



湖南泽天传感科技有限公司标准

Q/ZT 001-2019

CYB 系列 压力变送器

CYB series pressure transmitters

湖南泽天传感科技有限公司 质量部 发布

目 录

| | |
|--------------------------------|------|
| 前 言 | (II) |
| 1 范围 | (1) |
| 2 引用标准 | (1) |
| 3 定义 | (1) |
| 4 型号命名 | (2) |
| 5 基本参数 | (2) |
| 6 技术要求 | (3) |
| 7 试验方法 | (5) |
| 8 检验规则 | (11) |
| 9 标志、包装和储存 | (13) |
| 附录 A (标准的附录) 性能指标的计算方法 | (14) |
| 附录 B (提示的附录) 不确定度计算的基本原理 | (19) |
| 附录 C (提示的附录) 原始数据的预处理 | (25) |

前 言

CYB 系列型压力变送器，目前尚无国家标准，而行业标准 ZB N15 009-1987《DDZ-III系列电动单元组合仪表 力平衡式变送器》不能完全覆盖本产品，为了弥补行业标准的不足，充分体现本产品的特点和优势，制定本产品标准，作为组织生产和质量检验的依据。

本标准的范围和编辑结构参考行业标准 ZB N15 009-1987《DDZ-III系列电动单元组合仪表 力平衡式变送器》，本标准对 ZB N15 009-1987 中的要求作了必要的取舍和补充。本标准与 ZB N15 009-1987 比较，技术要求有较大的提高，对试验方法作了更为详细的规定。

本标准所规定的试验方法按照 GB/T 17614.1-1998《工业过程控制系统用变送器 第1部分：性能评定方法》。

本标准附录 A 是标准的附录，附录 B 是提示的附录，附录 C 是提示的附录。

本标准由湖南泽天传感科技有限公司提出并起草；

本标准起草人：刘利民、周孚泉、龚向辉；

本标准自 2011 年 3 月 19 日首次发布，2019 年 5 月第三次修订。

CYB230 型 压力变送器

CYB230 pressure transmitters

1 范围

本标准规定了 CYB230 型压力变送器（以下简称变送器）的定义、型号命名、基本参数、技术要求、试验方法、验收规则及标志、包装、贮存。

本标准适用于 CYB230 型压力变送器的研制、生产和验收。

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成为本标准的条文，在标准出版时，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 2423.1-1989 电工电子产品基本环境试验规程 试验 A: 低温
- GB/T 2423.2-1989 电工电子产品基本环境试验规程 试验 B: 高温
- GB/T 2423.3-1993 电工电子产品基本环境试验规程 试验 Ca: 恒定湿热
- GB/T 2423.5-1995 电工电子产品基本环境试验规程 试验 Ea: 冲击
- GB/T 2423.10-1995 电工电子产品基本环境试验规程 试验 Fc: 振动
- GB/T 2423.15-1995 电工电子产品基本环境试验规程 试验 Ga: 恒加速度
- GB/T 2423.22-1987 电工电子产品基本环境试验规程 试验 N: 温度变化
- GB/T 17614.1-1998 工业过程控制系统用变送器 第 1 部分: 性能评定方法
- GB/T 15464-1995 仪器仪表包装通用技术条件

3 定义

本标准采用下列定义的术语：

3.1 压力变送器 pressure transmitters

采用压阻原理，使被测压力变化转换成电桥电阻阻值变化，然后利用电桥电路获得与压力成一定关系的电信号，通过电子电路对电桥输出的电信号进行放大并转换成标准电压或电流信号输出的变送器。

3.2 范围 range

被测量或传送量两极限之间的区域。极限是以规定的范围上限值和范围下限值（零点）表示，极限之间通常以连接符“—”表示。例如：0—2MPa。

3.3 量程 span

范围上限值和范围下限值（零点）的代数差。

3.4 静态校准 static calibration

在规定的静态测试条件下获取静态特性的过程。

3.5 工作特性 working characteristics

用作约定真值的输出 – 输入特性的方程或曲线。

注：工作特性体现了线性（符合度）、回差和重复性的综合作用。

3.6 热滞后 thermal hysteresis

变送器测量范围的某一点上，当温度以逐渐上升和逐渐下降的两种方式接近并达到某一温度时，变送器输出值之差的极大值。（热滞后反映变送器吸收再释放热量后输出特性的变化。）

3.7 零点变化量 zero quantitative change

在一定的条件下，由于受到影响量的影响使变送器的下限输出值（零点）发生变化，这种变化的量值称为零点变化量，通常以满量程输出的百分数表示。

3.8 量程变化量 span quantitative change

在一定的条件下，由于受到影响量的影响使变送器的量程发生变化，这种变化的量值称为量程变化量，通常以满量程输出的百分数表示。

3.9 温度影响零点变化量 temperature effect zero quantitative change

在一定的条件下，由于温度变化引起的零点变化量。

3.10 温度影响量程变化量 temperature effect span value quantitative change

在一定的条件下，由于温度变化引起的量程变化量。

3.11 热滞后零点变化量 thermal hysteresis zero quantitative change

在一定的条件下，由于热滞后引起的零点变化量。

3.12 热滞后量程变化量 thermal hysteresis span value quantitative change

在一定的条件下，由于热滞后引起的量程变化量。

4 型号命名

变送器的型号代号由两部分构成，用大写汉语拼音字母和阿拉伯数字表示：

第1部分：用大写字母表示产品产品类型（CYB表示压力测量系列产品）。

第2部分：用数字表示订货代号或产品的主特征参数。

5 基本参数

5.1 测量范围

变送器的测量范围下限值为零，测量范围上限值系列应符合下列规定：

（对于负压变送器，测量范围上限值为零，测量范围下限值系列应符合下列规定）

1.0×10^n ； 1.6×10^n ； 2.0×10^n ； 2.5×10^n ； 3×10^n ； 4.0×10^n ；（ 4.5×10^n ）； 5.0×10^n ； 6.0×10^n ； 7×10^n ； 8.0×10^n 。

其中n为自然正整数，n=0、1、2、3……。

测量范围的单位为Pa。

括号内为不推荐使用的数字。

5.2 工作温度范围

变送器工作温度范围为：-40~85℃

5.3 电源电压

变送器的额定工作电压为：24V.DC；

变送器的工作电压范围为：13~36V.DC。

5.4 输出

变送器的输出为二线制4~20mA.DC信号。

5.5 负载范围

变送器的额定负载为：250 Ω；

变送器在 36V 供电时的负载范围：0~1100 Ω。

6 技术要求

6.1 静态性能

6.1.1 准确度

变送器的准确度等级和允许的基本误差见表 1：

表 1 准确度等级和允许的基本误差

| 准确度等级 | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 1.0 |
|-------|------|------|------|------|
| 基本误差限 | ±0.1 | ±0.2 | ±0.5 | ±1.0 |

