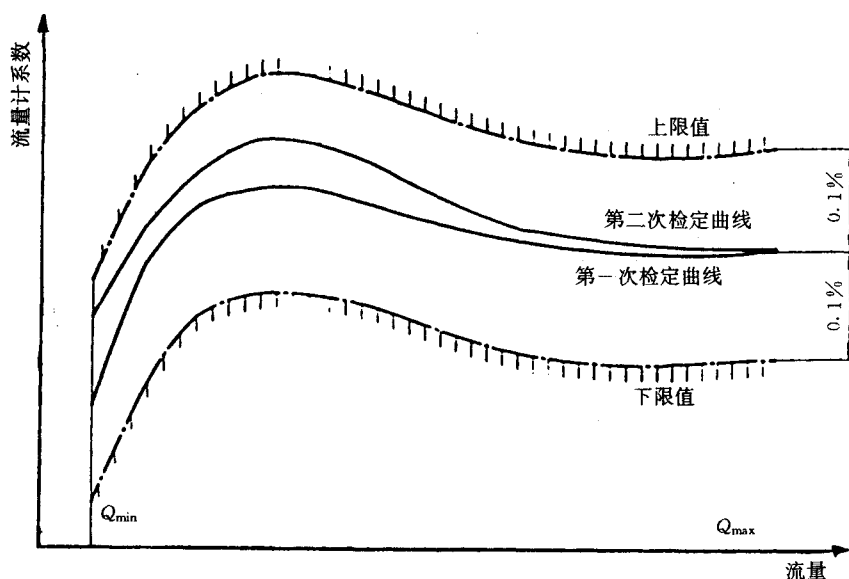


图 8 控制图

### 3.4.4 多项式的控制图和检验

采用多项式  $MF=f(Q/\nu)$  或控制图评价和分析单个流量计系数的变化 (见图 9 和图 10) 时, 应符合下列准则:

- a) 新检定曲线  $MF_{\max}$  和  $MF_{\min}$  之间的差值 (见图 9) 应满足下式:

$$200 \frac{(MF_{\max} - MF_{\min})}{(MF_{\max} + MF_{\min})} \leq 0.5$$

- b) 多项式的随机不确定度 (见附录 E) 应小于  $\pm 0.1\%$ 。

c) 按新、老的多项式计算的最大差值应小于 0.1%。

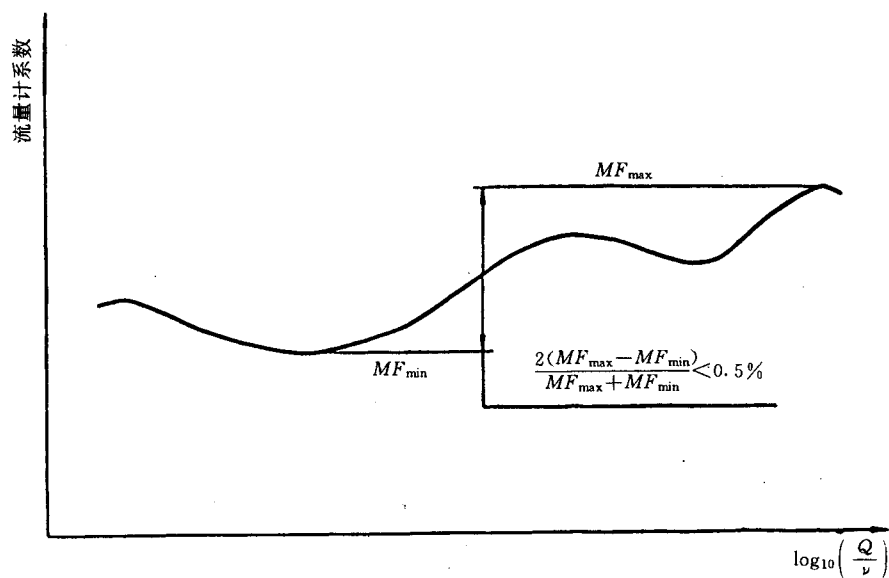


图 9 控制图

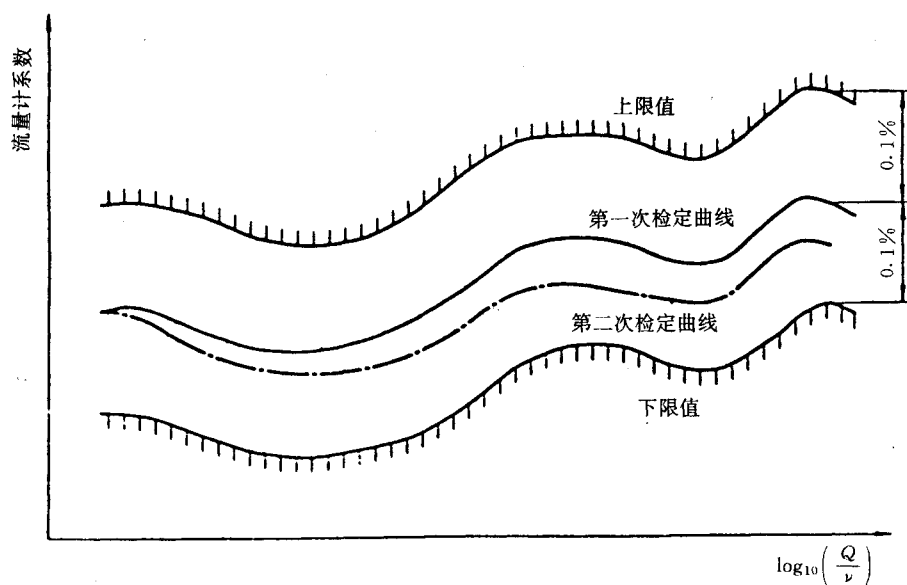


图 10 控制图

### 3.4.5 对比表的控制图

对单个流量计直接进行流量计系数变化的分析,应符合下列准则:

a) 见 3.4.4a)。

b) 对应于相同的输入  $Q/v$ , 计算出新、老流量计系数之间的最大差值, 该值不应大于 0.1%。

### 3.5 实例

#### 3.5.1 实例内容

中心检定计算的例题和使用的控制图如下:

——例 1: 异常值检验;

——例 2: 重复性检验;

- 例 3:极差的检验;
- 例 4:结果值;
- 例 5:数据的整理;
- 例 6:通用检定曲线。

### 3.5.2 例 1:异常值检验

#### 3.5.2.1 已知

用单向体积管检定 250 mm 的涡轮流量计,体积管两个检测开关之间的标准容积在 20℃ 和 100 kPa 条件下是 9 955.4 L,检定结果如下:

| 检定次数 | 流量计系数   |
|------|---------|
| 1    | 1.001 5 |
| 2    | 1.001 4 |
| 3    | 1.002 2 |
| 4    | 1.001 3 |

#### 3.5.2.2 求

是否有应剔除的异常值?

#### 3.5.2.3 解

##### a) 第一步

按照测量值从小到大的顺序重新排列测量值,并在 95% 的概率下应用狄克逊方法检验(见附录 D)

|       |   |         |
|-------|---|---------|
| $x_1$ | 4 | 1.001 3 |
| $x_2$ | 2 | 1.001 4 |
| $x_3$ | 1 | 1.001 5 |
| $x_4$ | 3 | 1.002 2 |

##### b) 第二步

$$R_{10} = \frac{x_4 - x_3}{x_4 - x_1} = \frac{1.002\ 2 - 1.001\ 5}{1.002\ 2 - 1.001\ 3} = \frac{7}{9} = 0.777$$

$R$  是狄克逊比值。

由于 0.777 大于临界值 0.765,测量值  $x_4$  应该剔除。

### 3.5.3 例 2:重复性检验

#### 3.5.3.1 已知

与例 1 中相同的涡轮流量计,给出下列结果

| 序号 | 流量计系数            |
|----|------------------|
| 1  | $x_1 = 0.995\ 8$ |
| 2  | $x_2 = 0.996\ 3$ |

这类流量计的重复性估计是:

$$r = 0.000\ 4$$

#### 3.5.3.2 求

这两个测量值是否可接受?

#### 3.5.3.3 解

##### a) 第一步

计算

$$x_2 - x_1 = 0.996\ 3 - 0.995\ 8 = 0.000\ 5$$

由于 0.000 5 比  $r = 0.000\ 4$  大,故要得到三次补充测量的值,即:



$$x_3 = 0.995\ 6$$

$$x_4 = 0.995\ 7$$

$$x_5 = 0.995\ 7$$

b) 第二步

按照测量值从小到大的顺序重新排列测量值,求最大分散值:

$$0.995\ 6\ \dots\dots 0.000\ 1$$

$$0.995\ 7$$

$$0.995\ 7$$

$$0.995\ 8$$

$$0.996\ 3\ \dots\dots 0.000\ 5$$

最大分散值是 0.996 3

c) 第三步

计算

$$\frac{0.995\ 6 + 0.995\ 7 + 0.995\ 7 + 0.995\ 8}{4} = 0.995\ 7$$

$$0.996\ 3 - 0.995\ 7 = 0.000\ 6$$

$$r \sqrt{\frac{n}{2(n-1)}} = 0.000\ 4 \sqrt{\frac{5}{2(5-1)}} = 0.000\ 3$$

由于 0.000 6 大于  $r$ , 故应剔除  $x_2$ 。

### 3.5.4 例 3: 极差的检验

#### 3.5.4.1 已知

已知与例 1 相同的涡轮流量计, 给出下列测量值:

| 序号 | 流量计系数   |
|----|---------|
| 1  | 0.995 8 |
| 2  | 0.995 9 |
| 3  | 0.997 2 |

#### 3.5.4.2 求

这些测量值是否能接受?

#### 3.5.4.3 解

a) 情况 1

已知标准偏差 ( $\sigma = 0.000\ 4$ )

$$MF_{\max} - MF_{\min} = 0.997\ 2 - 0.995\ 8 = 0.001\ 4$$

95% 概率下限制值在  $n=3$  时,  $E_1(n) = 3.31$  (见附录 A, 表 A1), 故

$$\sigma \cdot E_1(n) = 0.000\ 4 \times 3.31 = 0.001\ 324$$

因 0.001 4 大于 0.001 324, 故第三个 (最大分散) 测量值不保留。

b) 情况 2

自由度为 20, 测量估计的标准偏差  $s = 0.000\ 4$

$$MF_{\max} - MF_{\min} = 0.997\ 2 - 0.995\ 8 = 0.001\ 4$$

概率为 95% 的限制值  $E_2(3, 20) = 3.58$  (见附录 A, 表 A2)。故

$$s \cdot E_2(n, \Phi) = 0.000\ 4 \times 3.58 = 0.001\ 43$$

因 0.001 4 小于 0.001 43, 故保留测量值。

c) 情况 3

$\sigma$  和  $s$  未知, 但按平均值的 0.05% 给出三个值极差的临界值。

$$MF_{\max} - MF_{\min} = 0.997\,2 - 0.995\,8 = 0.001\,4$$

$$\text{平均值的 } 0.05\% = 0.000\,5 \frac{(0.995\,8 + 0.995\,4 + 0.997\,2)}{3} = 0.000\,5$$

因 0.001 4 大于 0.000 5 (见 3.2.2.2), 故第三个测量值(最大分散)不能保留。

### 3.5.5 例 4: 结果值

#### 3.5.5.1 已知:

已知与例 1 相同的涡轮流量计, 给出一点(Q, ν)的下列结果:

| 序号 | 流量计系数   |
|----|---------|
| 1  | 0.995 7 |
| 2  | 0.995 9 |
| 3  | 0.996 2 |

#### 3.5.5.2 求

流量计系数的平均值及标准偏差的估计?

#### 3.5.5.3 解

##### a) 第一步

求平均值:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i = 0.995\,93$$

##### b) 第二步

求标准偏差:

| $n$                | $x_i$   | $(x_i - \bar{x})$ | $(x_i - \bar{x})^2$ |
|--------------------|---------|-------------------|---------------------|
| 1                  | 0.995 7 | -0.000 23         | 0.000 000 052 9     |
| 2                  | 0.995 9 | -0.000 03         | 0.000 000 000 9     |
| 3                  | 0.996 2 | -0.000 27         | 0.000 000 072 9     |
|                    |         |                   | 0.000 000 126 7     |
| $s(x) = 0.000\,25$ |         |                   |                     |

##### c) 第三步

求单个测量值的不确定度

$$u(x) = t_{95, n-1} s(x)$$

$$u(x) = 4.303 \times 0.000\,25 = 0.001\,08$$

求三个测量值平均值的不确定度  $u(\bar{x}) = t_{95, n-1} s(x) / \sqrt{n}$

$$u(\bar{x}) = \frac{4.303 \times 0.000\,25}{\sqrt{3}} = 0.000\,6$$

### 3.5.6 例 5: 数据的整理

#### 3.5.6.1 已知

中心检定站使用的双向体积管技术参数如下:

$$V_p = 2.502\,5L$$

$$C_{ip} = 35 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$C_{pp} = 25 \times 10^{-4} \text{ kPa}^{-1}$$

$$t_{0p} = 20^\circ\text{C}$$

$p_{0p} = 101.325 \text{ kPa}$  (标准大气压力)

使用的脉冲插入技术是双倍计时方法(见图 11)

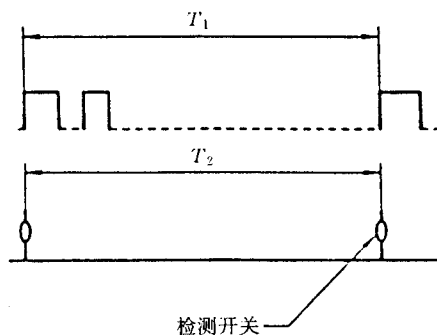


图 11 脉冲插入技术的双倍计时法

检定涡轮流量计使用的油品是馏分油,在  $20^\circ\text{C}$  下的粘度是  $4.10 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。

实验室提供下列方程式计算给定温度下的油品粘度。

$$\lg \cdot \lg(\nu_t + 0.7) = A - B \lg(273.15 + t)$$

式中:  $A = 10.252$ ;

$B = 4.223$ 。

涡轮流量计有下列特性:

脉冲当量 =  $0.5 \text{ L/脉冲}$ ;

$K$  系数<sub>正常</sub> =  $1/0.5 = 2 \text{ 脉冲/L}$ ;

$C_{tm} = 69 \times 10^{-6}^\circ\text{C}$ ;

$C_{pm} = 0$ 。

检测结果如表 3 所示:

表 3 例 5:涡轮流量计的检测结果

| 序号 | 温度, $^\circ\text{C}$ | 压力 $\times 10^{-2}$ , kPa | $T_1, 10^{-4}\text{s}$ | $T_2, 10^{-4}\text{s}$ | 脉冲数 $N$ |
|----|----------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|---------|
| 1  | 9.4                  | 3.0                       | 201 576                | 201 594                | 5 016   |
| 2  | 9.6                  | 3.0                       | 200 126                | 200 120                | 5 016   |
| 3  | 10.0                 | 3.0                       | 335 234                | 335 266                | 5 023   |
| 4  | 10.6                 | 3.0                       | 335 352                | 335 368                | 5 024   |
| 5  | 10.7                 | 3.0                       | 496 172                | 496 183                | 5 024   |

### 3.5.6.2 求

对序号为 1 的试验点计算。

——流量;

——粘度;

—— $K$  系数;

——流量计系数。

### 3.5.6.3 解

a) 流量

$$Q = \frac{V_p \times 3.6}{T_2} [1 + (35 \times 10^{-6})(t - 20) + (25 \times 10^{-4})p]$$

式中:  $t = 9.4^\circ\text{C}$ ;

$p=300 \text{ kPa}$ ;

$T_2=201\,594 \times 10^{-4} \text{ s}$ 。

$$\begin{aligned} Q &= \frac{2\,502.5 \times 3.6}{20.159\,4} [1 + (35 \times 10^{-6})(9.4 - 20) + (25 \times 10^{-4}) \times 300] \\ &= 446.888 [1 + (3.71 \times 10^{-4}) + (7.5 \times 10^{-5})] \\ &= 446.888 \times 0.999\,704 = 446.756 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

b) 粘度

$$\lg \cdot \lg(\nu_t + 0.7) = 10.252 - 4.223 \times \lg(273.15 + t)$$

式中:  $t=9.4^\circ\text{C}$ ;

$\nu_t=5.55 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。

c)  $K$  系数

$$\begin{aligned} K &= \frac{N}{V_p} \cdot \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{1 + C_{tm}(t - t_{0m}) + C_{pm}(p - p_{0m})}{1 + C_{tp}(t - t_{0p}) + C_{pp}(p - p_{0p})} \\ &= \frac{5\,016}{2\,502.5} \times \frac{201\,594}{201\,576} \times \frac{1 + (69 \times 10^{-6})(9.4 - 20)}{1 + (35 \times 10^{-6})(9.4 - 20) + (25 \times 10^{-6}) \times 300} \\ &= 2.004\,395\,6 \times 1.000\,089\,3 \times \frac{0.999\,268\,6}{0.999\,704} \\ &= 2\,003\,7 (\text{脉冲}/\text{L}) \end{aligned}$$

d) 流量计系数

$$MF = 2/K = 2/2.003\,7 = 0.998\,2$$

### 3.5.7 例 6: 通用检定曲线

#### 3.5.7.1 已知

在三年(1978, 1979, 1980)里, 中心检定站同一台 150 mm 的涡轮流量计, 每年用三种油品各检定一次。

体积管的技术参数是:

——双向式体积管;

—— $V_p=2\,503.2 \text{ L}$  (1978 和 1979), 1980 年重新对体积管检定后,  $V_p=2\,503.5 \text{ L}$ ;

—— $C_{tp}=49 \times 10^{-6} ^\circ\text{C}^{-1}$ ;

—— $C_{pp}=31 \times 10^{-4} \text{ kPa}^{-1}$ 。

检定涡轮流量计使用的油品是:

——航空煤油;

——馏分油;

——燃料油。

中心检定站每年都有检定报告, 报告中给出:

——油品种类及在  $20^\circ\text{C}$  下的粘度;

——计算求得的流量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

——检定测量温度下计算的运动粘度;

—— $\lg(Q/\nu)$ ;

——流量计系数;

——多项方程式(UCC)的系数。

检测报告中还附有:

——性能图(见图 12 至图 17);

——流量计系数表(见表 4 至表 12);

——UCC。

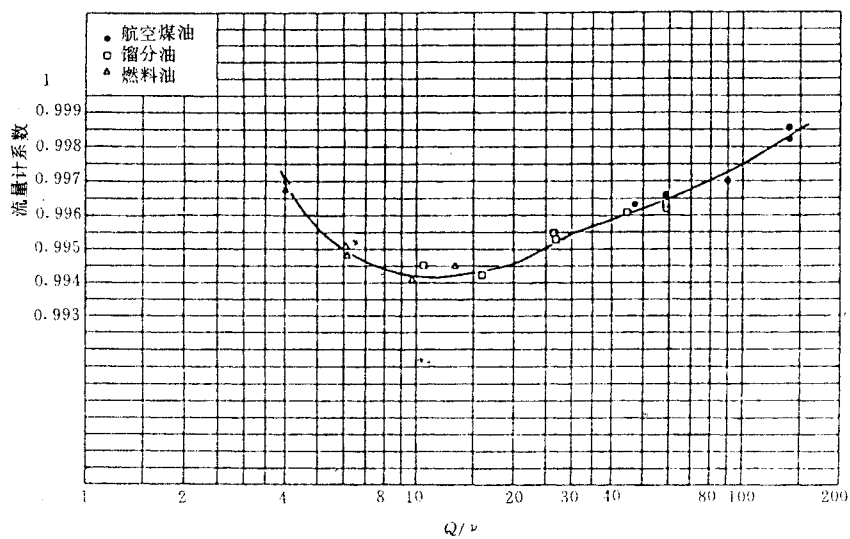


图 12 310 号涡轮流量计的性能图(1978)

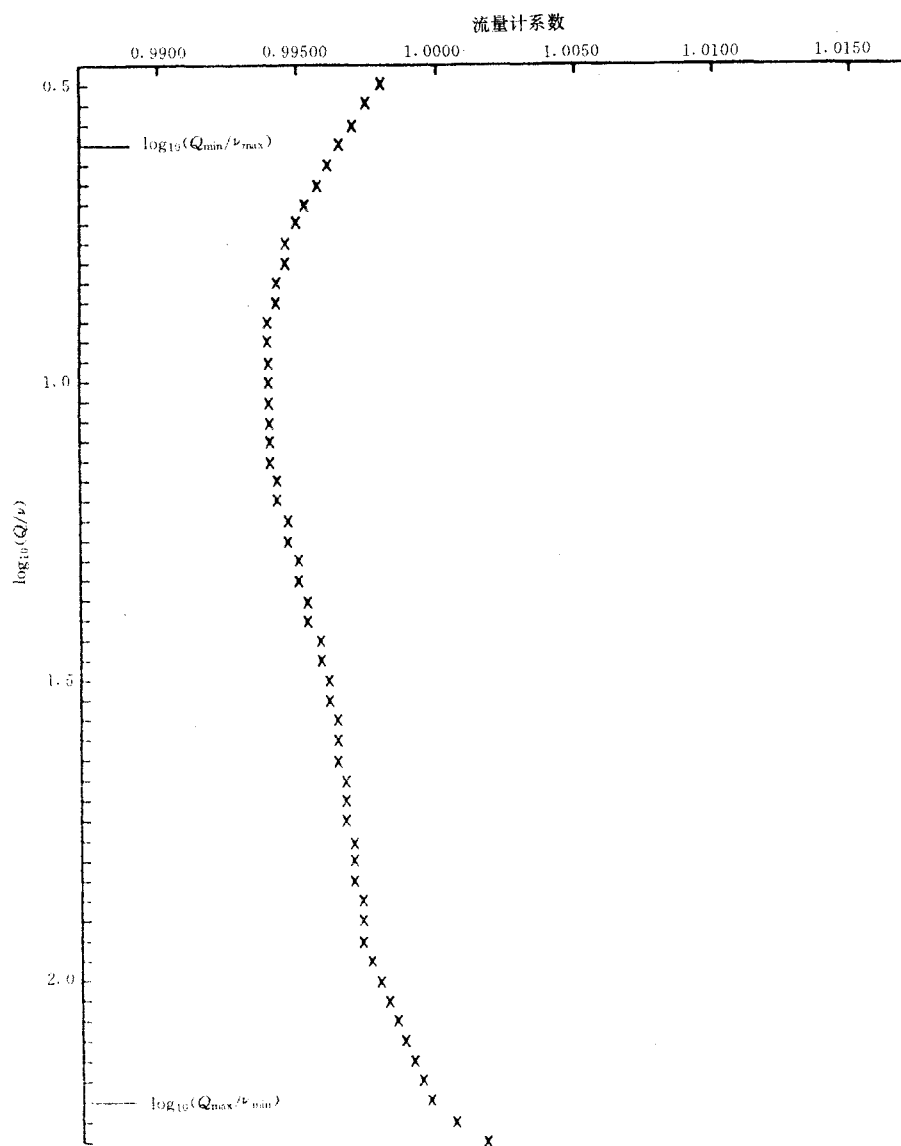
图 13 310 号涡轮流量计  $\log_{10}(Q/\nu)$  与流量计系数(1978)