注：基本误差以满量程输出的百分数表示。

6.1.2 线性

变送器的线性误差应不大于基本误差限的绝对值。

6.1.3 回差

变送器的回差应不大于基本误差限的绝对值的 80%。

6.1.4 重复性

变送器的重复性应不大于基本误差限的绝对值 80%。

6.2 影响量

6.2.1 下列影响量按相应试验方法条款的规定变化时，变送器的输出变化应符合表 2 的规定。

- a) 温度影响；
- b) 热滞后；
- c) 始动漂移；
- d) 稳定性；
- e) 外磁场影响；
- f) 负载影响；
- g) 电源影响。

表 2 影响量（一）

| 条文号 | 技术指标 | 准确度等级 | | | |
|---------|--------------------|-------|-------|------|------|
| | | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 1.0 |
| 6.2.1.a | 温度影响 | | | | |
| | 零点变化量(1/℃)(室温~85℃) | 0.01 | 0.015 | 0.03 | 0.1 |
| | (室温~-40℃) | 0.02 | 0.03 | 0.08 | 0.15 |
| | 量程变化量(1/℃) | 0.02 | 0.04 | 0.1 | 0.2 |
| 6.2.1.b | 热滞后 | | | | |
| | 零点变化量 | 0.25 | 0.5 | 1.25 | 2.5 |
| | 量程变化量 | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 1.0 |
| 6.2.1.c | 始动漂移 | 0.2 | 0.4 | 1.0 | 2.0 |
| 6.2.1.d | 稳定性 | | | | |
| | 零点变化量(1/3个月) | 0.25 | 0.5 | 1.25 | 2.5 |

| | 量程变化量 (1/3 个月) | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 1.0 |
|---------|----------------|---------|-----|-----|-----|
| 6.2.1.e | 外磁场影响 | 0.2 | | | |
| 6.2.1.f | 负载影响(零点及量程变化量) | 0.5 | | | |
| 6.2.1.g | 电源影响 | | | | |
| | 零点及量程变化量 | 0.02%/V | | | |
| | 短时中断稳态变化量 | 0.1% | | | |
| | 反向保护 | 无损坏 | | | |

注：输出变化以理论满量程输出的正或负百分数表示。

表 3 影响量 (二)

| 条文号 | 技术指标 | 准确度等级 | | | |
|---------|--------|--------------|-----|-----|-----|
| | | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 1.0 |
| 6.2.2.a | 超负荷 | | | | |
| | 零点变化量 | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 1.0 |
| | 量程变化量 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.5 |
| 6.2.2.b | 振动 | | | | |
| | 振中变化量 | 1.0 | | | |
| | 振后变化量 | 0.5 | | | |
| 6.2.2.c | 冲击 | | | | |
| | 零点变化量 | 0.5 | | | |
| | 量程变化量 | 0.2 | | | |
| 6.2.2.d | 湿热 | | | | |
| | 零点变化 | 2.0 | | | |
| | 绝缘电阻 | 2 M Ω | | | |
| 6.2.2.e | 加速寿命试验 | | | | |
| | 量程变化量 | 0.3 | 0.6 | 1.0 | 2.0 |

注：输出变化以理论满量程输出的正或负百分数表示。

6.2.2 下列影响量按相应试验方法条款的规定进行试验后，变送器的输出变化应符合表 3 的规定，静态性能指标应符合本标准 6.1.1~6.1.4 的规定。

- a) 超负荷（过载）；
- b) 振动；
- c) 冲击；
- d) 湿热；
- e) 加速寿命试验。

6.3 绝缘电阻

变送器的输出端子对外壳的绝缘电阻应不小于 100M Ω （100V.DC）。

6.4 外观

变送器的可见部分应无明显的瑕疵、划痕；接头螺纹应无毛刺和损伤；所有结构连接件和电气连接件应安装牢固，不应有松动、脱焊、接触不良等现象。

变送器的标志应符合本标准 9.1 的要求，所有标志的文字和符号应清晰。

6.5 尺寸和重量

变送器典型结构的外形简图见图 1。

变送器重量： $\leq 300\text{g}$ 。

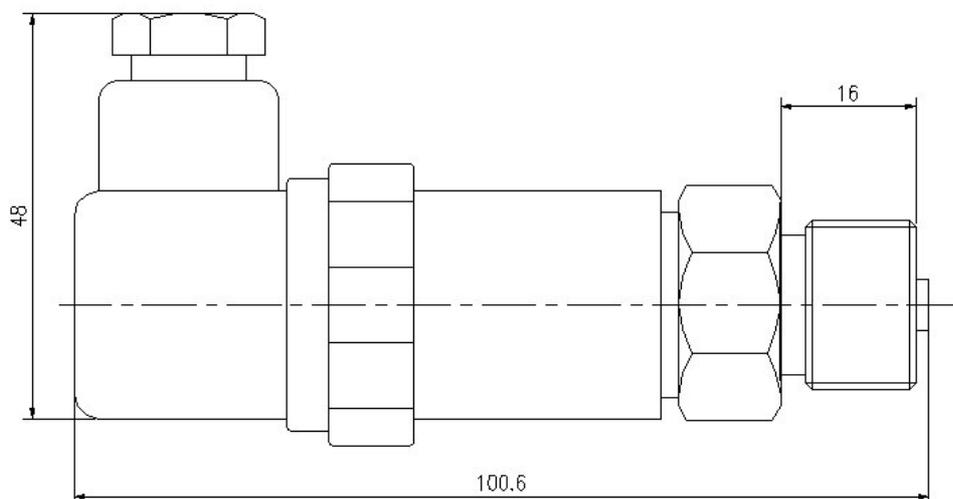


图 1 CYB230 型变送器的典型外形简图

7 试验方法

7.1 试验条件

7.1.1 环境条件

a) 标准参比大气条件

温度： 20°C ；

相对湿度：65%；

大气压力： 101.3 kPa 。

此标准参比大气条件是在其他任何大气条件下测得的值通过计算加以修正的大气条件。通常认为在多数情况下，不可能有湿度修正因子。在这种情况下，标准参比大气仅考虑温度和压力。

b) 一般试验用环境条件推荐范围

温度： $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ；

相对湿度：45%~75%；

大气压力： $86 \sim 106\text{ kPa}$ ；

在每项试验期间，允许的最大温度变化率为每小时 1°C ；相对湿度范围也可由供需双方商定。

c) 仲裁测量用标准大气条件

当未知对大气条件敏感的参数调整到标准大气值的修正因子，而在环境大气条件的推荐范围内测量又不能令人满意时，可以在严格控制的大气条件下进行重复测量。

本标准规定的仲裁测量用标准大气条件见表 4：

表 4 仲裁测量用标准大气条件

| 大气条件 | 公称值 | 允 差 | |
|------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | 0.1~0.5 级 | 1.0 级 |
| 温 度 | 20°C | $\pm 3^{\circ}\text{C}$ | $\pm 5^{\circ}\text{C}$ |
| 相对湿度 | 65% | $\pm 5\%$ | |
| 大气压力 | $86 \sim 106\text{ kPa}$ | | |

7.1.2 动力条件

a) 参比值

工作电源：24V.DC；

负载电阻：250 Ω 。

其他动力条件的值应符合相应试验装置的要求。

b) 允差

电源

——电压： $\pm 1\%$ ；

——纹波含量：小于 0.1%。

气源

——压力： $\pm 1\%$ ；

——供气温度：环境温度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$

——供气湿度：在工作压力下，露点至少低于变送器表壳温度 10°C ；

——油和灰尘：气源含油量应不大于百万分之一，灰尘微粒应不大于 $3\mu\text{m}$ 。

7.1.3 校准系统

校准系统由压力标准器、激励电源和读数记录装置三部分组成。

a) 压力标准器

压力标准器选择的基本原则是其基本误差的绝对值应小于被试变送器基本误差限的 $1/3$ 。

b) 激励电源

激励电源的稳定度应优于 $1\%/24\text{h}$ 。

c) 读数记录装置

读数记录装置基本误差的绝对值应小于被试变送器基本误差限的 $1/5$ 。

d) 其他试验设备

其他试验设备，如真空计、气压计、温度计、湿度计、电阻箱等，应按试验要求配备。

与压力标准器配套使用的加压（或抽空）系统应在示值检定范围内连续可调。

7.2 试验的一般规定

7.2.1 证书文件

试验用的试验设备（仪器设备和计量器具等）必须具有计量检定单位签发的有效期内的检定证书。

7.2.2 安装

将压力变送器按试验要求安装到试验装置上。

试验中采用液体传压介质的压力标准器时，安装后应注意排除管路中的空气。

7.2.3 连接

静态性能试验时被试变送器与压力标准器、激励电源和读数装置的连接按图 2 进行连接。

其他性能试验时被试变送器与试验装置的连接，应根据试验项目按相关国家标准的规定和要求进行。



图2 静态性能试验安装连接图

7.2.4 放置和预热

被试变送器和与试验有关的试验装置正确安装、连接后，应使其在试验环境条件下放置 2h 以上。

试验前，被试变送器应通电预热 0.5h（始动漂移试验除外）；并注意对仪器仪表按其使用说明书的规定进行通电预热。

7.3 静态性能试验

7.3.1 总则

a) 一般规定

所有试验应在本标准 7.1 和 7.2 规定的稳态试验条件下进行，并观察和记录那些可能影响试验结果的试验条件。

确定变送器性能特性的试验点应均匀分布在整個测量范围内，其中应包括范围上（下）限、零点或接近范围上（下）限、零点（量程的 10% 以内）的点，试验点数量不应少于 5 个。

对测量范围包括正压和负压的变送器，正压和负压可分别进行试验。

在记录观察值之前，应对被试变送器加压至测量范围上限值，压力稳定后，恒压 1min，然后缓慢通大气，反复进行 3 次（预压）。

在每个观察点上，输入应保持稳定，直至被试变送器的输出稳定在明显的最终值上。

除了研究性能特性需要外，不允许敲击或振动被试变送器。

b) 试验方法

试验首先从零点开始，按规定选取的试验点逐点平稳地升高压力（或抽空）至测量范围上限（或下限）值，依次记录各试验点正行程输出读数。然后逐点平稳地降压（或升压）至零点，依次记录各试验点反行程输出读数。

一个正、反行程往返试验为一次校准循环，应连续进行 3 次循环。

试验过程出现中断、重新调整零点或输出值等现象，应重新进行试验。

c) 数据处理

通过上述试验获得的数据，按附录 A 的计算方法计算静态特性指标。

7.3.2 线性

a) 满量程输出

变送器测量范围上限输出值与测量范围下限输出值之差的绝对值（以理论特性直线的计算值为依据）为满量程输出值，按附录 A 的公式(A8)计算。

b) 线性

将满量程输出值代入附录 A 的公式(A9)计算。

7.3.3 回差

回差按附录 A 的公式(A10)计算。

7.3.4 重复性

重复性可从多次试验循环的误差值中加以确定，按附录 A 的公式(A11~A14)计算。

7.3.5 准确度

按附录 A 的公式(A15)~(A17)计算变送器的基本误差，其结果(ξ)不应超过准确度等级允许的基本误差限（表 1）。同时，与准确度有关的技术指标应符合本标准 6.1.2~6.1.4 的规定。

7.4 影响量试验

除非另有说明，影响量的影响可通过以下各项使用条件的变化所确定的零点变化和量程变化来评定，其他使用条件仍保持恒定在参比值上。影响量的变化速率要足够慢，以保证被试变送器在任何场合上均不出现过冲。

注：如有必要，应在若干输入值上进行输出测量，以便于确定影响量对非线性、回差等的显著效应。

7.4.1 温度影响试验

变送器的温度影响试验应按照 GB 2423.1 试验 A 和 GB 2423.2 试验 B 的规定进行；试验过程的温度变化应符合 GB 2423.22 的规定。

在变送器的工作温度范围上限值和零点温度下，测量零点和满量程输出值的变化。如果此工作温度范围包括下列温度，则还应在这些环境温度下进行测量：

+20℃，+40℃，+55℃，（上限温度），+20℃，0℃，-10℃，-25℃，（下限温度），+20℃。

温度应按上列顺序逐渐变化，变化速度不应超过 2℃/min。+20℃档温度的允差应符合表 4 的规定，其余档温度的允差是±2℃。除非另有规定，在每一档温度下应至少恒温 1.5h，使变送器所有部分的温度稳定。

零点变化量试验与量程变化量试验应分开进行。

a) 零点变化量

试验时，将变送器置于高、低温试验箱内并施加额定激励，首先记录室温，测其零点输出值。然后按规定的温度档和升（降）温顺序进行试验，测其下限输出值。

将不同温度下测得的零点输出值分别代入附录 A 公式(A18)中的 $y_L(t_2)$ ，求出不同温度下的零点变化量，其中的最大值为变送器的温度影响零点变化量。

b) 量程变化量

试验时，将变送器置于高、低温试验箱内并施加额定激励，首先记录室温。

在室温下进行三次上、下限校准点校准（上、下限往复进行三次循环），测其室温时的下限输出值的平均值和上限输出值的平均值，其差值为室温下的满量程输出值。然后按顺序升、降温。每一档温度下应进行三次上、下限校准点校准，测其下限输出值的平均值和上限输出值的平均值，其差值为该温度下的满量程输出值。

将不同温度下的满量程输出值代入附录 A (A19) 式中的 $y_{F.S}(t_2)$ ，求出不同温度下的量程变化量，其中的最大值为变送器的温度影响量程变化量。

7.4.2 热滞后

a) 零点变化量

将 7.4.1.a 试验过程 3 次经过+20℃（或室温）时测得的零点输出值进行比较，取其最大值和最小值，代入附录 A 中的 (A20) 式，求出热滞后零点变化量。

b) 量程变化量

将 7.4.1.b 试验过程 3 次经过+20℃（或室温）时测得的满量程输出值进行比较，取其最大值和最小值，代入附录 A 中的 (A21) 式，求出热滞后量程变化量。

7.4.3 始动漂移

按 GB/T 17614.1 第 6.3.1 条的规定进行试验。

分别将变送器接通电源后 1h 和 4h 测得的输出值，与接通电源后 5min 测得的输出值进行比较，取其差值的绝对值最大者为变送器的始动漂移。

始动漂移按附录 A 中的公式 (A22) 计算，以满量程输出的百分数表示。

7.4.4 稳定性

稳定性试验，必须注意除了时间以外，周围环境条件和供源条件引起的变化不要掩盖由于时间引起的变化。应记录每次试验时试验条件的差异，并尽可能确定其他影响量的影响，对试验数据加以修正。

在规定的稳定性试验时间周期内，变送器每月至少应连续通电 24h 一次。

在 7.1 和 7.2 条规定的条件下，将变送器放置在恒温箱内进行试验。除非另有规定，每次检测时应设定恒温箱的温度为 25℃并恒温 2h，恒温箱的控温精度应优于±1℃，温度波动优于±1.5℃。

a) 零点稳定性

在上述条件下，测试变送器的零点输出值，每隔 15min 读取一次，连续读取 1h。取 5 次读数的平均值，记为 Y_{L0} 。

试验周期内，按以上方法每月至少检测一次零点输出值 Y_{L0i} ($i=1, 2, 3, \dots, n$)，共检测 n 次。

找出 n 次读数 Y_{L0i} 中的最大值和最小值，分别与 Y_0 进行比较，取其差值的绝对值较大者，记为 $|\Delta Y_{L0}|_{\max}$ ，按 (3) 式计算零点稳定性 (r_L)。

$$R_L = \frac{|\Delta Y_{L0}|_{\max}}{Y_{f.s}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

b) 量程稳定性

检测前使被试变送器在测量范围上限和下限位置反复移动三次。

检测时依次输入测量范围下限和上限压力值，并测试其输出值，重复 5 次循环。

5 次循环测得的测量范围上限输出值的平均值，与测量范围下限输出值的平均值之差为量程输出值，记为 Y_{FS0} 。

检定周期内，按以上方法每月至少检测一次量程输出值 Y_{FSj} ($j=1, 2, 3, \dots, n$)，共检测 n 次。

找出 n 次读数中的最大值和最小值，分别与 Y_{FS0} 进行比较，取其差值的绝对值较大者，记为 $|\Delta Y_{FS}|_{\max}$ ，按 (4) 式计算量程稳定性。

$$R_Y = \frac{|\Delta Y_{FS}|_{\max}}{Y_{f.s}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