表 4 310 号涡轮流量计性能表(1978)

| 体积管                                                                                             |                               | 流量计                                           |                    |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------|---------|
| $V_p=2\ 503.2\text{ L}$                                                                         |                               | 310 号流量计                                      |                    |         |
| $C_{ip}=49\times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$                                          |                               | 规格:150 mm                                     |                    |         |
| $C_{pp}=31\times 10^{-4}\text{ kPa}^{-1}$                                                       |                               | $p=0.5\text{ L/脉冲}$                           |                    |         |
| 产品                                                                                              | 计算流量<br>$\text{m}^3/\text{h}$ | 在 $t$ 温度下<br>计算运动粘度<br>$\text{mm}^2/\text{s}$ | $\log_{10}(Q/\nu)$ | 流量计系数   |
| 航空煤油<br>$\nu_{20}=1.70(\text{mm}^2/\text{s})$                                                   | 273.50                        | 1.98                                          | 2.140              | 0.998 2 |
|                                                                                                 | 282.58                        | 1.97                                          | 2.157              | 0.998 4 |
|                                                                                                 | 178.14                        | 1.97                                          | 1.956              | 0.997 0 |
|                                                                                                 | 178.17                        | 1.97                                          | 1.956              | 0.997 0 |
|                                                                                                 | 116.10                        | 1.97                                          | 1.770              | 0.996 5 |
|                                                                                                 | 116.55                        | 1.95                                          | 1.776              | 0.996 5 |
|                                                                                                 | 79.13                         | 1.94                                          | 1.611              | 0.996 3 |
|                                                                                                 | 79.44                         | 1.93                                          | 1.614              | 0.996 3 |
| 馏分油<br>$\nu_{20}=4.40(\text{mm}^2/\text{s})$                                                    | 371.42                        | 5.37                                          | 1.840              | 0.996 5 |
|                                                                                                 | 371.65                        | 5.34                                          | 1.843              | 0.996 3 |
|                                                                                                 | 244.50                        | 5.33                                          | 1.662              | 0.995 9 |
|                                                                                                 | 244.79                        | 5.31                                          | 1.664              | 0.995 9 |
|                                                                                                 | 141.36                        | 5.29                                          | 1.427              | 0.995 3 |
|                                                                                                 | 141.46                        | 5.28                                          | 1.428              | 0.995 5 |
|                                                                                                 | 87.27                         | 5.25                                          | 1.221              | 0.994 3 |
|                                                                                                 | 87.18                         | 5.22                                          | 1.223              | 0.994 3 |
|                                                                                                 | 53.39                         | 5.19                                          | 1.012              | 0.994 5 |
|                                                                                                 | 52.92                         | 5.17                                          | 1.010              | 0.994 5 |
| 燃料油<br>$\nu_{20}=45.50(\text{mm}^2/\text{s})$                                                   | 413.86                        | 30.90                                         | 1.127              | 0.994 5 |
|                                                                                                 | 413.91                        | 30.60                                         | 1.131              | 0.994 5 |
|                                                                                                 | 294.10                        | 30.10                                         | 0.990              | 0.994 1 |
|                                                                                                 | 294.99                        | 30.10                                         | 0.991              | 0.994 1 |
|                                                                                                 | 183.58                        | 30.00                                         | 0.787              | 0.994 9 |
|                                                                                                 | 183.83                        | 30.00                                         | 0.787              | 0.995 1 |
|                                                                                                 | 120.19                        | 29.80                                         | 0.606              | 0.996 8 |
|                                                                                                 | 120.20                        | 29.70                                         | 0.607              | 0.997 0 |
| 通用检定曲线的多项式方程:                                                                                   |                               |                                               |                    |         |
| $MF = a_0 + a_1 \cdot \lg(Q/\nu) + a_2 \cdot [\lg(Q/\nu)]^2 + \dots + a_6 \cdot [\lg(Q/\nu)]^6$ |                               |                                               |                    |         |
| 式中:                                                                                             |                               |                                               |                    |         |
| $a_0=1.017\ 619$ $a_1=-6.510\ 977\times 10^{-2}$ $a_2=7.846\ 935\times 10^{-2}$                 |                               |                                               |                    |         |
| $a_3=-6.678\ 370\times 10^{-2}$ $a_4=0.045\ 565\ 26$ $a_5=-1.851\ 974\times 10^{-2}$            |                               |                                               |                    |         |
| $a_6=3.025\ 942\times 10^{-3}$                                                                  |                               |                                               |                    |         |

表 5 310 号涡轮流量计的流量计系数表(1978)

| 运动粘度<br>mm <sup>2</sup> /s | 流量, m <sup>3</sup> /h |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                            | 50                    | 100     | 150     | 200     | 250     | 300     | 350     | 400     | 450     |
| 1                          | 0.996 3               | 0.997 1 | 0.998 7 |         |         |         |         |         |         |
| 2                          | 0.995 2               | 0.996 3 | 0.996 7 | 0.997 1 | 0.997 7 |         |         |         |         |
| 3                          | 0.994 6               | 0.995 7 | 0.996 3 | 0.996 5 | 0.996 8 | 0.997 1 | 0.997 5 | 0.998 0 | 0.998 7 |
| 4                          | 0.994 3               | 0.995 2 | 0.995 9 | 0.996 3 | 0.996 5 | 0.996 7 | 0.996 8 | 0.997 1 | 0.997 4 |
| 5                          | 0.994 3               | 0.994 8 | 0.995 5 | 0.996 0 | 0.996 3 | 0.996 4 | 0.996 6 | 0.996 7 | 0.996 9 |
| 6                          | 0.994 4               | 0.994 6 | 0.995 2 | 0.995 7 | 0.997 6 | 0.996 3 | 0.996 4 | 0.996 5 | 0.996 7 |
| 7                          | 0.994 6               | 0.994 4 | 0.995 0 | 0.995 5 | 0.995 8 | 0.996 1 | 0.996 3 | 0.996 4 | 0.996 5 |
| 8                          | 0.995 0               | 0.994 3 | 0.994 7 | 0.995 2 | 0.995 6 | 0.995 9 | 0.996 1 | 0.996 3 | 0.996 4 |
| 9                          | 0.995 4               | 0.994 3 | 0.994 6 | 0.995 0 | 0.995 4 | 0.995 7 | 0.995 9 | 0.996 1 | 0.996 3 |
| 10                         | 0.995 8               | 0.994 3 | 0.994 5 | 0.994 8 | 0.995 2 | 0.995 5 | 0.995 8 | 0.996 0 | 0.996 1 |
| 11                         | 0.996 2               | 0.994 3 | 0.994 4 | 0.994 7 | 0.995 1 | 0.995 4 | 0.995 6 | 0.995 8 | 0.996 0 |
| 12                         | 0.996 7               | 0.994 4 | 0.994 3 | 0.994 6 | 0.994 9 | 0.995 2 | 0.995 5 | 0.995 7 | 0.995 9 |
| 13                         |                       | 0.994 5 | 0.994 3 | 0.994 5 | 0.994 8 | 0.995 1 | 0.995 4 | 0.995 6 | 0.995 8 |
| 14                         |                       | 0.994 6 | 0.994 3 | 0.994 4 | 0.994 7 | 0.995 0 | 0.995 2 | 0.995 5 | 0.995 6 |
| 15                         |                       | 0.994 8 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 6 | 0.994 8 | 0.995 1 | 0.995 3 | 0.995 5 |
| 16                         |                       | 0.995 0 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 5 | 0.994 7 | 0.995 0 | 0.995 2 | 0.995 4 |
| 17                         |                       | 0.995 2 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 4 | 0.994 7 | 0.994 9 | 0.995 1 | 0.995 3 |
| 18                         |                       | 0.995 4 | 0.994 4 | 0.994 3 | 0.994 4 | 0.994 6 | 0.994 8 | 0.995 0 | 0.995 2 |
| 19                         |                       | 0.995 6 | 0.994 5 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 5 | 0.994 7 | 0.994 9 | 0.995 1 |
| 20                         |                       | 0.995 8 | 0.994 6 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 5 | 0.994 6 | 0.994 8 | 0.995 0 |
| 21                         |                       | 0.996 0 | 0.994 6 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 4 | 0.994 6 | 0.994 8 | 0.995 0 |
| 22                         |                       | 0.996 2 | 0.994 7 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 4 | 0.994 5 | 0.994 7 | 0.994 9 |
| 23                         |                       | 0.996 5 | 0.994 9 | 0.994 4 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 5 | 0.994 6 | 0.994 8 |
| 24                         |                       | 0.996 7 | 0.995 0 | 0.994 4 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 4 | 0.994 6 | 0.994 7 |
| 25                         |                       |         | 0.995 1 | 0.994 5 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 4 | 0.994 5 | 0.994 7 |
| 26                         |                       |         | 0.995 2 | 0.994 5 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 4 | 0.994 5 | 0.994 6 |
| 27                         |                       |         | 0.995 4 | 0.994 6 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 4 | 0.994 6 |
| 28                         |                       |         | 0.995 5 | 0.994 6 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 4 | 0.994 5 |
| 29                         |                       |         | 0.995 6 | 0.994 7 | 0.994 4 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 4 | 0.994 5 |
| 30                         |                       |         | 0.995 8 | 0.994 8 | 0.994 4 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 5 |
| 31                         |                       |         | 0.995 9 | 0.994 9 | 0.994 4 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 4 |
| 32                         |                       |         | 0.996 1 | 0.995 0 | 0.994 5 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 4 |
| 33                         |                       |         | 0.996 2 | 0.995 1 | 0.994 5 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 4 |
| 34                         |                       |         | 0.996 4 | 0.995 2 | 0.994 6 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 3 |
| 35                         |                       |         | 0.996 5 | 0.995 3 | 0.994 6 | 0.994 4 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 3 |
| 36                         |                       |         | 0.996 7 | 0.995 4 | 0.994 7 | 0.994 4 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 3 |
| 37                         |                       |         | 0.996 9 | 0.995 5 | 0.994 8 | 0.994 4 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 3 |
| 38                         |                       |         |         | 0.995 6 | 0.994 8 | 0.994 5 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 3 |
| 39                         |                       |         |         | 0.995 7 | 0.994 9 | 0.994 5 | 0.994 3 | 0.994 3 | 0.994 3 |
| 40                         |                       |         |         | 0.995 8 | 0.995 0 | 0.994 6 | 0.994 4 | 0.994 3 | 0.994 3 |

表 6 310 号涡轮流量计多项式方程随机不确定度(1978)

| $\log_{10}(Q/\nu)$ | 流量计系数   |                 | 偏差<br>$y-\hat{y}$ (多项式) |
|--------------------|---------|-----------------|-------------------------|
|                    | $y$     | $\hat{y}$ (多项式) |                         |
| 2.140              | 0.998 2 | 0.998 203       | -0.000 003              |
| 2.157              | 0.998 4 | 0.998 422       | -0.000 022              |
| 1.956              | 0.997 0 | 0.996 894       | 0.000 106               |
| 1.956              | 0.997 0 | 0.996 894       | 0.000 106               |
| 1.770              | 0.996 5 | 0.996 416       | 0.000 084               |
| 1.776              | 0.996 5 | 0.996 429       | 0.000 071               |
| 1.611              | 0.996 3 | 0.996 003       | 0.000 297               |
| 1.614              | 0.996 3 | 0.996 012       | 0.000 288               |
| 1.840              | 0.996 5 | 0.996 570       | -0.000 070              |
| 1.843              | 0.996 3 | 0.996 577       | -0.000 277              |
| 1.622              | 0.995 9 | 0.996 152       | -0.000 252              |
| 1.664              | 0.995 9 | 0.996 157       | -0.000 257              |
| 1.427              | 0.995 3 | 0.995 342       | -0.000 042              |
| 1.428              | 0.995 5 | 0.995 346       | -0.000 155              |
| 1.221              | 0.994 3 | 0.994 579       | -0.000 279              |
| 1.223              | 0.994 3 | 0.994 586       | -0.000 286              |
| 1.012              | 0.994 5 | 0.994 260       | 0.000 240               |
| 1.010              | 0.994 5 | 0.994 261       | 0.000 239               |
| 1.127              | 0.994 5 | 0.994 354       | 0.000 153               |
| 1.131              | 0.994 5 | 0.994 354       | 0.000 146               |
| 0.990              | 0.994 1 | 0.994 275       | -0.000 175              |
| 0.991              | 0.994 1 | 0.994 274       | -0.000 174              |
| 0.787              | 0.994 9 | 0.995 033       | -0.000 133              |
| 0.787              | 0.995 1 | 0.995 033       | 0.000 067               |
| 0.606              | 0.996 8 | 0.996 898       | -0.000 098              |
| 0.607              | 0.997 0 | 0.996 884       | 0.000 116               |

标准偏差  $s$

$$s = \sqrt{\frac{1}{\Phi} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}$$

式中:

$$\Sigma(y - \hat{y})^2 = 0.000\ 000\ 9$$

自由度  $\Phi = n - j = 26 - 6 = 20$

测量点数  $n = 26$ ;

多项式幂次  $j = 6$ ;

$$s = \sqrt{\frac{1}{20} \times 0.000\ 000\ 9}$$

$$s = 0.000\ 21$$

$t_{95,\Phi} = 2.086$

随机不确定度  $t_{95,\Phi}s = 2.086 \times 0.000\ 21 = 0.000\ 44 (\pm 0.04\%)$



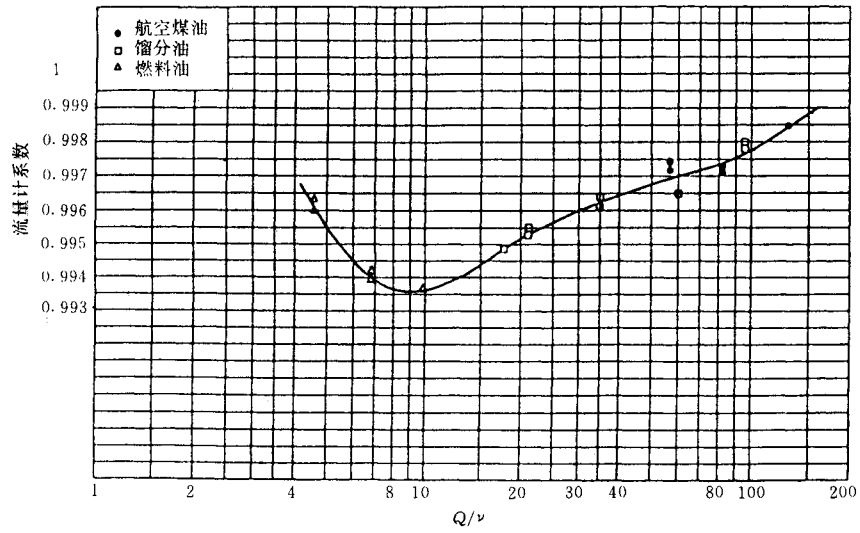


图 14 310 号涡轮流量计性能图(1979)

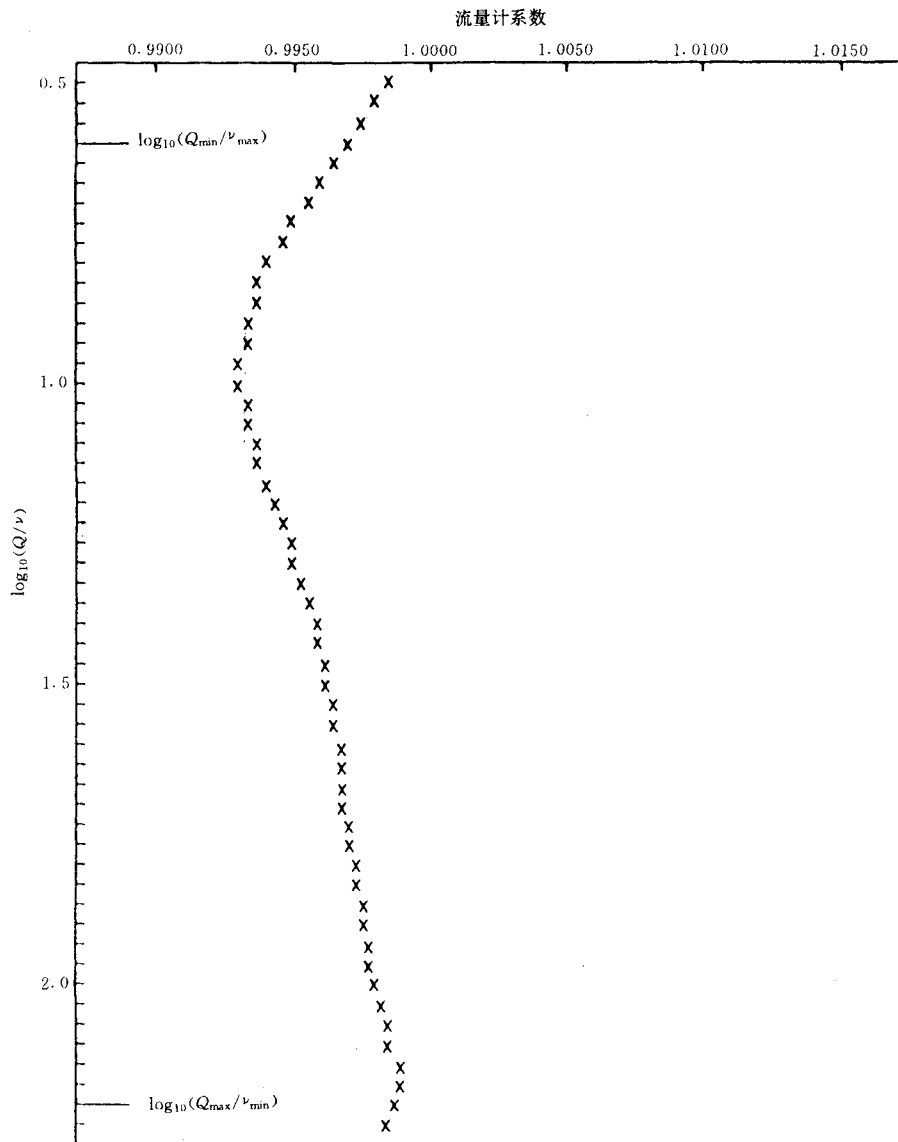


图 15 310 号涡轮流量计  $\log_{10}(Q/\nu)$  与流量系数(1979)

表 7 310 号涡轮流量计性能表(1979)

| 体积管                                                                                             |                               | 流量计                                           |                   |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------|---------|
| $V_p = 2\,503.2\text{ L}$                                                                       |                               | 310 号流量计                                      |                   |         |
| $C_{tp} = 49 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$                                       |                               | 规格: 150 mm                                    |                   |         |
| $C_{pp} = 31 \times 10^{-4} \text{ kPa}^{-1}$                                                   |                               | $p = 0.5\text{ L/脉冲}$                         |                   |         |
| 产品                                                                                              | 计算流量<br>$\text{m}^3/\text{h}$ | 在 $t$ 温度下<br>计算运动粘度<br>$\text{mm}^2/\text{s}$ | $\lg_{10}(Q/\nu)$ | 流量计系数   |
| 航空煤油<br>$\nu_{20} = 1.81(\text{mm}^2/\text{s})$                                                 | 275.03                        | 2.13                                          | 2.111             | 0.998 4 |
|                                                                                                 | 274.75                        | 2.12                                          | 2.113             | 0.998 4 |
|                                                                                                 | 176.33                        | 2.12                                          | 1.920             | 0.997 2 |
|                                                                                                 | 179.23                        | 2.11                                          | 1.929             | 0.997 4 |
|                                                                                                 | 119.27                        | 2.10                                          | 1.754             | 0.997 2 |
|                                                                                                 | 113.20                        | 2.10                                          | 1.732             | 0.997 4 |
| 馏分油<br>$\nu_{20} = 3.89(\text{mm}^2/\text{s})$                                                  | 391.71                        | 4.10                                          | 1.980             | 0.998 0 |
|                                                                                                 | 392.14                        | 4.10                                          | 1.981             | 0.997 8 |
|                                                                                                 | 242.06                        | 4.09                                          | 1.772             | 0.996 5 |
|                                                                                                 | 242.66                        | 4.09                                          | 1.773             | 0.996 5 |
|                                                                                                 | 142.64                        | 4.07                                          | 1.545             | 0.996 1 |
|                                                                                                 | 142.60                        | 4.07                                          | 1.545             | 0.996 3 |
|                                                                                                 | 86.71                         | 4.06                                          | 1.330             | 0.995 5 |
|                                                                                                 | 86.78                         | 4.05                                          | 1.331             | 0.995 3 |
|                                                                                                 | 72.18                         | 4.03                                          | 1.253             | 0.994 9 |
| 燃料油<br>$\nu_{20} = 40.00(\text{mm}^2/\text{s})$                                                 | 72.08                         | 4.01                                          | 1.255             | 0.994 9 |
|                                                                                                 | 405.88                        | 41.10                                         | 0.995             | 0.993 7 |
|                                                                                                 | 406.16                        | 40.90                                         | 0.997             | 0.993 7 |
|                                                                                                 | 273.13                        | 40.70                                         | 0.827             | 0.994 1 |
|                                                                                                 | 272.84                        | 40.50                                         | 0.828             | 0.994 3 |
|                                                                                                 | 183.25                        | 40.30                                         | 0.658             | 0.996 3 |
|                                                                                                 | 183.67                        | 40.00                                         | 0.662             | 0.996 1 |
| 通用检定曲线的多项式方程:                                                                                   |                               |                                               |                   |         |
| $MF = a_0 + a_1 \cdot \lg(Q/\nu) + a_2 \cdot [\lg(Q/\nu)]^2 + \dots + a_6 \cdot [\lg(Q/\nu)]^6$ |                               |                                               |                   |         |
| 式中:                                                                                             |                               |                                               |                   |         |
| $a_0 = 0.952\,782\,6$ $a_1 = 0.319\,288\,7$ $a_2 = -0.808\,241\,4$                              |                               |                                               |                   |         |
| $a_3 = 0.954\,389\,4$ $a_4 = -0.579\,113\,8$ $a_5 = 0.175\,774\,8$                              |                               |                                               |                   |         |
| $a_6 = 0.021\,165\,95$                                                                          |                               |                                               |                   |         |