7.4.5 外磁场影响

按 GB/T 17614.1 第 6.2.9 条的规定进行试验。

将变送器在磁场影响下的输出值与试验前的输出值进行比较，其最大差值为外磁场影响量，以满量程输出的百分数表示，按附录 A 中的公式 (A23) 计算。

7.4.6 负载影响

按图 2 安装并连接变送器，图中的读数装置采用数字电流表，串接在变送器的输出回路中，供电电源采用 36V.DC，负载为可调电阻。

在 0~1100 Ω 范围改变负载电阻值，观察输出值的变化，其最大值和最小值之差为负载影响量，以满量程输出的百分数表示。

分别测试零点变化量及量程变化量。

负载影响量按附录 A 中的公式 (A24) 计算。

7.4.7 电源影响

a) 范围试验

按图 2 安装并连接变送器，图中的读数装置采用数字电流表，串接在变送器的输出回路中，图中负载电阻短接（负载为零）。

按本标准 7.3 的规定进行静态性能试验，其静态性能指标应符合本标准 6.1.2~6.1.4 的规定。

本试验应分别在电源电压为 13V.DC 和 36V.DC 时进行。

b) 影响量试验

按图 2 安装并连接变送器，测量、记录变送器的零点输出值和量程输出值。

在 20~28V 范围改变电源电压值，测量、记录变送器的零点输出值和量程输出值，按附录 A 中的公式 (A25) 计算，其变化量应符合本标准 6.2.1.g 的规定。

c) 短时中断

按 GB/T 17614.1 第 6.2.1.2 条的规定进行试验。

d) 反向保护

给变送器施加反向 50V.DC 电源电压，保持 3min。

试验后按本标准 7.3 规定进行静态性能试验，其静态性能指标应符合本标准 6.1.1~6.1.4 的规定。

7.4.8 超负荷影响

对变送器施加测量范围上限 120%±5%的超负荷压力，保持 5min，卸载后恢复 30min。

测试并记录试验前和试验后的零点输出值及量程输出值，其变化应符合本标准 6.2.2.a 的规定。

试验后按本标准 7.3 的规定进行静态性能试验，其静态性能指标应符合本标准 6.1.1~6.1.4 的规定。

7.4.9 振动影响

振动影响试验按 GB/T 17614.1 第 6.2.14 条的规定进行，试验基本程序同 GB/T 2423.10 所述的程序一致。

振动频率、幅值和峰加速度采用 GB/T 17614.1 表 1 中的管道安装极端振动级参数。

测量并记录振动试验前、振动中和振动试验后的输出值，按附录 A 中的公式 (A26) 计算，其结果应符合本标准 6.2.2.b 的规定。

试验后按本标准 7.3 的规定进行静态性能试验。

7.4.10 冲击影响

冲击影响试验按 GB/T 17614.1 第 6.2.13 条的规定进行，试验基本程序同 GB/T 2423.7 所述的程序一致。

将变送器安装在平整、坚硬的水泥或钢质的刚性平面上，沿一底边倾斜，使其对边与试验平面间的距离为 100mm，然后让其自由跌落到试验平面上。

测量并记录试验前和试验后的零点输出值及量程输出值，按附录 A 中的公式 (A27) 计算，其结果应符合本标准 6.2.2.c 的规定。

试验后按本标准 7.3 的规定进行静态性能试验。

7.4.11 湿热影响

本试验应按 GB 2423.3 试验 Ca 的规定进行。

将被试变送器放置在恒温恒湿试验箱内，在规定的温度 (40±2℃) 和湿度 (91%~95%) 下保持 48h 后，将变送器取出放到试验环境中，在 10min 内测量变送器的绝缘电阻，应符合本标准 6.2.2.f 的规定；2h 后测量变送器的零点输出值，按附录 A 中的公式 (A28) 计算，其结果应符合本标准 6.2.2.f 的规定。

试验后在本标准 7.1 规定的环境条件下放置至少 24h，然后按本标准 7.3 的规定进行静态性能试验。

7.4.12 加速寿命试验

将变送器安装到压力疲劳试验机上，使变送器承受表 5 规定的正弦波形或梯形波形的交变压力试验。幅值应在表 5 规定的范围内，不应有过冲现象。

表 5 加速寿命试验参数

| 幅值 (测量范围上限的 %) | | 交变频率 (次/min) | 试验周次 |
|----------------|-------|--------------|-----------------|
| 谷值 | 峰值 | | |
| ±20 | 75~85 | ≤60 | 10 ⁵ |

试验期间允许对变送器进行冷却和中间停止，但停止次数不应超过 5 次，每次不超过 8h，期间应不停止供电。

试验后卸下变送器，恢复 24h，然后按本标准 7.3 的规定进行静态性能试验。

7.5 绝缘电阻试验

试验时将变送器的电源断开，短接各电气连接端子，用输出 100V 直流的绝缘电阻测试仪测量电气端子对地端子（或外壳）的绝缘电阻。

7.6 外观检查

检查变送器的外观应采用目测检查方法，操作者应具备正常视力和颜色分辨力，在适当的照度下进行操作。

7.7 尺寸和重量检查

用常规量具检查。

8 检验规则

8.1 检验分类

本规则规定变送器检验分为：

- a. 型式试验。
- a. 出厂检验。

8.2 型式试验

8.2.1 下列情况变送器应进行型式试验：

- a) 新产品设计定型；
- b) 当设计、工艺或材料改变可能对变送器的性能带来影响时；
- c) 长期停产后恢复生产时；
- d) 正常生产时每 4 年进行一次。

8.2.2 检验项目

检验项目、检验顺序及相应的检验要求、检验方法条款见表 6。

8.2.3 样品数量

型式试验的样品数量应不少于 3 个。

8.2.4 合格判定

当所有检验项目满足表 6 规定的要求时，判定鉴定检验合格。

如果任何一个检验项目不符合规定的要求，则应暂停检验。产品制造厂应对不合格项目进行分析，找出缺陷发生的原因，并采取纠正措施后可继续对不合格项目进行检验。此时若所有项目都符合规定要求，则仍判型式试验合格；若仍有检验项目不符合规定要求，则判定型式试验不合格。

表 6 型式试验项目

| 序号 | 试验项目 | 要求条款 | 试验方法条款 |
|----|-------|---------|--------|
| 1 | 外观 | 6.4 | 7.6 |
| 2 | 尺寸和重量 | 6.5 | 7.7 |
| 3 | 绝缘电阻 | 6.3 | 7.5 |
| 4 | 超负荷 | 6.2.2.a | 7.4.8 |
| 5 | 线性 | 6.1.2 | 7.3.2 |
| 6 | 回差 | 6.1.3 | 7.3.3 |
| 7 | 重复性 | 6.1.4 | 7.3.4 |
| 8 | 准确度 | 6.1.1 | 7.3.5 |
| 9 | 温度影响 | 6.2.1.a | 7.4.1 |
| 10 | 热滞后 | 6.2.1.b | 7.4.2 |

| | | | |
|----|--------|---------|--------|
| 11 | 始动漂移 | 6.2.1.c | 7.4.3 |
| 12 | 外磁场影响 | 6.2.1.e | 7.4.5 |
| 13 | 负载影响 | 6.2.1.f | 7.4.6 |
| 14 | 电源影响 | 6.2.1.g | 7.4.7 |
| 15 | 振动 | 6.2.2.b | 7.4.9 |
| 16 | 冲击 | 6.2.2.c | 7.4.10 |
| 17 | 湿热 | 6.2.2.d | 7.4.11 |
| 18 | 稳定性 | 6.2.1.d | 7.4.4 |
| 19 | 加速寿命试验 | 6.2.2.e | 7.4.12 |

注：正常生产时每4年一次的型式试验可以不进行第19项的试验。

8.3 出厂检验

8.3.1 检验数量

出厂产品应逐台进行检验。

8.3.2 检验项目

出厂检验的检验项目、检验要求和检验方法见表7。

表7 出厂检验项目

| 序号 | 试验项目 | 要求条款 | 试验方法条款 |
|----|------|---------|--------|
| 1 | 外观 | 6.4 | 7.6 |
| 2 | 绝缘电阻 | 6.3 | 7.5 |
| 3 | 超负荷 | 6.2.2.a | 7.4.8 |
| 4 | 线性 | 6.1.2 | 7.3.2 |
| 5 | 回差 | 6.1.3 | 7.3.3 |
| 6 | 重复性 | 6.1.4 | 7.3.4 |
| 7 | 准确度 | 6.1.1 | 7.3.5 |
| 8 | 温度影响 | 6.2.1.a | 7.4.1 |
| 9 | 热滞后 | 6.2.1.b | 7.4.2 |

注：

1. 对于某些特定要求的产品，其静态性能试验允许只进行一个循环的校准，此时重复性可不计算。
2. 序号8和9的试验可简化在20℃、上限和下限温度下进行测量，且量程变化量试验可以免作。

8.3.3 合格判定

当所有检验项目满足表8规定的要求时，判定出厂检验合格。合格产品由质量管理部门签发合格证，合格证应注明检验结果、检验日期、检验员工号等内容。

如果任何一个检验项目不符合规定的要求，则判定该产品不合格。

9 标志、包装和贮存

9.1 标志

9.1.1 壳体标志

变送器壳体上应有明显的标志或铭牌，标明下列内容：

- a) 产品名称和型号；
- b) 制造厂名或商标；
- c) 测量范围或量程；
- d) 产品编号；

- e) 制造日期;
- f) 准确度等级;
- g) 制造计量器具许可证编号;
- h) 防爆标志 (对防爆型变送器)。

当变送器的铭牌尺寸小到无法标著以上内容时, 至少应标明 a~e 项, 或在适当部位加标志牌; 当壳体、铭牌或标志牌上不能标明以上完整内容时, 应在相应的技术文件中说明。

9.1.2 电气连接标识

变送器的正、负电气连接端子应分别具有“+”、“-”标识。

9.2 包装

变送器的包装应符合 GB/T 15464 的规定。

9.3 贮存

变送器应贮存在温度 $-10\sim 55^{\circ}\text{C}$, 相对湿度不大于 80%的通风室内, 周围空气中不含有对变送器起腐蚀作用的气体。

附录 A

(标准的附录)

性能指标的计算方法

A1 静态性能指标的计算方法

A1.1 静态校准特性的建立

变送器的静态校准应在整个输入量程内进行, 校准点通常应包括零点和满量程点, 并均布选取 $m=5\sim 11$ 个点; 校准循环一般取 $n=3$ 次。校准所得原始数据应尽可能不含可疑数据和不合理数据。

变送器的实际校准特性是通过变送器的静态校准获得的。计算过程和计算结果所用数字的有效位数应根据被校变送器的总不确定度来确定。

A1.1.1 正行程实际平均特性

计算公式如下：

$$\bar{y}_{Ui} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{Uij} \quad \dots\dots\dots (A1)$$

式中： \bar{y}_{Ui} ——正行程第 i 个校准点上的一组测量值的算术平均值；
 y_{Uij} ——正行程第 i 个校准点上的第 j 个测量值 (i=1, 2, 3, ……m; j=1, 2, 3, ……n)；
 n——重复试验次数；
 m——校准点个数。

A1.1.2 反行程实际平均特性 (\bar{y}_{Di})

计算公式如下：

$$\bar{y}_{Di} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{Dij} \quad \dots\dots\dots (A2)$$

式中： \bar{y}_{Di} ——反行程第 i 个校准点上的一组测量值的算术平均值；
 y_{Dij} ——反行程第 i 个校准点上的第 j 个测量值 (i=1, 2, 3, ……m ; j=1, 2, 3, ……n)；

A1.1.3 正反行程实际平均特性 (又称总平均特性) (\bar{y}_i)

计算公式如下：

$$\bar{y}_i = \frac{1}{2} (\bar{y}_{Ui} + \bar{y}_{Di}) \quad \dots\dots\dots (A3)$$

A1.1.4 工作特性方程

变送器的特性方程采用平移端基直线方程。

a. 端基直线方程

端基直线方程为：

$$Y' = a' + bX \quad \dots\dots\dots (A4)$$

式中： $b = \frac{Y_{max} - Y_{min}}{X_{max} - X_{min}}$ ，为直线斜率；

$a' = y_{min} - bX_{min}$ ，为直线截距。

b. 平移端基直线方程

平移端基直线方程为：

$$Y = a + bX \quad \dots\dots\dots (A5)$$

平移端基直线的截距：

$$a = a' + \frac{1}{2} [|(\Delta Y'_L)_{max}^+| + |(\Delta Y'_L)_{max}^-|] \quad \dots\dots\dots (A6)$$

式中：a —— 平移端基直线的截距；
 $(\Delta Y'_L)_{max}^+$ —— 实际特性曲线相对端基直线的最大正偏差；

$(\Delta Y'_L)_{\max}$ ——实际特性曲线相对端基直线的最大负偏差；

A1.2 量程 (X_{FS})

量程的计算公式如下：

$$X_{FS} = X_{\max} - X_{\min} \dots\dots\dots (A7)$$

式中：

X_{\max} ——测量范围上限值，Pa ；

X_{\min} ——测量范围下限值，Pa 。

A1.3 满量程输出 (Y_{FS})

满量程输出的计算公式如下：

$$Y_{FS} = Y_{\max} - Y_{\min} \dots\dots\dots (A8)$$

式中：

Y_{\max} ——工作特性所决定的最大输出值，mA ；

Y_{\min} ——工作特性所决定的最小输出值，mA 。

注：

1. 凡拟合出的特性(如工作特性)、给定的特性、拟合(参比)特性的输出值用大写字母 Y 表示，实测的输出值用小写字母 y 表示。
2. 如果仅仅求变送器的单项性能指标，可用该单项性能指标所用的拟合(参比)特性所决定的最大与最小输出值的代数差来代替满量程输出 Y_{FS} 。也可使用实际满量程输出 y_{FS} 代替 Y_{FS} 。

A1.4 线性 (ξ_L)

线性的计算公式如下：

$$\xi_L = \pm \frac{(\Delta Y_L)_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \dots\dots\dots (A9)$$