表 8 310 号涡轮流量计的流量计系数表(1979)

| 运动粘度<br>mm <sup>2</sup> /s | 流量, m <sup>3</sup> /h |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                            | 50                    | 100     | 150     | 200     | 250     | 300     | 350     | 400     | 450     |
| 1                          | 0.996 7               | 0.997 9 | 0.998 5 |         |         |         |         |         |         |
| 2                          | 0.995 7               | 0.996 7 | 0.997 2 | 0.997 9 | 0.998 4 |         |         |         |         |
| 3                          | 0.994 7               | 0.996 2 | 0.996 7 | 0.997 0 | 0.997 4 | 0.997 9 | 0.998 2 | 0.998 5 | 0.998 5 |
| 4                          | 0.994 0               | 0.995 7 | 0.996 4 | 0.996 7 | 0.996 9 | 0.997 2 | 0.997 5 | 0.997 9 | 0.998 1 |
| 5                          | 0.993 7               | 0.995 2 | 0.996 1 | 0.996 5 | 0.996 7 | 0.996 9 | 0.997 1 | 0.997 4 | 0.997 6 |
| 6                          | 0.993 7               | 0.994 7 | 0.995 7 | 0.996 2 | 0.996 5 | 0.996 7 | 0.996 9 | 0.997 0 | 0.997 2 |
| 7                          | 0.994 0               | 0.994 3 | 0.995 4 | 0.996 0 | 0.996 3 | 0.996 5 | 0.996 7 | 0.996 8 | 0.997 0 |
| 8                          | 0.994 5               | 0.994 0 | 0.995 0 | 0.995 7 | 0.996 2 | 0.996 4 | 0.996 6 | 0.996 7 | 0.996 8 |
| 9                          | 0.995 0               | 0.993 8 | 0.994 7 | 0.995 5 | 0.995 9 | 0.996 2 | 0.996 4 | 0.996 6 | 0.996 7 |
| 10                         | 0.995 6               | 0.993 7 | 0.994 4 | 0.995 2 | 0.995 7 | 0.996 1 | 0.996 3 | 0.996 5 | 0.996 6 |
| 11                         | 0.996 2               | 0.993 7 | 0.994 2 | 0.994 9 | 0.995 5 | 0.995 9 | 0.996 2 | 0.996 4 | 0.996 5 |
| 12                         | 0.996 8               | 0.993 7 | 0.994 0 | 0.994 7 | 0.995 3 | 0.995 7 | 0.996 0 | 0.996 2 | 0.996 4 |
| 13                         |                       | 0.993 9 | 0.993 9 | 0.994 5 | 0.995 1 | 0.995 6 | 0.995 9 | 0.996 1 | 0.996 3 |
| 14                         |                       | 0.994 0 | 0.993 8 | 0.994 3 | 0.994 9 | 0.995 4 | 0.995 7 | 0.996 0 | 0.996 2 |
| 15                         |                       | 0.994 2 | 0.993 7 | 0.994 1 | 0.994 7 | 0.995 2 | 0.995 6 | 0.995 9 | 0.996 1 |
| 16                         |                       | 0.994 5 | 0.993 7 | 0.994 0 | 0.994 5 | 0.995 0 | 0.995 4 | 0.995 7 | 0.996 0 |
| 17                         |                       | 0.994 7 | 0.993 7 | 0.993 9 | 0.994 4 | 0.994 9 | 0.995 3 | 0.995 6 | 0.995 9 |
| 18                         |                       | 0.995 0 | 0.993 7 | 0.993 8 | 0.994 2 | 0.994 7 | 0.995 1 | 0.995 5 | 0.995 7 |
| 19                         |                       | 0.995 3 | 0.993 8 | 0.993 7 | 0.994 1 | 0.994 6 | 0.995 0 | 0.995 3 | 0.995 6 |
| 20                         |                       | 0.995 6 | 0.993 9 | 0.993 7 | 0.994 0 | 0.994 4 | 0.994 8 | 0.995 2 | 0.995 5 |
| 21                         |                       | 0.995 9 | 0.994 0 | 0.993 7 | 0.993 9 | 0.994 3 | 0.994 7 | 0.995 1 | 0.995 4 |
| 22                         |                       | 0.996 2 | 0.994 2 | 0.993 7 | 0.993 8 | 0.994 2 | 0.994 6 | 0.994 9 | 0.995 3 |
| 23                         |                       | 0.996 5 | 0.994 3 | 0.993 7 | 0.993 8 | 0.994 1 | 0.994 5 | 0.994 8 | 0.995 1 |
| 24                         |                       | 0.996 8 | 0.994 5 | 0.993 7 | 0.993 7 | 0.994 0 | 0.994 4 | 0.994 7 | 0.995 0 |
| 25                         |                       |         | 0.994 7 | 0.993 8 | 0.993 7 | 0.993 9 | 0.994 3 | 0.994 6 | 0.994 9 |
| 26                         |                       |         | 0.994 8 | 0.993 9 | 0.993 7 | 0.993 9 | 0.994 2 | 0.994 5 | 0.994 8 |
| 27                         |                       |         | 0.995 0 | 0.993 9 | 0.993 7 | 0.993 8 | 0.994 1 | 0.994 4 | 0.994 7 |
| 28                         |                       |         | 0.995 2 | 0.994 0 | 0.993 7 | 0.993 8 | 0.994 0 | 0.994 3 | 0.994 6 |
| 29                         |                       |         | 0.995 4 | 0.994 1 | 0.993 7 | 0.993 7 | 0.993 9 | 0.994 2 | 0.994 5 |
| 30                         |                       |         | 0.995 6 | 0.994 2 | 0.993 7 | 0.993 7 | 0.993 9 | 0.994 1 | 0.994 4 |
| 31                         |                       |         | 0.995 8 | 0.994 4 | 0.993 8 | 0.993 7 | 0.993 8 | 0.994 1 | 0.994 3 |
| 32                         |                       |         | 0.996 0 | 0.994 5 | 0.993 8 | 0.993 7 | 0.993 8 | 0.994 0 | 0.994 3 |
| 33                         |                       |         | 0.996 2 | 0.994 6 | 0.993 9 | 0.993 7 | 0.993 7 | 0.993 9 | 0.994 2 |
| 34                         |                       |         | 0.996 4 | 0.994 7 | 0.994 0 | 0.993 7 | 0.993 7 | 0.993 9 | 0.994 1 |
| 35                         |                       |         | 0.996 6 | 0.994 9 | 0.994 0 | 0.993 7 | 0.993 7 | 0.993 8 | 0.994 1 |
| 36                         |                       |         | 0.996 8 | 0.995 0 | 0.994 1 | 0.993 7 | 0.993 7 | 0.993 8 | 0.994 0 |
| 37                         |                       |         | 0.997 0 | 0.995 2 | 0.994 2 | 0.993 8 | 0.993 7 | 0.993 8 | 0.993 9 |
| 38                         |                       |         |         | 0.995 3 | 0.994 3 | 0.993 8 | 0.993 7 | 0.993 7 | 0.993 9 |
| 39                         |                       |         |         | 0.995 5 | 0.994 4 | 0.993 9 | 0.993 7 | 0.993 7 | 0.993 9 |
| 40                         |                       |         |         | 0.995 6 | 0.994 5 | 0.993 9 | 0.993 7 | 0.993 7 | 0.993 8 |

表 9 310 号涡轮流量计多项式方程随机不确定度(1979)

| $\log_{10}(Q/\nu)$ | 流量计系数   |                       | 偏差<br>$y - \hat{y}(\text{多项式})$ |
|--------------------|---------|-----------------------|---------------------------------|
|                    | $y$     | $\hat{y}(\text{多项式})$ |                                 |
| 2.111              | 0.998 4 | 0.998 415             | -0.000 015                      |
| 2.113              | 0.998 4 | 0.998 423             | -0.000 023                      |
| 1.920              | 0.997 2 | 0.997 437             | -0.000 237                      |
| 1.929              | 0.997 4 | 0.997 480             | -0.000 080                      |
| 1.754              | 0.997 2 | 0.996 836             | 0.000 364                       |
| 1.732              | 0.997 4 | 0.996 780             | 0.000 621                       |
| 1.980              | 0.998 0 | 0.997 773             | 0.000 258                       |
| 1.981              | 0.997 8 | 0.997 748             | 0.000 052                       |
| 1.772              | 0.996 5 | 0.996 885             | -0.000 385                      |
| 1.773              | 0.996 5 | 0.996 888             | -0.000 388                      |
| 1.545              | 0.996 1 | 0.996 311             | -0.000 211                      |
| 1.545              | 0.996 3 | 0.996 311             | -0.000 011                      |
| 1.330              | 0.995 5 | 0.995 362             | 0.000 138                       |
| 1.331              | 0.995 3 | 0.995 367             | -0.000 067                      |
| 1.253              | 0.994 9 | 0.994 899             | 0.000 001                       |
| 1.255              | 0.994 9 | 0.994 911             | -0.000 011                      |
| 0.995              | 0.993 7 | 0.993 703             | -0.000 003                      |
| 0.997              | 0.993 7 | 0.993 705             | -0.000 005                      |
| 0.827              | 0.994 1 | 0.994 201             | -0.000 101                      |
| 0.828              | 0.994 3 | 0.994 194             | 0.000 106                       |
| 0.658              | 0.996 3 | 0.996 232             | 0.000 068                       |
| 0.662              | 0.996 1 | 0.996 170             | -0.000 070                      |

标准偏差  $s$

$$s = \sqrt{\frac{1}{\Phi} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}$$

式中:

$$\sum (y - \hat{y})^2 = 0.000\,000\,2$$

自由度  $\Phi = n - j = 22 - 6 = 16$

测量点数  $n = 22$ ;

多项式幂次  $j = 6$ ;

$$s = \sqrt{\frac{1}{16} \times 0.000\,000\,2}$$

$$s = 0.000\,11$$

$t_{95,\Phi} = 2.120$

随机不确定度  $t_{95,\Phi}s = 2.120 \times 0.000\,11 = 0.000\,23 (\pm 0.02\%)$

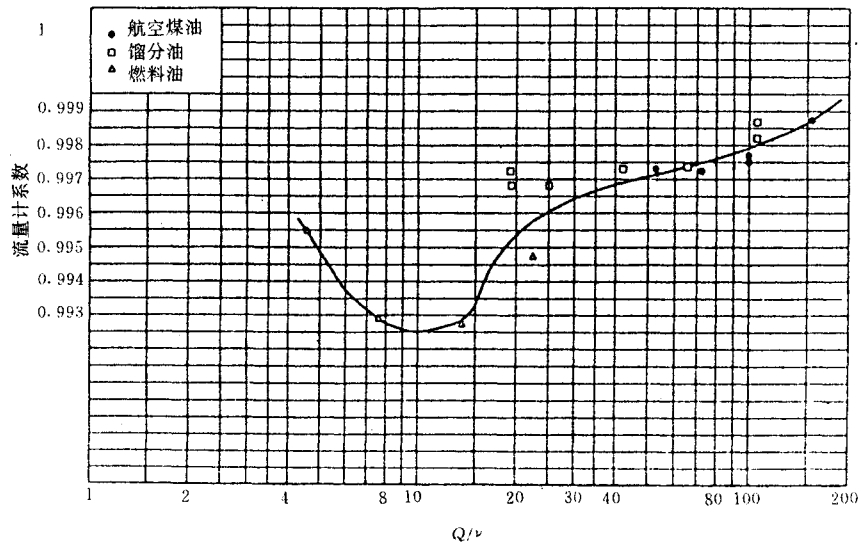


图 16 310 号涡轮流量计性能图(1980)

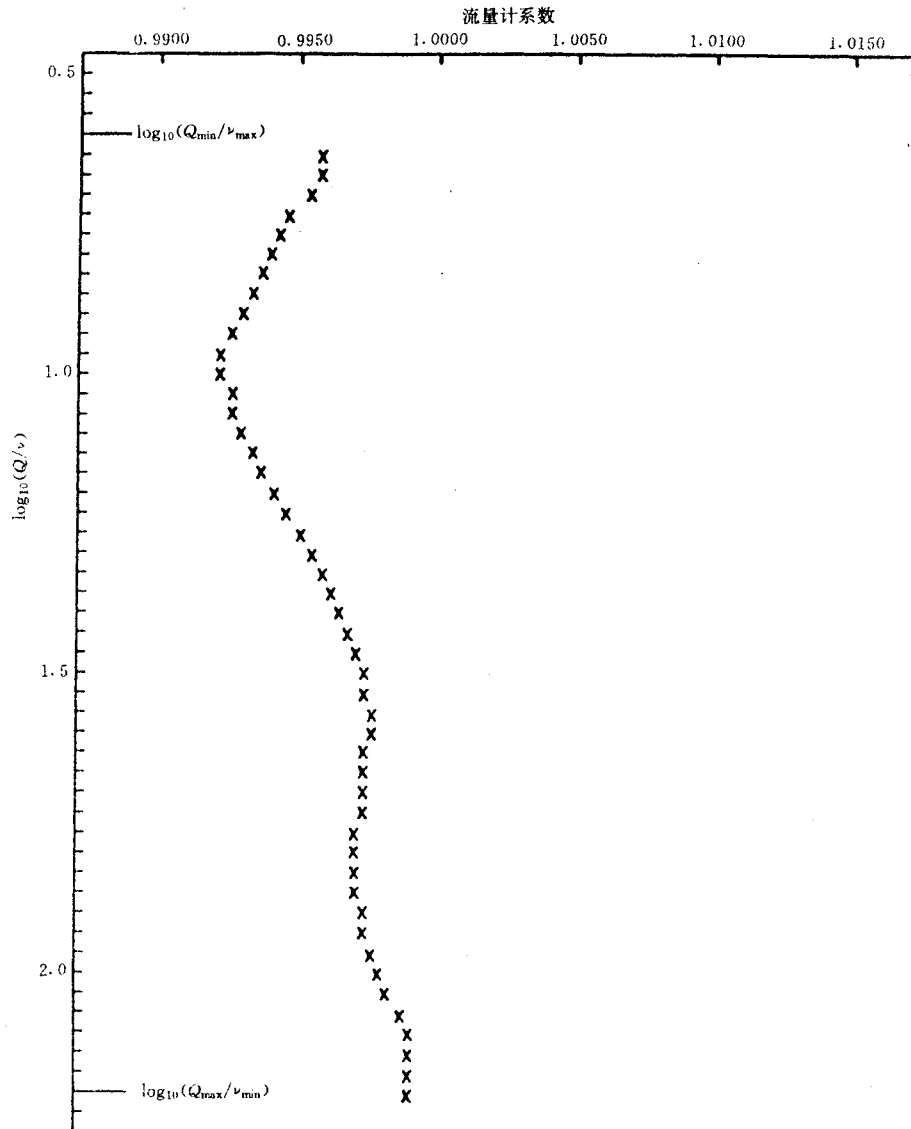


图 17 310 号涡轮流量计  $\log_{10}(Q/\nu)$  与流量系数(1980)

表 10 310 号涡轮流量计性能表(1980)

|                                                                                                                                                                                                                                                                             |                               |                                               |                    |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------|---------|
| 体积管                                                                                                                                                                                                                                                                         |                               | 流量计                                           |                    |         |
| $V_p=2\,503.2\text{ L}$<br>$C_{tp}=49\times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$<br>$C_{pp}=31\times 10^{-4}\text{ kPa}^{-1}$                                                                                                                                              |                               | 310 号流量计<br>规格:150 mm<br>$p=0.5\text{ L/脉冲}$  |                    |         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             |                               |                                               |                    |         |
| 产品                                                                                                                                                                                                                                                                          | 计算流量<br>$\text{m}^3/\text{h}$ | 在 $t$ 温度下<br>计算运动粘度<br>$\text{mm}^2/\text{s}$ | $\log_{10}(Q/\nu)$ | 流量计系数   |
| 航空煤油<br>$\nu_{20}=1.70(\text{mm}^2/\text{s})$                                                                                                                                                                                                                               | 234.57                        | 1.49                                          | 2.197              | 0.998 8 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 234.46                        | 1.49                                          | 2.197              | 0.998 8 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 148.68                        | 1.48                                          | 2.002              | 0.997 5 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 148.60                        | 1.48                                          | 2.002              | 0.997 7 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 107.10                        | 1.47                                          | 1.862              | 0.997 2 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 106.42                        | 1.46                                          | 1.863              | 0.997 2 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 77.05                         | 1.45                                          | 1.725              | 0.997 3 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 76.81                         | 1.44                                          | 1.727              | 0.997 3 |
| 馏分油<br>$\nu_{20}=4.50(\text{mm}^2/\text{s})$                                                                                                                                                                                                                                | 447.57                        | 4.11                                          | 2.037              | 0.998 2 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 447.33                        | 4.06                                          | 2.042              | 0.998 6 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 267.70                        | 4.02                                          | 1.823              | 0.997 4 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 268.55                        | 4.11                                          | 1.815              | 0.997 3 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 99.91                         | 3.96                                          | 1.402              | 0.996 8 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 99.92                         | 3.93                                          | 1.405              | 0.996 9 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 165.03                        | 3.90                                          | 1.626              | 0.997 3 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 165.01                        | 3.87                                          | 1.630              | 0.997 4 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 72.99                         | 3.78                                          | 1.286              | 0.996 9 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 73.11                         | 3.75                                          | 1.290              | 0.997 2 |
| 燃料油<br>$\nu_{20}=17.00(\text{mm}^2/\text{s})$                                                                                                                                                                                                                               | 368.38                        | 16.20                                         | 1.357              | 0.994 7 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 368.37                        | 16.10                                         | 1.359              | 0.994 8 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 211.20                        | 15.50                                         | 1.134              | 0.992 8 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 211.11                        | 15.10                                         | 1.146              | 0.992 8 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 116.06                        | 15.10                                         | 0.886              | 0.992 9 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 116.12                        | 15.00                                         | 0.889              | 0.992 9 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 66.91                         | 14.70                                         | 0.658              | 0.995 5 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             | 65.95                         | 14.30                                         | 0.664              | 0.995 5 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                             |                               |                                               |                    |         |
| 通用检定曲线的多项式方程:<br>$MF=a_0+a_1\cdot\lg(Q/\nu)+a_2\cdot[\lg(Q/\nu)]^2+\cdots+a_6\cdot[\lg(Q/\nu)]^6$<br>式中:<br>$a_0=0.648\,226\,9$<br>$a_3=4.136\,455$<br>$a_6=-7.803\,245\times 10^{-2}$<br>$a_1=1.858\,232$<br>$a_4=-2.337\,616$<br>$a_2=-3.909\,047$<br>$a_5=0.674\,177\,4$ |                               |                                               |                    |         |

表 11 310 号涡轮流量计的流量计系数表(1980)

| 运动粘度<br>mm <sup>2</sup> /s | 流量, m <sup>3</sup> /h |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------------------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                            | 50                    | 100     | 150     | 200     | 250     | 300     | 350     | 400     | 450     |
| 1                          | 0.997 3               | 0.997 9 | 0.998 9 |         |         |         |         |         |         |
| 2                          | 0.996 6               | 0.997 3 | 0.997 2 | 0.997 9 | 0.998 7 |         |         |         |         |
| 3                          | 0.994 4               | 0.997 4 | 0.997 3 | 0.997 1 | 0.997 4 | 0.997 9 | 0.998 5 | 0.998 9 | 0.998 9 |
| 4                          | 0.992 9               | 0.996 6 | 0.997 5 | 0.997 3 | 0.997 1 | 0.997 2 | 0.997 5 | 0.997 9 | 0.998 3 |
| 5                          | 0.992 4               | 0.995 5 | 0.997 2 | 0.997 5 | 0.997 3 | 0.997 2 | 0.997 2 | 0.997 3 | 0.997 6 |
| 6                          | 0.992 6               | 0.994 4 | 0.996 6 | 0.997 4 | 0.997 5 | 0.997 3 | 0.997 2 | 0.997 1 | 0.997 2 |
| 7                          | 0.993 2               | 0.993 5 | 0.995 9 | 0.997 1 | 0.997 4 | 0.997 4 | 0.997 3 | 0.997 2 | 0.997 1 |
| 8                          | 0.994 0               | 0.992 9 | 0.995 1 | 0.996 6 | 0.997 3 | 0.997 5 | 0.997 4 | 0.997 3 | 0.997 2 |
| 9                          | 0.994 7               | 0.992 5 | 0.994 4 | 0.996 1 | 0.997 0 | 0.997 4 | 0.997 5 | 0.997 4 | 0.997 3 |
| 10                         | 0.995 3               | 0.992 4 | 0.993 8 | 0.995 5 | 0.996 6 | 0.997 2 | 0.997 4 | 0.997 5 | 0.997 4 |
| 11                         | 0.995 5               | 0.992 4 | 0.993 3 | 0.994 9 | 0.996 2 | 0.996 9 | 0.997 3 | 0.997 5 | 0.997 5 |
| 12                         | 0.995 3               | 0.992 6 | 0.992 9 | 0.994 4 | 0.995 7 | 0.996 6 | 0.997 1 | 0.997 4 | 0.997 5 |
| 13                         |                       | 0.992 8 | 0.992 6 | 0.994 0 | 0.995 3 | 0.996 3 | 0.996 9 | 0.997 2 | 0.997 4 |
| 14                         |                       | 0.993 2 | 0.992 5 | 0.993 5 | 0.994 8 | 0.995 9 | 0.996 6 | 0.997 1 | 0.997 3 |
| 15                         |                       | 0.993 6 | 0.992 4 | 0.993 2 | 0.994 4 | 0.995 5 | 0.996 3 | 0.996 9 | 0.997 2 |
| 16                         |                       | 0.994 0 | 0.992 4 | 0.992 9 | 0.994 0 | 0.995 1 | 0.996 0 | 0.996 6 | 0.997 0 |
| 17                         |                       | 0.994 4 | 0.992 4 | 0.992 7 | 0.993 7 | 0.994 8 | 0.995 7 | 0.996 3 | 0.996 8 |
| 18                         |                       | 0.994 7 | 0.992 6 | 0.992 5 | 0.993 4 | 0.994 4 | 0.995 3 | 0.996 1 | 0.996 6 |
| 19                         |                       | 0.995 0 | 0.992 7 | 0.992 4 | 0.993 1 | 0.994 1 | 0.995 0 | 0.995 8 | 0.996 4 |
| 20                         |                       | 0.995 3 | 0.992 9 | 0.992 4 | 0.992 9 | 0.993 8 | 0.994 7 | 0.995 5 | 0.996 1 |
| 21                         |                       | 0.995 4 | 0.993 2 | 0.992 4 | 0.992 7 | 0.993 5 | 0.994 4 | 0.995 2 | 0.995 9 |
| 22                         |                       | 0.995 5 | 0.993 4 | 0.992 4 | 0.992 6 | 0.993 3 | 0.994 2 | 0.994 9 | 0.995 6 |
| 23                         |                       | 0.995 5 | 0.993 7 | 0.992 5 | 0.992 5 | 0.993 1 | 0.993 9 | 0.994 7 | 0.995 4 |
| 24                         |                       | 0.995 3 | 0.994 0 | 0.992 6 | 0.992 4 | 0.992 9 | 0.993 7 | 0.994 4 | 0.995 1 |
| 25                         |                       |         | 0.994 2 | 0.992 7 | 0.992 4 | 0.992 8 | 0.993 4 | 0.994 2 | 0.994 9 |
| 26                         |                       |         | 0.994 5 | 0.992 8 | 0.992 4 | 0.992 6 | 0.993 2 | 0.994 0 | 0.994 7 |
| 27                         |                       |         | 0.994 7 | 0.993 0 | 0.992 4 | 0.992 5 | 0.993 1 | 0.993 7 | 0.994 4 |
| 28                         |                       |         | 0.994 9 | 0.993 2 | 0.992 4 | 0.992 5 | 0.992 9 | 0.993 5 | 0.994 2 |
| 29                         |                       |         | 0.995 1 | 0.993 4 | 0.992 5 | 0.992 4 | 0.992 8 | 0.993 4 | 0.994 0 |
| 30                         |                       |         | 0.995 3 | 0.993 6 | 0.992 6 | 0.992 4 | 0.992 7 | 0.993 2 | 0.993 8 |
| 31                         |                       |         | 0.995 4 | 0.993 8 | 0.992 7 | 0.992 4 | 0.992 6 | 0.993 0 | 0.993 6 |
| 32                         |                       |         | 0.995 5 | 0.994 0 | 0.992 8 | 0.992 4 | 0.992 5 | 0.992 9 | 0.993 5 |
| 33                         |                       |         | 0.995 5 | 0.994 2 | 0.992 9 | 0.992 4 | 0.992 4 | 0.992 8 | 0.993 3 |
| 34                         |                       |         | 0.995 5 | 0.994 4 | 0.993 0 | 0.992 4 | 0.992 4 | 0.992 7 | 0.993 2 |
| 35                         |                       |         | 0.995 5 | 0.994 6 | 0.993 2 | 0.992 5 | 0.992 4 | 0.992 6 | 0.993 0 |
| 36                         |                       |         | 0.995 3 | 0.994 7 | 0.993 3 | 0.992 6 | 0.992 4 | 0.992 5 | 0.992 9 |
| 37                         |                       |         | 0.995 2 | 0.994 9 | 0.993 5 | 0.992 6 | 0.992 4 | 0.992 5 | 0.992 8 |
| 38                         |                       |         |         | 0.995 0 | 0.993 7 | 0.992 7 | 0.992 4 | 0.992 4 | 0.992 7 |
| 39                         |                       |         |         | 0.995 2 | 0.993 8 | 0.992 8 | 0.992 4 | 0.992 4 | 0.992 6 |
| 40                         |                       |         |         | 0.995 3 | 0.994 0 | 0.992 9 | 0.992 4 | 0.992 4 | 0.992 6 |