式中： $(\Delta Y_L)_{\max}$ ——实际平均特性曲线相对平移端基直线的最大偏差，mA 。

注：只进行一次正、反行程校准时(如质量一致性检验)，允许使用该正、反行程校准数据的平均值连接的曲线代替上述意义的实际平均特性曲线。

A1.5 回差 (ξ_H)

回差的计算公式如下：

$$\xi_H = \frac{|(\Delta Y_H)_{\max}|}{Y_{FS}} \times 100\% \dots\dots\dots (A10)$$

式中： $(\Delta Y_H)_{\max}$ ——实际正行程平均特性曲线相对实际反行程平均特性曲线的最大偏差，mA 。

注：只进行一次正、反行程校准时，允许使用该正、反行程校准数据连接的曲线分别代替实际正行程平均特性曲线和实际反行程平均特性曲线。

A1.6 重复性 (ξ_R)

A1.6.1 标准偏差

正行程子样标准偏差 S_{U_i} ：

$$S_{U_i} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_{U_{ij}} - \bar{y}_{U_i})^2} \dots\dots\dots (A11)$$

反行程子样标准偏差 S_{D_i} ：

$$S_{Di} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_{Dij} - \bar{y}_{Di})^2} \dots\dots\dots (A12)$$

整个测量范围内的子样标准偏差 S:

$$S = \sqrt{\frac{1}{2m} \left(\sum_{j=1}^m S_{U_i}^2 + \sum_{j=1}^m S_{D_i}^2 \right)} \dots\dots\dots (A13)$$

上述式中: y_{uij} ——正行程第 i 点第 j 次示值;

y_{dij} ——反行程第 i 点第 j 次示值;

A1.6.2 重复性

$$\xi_R = \frac{\lambda \cdot S}{Y_{FS}} \times 100\% \dots\dots\dots (A14)$$

式中: λ ——包含因子, 取 $\lambda=3$ 。

A1.7 基本误差 (ξ) 与准确度

变送器的准确度应根据变送器的不确定度 (参见附录 B) 来评定。

在要求不高的场合, 可通过以下方法计算变送器的基本误差来评定变送器的准确度。

A1.7.1 变送器的系统误差带 U_1

$$U_1 = \pm \frac{1}{2} (|y_{U_i} - Y_i|_{\max} + |y_{D_i} - Y_i|_{\max}) \dots\dots\dots (A15)$$

式中: Y_i ——根据平移端基直线方程式 (A5) 计算的第 i 个校准点的值。

A1.7.2 变送器的随机误差带 U_2

$$U_2 = \pm 3S \dots\dots\dots (A16)$$

A1.7.3 基本误差

$$\xi = \pm \frac{|U_1| + |U_2|}{Y_{FS}} \times 100\% \dots\dots\dots (A17)$$

A2 影响量的计算方法

A2.1 温度影响量

A2.1.1 下限值变化量 (α_T)

$$\alpha_T = \frac{y_L(t_2) - y_L(t_1)}{Y_{FS} \cdot (t_2 - t_1)} \times 100\% \dots\dots\dots (A18)$$

式中: α_T ——温度影响下限值变化量, %/°C;

t_1 ——试验前的室温温度, °C;

t_2 ——试验时的高温或低温温度, °C;

$y_L(t_1)$ ——室温下测得的下限输出值 (mA);

$y_L(t_2)$ ——在规定的试验温度下测得的下限输出值 (mA)。

A2.1.2 量程变化量 (β_T)

$$\beta_T = \frac{y_{FS}(t_2) - y_{FS}(t_1)}{Y_{FS} \cdot (t_2 - t_1)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A19)$$

式中: β_T——温度影响量程变化量, %/°C;

y_{FS}(t₁)——室温下测得的满量程输出值, mA;

y_{FS}(t₂)——在规定的试验温度下测得的满量程输出值, mA。

A2.2 热滞后

A2.2.1 下限值变化量 (α_H)

$$\alpha_H = \frac{y_L(t_1)_{\max} - y_L(t_1)_{\min}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A20)$$

式中: y_L(t₁)_{max}——试验过程 3 次经过室温时测得的下限输出值中的最大值, mA;

y_L(t₁)_{min}——试验过程 3 次经过室温时测得的下限输出值中的最小值, mA;

A2.2.2 量程变化量 (β_H)

$$\beta_H = \frac{y_{FS}(t_1)_{\max} - y_{FS}(t_1)_{\min}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A21)$$

式中: y_{FS}(t₁)_{max}——试验过程 3 次经过室温时测得的量程输出值中的最大值, mA;

y_{FS}(t₁)_{min}——试验过程 3 次经过室温时测得的量程输出值中的最小值, mA。

A2.3 始动漂移 (d_s)

计算公式如下:

$$d_s = \frac{|\Delta y_{ds}|_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A22)$$

式中:

|\Delta y_{ds}|_{max}——给变送器施加 10% 的输入信号, 将接通电源后 1h 和 4h 测得的输出值, 分别与接通电源后 5min 测得的输出值进行比较, 其差值的绝对值最大者。

A2.4 磁场影响 (θ_M)

计算公式如下:

$$\theta_M = \frac{|y_m - y_{m0}|_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A23)$$

式中: y_{m0}——试验前, 在输入规定的压力信号时的输出, mA;

y_m——试验过程, 在输入与试验前相同的压力信号时的输出值最大值或最小值, mA。

A2.5 负载影响 (θ_L)

计算公式如下:

$$\theta_L = \frac{|\Delta y_1|_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A24)$$

式中: |\Delta y₁|_{max}——在规定的输入下, 负载从范围最大值变化到范围最小值时变送器输出的最大值和最小值之差, mA。

A2.6 电源影响 (θ_E)

计算公式如下:

$$\theta_E = \frac{|\Delta y_E|_{\max}}{8 \cdot Y_{FS}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A25)$$

式中: θ_E ——电源影响量(可分为下限值变化量和量程变化量), %/V; $|\Delta y_E|_{\max}$ ——在规定的输入下, 激励电压从 20V 变化到 28V 时变送器输出的最大值和最小值之差, mA。**A2.7 振动影响 (θ_V)**

计算公式如下:

$$\theta_V = \frac{|y_V - y_{V0}|_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A26)$$

式中: y_{V0} ——在规定的输入下, 振动试验前变送器的输出值, mA; y_V ——在规定的输入下, 振动试验中(或试验后)变送器的输出值, mA。**A2.8 冲击影响 (θ_I)**

计算公式如下:

$$\theta_I = \frac{|y_I - y_{I0}|_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A27)$$

式中: y_{I0} ——在规定的输入下, 冲击试验前变送器的输出值, mA; y_I ——在规定的输入下, 冲击试验后变送器的输出值, mA。**A2.9 湿热影响 (θ_D)**

计算公式如下:

$$\theta_D = \frac{|y_D - y_{D0}|_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A28)$$

式中: y_{D0} ——湿热试验前变送器的下限值示值, mA; y_D ——湿热试验后变送器的下限值示值, mA。**附录 B**

(提示的附录)

变送器不确定度计算的基本原理**B1 测量不确定度分量**

测量不确定度是表征被测量的真值在某个范围内的一种评定, 而测量误差则是测量值和被测量的真值之差。不确定度一般由若干不确定度分量组成:

 $S_1, S_2, \dots, S_i, \dots$ (A类分量, 用统计方法求出)

 $b_1, b_2, \dots, b_i, \dots$ (B类分量, 用统计方法求出)
B2 合成不确定度

$$U_c = \sqrt{\sum (S_i^2 + b_i^2) + 2 \sum_{k < i} \text{cov}(\delta_k, \delta_i)}$$

..... (B1)

式中： $cov(\sigma_k, \sigma_i)$ ——为两任意分量 σ_k, σ_i (可为 s_i 和 b_i 中的任意一个) 间的协方差。此协方差又可用相关系数 ρ_{ki} 来表示， $cov(\sigma_k, \sigma_i) = \rho_{ki} \sigma_k \sigma_i$ 。

B3 变送器的合成不确定度

对于一台具体的单输入单输出型变送器，在其第 i 个校准点处，变送器的总偶然误差 s_i 可视为上述 A 类不确定度的唯一分量；而变送器的总系统误差 b_i 则视为上述 B 类不确定度的唯一分量。因而变送器在该校准点处的合成不确定度可表示为：

$$U_i = \sqrt{s_i^2 + b_i^2 + 2 \cdot \rho_{i(bs)} \cdot b \cdot s} \quad \text{..... (B2)}$$

式中： $\rho_{i, (bs)}$ ——在第 i 个校准点处， b 和 s 的相关系数。

在变送器中，系统误差和偶然误差都是由同一组实测数据算出，从而 b 和 s 相关，因此可取 $\rho_{i, (bs)} = 1$ 。这种情况下，变送器在第 i 个校准点处的合成不确定度的表达式可简化为：

$$u_i = b_i + s_i \quad \text{..... (B3)}$$

B4 变送器的总不确定度

又称展伸不确定度。在 t 分布情况下，当样本只有 3~5 个元素时，合成不确定度的置信度大约在 60%~70%之间，这对多数应用来说都嫌不够。所以，通常将合成不确定度乘以一个包含因子，以获得总不确定度：

$$u_i = cu_i = cb_i + cs_i \quad \text{..... (B4)}$$

式中： c ——包含因子。对于 t 分布，可取 $c=t_{0.95}$ ，以获得 95%的置信度；

cb_i ——令 $cb_i=b_i$ ，称为变送器在第 i 个校准点处的总系统误差的极限值，可用常规的非统计方法求出；

cs_i ——变送器在第 i 个校准点处的总偶然误差的极限值。本标准取 t 分布， $cs_i=t_{0.95} S_i$ ，因而，变送器在第 i 个校准点处的总不确定度的表式可取下面的形式：

$$u_i = \pm (b_i + t_{0.95} S_i) \quad \text{..... (B5)}$$

B5 变送器的相对总不确定度

用变送器的满量程输出 Y_{FS} 的百分比来表示的，变送器在其满量程工作范围内的总不确定度，即为相对总不确定度（简称变送器的总不确定度。因其具有基本误差性质，也称变送器的基本不确定度）。这就是本标准所使用的总不确定度形式。

能体现实际不确定区域概念的总不确定度公式为：

$$U_r = \frac{\text{Max} |B_i + t_{0.95} S_i|}{Y_{FS}} \times 100\% \quad \text{..... (B6)}$$

式中： B_i ——变送器在第 i 个校准点处的总系统误差的极限值，可用常规非统计方法求出；

$t_{0.95} S_i$ ——变送器在第 i 个校准点处的总偶然误差的极限值。 S_i 为在第 i 个校准点处的样本标准偏差。

附录 C

(提示的附录)

原始数据的预处理

C.1 可疑数据的发现

C.1.1 可疑数据

任何测量都可能产生可疑数据，产生可疑数据的原因很复杂。可能是校准设备或被校变送器临时性的或偶然性的故障；也可能是它们特性的难于预测的变化。含有可疑数据的原始数据不能代表被校变送器正常性能，故不宜用来计算变送器的性能指标。容忍或剔除可疑数据都应当慎重。正确的作法是：发现可疑数据，排除产生可疑数据的真正原因，重作校准，在取得尽可能无可疑数据的原始数据后，再用作计算。

C.1.2 统计检验法的一般原理

为检验正行程第 i 个校准点处的一个样本的第 j 个数据是否为可疑数据，首先计算 $y_{u,i}$ 及 $S_{u,i}$ 。如果满足下列判别式：

$$\text{Max} |y_u(i, j) - \bar{y}_u(i)| > k S_{u,i} \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

则该 $y_u(i, j)$ 为可疑数据。(C.1)式中的 k 为检验的置信因子，通常按 95%的置信度及样本元素个数来确定。为判定该样本是否还有另一个可疑数据，可以用下面两种方法之一。

- a) 从该样本中剔除该 $y_u(i, j)$ ，然后重算 $\bar{y}_u(i)$ 及 $S_{u,i}$ ，再用 (C.1) 式检验该样本其余数据；
- b) 令该 $y_u(i, j) = \bar{y}_u(i)$ ，然后重算 $\bar{y}_u(i)$ 及 $S_{u,i}$ ，再用 (C.1) 式检验该样本数据。因变送器仅具小样本，不利于准确检验。本法不减样本元素，故较前法为优，且易于在计算机上实现。

C.1.2.1 格拉布斯检验法

1950 年由 F. E. Grubbs 提出，是现有多数文献公司公认的较为准确的检验法。其基本作法同于 C.1.2 节所述，其按 95%置信度的 k 因子与样本元素个数 n 的关系为：

| | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| n | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| k | 1.153 | 1.463 | 1.672 | 1.822 | 1.938 | 2.032 | 2.110 | 2.176 |

F1.2.2 AEDC 检验法

由美国空军阿诺德工程发展中心 (Arnold Engineering Development Center) 1980 年修订出版的一篇研究报告提出，其检验原理同于格拉布斯检验法，只是置信度的 k 因子在样本元素个数 n 增大时稍有不同，它特别适合准确发现小样本的可疑数据。其基本作法也同 C.1.2 所述，其按 95%置信度的 k 因子与样本元素个数 n 的关系为：

| | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| n | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| k | 1.154 | 1.435 | 1.634 | 1.782 | 1.896 | 1.988 | 2.064 | 2.127 |

C.1.3 误差曲线检验法 (全局观测法)

统计检验法并非万能。用 3 个元素的小样本去发现可疑数据几乎不可能。即使用 5 个元素的样本也嫌太小。在良好的校准条件下，公认不可能在性能正常的变送器的满量程输入的校准过程中检测出变送器性能的突变，故可用计算机显示变送器的 CHR 等指标的误差曲线，而由这些误差曲线发生突变的情况来判定是否有可疑数据存在。这是在甚小样本 (3~5 个样本元素) 的情况下发现可疑数据的一个较好的方法。

有的变送器的原始数据的分散性极小（即重复性极小，例如小于 0.01%），以至现有高精度校准设备和检测仪器，及通常的仔细校准操作已很难胜任精确测量，从而造成这时所测得的有效数字位数甚多的原始数据，反而容易被统计检验法判为含有“可疑数据”。这时建议用误差检验法，只要各误差曲线无明显的突变或不合理的起伏，其走向也合理，便可“容忍”这种“可疑数据”，而不必认为原始数据有问题。