表 12 310 号涡轮流量计多项式方程随机不确定度(1980)

| $\log_{10}(Q/\nu)$ | 流量计系数   |                 | 偏差                |
|--------------------|---------|-----------------|-------------------|
|                    | $y$     | $\hat{y}$ (多项式) | $y-\hat{y}$ (多项式) |
| 2.197              | 0.998 8 | 0.998 799       | 0.000 001         |
| 2.197              | 0.998 8 | 0.998 799       | 0.000 001         |
| 2.002              | 0.997 5 | 0.997 903       | -0.000 403        |
| 2.002              | 0.997 7 | 0.997 903       | -0.000 203        |
| 1.862              | 0.997 2 | 0.997 199       | 0.000 001         |
| 1.863              | 0.997 2 | 0.997 201       | -0.000 001        |
| 1.725              | 0.997 3 | 0.997 267       | 0.000 033         |
| 1.727              | 0.997 3 | 0.997 264       | 0.000 036         |
| 2.037              | 0.998 2 | 0.998 187       | 0.000 013         |
| 2.042              | 0.998 6 | 0.998 229       | 0.000 371         |
| 1.823              | 0.997 4 | 0.997 160       | 0.000 240         |
| 1.815              | 0.997 3 | 0.997 159       | 0.000 141         |
| 1.402              | 0.996 8 | 0.996 624       | 0.000 176         |
| 1.405              | 0.996 9 | 0.996 651       | 0.000 249         |
| 1.626              | 0.997 3 | 0.997 438       | -0.000 138        |
| 1.630              | 0.997 4 | 0.997 434       | -0.000 034        |
| 1.286              | 0.996 9 | 0.995 310       | 0.001 590         |
| 1.290              | 0.997 2 | 0.995 363       | 0.001 838         |
| 1.357              | 0.994 7 | 0.996 173       | 0.001 473         |
| 1.359              | 0.994 8 | 0.996 195       | -0.001 395        |
| 1.134              | 0.992 8 | 0.993 337       | -0.000 537        |
| 1.146              | 0.992 8 | 0.993 476       | -0.000 676        |
| 0.886              | 0.992 9 | 0.992 817       | 0.000 084         |
| 0.889              | 9.992 9 | 0.992 790       | 0.000 110         |
| 0.658              | 0.995 5 | 0.995 523       | -0.000 023        |
| 0.664              | 0.995 5 | 0.995 501       | -0.000 012        |

标准偏差  $s$

$$s = \sqrt{\frac{1}{\Phi} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}$$

式中:

$$\Sigma(y - \hat{y})^2 = 0.000\ 011\ 32$$

自由度  $\Phi = n - j = 26 - 6 = 20$

测量点数  $n = 26$

多项式幂次  $j = 6$

$$s = \sqrt{\frac{1}{20} \times 0.000\ 011\ 32}$$

$$s = 0.000\ 75$$

$t_{95,\Phi} = 2.086$

随机不确定度  $t_{95,\Phi}s = 2.086 \times 0.000\ 75 = 0.001\ 57 (\pm 0.16\%)$

## 3.5.7.2 求

求  $MF_{\max}$  和  $MF_{\min}$  用下列准则检验:



a) 准则 1 
$$\frac{2(MF_{\max} - MF_{\min})}{MF_{\max} + MF_{\min}} < 0.0050$$

油品的粘度范围是 3 mm<sup>2</sup>/s 至 30 mm<sup>2</sup>/s。

b) 准则 2

多项式的随机不确定度优于 ±0.1%。

c) 准则 3

多项式之间的最大差值优于 0.1%。

### 3.5.7.3 解

#### 3.5.7.3.1 1978 年检定报告的分析

a) 准则 1

在流量计系数表中,查得流量计系数的最大值和最小值是:

$$MF_{\max} = 0.9987$$

$$MF_{\min} = 0.9943$$

计算比值: 
$$\frac{2(0.9987 - 0.9943)}{0.9987 + 0.9943} = 0.0044$$

因这个比值优于 ±0.5%,故涡轮流量计可以使用。

b) 准则 2

根据表 6,多项式的随机不确定度是 ±0.04%,因这个值优于 0.1%,故多项式可以使用。在性能图上也可以查得  $MF_{\max}$  和  $MF_{\min}$  值。

#### 3.5.7.3.2 1979 年检测报告的分析

a) 准则 1

在流量计系数表中,查得流量计系数的最大值和最小值是:

$$MF_{\max} = 0.9985$$

$$MF_{\min} = 0.9938$$

计算比值: 
$$\frac{2(0.9985 - 0.9938)}{0.9985 + 0.9938} = 0.0047$$

因这个比值优于 ±0.5%,故涡轮流量计满足准则 1。

b) 准则 2

根据表 9,多项式随机不确定度是 ±0.02%,因这个值优于 ±0.1%,故多项式可以使用。

c) 准则 3

使用多项式的方法,按所有  $\lg(Q/\nu)$  值,直接计算两个多项式(1978 和 1979)之间的差(见图 18)。 $\lg(Q_{\min}/\nu_{\max})$  和  $\lg(Q_{\max}/\nu_{\min})$  之间观察到的最大差值是 0.08%,由于这个值小于 0.1%,故涡轮流量计可以使用。

使用对比表方法

| 运动粘度<br>mm <sup>2</sup> /s | 流 量, m <sup>3</sup> /h |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                            | 100                    |        |        | 250    |        |        | 400    |        |        |
|                            | 1978                   | 1979   | 差值     | 1978   | 1979   | 差值     | 1978   | 1979   | 差值     |
| 5                          | 0.9948                 | 0.9952 | 0.0004 | 0.9963 | 0.9965 | 0.0002 | 0.9967 | 0.9974 | 0.0007 |
| 10                         | 0.9943                 | 0.9937 | 0.0006 | 0.9952 | 0.9957 | 0.0005 | 0.9960 | 0.9965 | 0.0005 |
| 15                         | 0.9948                 | 0.9942 | 0.0006 | 0.9946 | 0.9947 | 0.0001 | 0.9953 | 0.9959 | 0.0006 |
| 20                         | 0.9958                 | 0.9956 | 0.0002 | 0.9943 | 0.9940 | 0.0003 | 0.9948 | 0.9952 | 0.0004 |
| 25                         |                        |        |        | 0.9943 | 0.9937 | 0.0006 | 0.9945 | 0.9946 | 0.0001 |
| 30                         |                        |        |        | 0.9944 | 0.9937 | 0.0007 | 0.9943 | 0.9941 | 0.0002 |
| 35                         |                        |        |        | 0.9946 | 0.9940 | 0.0006 | 0.9943 | 0.9958 | 0.0005 |
| 40                         |                        |        |        | 0.9950 | 0.9945 | 0.0005 | 0.9943 | 0.9937 | 0.0006 |

观察的最大差值是 0.07%，涡轮流量计满足准则 3 的要求。

d) 结论

由于其满足准则 1、准则 2、准则 3 的要求，故涡轮流量计可以使用。

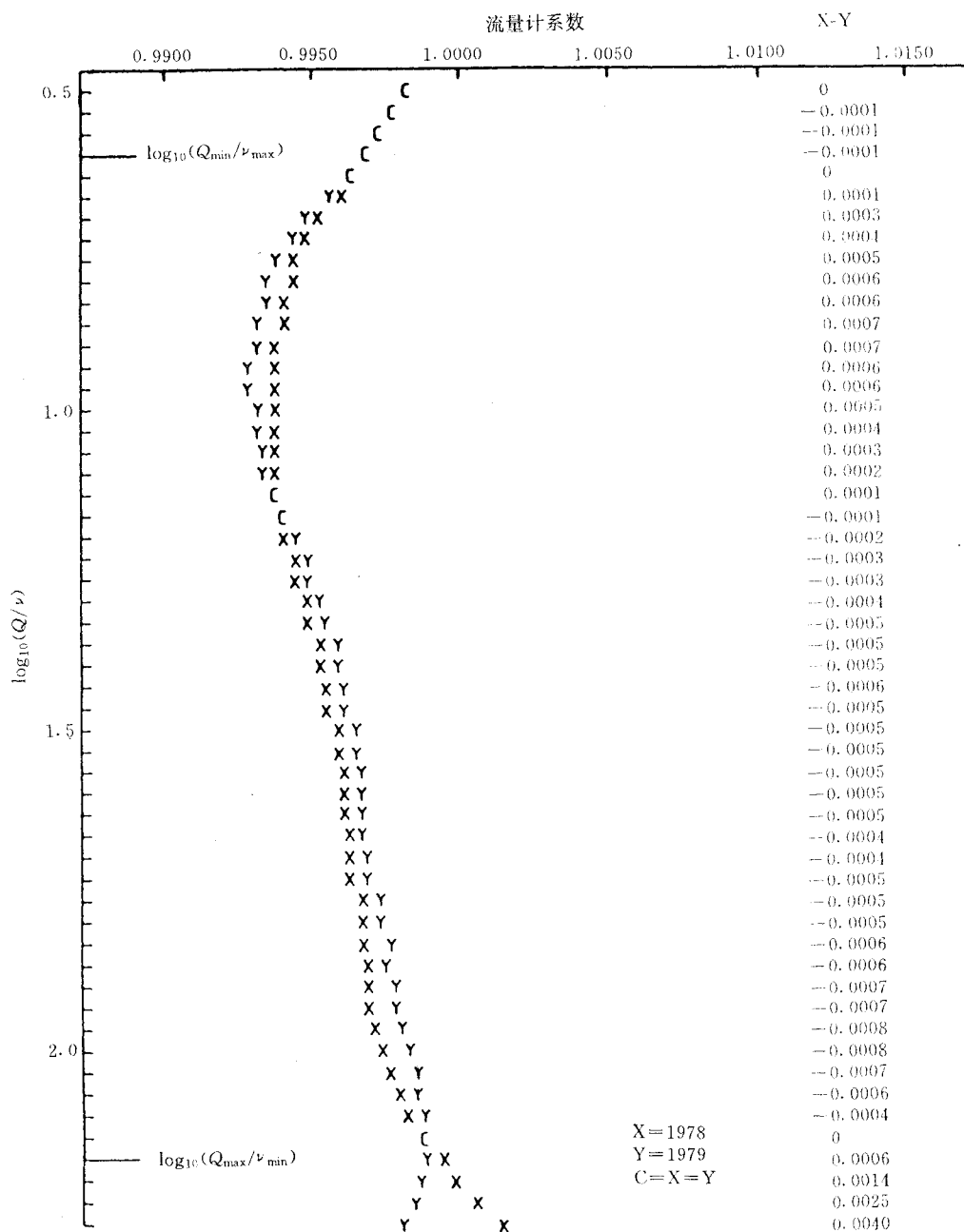


图 18 1978 年与 1979 年的 310 号涡轮流量计  $\log_{10}(Q/\nu)$  与流量计系数数据比较

### 3.5.7.3.3 1980 年检测报告的分析

a) 准则 1

在流量计系数表中，查得流量计系数的最大值和最小值是：

$$MF_{\max} = 0.998\ 9 \quad MF_{\min} = 0.992\ 4$$

计算比值 
$$\frac{2(0.998\ 9 - 0.992\ 4)}{0.998\ 9 + 0.992\ 4} = 0.006\ 5$$

由于这个比值大于 0.5%，故涡轮流量计不能满足准则要求。

b) 规则 2

根据表 12，多项式的随机不确定度是±0.16%，由于这个值超过±0.1%，故多项式不能使用。

c) 规则 3

按所有的  $\lg(Q/\nu)$  直接计算两个多项式(1978 和 1980)之间的差(见图 19)，在  $\lg(Q_{\min}/\nu_{\max})$  和  $\lg(Q_{\max}/\nu_{\min})$  范围内观察的最大差值是 0.13%，由于这个值大于 0.1%，故涡轮流量计不能满足规则要求。

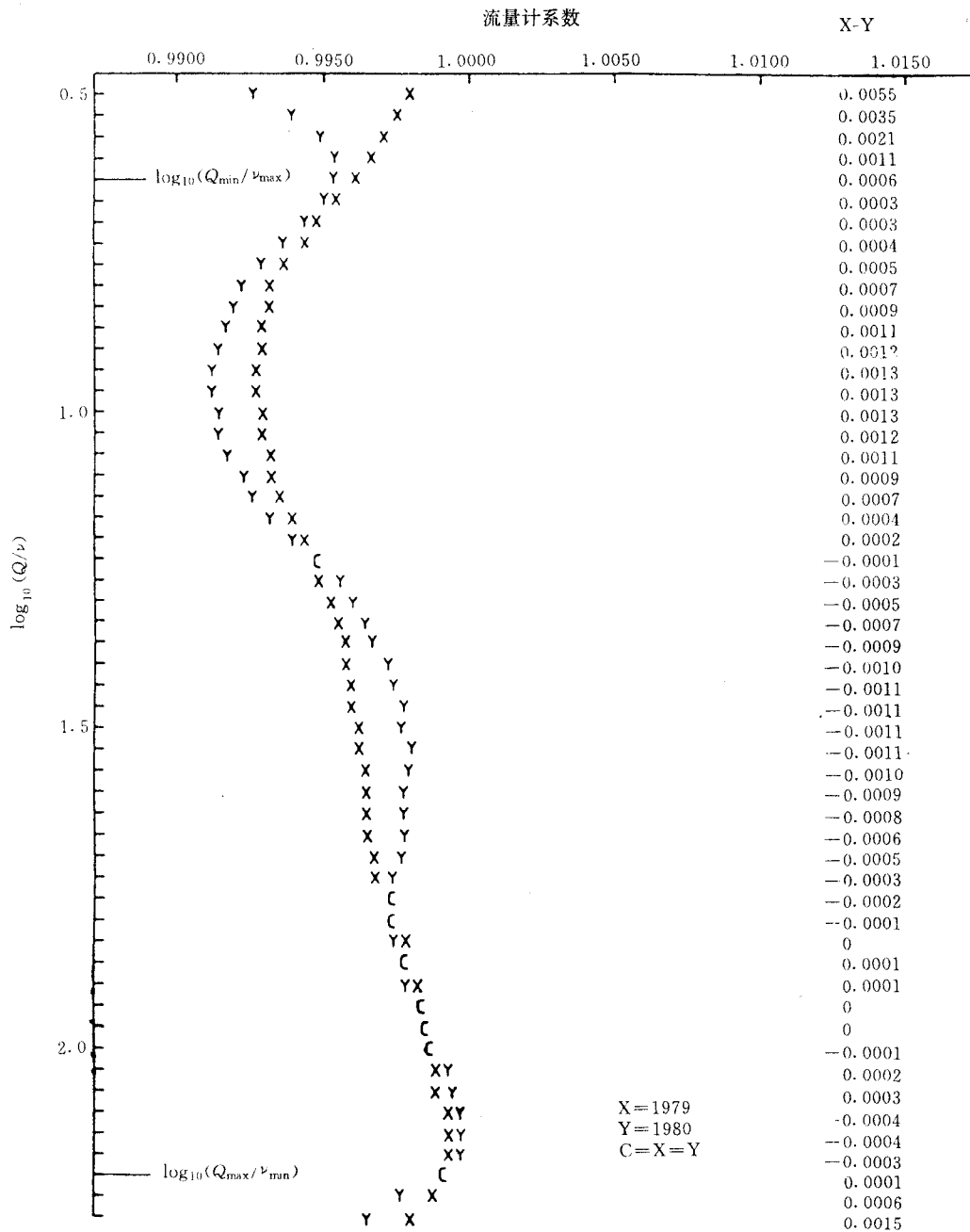


图 19 1979 年与 1980 年的 310 号涡轮流量计  $\log_{10}(Q/\nu)$  与流量计系数数据比较

## d) 结论

涡轮流量计不能使用,应修理后再次提交检定。

## 4 在线检定

## 4.1 数据的收集

## 4.1.1 检定条件

## 4.1.1.1 概述

能影响流量计  $K$  系数的所有参数都应测出并做记录。这些参数包括流体的性质和流量计在检定条件下的温度、压力及流量。在任何时间内流体应没有气泡和固体杂质。

有关测量不确定度的认识包含在统计控制中。这些认识可从过去的检定中或同类流量计的已有经验中得到。如果没有,则应通过预检作出估计。

## 4.1.1.2 流量计的灵敏度

检定系统的安装应该防止检定过程中流量波动产生干扰,尤其是任何一个影响  $K$  系数的量的变化,对测量不确定度的影响不应超过不确定度的 3%。根据开始的检定或在线的预备检定可以确定流量计对这些干扰的灵敏度。例如,若测量不确定度为  $\pm 0.5\%$ ,检定试验期间流量变化允许的影响为  $\pm 0.015\%$ ,则首次检定的试验表明,相对于流量变化 50%, $K$  系数将变化 0.1%,这样检定期间流量允许的变化为  $\pm 50\% \times 0.015/0.1 = \pm 7.5\%$  (见图 20)。

若一台流量计的  $K$  系数受流量变化的影响大,则这台流量计应加以严密的控制。如果有相应的性能图,则温度和压力的影响也可以进行类似的计算。

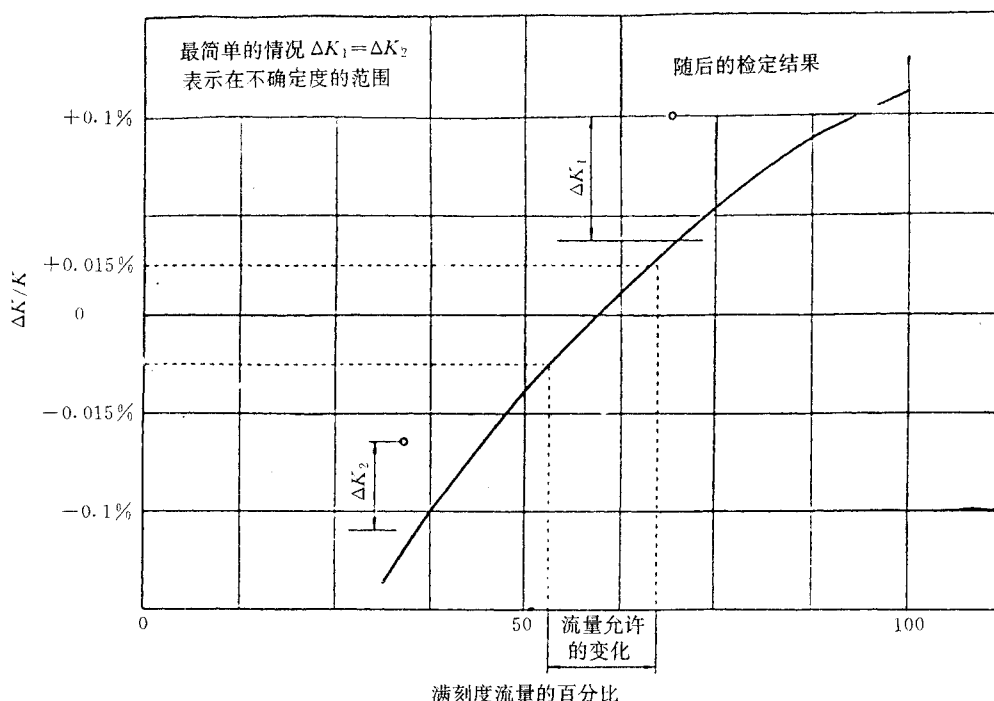


图 20 检定期间容许流量的变化

## 4.1.1.3 流量计的数据

一次检定可确定体积管运行一次流量计所产生的脉冲数。若脉冲数足够大(例如大于 10 000),则一个脉冲的误差不会对允许误差产生较大的影响,简单的计数便可将满足要求;否则,推荐使用脉冲插入技术。

## 4.1.1.4 体积管容积的修正

应将体积管的标准容积从标准参比条件修正到实际检定条件下。用修正后的容积除脉冲数来确定流量计的  $K$  系数。应在较短时间内,进行一系列(5次或更多)检定。在此时间内要尽量保持所有的量不变,特别是不应该有相当于 0.03 不确定度的  $K$  系数变化。

#### 4.1.1.5 检定次数

上述 5 次或更多的检定是在规定的介质、压力、温度、流量等条件下进行的。如果操作条件允许,应改变检定条件重新检定。如果流量计的工作条件发生变化,应该对流量计复检。

#### 4.1.2 流量的影响

##### 4.1.2.1 控制条件

在实际中,只有流量一个条件可随需要而改变,流量改变会引起压力变化。若流量计安装在管线中则油品也可改变。

##### 4.1.2.2 流量点数目

流量的检定范围应该和流量计使用时所需的范围一样或更大些。流量计在检定时,所需的不同流量的数目取决于许多因素,例如:准确度, $K$  系数对流量的灵敏度,流量范围大小以及构成流量与  $K$  系数曲线上的其他参数。

##### 4.1.2.3 复检

当中心检定站未能对流量计性能进行首次检定时,则应在合适的流量点和较宽的流量范围内在线完成的首次检定。

随后检定可适当减少流量点,但检定点必须包括最大和最小流量。

#### 4.2 收集数据的可靠性

##### 4.2.1 操作条件

在无以前资料的情况下,数据的可靠性只能凭使用者的经验。对操作条件的测量值必须进行一致性检验——特别是体积管处和流量计处的温度测量值应该在检定准确度决定的界限(例如  $0.2^{\circ}\text{C}$ )内,而且条件变化时只有缓慢和平稳的变化。同样,压力测量值必须是一致的,而且在流量改变时流体的压力变化也应该平缓。

在检定之前,温度和压力的示值应不变,或者随时间只稍有变化。应检查检定系统,确保没有空气存在。在每个流量点检定运行期间,温度和压力应基本不变。任何小的变化不应该超过不确定度 0.03。

##### 4.2.2 数据分析

###### 4.2.2.1 随机误差的影响

若满足上述运行条件,则可以考察  $K$  系数的统计性质,特别是单一一系列检定运行中  $K$  系数的变化。很小的变化表示没有过大的随机误差,可接受这些数据进行下一步处理。若有大的分散性,特别是某一组包含有异常值(见 2.2.3)时,就表明系统有故障。若有附加资料可利用,以此确定故障的位置。如果在同一个系统内检定第二台流量计,数据很少分散,则第一台流量计很可能有问题,而体积管是准确的。

###### 4.2.2.2 $K$ 系数与流量曲线

$K$  系数和流量曲线(见图 21)可以对误差做另一种检验。开始无法预测曲线形状,但它必须是一条光滑曲线且随流量计的使用在形状上只能有缓慢的变化。

###### 4.2.2.3 检定条件的监视

对数据可靠性的最好检验,是在检定过程开始和结束时,对至少一个流量进行重复测量。如果平均  $K$  系数是在按各独立测量系列的分散性而计算出来的限值以内,则说明检定条件得到很好的控制。流量计也没有明显的检定误差。若有较大的改变,就说明条件控制很差,或者流量计有漂移。根据检定其他流量计的经验应能识别存在问题的原因。

#### 4.3 性能图

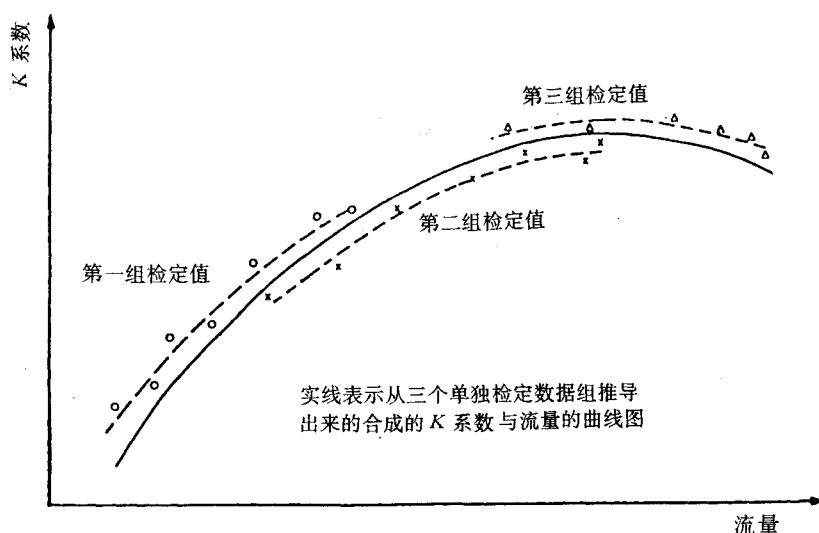


图 21 在线检定性能图

#### 4.3.1 概述

因为流量计不可能在不同的时间,但确完全相同的条件下检定,所以直接比较不同时间得到的  $K$  系数,不一定准确给出  $K$  系数随时间变化的准确程度。因此,在检定期间应尽可能快地建立性能图,以便对不同时间检定条件的变化进行修正。

#### 4.3.2 首次检定数据

性能图(图 21)基本的例子是单一油品。在固定的温度和压力条件下, $K$  系数作为流量函数的变化曲线图。该图可用首次检定的数据绘制,以后在具体流量下的检定还将提供  $K$  系数。该  $K$  系数可同图中的  $K$  系数进行比较。只要在首次检定的流量范围内,以后检定的流量点不需要与首次检定时的任何一个流量点相同。

#### 4.3.3 原始数据

在无首次检定数据的情况下,只要每次在线检定覆盖一个操作条件范围,而且这些条件是互相叠合在一个范围内的,便可根据一系列在线检定数据绘制一个性能图。在图 21 中按不同的时间给出三组检定数据。每一组提供了  $K$  系数与流量关系曲线的一段,每段是错开的。但是,用不同的系数乘以每组的  $K$  系数可使它们重叠。依据检定数据表可用几种方法确定此系数。例如:若图 21 中的第一段和第二段中重叠流量是共同的,则只要确定每一段的  $K$  系数的比值,取平均值并用该比值作为共同的修正系数。如果流量不相同,则首先要对其中一段的读数进行内插以便与其它各段的读数进行比较而决定其比值。经过曲线拟合之后,这些线段就组合成  $K$  系数与流量的关系图,它可以用来与以后的检定结果相比较。如果在不同系列的检定中其它因素(例如温度,压力,油品的性质)有显著变化,则  $K$  系数与流量关系的基本图就有必要扩充成覆盖所有变量的更完整的性能图。

### 4.4 控制图

#### 4.4.1 概述

控制图是表示  $K$  系数随时间或随通过流量计总液量变化的关系图。在最简单的情况下, $K$  系数在所有条件下的改变量都相同。故在任一流量下  $K$  系数同原始的性能图的比较,只提供一个有关  $K$  系数变化( $\Delta K$ )的单一指标(见图 20)。

$\Delta K$  的值可以绘制在  $\Delta K$  与时间或总体积的关系图上。检定值可显示出几种特征。

4.4.1.1 即使  $K$  系数没有任何实际变化,由于性能图和在线检定中的不确定度,检定结果也能预期显示一些随机变化。预期的变动程度是由图 22 中的预警限表示的。

若变化量在预警限内,且不明显,无需采取措施。

4.4.1.2 落在预警限外的结果显示出大的随机变动。如果这些变化是完全随机的,一般不能对它进行修正,在检定之间进行流量测量都有相应的不确定度,这个不确定度有可能大于单系列中的短期测量的不确定度。有证据表明,当短期的不确定度为 0.05% 时,长期随机变化可以超过 0.25%。

4.4.1.3 检定结果可以显示随时间或体积变化的系统趋势。任何一个时刻的  $K$  系数可以在相应的不确定度限度内复现,但在一个时刻和另一个时刻之间其平均值的变化可能超过这个限度,图 22 中的例

子未显示这种趋势。

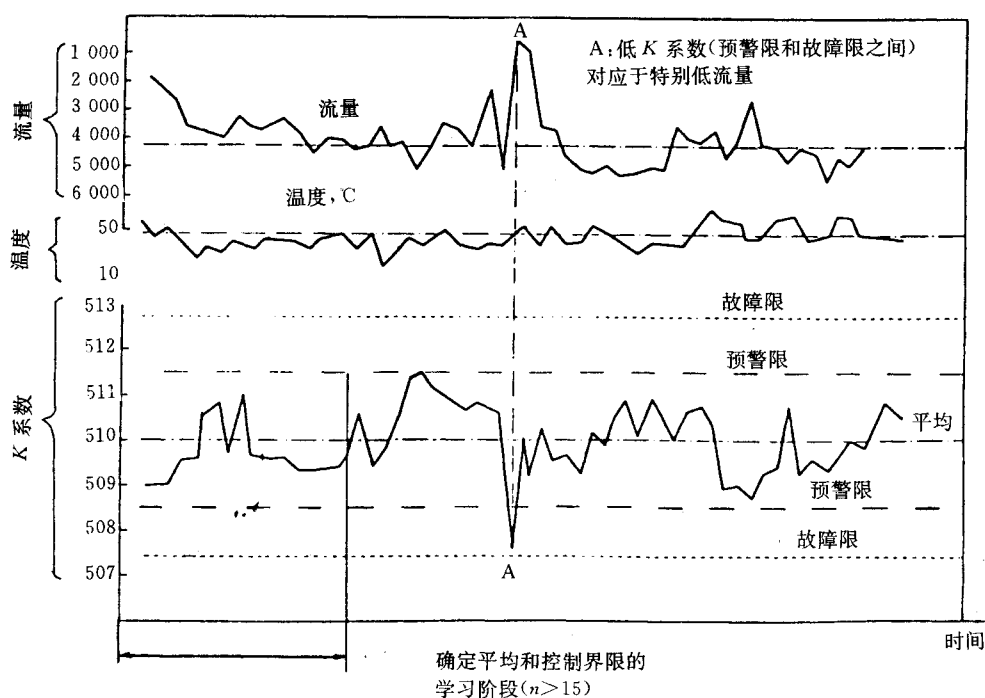


图 22  $K$  系数(5 或 10 次连续运行的平均值)与时间的关系

#### 4.4.2 控制图的使用

##### 4.4.2.1 概述

控制图常常用于在适当时间间隔提供流量计  $K$  系数并指出维修或更换流量计的合适时间。对于 4.4.1 所述的三种情况需要采取如下的措施：

4.4.2.1.1 在 4.4.1.1 叙述的情况下，不需要改变  $K$  系数，也不需要同种类型的另一台流量计更换，因其不会提高流量计的准确度。

4.4.2.1.2 在 4.4.1.2 叙述的情况下，改变  $K$  系数或用另一台同种类型的流量计来更换也没有必要。若  $K$  系数的变化过大，则应更严格地控制测量变量（例如温度），或者用对条件的变化灵敏度较小的流量计更换老流量计。

4.4.2.1.3 在 4.4.1.3 中叙述的情况下，可以采取如下的措施：

- 在流量的计算中使用适当时间间隔调整  $K$  系数，使它符合最近的检定结果。
- 作为一种修正，计算一条  $K$  系数与时间的趋势曲线，并由此内插求  $K$  系数。
- 把流量计卸下来，检查后再决定是继续使用还是进行更换。

##### 4.4.2.2 性能图不能利用时的修正方法

在线检定前，若没有可采用的检定数据，仍可采取若干质量控制手段。若检定条件（例如流量）变化的影响不能量化时，则可以对检定条件大的变化及相应的  $K$  系数变化之间的某种关系作出校正。

如果超出故障限的点与最高最低的状态重合以及它并不在更接近平均状态的试验中出现，则这个越限点可以不计。图 22 给出一个例子。通过对连续检定运行的每组数据求出平均的  $K$  系数，按时间（日期）或体积总量作图，在每个点之间连成直线。

在检定过程中可以检测流量和温度的变化以监视  $K$  系数的变化，且绘在同一轴上。使用 2.1.5 中的式(6)可以求出不少于 15 次检定运行  $K$  系数的平均值。

从这 15 个流量计系数（学习阶段）估计出的控制内限和外限就可以画出与时间轴平行的水平线（使用式(6)）。

若流量计系数位于控制限以内,则可以认为系统“受控”。若任何一个  $K$  系数位于控制限以外,则可以认为  $K$  系数是由于某个可确定的原因而造成的误差而不是随机分散引起的。

流量和温度值可以用来确定越出控制限以外  $K$  系数的任何变化是否由于这两个参数的显著变化而引起的。温度的变化通常引起液体粘度的变化和流量计壳体的膨胀或收缩。

在图 22 中的 A 点  $K$  系数虽然越出预警限,但仍然在故障限之内。在检定中出现了一个不正常的低流量,后来的测量在高流量和更均匀的流量下显示出  $K$  系数只有很小的随机波动,且完全在预警限以内,因此并不需要采取措施。

若没有  $K$  系数与流量之间的相互关系,则预警限就会设置得更宽以适应流量的变化,与从性能图得出的控制图相比,这种控制图对流量计特性的任何变化都不能灵敏反映(见图 21 和 23)。

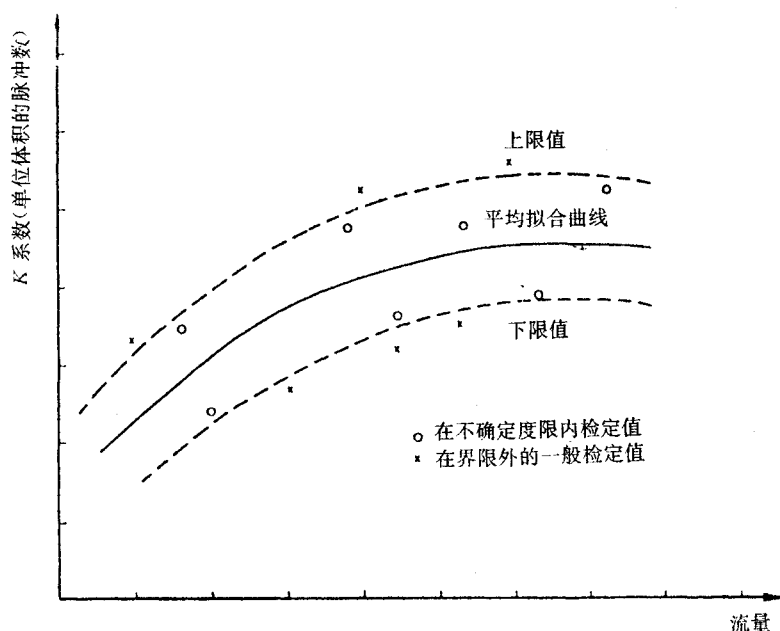


图 23 性能与控制的组合图

#### 4.4.2.3 不单用性能图修正流量变化的影响

在线检定时若能改变流量,则可以绘制出如图 23 这样的图。可以把这张图看作是性能图与控制图结合而成的图。

$K$  系数( $n$  次连续检定的平均值)与流量的关系曲线每隔一段时间就绘制在图上,而上下限值则通过检验决定。于是可画出“最佳拟合”的平均曲线,并可以确定上下限值。这些值就是故障限。

该控制图可用于监视流量计或体积管误动作,或者在用流量计算机对流量计系数作连续线性拟合时提供基本数据。

#### 4.4.2.4 显示出系统的趋势控制图——动态平均值

如在控制图上  $K$  系数显示出明显的倾向时,则对计算动态平均值是有用的。 $K$  系数平均值的不确定度界限是由在一段时间内进行的 10 组连续检定数据的动态平均值来确定的。

按式(6)估计动态平均  $K$  系数的控制界限如下:

$$\pm t_{95,n-1}s(x)/\sqrt{10}$$

式中  $s(x)/\sqrt{10}$  是动态平均值的标准偏差(见式(4))。

这些界限在图 24 中表示出来。由于动态平均值不是相互独立的,控制限将比要求的宽,相当于预警限的 95% 概率水平。由此,在“动态平均值”的控制图上,预警限应该被看作是故障限。



每当确定一个新的  $K$  系数,则应根据最后 10 个连续的  $K$  系数重新估计动态平均值,并绘制到动态平均值图上。任何一个标绘的值漂移到控制限以外,可能的原因是:

流量计轴承磨损;

流量检定系统故障(阀门、检测开关等);

在流量计计数器上设定平均的  $K$  系数,只有出现长期变化或漂移的迹象时,才改变流量计的  $K$  系数。

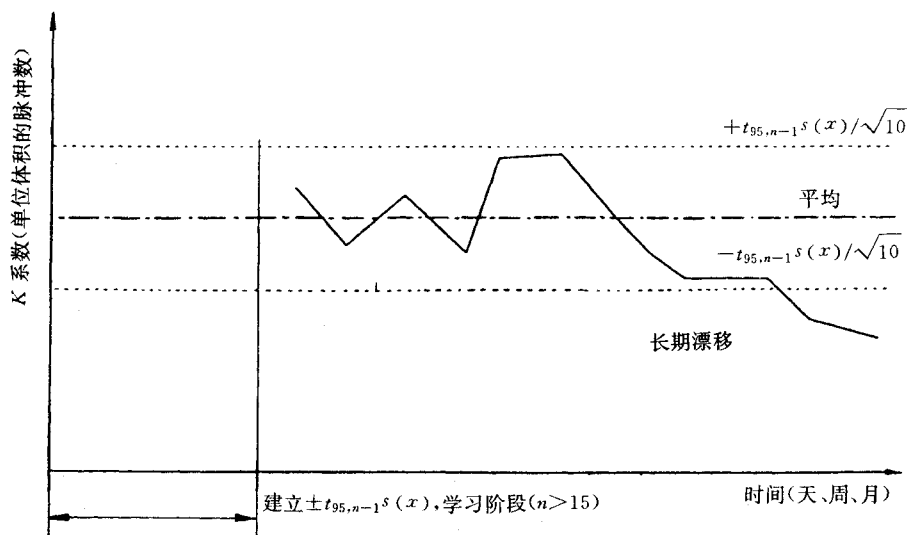


图 24 流量计系数动态平均值与时间的关系曲线

#### 4.5 实例

##### 4.5.1 实例内容

本章给出:在线检定计算的例题和控制图的使用。

1. 异常值检验;
2.  $K$  系数随机不确定度的估计;
3. 在线性范围内建立流量计的控制图;
4. 在线性范围外建立流量计的控制图;
5. 对测量值随机和系统不确定度的估计。

##### 4.5.2 例 1:异常值检验

###### 4.5.2.1 已知

用内径 300 mm、管壁厚 9.375 mm、在 15℃ 和 100 kPa 下两个检测开关之间的标准容积为 3 985.31 L 的双向体积管,检定 200 mm 涡轮流量计,给出下面的结果:

| 序号 | $K$ 系数(脉冲/L) |
|----|--------------|
| 1  | 6.147 0      |
| 2  | 6.142 2      |
| 3  | 6.143 5      |
| 4  | 6.142 5      |
| 5  | 6.143 2      |
| 6  | 6.143 2      |
| 7  | 6.143 2      |
| 8  | 6.142 7      |
| 9  | 6.142 0      |
| 10 | 6.142 2      |
| 11 | 6.142 2      |

## 4.5.2.2 求

有无剔除的异常值?

## 4.5.2.3 解

a) 第一步:按从小到大的顺序重新排列测量值,用狄克逊方法进行异常值检验(见附录 D1),95%的概率水平。

|          |    |         |
|----------|----|---------|
| $x_1$    | 9  | 6.142 0 |
| $x_2$    | 2  | 6.142 2 |
| $x_3$    | 10 | 6.142 2 |
| $x_4$    | 11 | 6.142 2 |
| $x_5$    | 4  | 6.142 5 |
| $x_6$    | 8  | 6.142 7 |
| $x_7$    | 5  | 6.143 2 |
| $x_8$    | 6  | 6.143 2 |
| $x_9$    | 7  | 6.143 2 |
| $x_{10}$ | 5  | 6.143 5 |
| $x_{11}$ | 1  | 6.147 0 |

b) 第二步:

$$R_{21} = \frac{x_{11} - x_9}{x_{11} - x_2} = \frac{6.147 0 - 6.143 2}{6.147 0 - 6.142 2} = 0.792$$

式中:  $R$ ——狄克逊比值(脚注说明见附录 D)。

由于 0.792 比临界值 0.576 大,测量值  $x_{11}$  作为异常值被剔除。

$$c) \quad R_{11} = \frac{x_{10} - x_9}{x_{10} - x_2} = \frac{6.143 5 - 6.143 2}{6.143 5 - 6.142 2} = 0.231$$

由于 0.231 小于 0.477,故测量值  $x_{10}$  可接受。

4.5.3 例 2:  $K$  系数随机不确定度的估计

## 4.5.3.1 已知

使用例 1 中除去 1 号测量值(作为异常值剔除)后的其他测量值。

## 4.5.3.2 求

平均  $K$  系数值?

估算的标准偏差?

$K$  系数单次测量值随机误差的不确定度范围?

$K$  系数平均值随机不确定度范围?

## 4.5.3.3 解

a) 使用下面的值计算标准偏差:

| 序号 | $y_i$   | $(y_i - \bar{y})$ | $(y_i - \bar{y})^2$ |
|----|---------|-------------------|---------------------|
| 1  |         | [作为异常值剔除]         |                     |
| 2  | 6.142 2 | -0.000 5          | 0.000 000 25        |
| 3  | 6.143 5 | 0.000 8           | 0.000 000 64        |
| 4  | 6.142 5 | -0.000 2          | 0.000 000 04        |
| 5  | 6.143 2 | 0.000 5           | 0.000 000 25        |
| 6  | 6.143 2 | 0.000 5           | 0.000 000 25        |
| 7  | 6.143 2 | 0.000 5           | 0.000 000 25        |
| 8  | 6.142 7 | 0.000 0           | 0.000 000 00        |
| 9  | 6.142 0 | -0.000 7          | 0.000 000 49        |
| 10 | 6.142 2 | -0.000 5          | 0.000 000 25        |
| 11 | 6.142 2 | -0.000 5          | 0.000 000 25        |

$$\Sigma(y_i - \bar{y})^2 = 0.000 002 67$$

b) 平均值

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = 6.1427 \text{ 脉冲/L}$$

c) 标准偏差

$$s(y) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

$$s(y) = \sqrt{\frac{0.00000267}{9}}$$

$$s(y) = 0.00054$$

d) 单次测量值的不确定度

$$u(y) = t_{95,n-1} s(y)$$

$$u(y) = 2.262 \times 0.00054 = \pm 0.00122$$

e) 平均值的不确定度

$$u(\bar{y}) = t_{95,n-1} s(y) / \sqrt{n}$$

$$u(\bar{y}) = 2.262 \times 0.00054 / \sqrt{10} = \pm 0.00039$$

## 4.5.4 例3:在线性范围内建立流量计的控制图

## 4.5.4.1 已知

在正常间隔下完成了流量计的多组( $m=10$ )连续检定。在  $K$  系数的变化优于  $\pm 0.1\%$  的线性区域内,最大流量在 80%至 90%之间时检定流量计。整个检定期间温度的变化小于  $5^\circ\text{C}$  (见图 25)。

每组的平均  $K$  系数(脉冲/L)

|      |         |
|------|---------|
| 第一周  | 6.144 6 |
| 第二周  | 6.139 6 |
| 第三周  | 6.142 0 |
| 第四周  | 6.143 3 |
| 第五周  | 6.137 0 |
| 第六周  | 6.140 9 |
| 第七周  | 6.145 9 |
| 第八周  | 6.147 0 |
| 第九周  | 6.168 5 |
| 第十周  | 6.142 0 |
| 第十一周 | 6.138 3 |

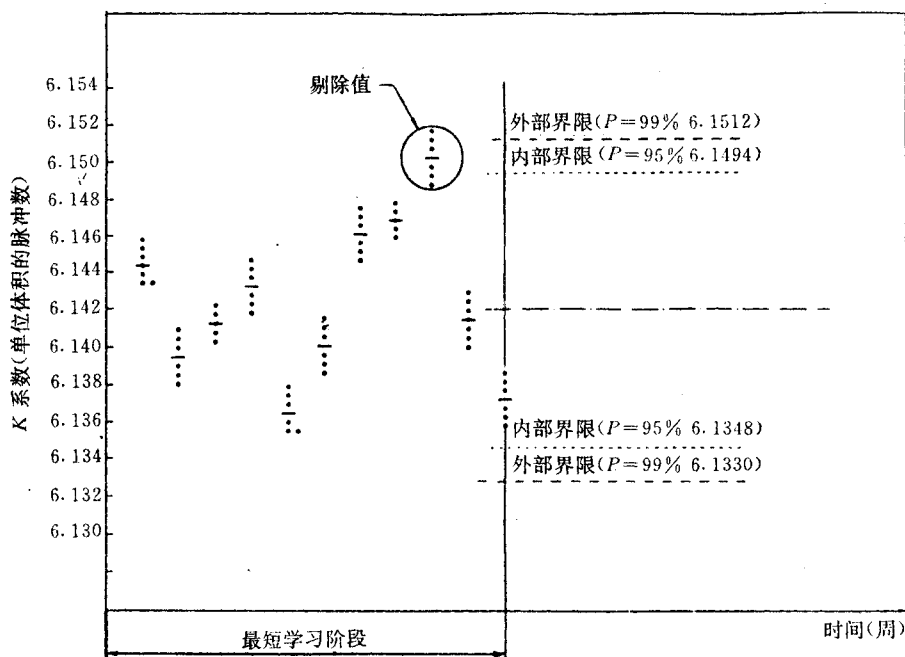


图 25 在线区域内运行流量计的控制图

## 4.5.4.2 求

是否存在越限的  $K$  系数?

## 4.5.4.3 解

a) 第一步:按从小到大的顺序重新排列测量值,在 95% 概率水平下应用狄克逊的异常值检验(见附录 D1)。

|          |         |
|----------|---------|
| $x_1$    | 6.137 0 |
| $x_2$    | 6.138 3 |
| $x_3$    | 6.139 6 |
| $x_4$    | 6.140 9 |
| $x_5$    | 6.142 0 |
| $x_6$    | 6.142 0 |
| $x_7$    | 6.143 3 |
| $x_8$    | 6.144 6 |
| $x_9$    | 6.145 9 |
| $x_{10}$ | 6.147 0 |
| $x_{11}$ | 6.168 5 |

b) 第二步:

$$R = \frac{x_{11} - x_9}{x_{11} - x_2} = \frac{6.168\ 5 - 6.145\ 9}{6.168\ 5 - 6.138\ 3} = 0.748$$

式中  $R$  是狄克逊比值。

由于 0.748 大于临界值 0.576,这样要删除  $x_{11}=6.168\ 5$ (第九周)进行重复检验时,不存在进一步的异常值。

## 4.5.4.4 已知

除去第九周的测量值,使用以前的检定结果如下:

平均的  $K$  系数(脉冲/L)

|      |         |
|------|---------|
| 第一周  | 6.144 6 |
| 第二周  | 6.139 6 |
| 第三周  | 6.142 0 |
| 第四周  | 6.143 3 |
| 第五周  | 6.137 0 |
| 第六周  | 6.140 9 |
| 第七周  | 6.145 9 |
| 第八周  | 6.147 0 |
| 第十周  | 6.142 0 |
| 第十一周 | 6.138 3 |

## 4.5.4.5 求

控制图中  $K$  系数平均值?

控制的上限和下限( $P=95\%$ )(内限)?

控制的上限和下限( $P=99\%$ )(外限)?

## 4.5.4.6 解:

$$a) \quad \text{平均值: } \bar{z} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m z_i = 6.142 \text{ 1 脉冲/L}$$

$$s(z) = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (z_i - \bar{z})^2} = 0.003 \text{ 24}$$

$$b) \quad u(z) = t_{95, m-1} s(z) = 2.262 \times 0.003 \text{ 24} = \pm 0.007 \text{ 3}$$

$$\text{下限} = 6.142 \text{ 1} - 0.007 \text{ 3} = 6.134 \text{ 8}$$

$$\text{上限} = 6.142 \text{ 1} + 0.007 \text{ 3} = 6.149 \text{ 4}$$

$$c) \quad u(z) = t_{99, m-1} s(z) = 3.250 \times 0.003 \text{ 24} = \pm 0.010 \text{ 5}$$

$$\text{下限} = 6.142 \text{ 1} - 0.010 \text{ 5} = 6.131 \text{ 6}$$

$$\text{上限} = 6.142 \text{ 1} + 0.010 \text{ 5} = 6.152 \text{ 6}$$

## 4.5.5 例 4:在线性区外建立流量计的控制图

## 4.5.5.1 已知

在正常的间隔下完成流量计的多组( $m=1$ )连续检定。在流量和温度变化的条件下检定流量计(见表 13 中 1~4 行)。

表 13 例 4——规范的流量计系数

| (1)                                             | (2)                  | (3)               | (4)                        | (5)               | (6)                    | (6a)                     | (7)               | (7a)                    | (8)                     | (8a)                          |
|-------------------------------------------------|----------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 日期                                              | 流量<br>$Q$<br>$m^3/h$ | 温度<br>$^{\circ}C$ | 测量的 $K$ 系<br>数(平均值)<br>$K$ | $\nu$<br>$mm^2/s$ | $K$ 系数                 |                          | $K_1 - \bar{K}_1$ | 1)<br>$K_1 - \bar{K}_1$ | $K - (K_1 - \bar{K}_1)$ | 1)<br>$K - (K_1 - \bar{K}_1)$ |
|                                                 |                      |                   |                            |                   | 内插求得<br>(对比表)<br>$K_1$ | 计算求得<br>(方程式)<br>$K_1^D$ |                   |                         |                         |                               |
| 67-4-3                                          | 900                  | 50                | 5 025.0                    | 3.9               | 5 020.5                | 5 020.0                  | -0.2              | -0.9                    | 5 025.2                 | 5 025.9                       |
| 67-4-4                                          | 1 000                | 50                | 5 021.0                    | 3.9               | 5 020.0                | 5 019.3                  | -0.7              | -1.6                    | 5 021.7                 | 5 022.6                       |
| 67-4-5                                          | 800                  | 52                | 5 014.9                    | 3.7               | 5 020.0                | 5 020.4                  | -0.7              | -0.5                    | 5 015.6                 | 5 015.4                       |
| 67-4-6                                          | 950                  | 60                | 5 017.7                    | 3.0               | 5 015.2                | 5 018.0                  | 5.5               | 2.9                     | 5 023.2                 | 5 020.6                       |
| 67-4-7                                          | 900                  | 55                | 5 021.4                    | 3.4               | 5 017.9                | 5 019.1                  | -2.8              | -1.8                    | 5 024.2                 | 5 023.2                       |
| 67-4-8                                          | 1 000                | 50                | 5 015.0                    | 3.9               | 5 020.0                | 5 019.3                  | -0.7              | -1.6                    | 5 015.7                 | 5 016.6                       |
| 67-4-9                                          | 900                  | 55                | 5 016.2                    | 3.4               | 5 017.9                | 5 019.1                  | -2.8              | -1.8                    | 5 019.0                 | 5 018.0                       |
| 67-4-10                                         | 200                  | 55                | 5 028.0                    | 3.4               | 5 026.7                | 5 028.7                  | +6.0              | +7.8                    | 5 022.0                 | 5 020.2                       |
| 67-4-11                                         | 950                  | 60                | 5 018.0                    | 3.0               | 5 015.2                | 5 018.0                  | -5.5              | -2.9                    | 5 023.5                 | 5 020.9                       |
| 67-4-12                                         | 800                  | 50                | 5 014.2                    | 3.9               | 5 021.0                | 5 020.7                  | +0.3              | -0.2                    | 5 013.9                 | 5 014.4                       |
| 67-4-13                                         | 900                  | 45                | 5 025.6                    | 4.4               | 5 023.3                | 5 020.8                  | +2.6              | -0.1                    | 5 023.0                 | 5 025.7                       |
| 67-4-14                                         | 100                  | 40                | 5 039.0                    | 5.1               | 5 043.0                | 5 035.7                  | +22.3             | +14.8                   | 5 016.7                 | 5 024.2                       |
| 67-4-15                                         | 1 000                | 50                | 5 021.0                    | 3.9               | 5 020.0                | 5 019.3                  | -0.7              | -1.6                    | 5 021.7                 | 5 022.6                       |
| 67-4-16                                         | 950                  | 50                | 5 020.3                    | 3.9               | 5 020.3                | 5 019.6                  | -0.4              | -1.3                    | 5 020.7                 | 5 021.6                       |
| 67-4-17                                         | 1 000                | 55                | 5 026.0                    | 3.4               | 5 017.5                | 5 018.4                  | -3.2              | -2.5                    | 5 029.2                 | 5 028.5                       |
| 67-4-18                                         | 300                  | 65                | 5 017.5                    | 2.7               | 5 018.2                | 5 024.7                  | -2.5              | +3.8                    | 5 020.0                 | 5 013.7                       |
| 67-4-19                                         | 950                  | 50                | 5 026.5                    | 3.9               | 5 020.3                | 5 019.6                  | -0.4              | -1.3                    | 5 026.9                 | 5 027.8                       |
| 67-4-20                                         | 800                  | 52                | 5 018.0                    | 3.7               | 5 020.0                | 5 020.4                  | -0.7              | -0.5                    | 5 018.7                 | 5 018.5                       |
| 67-4-21                                         | 1 000                | 50                | 5 015.3                    | 3.9               | 5 020.0                | 5 019.3                  | -0.7              | -1.6                    | 5 016.0                 | 5 016.9                       |
| 67-4-22                                         | 1 000                | 55                | 5 018.0                    | 3.4               | 5 017.5                | 5 018.4                  | -3.2              | -2.5                    | 5 021.2                 | 5 020.5                       |
| 平均值                                             |                      |                   | 5 020.9                    |                   | 5 020.7                | 5 020.9                  |                   |                         | 5 020.9                 | 5 020.9                       |
| 标准偏差 $s$                                        |                      |                   | 6.031                      |                   |                        |                          |                   |                         | 4.029                   | 4.290                         |
| 1) 从下面方程式计算: $K_1 = 5\,054.8(Q/\nu)^{-0.00127}$ |                      |                   |                            |                   |                        |                          |                   |                         |                         |                               |

## 4.5.5.2 求

对应于流量和温度或粘度的平均  $K$  系数?

## 4.5.5.3 解

a) 性能图(按以前的试验为依据)

在多个固定的(任意的)温度下,按多种流量范围对涡轮流量计进行检定。因此按每个温度下的  $K$  数绘制拟合曲线(见图 26),可用插值的方法估计在其他温度下的  $K$  系数,这样就可提供流量计的性能图。

然后根据性能图的数据制作对比表(见图 26),根据对比表可计算流量和温度或粘度每次组合的  $K$  系数。

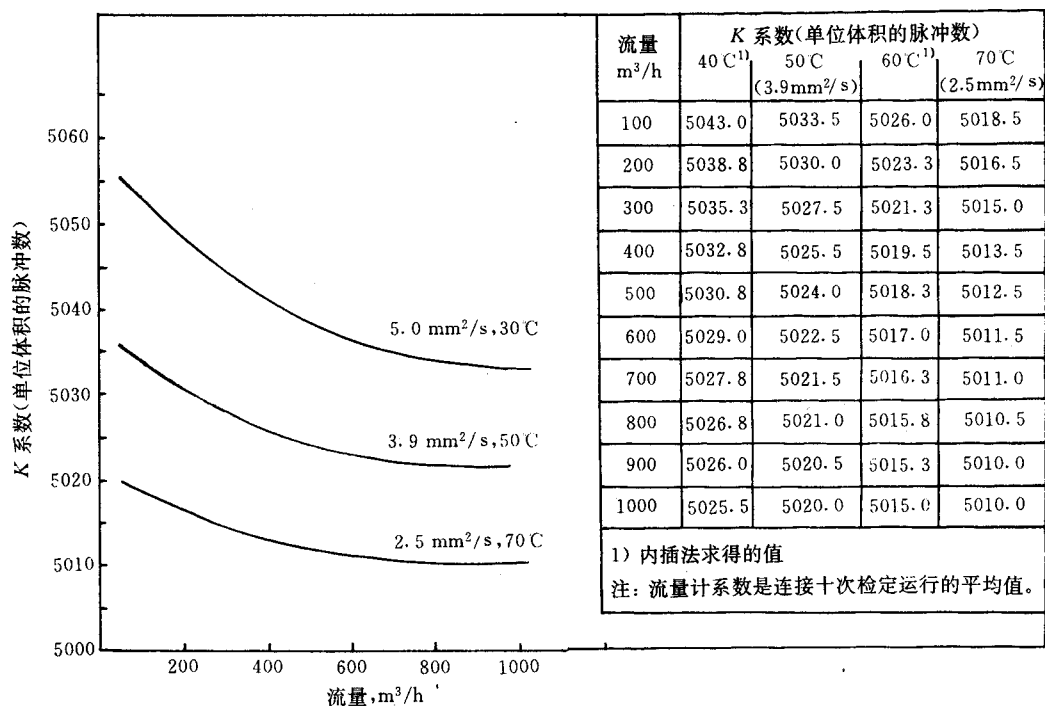


图 26 流量计性能图——用体积管检定的涡轮流量计

b) 根据检定数据建立的方程

在无以前试验的性能图依据时,使用下面的关系式,利用粘度除流量与  $K$  系数之间的拟合曲线,可估计平均的  $K$  系数:

——线性回归方程:  $y = a + bx$

——指数方程:  $y = ae^{bx}$

——对数方程:  $y = a + b \ln x$

——幂方程:  $y = ax^b$

选择拟合曲线,给出最大的修正系数。

#### 4.5.5.4 求

在流动条件变化的影响下被修正的  $K$  系数?

##### 4.5.5.4.1 解

a) 第一步:通过参照合适的粘度图(没有性能图),估计出在每次检定温度下所对应的粘度值。

b) 第二步:既可以通过性能图用内插法,又可以通过使用  $K$  系数和流量( $Q$ )或粘度( $\nu$ )

最佳拟合方程计算出  $K$  系数。(表 13 中 6 或 6a 行的值)

$$K_1 = 5\,054.8(Q/\nu)^{-0.001\,27}$$

c) 第三步:计算平均  $K$  系数 = 5 020.9 和  $K_1 = 5\,020$ 。

d) 第四步:计算  $(K_1 - \bar{K}_1)$  (见表 13 中 7 或 7a 行)。

e) 第五步:计算  $K - (K_1 - \bar{K}_1)$  (见表 13 中 8 或 8a 行)。

#### 4.5.5.5 求

——“规范化”(流动条件变化的影响被修正)  $K$  系数的平均值?

——上限和下限( $P=95\%$ )的控制界限(内部的)?

——上限和下限( $P=99\%$ )的控制界限(外部的)?

##### 4.5.5.5.1 解

- a) 平均值:  $\bar{z}_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m z_i = 5\,020.9$  脉冲 / m<sup>3</sup>
- b)  $s(z) = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (z_i - \bar{z})^2} = 4.029$  或 4.290
- c)  $u(z) = t_{95, m-1} s(z) = 2.093 \times 4.029 = \pm 8.4$  (内插求的)  
 或  $= 2.093 \times 4.290 = \pm 9.0$  (计算求的)  
 下限  $= 5\,020.9 - 8.4 = 5\,012.5$  脉冲 / m<sup>3</sup> (内插求的)  
 或  $= 5\,020.9 - 9.0 = 5\,011.9$  (计算求的)  
 上限  $= 5\,020.9 + 8.4 = 5\,029.3$  脉冲 / m<sup>3</sup> (内插求的)  
 或  $= 5\,020.9 + 9.0 = 5\,029.9$  (计算求的)
- d)  $u(z) = t_{99, m-1} s(z) = 3.250 \times 4.029 = \pm 13.1$  (内插求的)  
 或  $= 3.250 \times 4.290 = \pm 13.9$  (计算求的)  
 下限  $= 5\,020.9 - 13.1 = 5\,007.8$  脉冲 / m<sup>3</sup> (内插求的)  
 或  $= 5\,020.9 - 13.9 = 5\,007.0$  (计算求的)  
 上限  $= 5\,020.9 + 13.1 = 5\,034.0$  脉冲 / m<sup>3</sup> (内插求的)  
 或  $= 5\,020.9 + 13.9 = 5\,034.8$  (计算求的)

## 4.5.5.6 求

——控制图“正常化”(非线性影响的修正)K系数的平均值?

——上限和下限( $P=95\%$ )的控制界限(内部的)?

——上限和下限( $P=99\%$ )的控制界限(外部的)?

## 4.5.5.6.1 解

根据表 13,7 行(见图 27)

注 1: 图 27 给出上、下界限控制图上绘制的实际和规范化的 K 系数值。

- a) 平均值:  $\bar{z} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m z_i = 5\,020.9$  脉冲 / m<sup>3</sup>
- b)  $s(z) = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (z_i - \bar{z})^2} = 4.029$
- c)  $u(z) = t_{95, m-1} s(z) = 2.093 \times 4.029 = 8.4$  脉冲 / m<sup>3</sup>  
 下限  $= 5\,020.9 - 8.4 = 5\,012.5$   
 上限  $= 5\,020.9 + 8.4 = 5\,029.3$
- d)  $u(z) = t_{99, m-1} s(z) = 2.861 \times 4.029 = 11.5$  脉冲 / m<sup>3</sup>  
 下限  $= 5\,020.9 - 11.5 = 5\,009.4$   
 上限  $= 5\,020.9 + 11.5 = 5\,032.4$



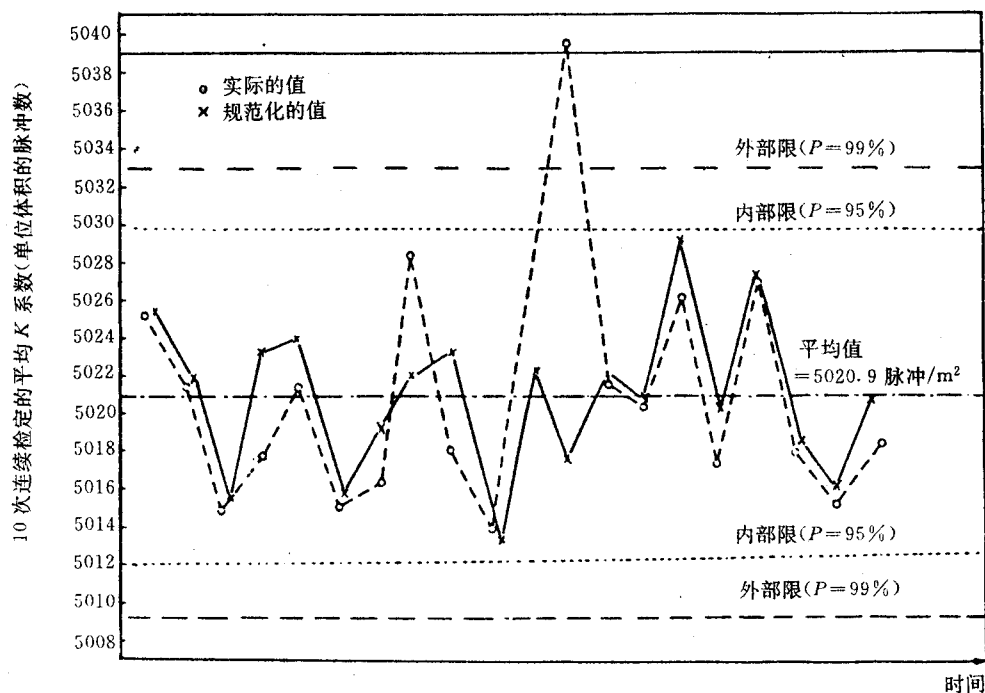


图 27 控制图——在线性区外运行的流量计

## 4.5.6 例 5: 对测量值随机和系统不确定度的估计

## 4.5.6.1 已知

在几周的期间内,用同样的体积管和同等级的原油检定 200 mm 的涡轮流量计。

## 4.5.6.2 求

检定期间单次  $K$  系数的不确定度是多少?

## 4.5.6.3 解

## 4.5.6.3.1 估计用百分数表示的短期不确定度。假定在 10 次连续检定中都保持有代表性的值(例 2)。

$$u(x_1) = \frac{u(y)}{y} \times 100 = [0.001\ 22/6.142\ 7] \times 100 = \pm 0.02\%$$

4.5.6.3.2 估计用百分数表示的以 10 次( $m=10$ )为依据的长期不确定度。

$$u(x_2) = \frac{u(z)}{z} \times 100 = [0.007\ 3/6.142\ 7] \times 100 = \pm 0.12\%$$

4.5.6.3.3 体积管不确定度的典型值  $u(x_3)$  是 0.05%, 通常考虑作为固定的系统误差。

导出所有的  $K$  系数使用相同的体积管, 不确定度应作为偏差处理(并且用代数法相加)。

注 2: 长期不确定度  $u(x_2)$  的大小主要取决于线性度, 或  $K$  系数随流量和粘度(温度)变化而产生变化。根据类似流动条件下检定的流量计, 可以推导估计值为  $\pm 0.12\%$ 。从例 4 中可以看到, 在变化的流动条件下检定流量计时, 长期不确定度的等级是  $\pm 0.25\%$ 。

4.5.6.3.4 单个  $K$  系数的不确定度,  $u(x_3)$  作为偏差进行处理:

$$\begin{aligned} u(k) &= \pm \left( \sqrt{u(x_1)^2 + u(x_2)^2} + u(x_3) \right) \\ &= \pm \left( \sqrt{(0.02)^2 + (0.12)^2} + 0.05 \right) = \pm 0.17\% \end{aligned}$$

## 5 二次控制

## 5.1 流量计和储罐之间的比较

## 5.1.1 概述

用输送进、出圆筒形立式金属罐的油量同通过流量计的油量比较, 来监视流量计性能是否有显著变

化。

这种方法常常称之为“二次控制”，因为它只能用来发现因流量计运动部件机械损伤而造成的粗大误差。

### 5.1.2 监视系统的原理

在标准参比条件下，测量并比较进出罐的流量与通过流量计的总体积量，其差值用总体积量的百分数表示。

将该差值与由式(23)和式(24)算出的罐和流量计的合成不确定度进行比较。

式中使用的罐液位测量、温度测量、罐检定和仪表的不确定度，都凭以前的经验确定。

若流量计和罐计量之间的差数超过了计算出来的合成不确定度，则应检查流量计看其是否受损。

### 5.1.3 罐检尺测量的不确定度

立式金属罐储存量的不确定度，可依据在下列假定条件下使用的简化方程进行计算：

a) 依据国家或国际标准进行储罐检定。

b) 包括或表示必要修正的表，如：

- 在液体压力作用下罐壁的膨胀；
- 在液体温度作用下罐壁的修正；
- 浮顶浸入的修正；
- 罐底变形的修正。

c) 在输送期间罐底没有明显的变形。

符合这些条件时，罐容量表产生的误差将不超过 $\pm 0.05\%$ 。

罐检尺的不确定度可使用式(23)进行计算：

$$(E_T)_{95} = 0.05 + \frac{1}{10(h_2 - h_1)} \sqrt{2E_h^2 + (E_t^2 + 0.5^2)(h_1^2 + h_2^2)} \quad \dots\dots\dots (23)$$

式中：(E<sub>T</sub>)<sub>95</sub>——罐输送量的不确定度，%；

h<sub>1</sub>——罐的高液位，m；

h<sub>2</sub>——罐的低液位，m；

E<sub>h</sub>——测量误差，mm；

E<sub>t</sub>——温度的误差，℃。

罐的检定误差是0.05%，体积修正系数的不确定度是0.5%。

### 5.1.4 流量计的不确定度

流量计测量值的不确定度可用下面的简化方程式计算：

$$(E_M)_{95} = \sqrt{E_M^2 + 0.01(E_t^2 + 0.5^2)} \quad \dots\dots\dots (24)$$

式中：(E<sub>M</sub>)<sub>95</sub>——测量值的不确定度，%；

E<sub>M</sub>——流量计测量的体积误差，%；

E<sub>t</sub>——温度误差，℃。

体积修正系数的不确定度是0.5%。

### 5.1.5 合成不确定度的计算

合成不确定度(储罐和流量计的不确定度)可按方程式(25)计算：

$$(E)_{95} = \sqrt{(E_T)_{95}^2 + (E_M)_{95}^2} \quad \dots\dots\dots (25)$$

### 5.1.6 不确定度的表格

为方便起见可根据式(23)和式(24)测量的不同值、温度和流量计的误差，建立表示罐和流量计计算不确定度的表。

在表14和表15中给出了实例。

表 16 给出输送合成不确定度。

例题：——罐测量不确定度，使用式(23)：

$$(E_T)_{95} = 0.05 + \frac{1}{10(h_2 - h_1)} \sqrt{2 \times 4^2 + (0.7^2 + 0.5^2)(h_1^2 + h_2^2)}$$

式中：罐计量检定的误差是 $\pm 0.05\%$ ，计量的误差是 $\pm 4\text{ mm}$ ，温度的误差是 $\pm 0.7^\circ\text{C}$ ，体积修正系数的误差是 $\pm 0.5\%$ 。

表 14 立式圆柱形储罐在 $15^\circ\text{C}$ 下计算的不确定度

|                               |    | 储罐测量的不确定度，%            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------|----|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                               |    | 输送前、后的 $h_1, \text{m}$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                               |    | 1                      | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   |
| 输送<br>前、后的<br>$h_2, \text{m}$ | 2  | 0.65                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                               | 3  | 0.36                   | 0.70 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                               | 4  | 0.27                   | 0.39 | 0.76 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                               | 5  | 0.23                   | 0.29 | 0.43 | 0.84 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                               | 6  | 0.20                   | 0.25 | 0.32 | 0.47 | 0.93 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                               | 7  | 0.19                   | 0.22 | 0.27 | 0.35 | 0.52 | 1.02 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                               | 8  | 0.18                   | 0.20 | 0.24 | 0.29 | 0.38 | 0.58 | 1.12 |      |      |      |      |      |      |      |
|                               | 9  | 0.17                   | 0.19 | 0.22 | 0.25 | 0.31 | 0.41 | 0.62 | 1.23 |      |      |      |      |      |      |
|                               | 10 | 0.17                   | 0.18 | 0.20 | 0.23 | 0.27 | 0.34 | 0.45 | 0.67 | 1.34 |      |      |      |      |      |
|                               | 11 | 0.16                   | 0.17 | 0.19 | 0.22 | 0.25 | 0.29 | 0.36 | 0.48 | 0.72 | 1.45 |      |      |      |      |
|                               | 12 | 0.16                   | 0.17 | 0.18 | 0.20 | 0.23 | 0.26 | 0.31 | 0.39 | 0.52 | 0.78 | 1.56 |      |      |      |
|                               | 13 | 0.16                   | 0.17 | 0.18 | 0.19 | 0.22 | 0.24 | 0.28 | 0.34 | 0.42 | 0.56 | 0.84 | 1.67 |      |      |
|                               | 14 | 0.15                   | 0.16 | 0.17 | 0.19 | 0.20 | 0.23 | 0.26 | 0.30 | 0.36 | 0.45 | 0.59 | 0.89 | 1.79 |      |
|                               | 15 | 0.15                   | 0.16 | 0.17 | 0.18 | 0.20 | 0.22 | 0.24 | 0.27 | 0.32 | 0.38 | 0.47 | 0.63 | 0.95 | 1.90 |
|                               | 16 | 0.15                   | 0.16 | 0.17 | 0.18 | 0.19 | 0.21 | 0.23 | 0.26 | 0.29 | 0.34 | 0.40 | 0.50 | 0.67 | 1.01 |
|                               | 17 | 0.15                   | 0.16 | 0.16 | 0.17 | 0.19 | 0.20 | 0.22 | 0.24 | 0.27 | 0.31 | 0.36 | 0.43 | 0.53 | 0.71 |
|                               | 18 | 0.15                   | 0.15 | 0.16 | 0.17 | 0.18 | 0.19 | 0.21 | 0.23 | 0.25 | 0.28 | 0.32 | 0.37 | 0.45 | 0.56 |

例题：流量计不确定度，使用式(24)：

$$(E_M)_{95} = \sqrt{E_M^2 + 0.01(E_t^2 + 0.5^2)}$$

式中： $(E_M)_{95}$ ——测量量的不确定度，%；

$E_M$ ——流量计测量的体积误差，%；

$E_t$ ——温度误差， $^\circ\text{C}$ 。

体积修正系数的不确定度是 $0.5\%$ 。

表 15 15℃下计算流量计不确定度

|                    |     | 流量计体积误差, $E_M$ , % |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|-----|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                    |     | 0                  | 0.02 | 0.04 | 0.06 | 0.08 | 0.10 | 0.12 | 0.14 | 0.16 | 0.18 | 0.20 | 0.22 | 0.24 | 0.26 |
| 温度误差<br>$E_t$ , °C | 0   | 0.05               | 0.05 | 0.06 | 0.08 | 0.09 | 0.11 | 0.13 | 0.15 | 0.17 | 0.19 | 0.21 | 0.23 | 0.25 | 0.26 |
|                    | 0.2 | 0.05               | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.10 | 0.11 | 0.13 | 0.15 | 0.17 | 0.19 | 0.21 | 0.23 | 0.25 | 0.26 |
|                    | 0.4 | 0.06               | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.10 | 0.12 | 0.14 | 0.15 | 0.17 | 0.19 | 0.21 | 0.23 | 0.25 | 0.27 |
|                    | 0.6 | 0.08               | 0.08 | 0.09 | 0.10 | 0.11 | 0.13 | 0.14 | 0.16 | 0.18 | 0.20 | 0.21 | 0.23 | 0.25 | 0.27 |
|                    | 0.8 | 0.09               | 0.10 | 0.10 | 0.11 | 0.12 | 0.14 | 0.15 | 0.17 | 0.19 | 0.20 | 0.22 | 0.24 | 0.26 | 0.28 |
|                    | 1.0 | 0.11               | 0.11 | 0.12 | 0.13 | 0.14 | 0.15 | 0.16 | 0.18 | 0.20 | 0.21 | 0.23 | 0.25 | 0.26 | 0.28 |
|                    | 1.2 | 0.13               | 0.13 | 0.14 | 0.14 | 0.15 | 0.16 | 0.18 | 0.19 | 0.21 | 0.22 | 0.24 | 0.26 | 0.27 | 0.29 |
|                    | 1.4 | 0.15               | 0.15 | 0.15 | 0.16 | 0.17 | 0.18 | 0.19 | 0.20 | 0.22 | 0.23 | 0.25 | 0.27 | 0.28 | 0.30 |
|                    | 1.6 | 0.17               | 0.17 | 0.17 | 0.18 | 0.19 | 0.20 | 0.21 | 0.22 | 0.23 | 0.25 | 0.26 | 0.28 | 0.29 | 0.31 |
|                    | 1.8 | 0.19               | 0.19 | 0.19 | 0.20 | 0.20 | 0.21 | 0.22 | 0.23 | 0.25 | 0.26 | 0.27 | 0.29 | 0.30 | 0.32 |
|                    | 2.0 | 0.21               | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.22 | 0.23 | 0.24 | 0.25 | 0.26 | 0.27 | 0.29 | 0.30 | 0.32 | 0.33 |

例题: 罐输送和流量计不确定度, 使用式(25)

$$(E)_{95} = \sqrt{(E_T)_{95}^2 + (E_M)_{95}^2}$$

式中:  $(E)_{95}$ ——输送的不确定度, %;

$(E_T)_{95}$ ——罐输送量的不确定度, %;

$(E_M)_{95}$ ——测量量的不确定度, %。

表 16 罐输送不确定度和流量计合成不确定度

|                                  |      | 测量的不确定度, $(E_M)_{95}$ , % |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------------|------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                  |      | 0.06                      | 0.08 | 0.10 | 0.12 | 0.14 | 0.16 | 0.18 | 0.20 | 0.22 | 0.24 | 0.26 | 0.28 | 0.30 | 0.32 |
| 罐合成的不<br>确定度<br>$(E_T)_{95}$ , % | 0.14 | 0.15                      | 0.16 | 0.17 | 0.18 | 0.20 | 0.21 | 0.23 | 0.24 | 0.26 | 0.28 | 0.30 | 0.31 | 0.33 | 0.35 |
|                                  | 0.16 | 0.17                      | 0.18 | 0.19 | 0.20 | 0.21 | 0.23 | 0.24 | 0.26 | 0.27 | 0.29 | 0.31 | 0.32 | 0.34 | 0.36 |
|                                  | 0.18 | 0.19                      | 0.20 | 0.21 | 0.22 | 0.23 | 0.24 | 0.25 | 0.27 | 0.28 | 0.30 | 0.32 | 0.33 | 0.35 | 0.37 |
|                                  | 0.20 | 0.21                      | 0.22 | 0.22 | 0.23 | 0.24 | 0.26 | 0.27 | 0.28 | 0.30 | 0.31 | 0.33 | 0.35 | 0.36 | 0.38 |
|                                  | 0.22 | 0.23                      | 0.23 | 0.24 | 0.25 | 0.26 | 0.27 | 0.28 | 0.30 | 0.31 | 0.33 | 0.34 | 0.36 | 0.37 | 0.39 |
|                                  | 0.24 | 0.25                      | 0.25 | 0.26 | 0.27 | 0.28 | 0.29 | 0.30 | 0.31 | 0.33 | 0.34 | 0.35 | 0.37 | 0.38 | 0.40 |
|                                  | 0.26 | 0.27                      | 0.27 | 0.28 | 0.29 | 0.30 | 0.31 | 0.32 | 0.33 | 0.34 | 0.35 | 0.37 | 0.38 | 0.40 | 0.41 |
|                                  | 0.28 | 0.29                      | 0.29 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.32 | 0.33 | 0.34 | 0.36 | 0.37 | 0.38 | 0.40 | 0.41 | 0.43 |
|                                  | 0.30 | 0.31                      | 0.31 | 0.32 | 0.32 | 0.33 | 0.34 | 0.35 | 0.36 | 0.37 | 0.38 | 0.40 | 0.41 | 0.42 | 0.44 |
|                                  | 0.32 | 0.33                      | 0.33 | 0.34 | 0.34 | 0.35 | 0.36 | 0.37 | 0.38 | 0.39 | 0.40 | 0.41 | 0.43 | 0.44 | 0.45 |
|                                  | 0.34 | 0.35                      | 0.35 | 0.35 | 0.36 | 0.37 | 0.38 | 0.38 | 0.39 | 0.40 | 0.42 | 0.43 | 0.44 | 0.45 | 0.47 |
|                                  | 0.36 | 0.36                      | 0.37 | 0.37 | 0.38 | 0.39 | 0.39 | 0.40 | 0.41 | 0.42 | 0.43 | 0.44 | 0.46 | 0.47 | 0.48 |
|                                  | 0.38 | 0.38                      | 0.39 | 0.39 | 0.40 | 0.40 | 0.41 | 0.42 | 0.43 | 0.44 | 0.45 | 0.46 | 0.47 | 0.48 | 0.50 |
|                                  | 0.40 | 0.40                      | 0.41 | 0.41 | 0.42 | 0.42 | 0.43 | 0.44 | 0.45 | 0.46 | 0.47 | 0.48 | 0.49 | 0.50 | 0.51 |
|                                  | 0.42 | 0.42                      | 0.43 | 0.43 | 0.44 | 0.44 | 0.45 | 0.46 | 0.47 | 0.47 | 0.48 | 0.49 | 0.50 | 0.52 | 0.53 |
|                                  | 0.44 | 0.44                      | 0.45 | 0.45 | 0.46 | 0.46 | 0.47 | 0.48 | 0.48 | 0.49 | 0.50 | 0.51 | 0.52 | 0.53 | 0.54 |
|                                  | 0.46 | 0.46                      | 0.47 | 0.47 | 0.48 | 0.48 | 0.49 | 0.49 | 0.50 | 0.51 | 0.52 | 0.53 | 0.54 | 0.55 | 0.56 |
|                                  | 0.48 | 0.48                      | 0.49 | 0.49 | 0.49 | 0.50 | 0.51 | 0.51 | 0.52 | 0.53 | 0.54 | 0.55 | 0.56 | 0.57 | 0.58 |

附 录 A  
(标准的附录)  
统 计 表

附录 A 中提供的表 A1、表 A2、和表 A3 为统计计算使用。

表 A1 极值的分布

| 测量的次数<br>$n$ | 换算系数<br>$D(n)$ | 临界值<br>$E_1(n)$ |          |
|--------------|----------------|-----------------|----------|
|              |                | $P=95\%$        | $P=99\%$ |
| 2            | 1.128          | 2.77            | 3.64     |
| 3            | 1.693          | 3.31            | 4.12     |
| 4            | 2.059          | 3.63            | 4.40     |
| 5            | 2.326          | 3.86            | 4.60     |
| 6            | 2.534          | 4.03            | 4.76     |
| 7            | 2.704          | 4.17            | 4.88     |
| 8            | 2.847          | 4.29            | 4.99     |
| 9            | 2.970          | 4.39            | 5.08     |
| 10           | 3.078          | 4.47            | 5.16     |
| 11           | 3.173          | 4.55            | 5.23     |
| 12           | 3.258          | 4.62            | 5.29     |
| 13           | 3.336          | 4.68            | 5.35     |
| 14           | 3.407          | 4.74            | 5.40     |
| 15           | 3.472          | 4.80            | 5.45     |
| 16           | 3.532          | 4.85            | 5.49     |
| 17           | 3.588          | 4.89            | 5.54     |
| 18           | 3.640          | 4.93            | 5.57     |
| 19           | 3.689          | 4.97            | 5.61     |
| 20           | 3.735          | 5.01            | 5.65     |

注：摘自蒂皮特 L. H. C. “生物统计学”，17, 1925, p. 364 和皮尔逊 E. S. “生物统计学”，32, 1942, p. 301

表 A2 临界值  $E_2(n, \Phi)$ ,  $P=0.95$

| $d\Phi$ | $n$   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
|         | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    |  |
| 1       | 17.97 | 26.98 | 32.82 | 37.03 | 40.41 | 43.12 | 45.40 | 47.36 | 49.07 | 50.59 | 51.96 | 53.20 | 54.33 | 55.36 | 56.32 | 57.22 | 58.04 | 58.83 | 59.56 |  |
| 2       | 6.08  | 8.33  | 9.80  | 10.88 | 11.74 | 12.44 | 13.03 | 13.54 | 13.99 | 14.39 | 14.75 | 15.08 | 15.38 | 15.65 | 15.91 | 16.14 | 16.37 | 16.57 | 16.77 |  |
| 3       | 4.50  | 5.91  | 6.82  | 7.50  | 8.04  | 8.48  | 8.85  | 9.18  | 9.46  | 9.72  | 9.95  | 10.15 | 10.35 | 10.52 | 10.69 | 10.84 | 10.98 | 11.11 | 11.24 |  |
| 4       | 3.93  | 5.04  | 5.76  | 6.29  | 6.71  | 7.05  | 7.35  | 7.60  | 7.83  | 8.03  | 8.21  | 8.37  | 8.52  | 8.66  | 8.79  | 8.91  | 9.03  | 9.13  | 9.23  |  |
| 5       | 3.64  | 4.60  | 5.22  | 5.67  | 6.03  | 6.33  | 6.58  | 6.80  | 6.99  | 7.17  | 7.32  | 7.47  | 7.60  | 7.72  | 7.83  | 7.93  | 8.03  | 8.12  | 8.21  |  |
| 6       | 3.46  | 4.34  | 4.90  | 5.30  | 5.63  | 5.90  | 6.12  | 6.32  | 6.49  | 6.65  | 6.79  | 6.92  | 7.03  | 7.14  | 7.24  | 7.34  | 7.43  | 7.51  | 7.59  |  |
| 7       | 3.34  | 4.16  | 4.68  | 5.06  | 5.36  | 5.61  | 5.82  | 6.00  | 6.16  | 6.30  | 6.43  | 6.55  | 6.66  | 6.76  | 6.85  | 6.94  | 7.02  | 7.10  | 7.17  |  |
| 8       | 3.26  | 4.04  | 4.53  | 4.89  | 5.17  | 5.40  | 5.60  | 5.77  | 5.92  | 6.05  | 6.18  | 6.29  | 6.39  | 6.48  | 6.57  | 6.65  | 6.73  | 6.80  | 6.87  |  |
| 9       | 3.20  | 3.95  | 4.41  | 4.76  | 5.02  | 5.24  | 5.43  | 5.59  | 5.74  | 5.87  | 5.98  | 6.09  | 6.19  | 6.28  | 6.36  | 6.44  | 6.51  | 6.58  | 6.64  |  |
| 10      | 3.15  | 3.88  | 4.33  | 4.65  | 4.91  | 5.12  | 5.30  | 5.46  | 5.60  | 5.72  | 5.83  | 5.93  | 6.03  | 6.11  | 6.19  | 6.27  | 6.34  | 6.40  | 6.47  |  |

表 A2 (完)

| $d\Phi$  | $n$  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
|          | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   |  |
| 11       | 3.11 | 3.82 | 4.26 | 4.57 | 4.82 | 5.03 | 5.20 | 5.35 | 5.49 | 5.61 | 5.71 | 5.81 | 5.90 | 5.98 | 6.06 | 6.13 | 6.20 | 6.27 | 6.33 |  |
| 12       | 3.08 | 3.77 | 4.20 | 4.51 | 4.75 | 4.95 | 5.12 | 5.27 | 5.39 | 5.51 | 5.61 | 5.71 | 5.80 | 5.88 | 5.95 | 6.02 | 6.09 | 6.15 | 6.21 |  |
| 13       | 3.06 | 3.73 | 4.15 | 4.45 | 4.69 | 4.88 | 5.05 | 5.19 | 5.32 | 5.43 | 5.53 | 5.63 | 5.71 | 5.79 | 5.86 | 5.93 | 5.99 | 6.05 | 6.11 |  |
| 14       | 3.03 | 3.70 | 4.11 | 4.41 | 4.64 | 4.83 | 4.99 | 5.13 | 5.25 | 5.36 | 5.46 | 5.55 | 5.64 | 5.71 | 5.79 | 5.85 | 5.91 | 5.97 | 6.03 |  |
| 15       | 3.01 | 3.67 | 4.08 | 4.37 | 4.59 | 4.78 | 4.94 | 5.08 | 5.20 | 5.31 | 5.40 | 5.49 | 5.57 | 5.65 | 5.72 | 5.78 | 5.85 | 5.90 | 5.96 |  |
| 16       | 3.00 | 3.65 | 4.05 | 4.33 | 4.56 | 4.74 | 4.90 | 5.03 | 5.15 | 5.26 | 5.35 | 5.44 | 5.52 | 5.59 | 5.66 | 5.73 | 5.79 | 5.84 | 5.90 |  |
| 17       | 2.98 | 3.63 | 4.02 | 4.30 | 4.52 | 4.70 | 4.86 | 4.99 | 5.11 | 5.21 | 5.31 | 5.39 | 5.47 | 5.54 | 5.61 | 5.67 | 5.73 | 5.79 | 5.84 |  |
| 18       | 2.97 | 3.61 | 4.00 | 4.28 | 4.49 | 4.67 | 4.82 | 4.96 | 5.07 | 5.17 | 5.27 | 5.35 | 5.43 | 5.50 | 5.57 | 5.63 | 5.69 | 5.74 | 5.79 |  |
| 19       | 2.96 | 3.59 | 3.98 | 4.25 | 4.47 | 4.65 | 4.79 | 4.92 | 5.04 | 5.14 | 5.23 | 5.31 | 5.39 | 5.46 | 5.53 | 5.59 | 5.65 | 5.70 | 5.75 |  |
| 20       | 2.95 | 3.58 | 3.96 | 4.23 | 4.45 | 4.62 | 4.77 | 4.90 | 5.01 | 5.11 | 5.20 | 5.28 | 5.36 | 5.43 | 5.49 | 5.55 | 5.61 | 5.66 | 5.71 |  |
| 24       | 2.92 | 3.35 | 3.90 | 4.17 | 4.37 | 4.54 | 4.68 | 4.81 | 4.92 | 5.01 | 5.10 | 5.18 | 5.25 | 5.32 | 5.38 | 5.44 | 5.49 | 5.55 | 5.59 |  |
| 30       | 2.89 | 3.49 | 3.85 | 4.10 | 4.30 | 4.46 | 4.60 | 4.72 | 4.82 | 4.92 | 5.00 | 5.08 | 5.15 | 5.21 | 5.27 | 5.33 | 5.38 | 5.43 | 5.47 |  |
| 40       | 2.86 | 3.44 | 3.79 | 4.04 | 4.23 | 4.39 | 4.52 | 4.63 | 4.73 | 4.82 | 4.90 | 4.98 | 5.04 | 5.11 | 5.16 | 5.22 | 5.27 | 5.31 | 5.36 |  |
| 60       | 2.83 | 3.40 | 3.74 | 3.98 | 4.16 | 4.31 | 4.44 | 4.55 | 4.65 | 4.73 | 4.81 | 4.88 | 4.94 | 5.00 | 5.06 | 5.11 | 5.15 | 5.20 | 5.24 |  |
| 120      | 2.80 | 3.36 | 3.68 | 3.92 | 4.10 | 4.24 | 4.36 | 4.47 | 4.56 | 4.64 | 4.71 | 4.78 | 4.84 | 4.90 | 4.95 | 5.00 | 5.04 | 5.09 | 5.13 |  |
| $\infty$ | 2.77 | 3.31 | 3.63 | 3.86 | 4.03 | 4.17 | 4.29 | 4.39 | 4.47 | 4.55 | 4.62 | 4.68 | 4.74 | 4.80 | 4.85 | 4.89 | 4.93 | 4.97 | 5.01 |  |

注：摘自皮尔逊 E. S. 和哈利 H. D. (等人)“统计员用生物统计表”，坎布里大学出版，1 卷，1966，表 29，pp. 192—193。

表 A3 临界值  $E_2(n, \Phi), P=0.99$ 

| $d\Phi$ | $n$   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
|         | 2     | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     | 17     | 18     | 19     | 20     |  |
| 1       | 90.03 | 135.01 | 164.31 | 185.62 | 202.22 | 215.82 | 227.22 | 237.02 | 245.62 | 253.22 | 260.02 | 266.22 | 271.82 | 277.02 | 281.82 | 286.32 | 290.42 | 294.32 | 298.02 |  |
| 2       | 14.04 | 19.02  | 22.29  | 24.72  | 26.63  | 28.20  | 29.53  | 30.68  | 31.69  | 32.59  | 33.40  | 34.13  | 34.81  | 35.43  | 36.00  | 36.53  | 37.03  | 37.50  | 37.95  |  |
| 3       | 8.26  | 10.62  | 12.17  | 13.33  | 14.24  | 15.00  | 15.64  | 16.20  | 16.69  | 17.13  | 17.53  | 17.89  | 18.22  | 18.52  | 18.81  | 19.07  | 19.32  | 19.55  | 19.77  |  |
| 4       | 6.51  | 8.12   | 9.17   | 9.96   | 10.58  | 11.10  | 11.55  | 11.93  | 12.27  | 12.57  | 12.84  | 13.09  | 13.32  | 13.53  | 13.73  | 13.91  | 14.08  | 14.24  | 14.40  |  |
| 5       | 5.70  | 6.98   | 7.80   | 8.42   | 8.91   | 9.32   | 9.67   | 9.97   | 10.24  | 10.48  | 10.70  | 10.89  | 11.08  | 11.24  | 11.40  | 11.55  | 11.68  | 11.81  | 11.93  |  |
| 6       | 5.24  | 6.33   | 7.03   | 7.56   | 7.97   | 8.32   | 8.61   | 8.87   | 9.10   | 9.30   | 9.48   | 9.65   | 9.81   | 9.95   | 10.08  | 10.21  | 10.32  | 10.43  | 10.54  |  |
| 7       | 4.95  | 5.92   | 6.54   | 7.01   | 7.37   | 7.68   | 7.94   | 8.17   | 8.37   | 8.55   | 8.71   | 8.86   | 9.00   | 9.12   | 9.24   | 9.35   | 9.46   | 9.55   | 9.65   |  |
| 8       | 4.75  | 5.64   | 6.20   | 6.62   | 6.96   | 7.24   | 7.47   | 7.68   | 7.86   | 8.03   | 8.18   | 8.31   | 8.44   | 8.55   | 8.66   | 8.76   | 8.85   | 8.94   | 9.03   |  |
| 9       | 4.60  | 5.43   | 5.96   | 6.35   | 6.66   | 6.91   | 7.13   | 7.33   | 7.49   | 7.65   | 7.78   | 7.91   | 8.03   | 8.13   | 8.23   | 8.33   | 8.41   | 8.49   | 8.57   |  |
| 10      | 4.48  | 5.27   | 5.77   | 6.14   | 6.43   | 6.67   | 6.87   | 7.05   | 7.21   | 7.36   | 7.49   | 7.60   | 7.71   | 7.81   | 7.91   | 7.99   | 8.08   | 8.15   | 8.23   |  |
| 11      | 4.39  | 5.15   | 5.62   | 5.97   | 6.25   | 6.48   | 6.67   | 6.84   | 6.99   | 7.13   | 7.25   | 7.36   | 7.46   | 7.56   | 7.65   | 7.73   | 7.81   | 7.88   | 7.95   |  |
| 12      | 4.32  | 5.05   | 5.50   | 5.84   | 6.10   | 6.32   | 6.51   | 6.67   | 6.81   | 6.94   | 7.06   | 7.17   | 7.26   | 7.36   | 7.44   | 7.52   | 7.59   | 7.66   | 7.73   |  |
| 13      | 4.26  | 4.96   | 5.40   | 5.73   | 5.98   | 6.19   | 6.37   | 6.53   | 6.67   | 6.79   | 6.90   | 7.01   | 7.10   | 7.19   | 7.27   | 7.35   | 7.42   | 7.48   | 7.55   |  |
| 14      | 4.21  | 4.89   | 5.32   | 5.63   | 5.88   | 6.08   | 6.26   | 6.41   | 6.54   | 6.66   | 6.77   | 6.87   | 6.96   | 7.05   | 7.13   | 7.20   | 7.27   | 7.33   | 7.39   |  |
| 15      | 4.17  | 4.84   | 5.25   | 5.56   | 5.80   | 5.99   | 6.16   | 6.31   | 6.44   | 6.55   | 6.66   | 6.76   | 6.84   | 6.93   | 7.00   | 7.07   | 7.14   | 7.20   | 7.26   |  |
| 16      | 4.13  | 4.79   | 5.19   | 5.49   | 5.72   | 5.92   | 6.08   | 6.22   | 6.35   | 6.46   | 6.56   | 6.66   | 6.74   | 6.82   | 6.90   | 6.97   | 7.03   | 7.09   | 7.15   |  |

表 A3 (完)

| $d\Phi$  | $n$  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
|          | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   |  |
| 17       | 4.10 | 4.74 | 5.14 | 5.43 | 5.66 | 5.85 | 6.01 | 6.15 | 6.27 | 6.38 | 6.48 | 6.57 | 6.66 | 6.73 | 6.81 | 6.87 | 6.94 | 7.00 | 7.05 |  |
| 18       | 4.07 | 4.70 | 5.09 | 5.38 | 5.60 | 5.79 | 5.94 | 6.08 | 6.20 | 6.31 | 6.41 | 6.50 | 6.58 | 6.65 | 6.73 | 6.79 | 6.85 | 6.91 | 6.97 |  |
| 19       | 4.05 | 4.67 | 5.05 | 5.33 | 5.55 | 5.73 | 5.89 | 6.02 | 6.14 | 6.25 | 6.34 | 6.43 | 6.51 | 6.58 | 6.65 | 6.72 | 6.78 | 6.84 | 6.89 |  |
| 20       | 4.02 | 4.64 | 5.02 | 5.29 | 5.51 | 5.69 | 5.84 | 5.97 | 6.09 | 6.19 | 6.28 | 6.37 | 6.45 | 6.52 | 6.59 | 6.65 | 6.71 | 6.77 | 6.82 |  |
| 24       | 3.96 | 4.55 | 4.91 | 5.17 | 5.37 | 5.54 | 5.69 | 5.81 | 5.92 | 6.02 | 6.11 | 6.19 | 6.26 | 6.33 | 6.39 | 6.45 | 6.51 | 6.56 | 6.61 |  |
| 30       | 3.89 | 4.45 | 4.80 | 5.05 | 5.24 | 5.40 | 5.54 | 5.65 | 5.76 | 5.85 | 5.93 | 6.01 | 6.08 | 6.14 | 6.20 | 6.26 | 6.31 | 6.36 | 6.41 |  |
| 40       | 3.82 | 4.37 | 4.70 | 4.93 | 5.11 | 5.26 | 5.39 | 5.50 | 5.60 | 5.69 | 5.76 | 5.83 | 5.90 | 5.96 | 6.02 | 6.07 | 6.12 | 6.16 | 6.21 |  |
| 60       | 3.76 | 4.28 | 4.59 | 4.82 | 4.99 | 5.13 | 5.25 | 5.36 | 5.45 | 5.53 | 5.60 | 5.67 | 5.73 | 5.78 | 5.84 | 5.89 | 5.93 | 5.97 | 6.01 |  |
| 120      | 3.70 | 4.20 | 4.50 | 4.71 | 4.87 | 5.01 | 5.12 | 5.21 | 5.30 | 5.37 | 5.44 | 5.50 | 5.56 | 5.61 | 5.66 | 5.71 | 5.75 | 5.79 | 5.83 |  |
| $\infty$ | 3.64 | 4.12 | 4.40 | 4.60 | 4.76 | 4.88 | 4.99 | 5.08 | 5.16 | 5.23 | 5.29 | 5.35 | 5.40 | 5.45 | 5.49 | 5.54 | 5.57 | 5.61 | 5.65 |  |

注：摘自皮尔逊 E. S. 和哈利 H. D. (等人)“统计员用生物统计表”，坎布里大学出版，1 卷，1966，表 29，pp. 192—193。

## 附 录 B

(标准的附录)

95%和 99%概率的  $t$ -分布值

表 B1 分布值

| 自由度, $\Phi$ | $t_{95, \Phi}$ | $t_{99, \Phi}$ | 自由度, $\Phi$ | $t_{95, \Phi}$ | $t_{99, \Phi}$ |
|-------------|----------------|----------------|-------------|----------------|----------------|
| 1           | 12.706         | 63.657         | 18          | 2.101          | 2.878          |
| 2           | 4.303          | 9.925          | 19          | 2.093          | 2.861          |
| 3           | 3.182          | 5.841          | 20          | 2.086          | 2.845          |
| 4           | 2.776          | 4.604          | 21          | 2.080          | 2.831          |
| 5           | 2.571          | 4.032          | 22          | 2.074          | 2.819          |
| 6           | 2.447          | 3.707          | 23          | 2.069          | 2.807          |
| 7           | 2.365          | 3.499          | 24          | 2.064          | 2.797          |
| 8           | 2.306          | 3.355          | 25          | 2.060          | 2.787          |
| 9           | 2.262          | 3.250          | 26          | 2.056          | 2.779          |
| 10          | 2.228          | 3.169          | 27          | 2.052          | 2.771          |
| 11          | 2.201          | 3.106          | 28          | 2.048          | 2.763          |
| 12          | 2.179          | 3.055          | 29          | 2.045          | 2.756          |
| 13          | 2.160          | 3.012          | 30          | 2.042          | 2.750          |
| 14          | 2.145          | 2.977          | 40          | 2.021          | 2.704          |
| 15          | 2.131          | 2.947          | 60          | 2.000          | 2.660          |
| 16          | 2.120          | 2.921          | 120         | 1.980          | 2.617          |
| 17          | 2.110          | 2.898          | $\infty$    | 1.960          | 2.576          |

注：摘自费希耳和耶茨，“生物、农业和医学研究的统计表”

附 录 C  
(标准的附录)  
正态(高斯)分布

研究位于  $a$  到  $b$  区域内的一组  $n$  个重复测量值  $x_i$ , 因而  $a < x_i < b$ 。如果整个区间是被分割成长度等于  $dx = (b-a)/p$  的  $p$  子区间, 可以绘制频率直方图。这就组成一系列  $p$  邻接的矩形, 由底边等于子长度  $dx$ , 高与落在那个区域的测量值的数量成正比(见图 C1)。

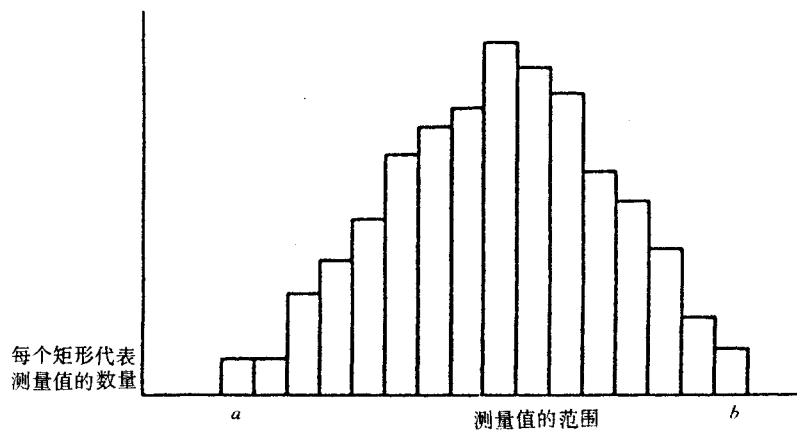


图 C1 频率直方图

每个矩形的高度可能正好表示落在子区总数的比例, 或者相对应的次数。这时直方图的总面积将是 1, 每个矩形的面积将变成落在子区上测量值的概率。

现在认为  $n$  个测量值的数量变成很大, 每个子区的长度  $dx$  成为很小。通过每个矩形顶部的中点绘制一条连续的线, 该线表示测量值相对应的次数, 将给出类似图表示的钟形曲线(见图 C2)。

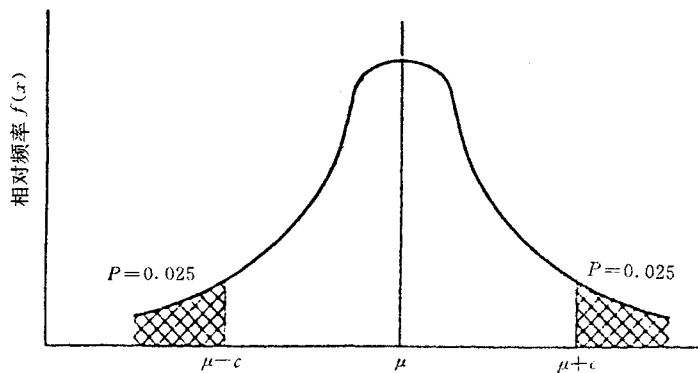


图 C2 钟形分布曲线

按正常分布, 曲线是对  $\mu$  对称的, 并有公式:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right]$$

式中  $\sigma$  是标准偏差, 曲线下的面积又表示概率。例如, 表示每一个划阴影线有一个面积。



$$P = \int_{-\infty}^{\mu-c} f(x)dx = \int_{\mu+c}^{+\infty} f(x)dx$$

当  $C=1.96\sigma$ , 概率  $P$  (一个划阴影的面) 将是 0.025, 或者是在曲线下总面积的 2.5%。

如果测量值  $x_i$  服从具有平均值为  $\mu$  和标准偏差为  $\sigma$  的正态分布, 这时,  $u_i$  将服从具有平均值为 0 和单位标准偏差的正态分布, 这里:

$$u_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma}$$

值  $u_i$  称之为“正态标准偏差”, 并按不同的概率  $P$  制表。但是, 对两边概率  $P=0.05$ , 正态标准偏差有 1.96 值。在表示分布中用两个划阴影线的面积表示这种概率, 并包括所有  $x$  的值, 这里的  $x$  值与按大于  $1.96\sigma$  求得的平均  $\mu$  有差别。相对于概率  $P=0.01$  的  $u_i=2.576$ 。

## 附录 D

(标准的附录)

### 异常值检验

#### D1 狄克逊检验的方法

表 D1 狄克逊异常值检验用

| 测量值的数量<br>$n$           | 临界值      |          | 检验准则                                                                            |    |
|-------------------------|----------|----------|---------------------------------------------------------------------------------|----|
|                         | $P=0.95$ | $P=0.99$ | 低值                                                                              | 高值 |
| 3                       | 0.941    | 0.988    | $R_{10} = \frac{x_2 - x_1}{x_n - x_1}$ or $\frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1}$     |    |
| 4                       | 0.765    | 0.889    |                                                                                 |    |
| 5                       | 0.642    | 0.780    |                                                                                 |    |
| 6                       | 0.560    | 0.698    |                                                                                 |    |
| 7                       | 0.507    | 0.637    |                                                                                 |    |
| 8                       | 0.554    | 0.683    | $R_{11} = \frac{x_2 - x_1}{x_{n-1} - x_1}$ or $\frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_2}$ |    |
| 9                       | 0.512    | 0.635    |                                                                                 |    |
| 10                      | 0.477    | 0.597    |                                                                                 |    |
| 11                      | 0.576    | 0.679    | $R_{21} = \frac{x_3 - x_1}{x_{n-1} - x_1}$ or $\frac{x_n - x_{n-2}}{x_n - x_2}$ |    |
| 12                      | 0.546    | 0.642    |                                                                                 |    |
| 13                      | 0.521    | 0.615    |                                                                                 |    |
| 14                      | 0.546    | 0.641    | $R_{22} = \frac{x_3 - x_1}{x_{n-2} - x_1}$ or $\frac{x_n - x_{n-2}}{x_n - x_3}$ |    |
| 15                      | 0.525    | 0.616    |                                                                                 |    |
| 16                      | 0.507    | 0.595    |                                                                                 |    |
| 17                      | 0.490    | 0.577    |                                                                                 |    |
| 18                      | 0.475    | 0.561    |                                                                                 |    |
| 19                      | 0.462    | 0.547    |                                                                                 |    |
| 20                      | 0.450    | 0.535    |                                                                                 |    |
| 21                      | 0.440    | 0.524    |                                                                                 |    |
| 22                      | 0.430    | 0.514    |                                                                                 |    |
| 23                      | 0.421    | 0.505    |                                                                                 |    |
| 24                      | 0.413    | 0.497    |                                                                                 |    |
| 25                      | 0.406    | 0.489    |                                                                                 |    |
| 注：摘自生物统计学,9,1953,p. 89. |          |          |                                                                                 |    |

D1.1 按测量值  $x_1, x_2, \dots, x_n$  从小到大的顺序排列一组测量值  $x_n$ 。

D1.2 使用表 D1, 选择合适的检验准则, 取决于  $n$  的值和上述测量值是高值还是低值。

D1.3 计算狄克逊比值  $R$ , 在 5% 的概率 ( $P=0.95$ ) 下如果这个比值超过临界比值, 这样, 上述测量值大到可疑的程度, 有被删除的可能性。

D1.4 1% 的概率 ( $P=0.99$ ) 下的如果超过临界比值, 这时, 上述测量值应去掉。测量值被删除时, 检验应重复进行。

注: 狄克逊比值  $R$  的两个脚注分别表示分子和分母的不同。

## D2 格拉布斯检验方法

表 D2 格拉布斯异常值检验用

| 测量值的数量<br>$n$ | 临界值      |          | 检验准则                                                         |
|---------------|----------|----------|--------------------------------------------------------------|
|               | $P=0.95$ | $P=0.99$ |                                                              |
| 3             | 1.15     | 1.15     | $G_1 = (\bar{x} - x_1)/s$<br>or<br>$G_n = (x_n - \bar{x})/s$ |
| 4             | 1.46     | 1.49     |                                                              |
| 5             | 1.67     | 1.75     |                                                              |
| 6             | 1.82     | 1.94     |                                                              |
| 7             | 1.94     | 2.10     |                                                              |
| 8             | 2.03     | 2.22     |                                                              |
| 9             | 2.11     | 2.32     |                                                              |
| 10            | 2.18     | 2.41     |                                                              |
| 11            | 2.23     | 2.48     |                                                              |
| 12            | 2.29     | 2.55     |                                                              |
| 13            | 2.33     | 2.61     |                                                              |
| 14            | 2.37     | 2.66     |                                                              |
| 15            | 2.41     | 2.71     |                                                              |
| 16            | 2.44     | 2.75     |                                                              |
| 17            | 2.47     | 2.79     |                                                              |
| 18            | 2.50     | 2.82     |                                                              |
| 19            | 2.53     | 2.85     |                                                              |
| 20            | 2.56     | 2.88     |                                                              |
| 21            | 2.58     | 2.91     |                                                              |
| 22            | 2.60     | 2.94     |                                                              |
| 23            | 2.62     | 2.96     |                                                              |
| 24            | 2.64     | 2.99     |                                                              |
| 25            | 2.66     | 3.01     |                                                              |

注: 摘自数学统计学会年刊, 21, 1950, p. 27.

D2.1 计算  $\bar{x}$  和  $s$  分别是式(1)(见 2.1.3)和式(2)(见 2.1.4)。

按测量值  $x_1, x_2, \dots, x_n$  从小到大的顺序排列一组测量值。

D2.2 使用表 D2, 依据于上述测量值是高还是低, 计算出合适的检验准则。

D2.3 如果检验准则超过在 5% 的概率 ( $P=0.95$ ) 的临界值, 这时上述测量值大到可疑的程度, 有被删除的可能。如果超过 1% 概率 ( $P=0.99$ ) 下的临界值, 上述测量值应该去掉。当测量值被删除时, 检验应重复进行。

注: 临界值可近似地用公式表示, 当使用可编程计算器时, 更加容易。

公式采用下面的形式:

$$G = a_0 + a_1 n^{-1/2} + a_2 n^{-1} + a_3 n^{-3/2} + a_4 n^{-2}$$

相应的系数如下:

|       | $P=0.95$ | $P=0.99$ |
|-------|----------|----------|
| $a_0$ | 3.945 2  | 4.275 5  |
| $a_1$ | -9.165 7 | -8.112 4 |
| $a_2$ | 18.839   | 13.348   |
| $a_3$ | -28.907  | -26.218  |
| $a_4$ | 16.023   | 19.389   |

## 附 录 E

(标准的附录)

### 多项式近似值的随机不确定度

已知: $n$  点子样的  $(x_i, y_i)$ ;

$y=P(x)$  与这些点吻合的多项式的回归方程;

$J$  多项式回归方程  $P(x)$  的方次;

用  $t_{95,\Phi}$  给出多项式的随机不确定度。

这里: $t_{95,\Phi}$  是概率等级为 95% 的  $t$ -分布的值;

$\Phi=N-J$  自由度数;

$$s^2 = \frac{1}{\Phi} \sum_{i=1}^n [y_i - P(x_i)]^2。$$

## 附 录 F

(标准的附录)

### 参 考 文 献

[1]GB/T 17286.3—1998(idt ISO 7278-3:1995), 液态烃动态测量 体积计量流量计检定系统  
第 3 部分:脉冲插入技术。

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
液 态 烃 动 态 测 量  
体 积 计 量 系 统 的 统 计 控 制  
GB/T 17287—1998

\*

中国标准出版社出版  
北京复兴门外三里河北街16号

邮政编码:100045

电 话:68522112

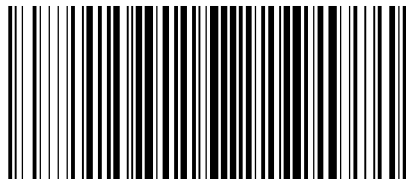
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售  
版权专有 不得翻印

\*

开本 880×1230 1/16 印张 4 字数 134 千字  
1998年9月第一版 1998年9月第一次印刷  
印数 1—2 000

\*

书号: 155066 • 1-15193 定价 32.00 元



GB/T 17287—1998