C.1.4 可疑数据发现示例

下表所列某变送器校准所得原始数据，试用 AEDC 检验法及误差曲线检验法来发现其是否有可疑数据。

表 C.1 ×××1# 变送器校准所得原始数据

| 行程 | 变送器的 输入量 (X) | 变送器的输出量 (Y) | | | | |
|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | Y ₁ | Y ₂ | Y ₃ | Y ₄ | Y ₅ |
| i ↑ 正行程 U | 0.0 | -2.774 | -2.714 | -2.681 | -2.672 | -2.663 |
| | 2.0 | 0.560 | 0.610 | 0.637 | 0.652 | 0.657 |
| | 4.0 | 3.945 | 3.987 | 4.022 | 4.037 | 4.042 |
| | 6.0 | 7.385 | 7.422 | 7.451 | 7.414 | 7.470 |
| | 8.0 | 10.875 | 10.920 | 10.940 | 10.944 | 10.964 |
| | 10.0 | 14.420 | 14.467 | 14.464 | 14.478 | 14.492 |
| 反行程 D i ↓ | 10.0 | 14.420 | 14.467 | 14.464 | 14.478 | 14.492 |
| | 8.0 | 10.944 | 10.881 | 10.985 | 10.985 | 11.011 |
| | 6.0 | 7.489 | 7.517 | 7.518 | 7.550 | 7.551 |
| | 4.0 | 4.052 | 4.090 | 4.107 | 4.106 | 4.122 |
| | 2.0 | 0.665 | 0.680 | 0.698 | 0.708 | 0.721 |
| | 0.0 | -2.714 | -2.681 | -2.664 | -2.651 | -2.640 |

C.1.4.1 按 AEDC 检验法，可发现 $y_u(6,1)$ 和 $y_d(6,1)$ 为可疑数据。

已知

$$y_u(6,1) = y_d(6,1) = 14.420;$$

$$y_u(6) = y_d(6) = 14.4642;$$

$$S_{u,6} = S_{d,6} = 0.02704; k = 1.634$$

因而

$$|y_u(6,1) - y_u(6)| = 0.04220 > kS_{u,5} = 0.04418;$$

$$|y_d(6,1) - y_d(6)| = 0.04420 > kS_{d,5} = 0.04418$$

从上述判别式可以看出 $y_u(6,1)$ 和 $y_d(6,1)$ 也只能算是“擦边离群”的可疑数据。在这种两可的情况下，便可借助误差曲线检验法来帮助判别是否需要采取措施处理它们。

图 C.1 所示为本例子的误差曲线。从图上来看，此两数据点处的 CHR 曲线并无突变现象，故可考虑容忍这两个可疑数据。

C.1.4.2 从图 C.1 可明显看出，在反行程的 $X=0.8$ 处，CHR 曲线有向上突变的情况，故可怀疑此处有可疑数据。检查表 C.1，发现 $y_d(5,2) = 10.881$ ，明显离群，但 AEDC 检验法却未能发现。为此，进行复核。今知： $y_d(5,2) = 10.881$ ； $y_d(5) = 10.9612$ ； $S_{d,5} = 0.05084$ ； $k = 1.634$ 。因而

$$|y_d(5, 2) - a_d(5)| = 0.08020 < kS_{u,5} = 0.08307$$

故判定 $y_d(5, 2)$ 不是可疑数据。但也只是一个“擦边不离群”的好数据。这时，宜按误差曲线所示，追查 CHR 曲线发生向上突变的真正原因，并予以改正。

附带说明，对于表 C.1 的数据，若用格拉布斯检验法处理，将全部判为非可疑数据。

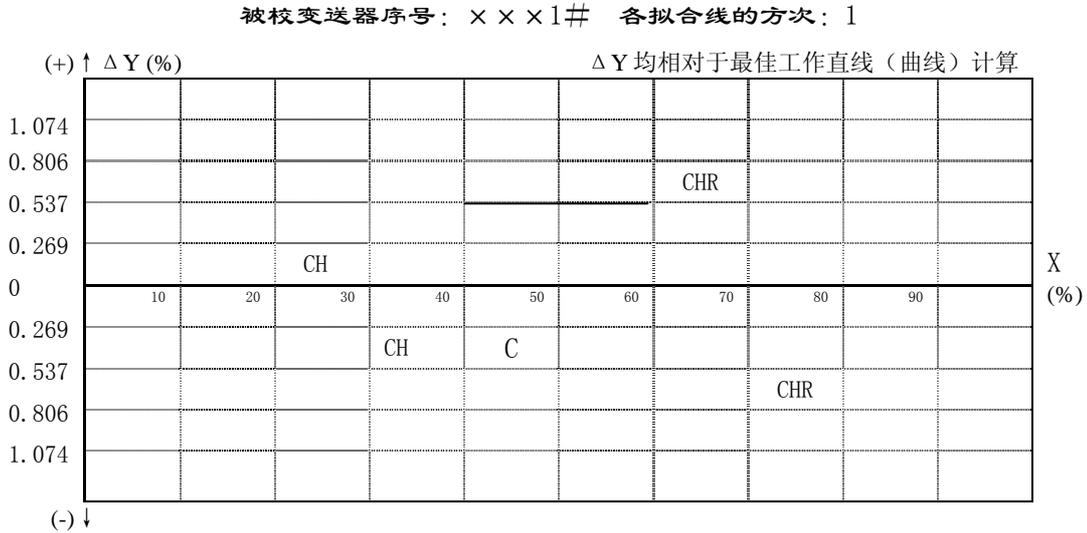


图 C.1 本例数据按变送器要求相对于最佳的工作特性直线（曲线）的线性度、回差、重复性的各种误差曲线。

从图可看出，在反行程的 $x=0.8$ 处，CHR 曲线有向上突变的情况，疑有可疑数据。

- C——Conformity;
- CH----Conformity and Hyxtersis
- CHR----Conformity and Hyteresis and Repeatanility

C.2 不合理数据的发现

下面再看两个变送器（×××2# 和 ×××3#）的原始数据：

表 C.2 ×××2# 变送器校准所得原始数据

| 行程 | 变送器的输入量 (X) | 变送器的输出量 (Y) | | | | |
|---------------|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | Y ₁ | Y ₂ | Y ₃ | Y ₄ | Y ₅ |
| ↑ 正行程 U | 0.0 | 0.66 | 0.65 | 0.78 | 0.67 | 0.80 |
| | 2.0 | 190.9 | 191.1 | 191.1 | 190.8 | 190.4 |
| | 4.0 | 382.8 | 382.3 | 383.5 | 381.8 | 382.8 |
| | 6.0 | 574.5 | 576.4 | 576.0 | 576.2 | 575.4 |
| | 8.0 | 769.4 | 769.2 | 770.4 | 769.8 | 771.5 |
| | 10.0 | 963.9 | 963.1 | 965.2 | 964.7 | 966.0 |
| ↓ 反行程 D | 10.0 | 964.2 | 963.1 | 966.5 | 965.7 | 967.2 |
| | 8.0 | 770.6 | 772.4 | 771.0 | 770.8 | 772.1 |
| | 6.0 | 577.9 | 577.4 | 577.1 | 578.1 | 578.3 |
| | 4.0 | 384.0 | 384.8 | 384.2 | 384.9 | 384.2 |
| | 2.0 | 191.6 | 192.2 | 191.8 | 191.5 | 191.9 |

| | | | | | | |
|--|-----|------|------|------|------|------|
| | 0.0 | 1.66 | 1.65 | 1.65 | 1.47 | 1.66 |
|--|-----|------|------|------|------|------|

表 C.3 $\times\times\times$ 3# 变送器 (变送器) 校准所得原始数据

| 行程 | 变送器的 输入量 (X) | 变送器的输出量 (Y) | | | | |
|---------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | Y ₁ | Y ₂ | Y ₃ | Y ₄ | Y ₅ |
| ↑ 正行程 U | 0.0 | 1.9995 | 1.9994 | 1.9996 | 1.9993 | 1.9994 |
| | 2.0 | 3.5966 | 3.5968 | 3.5963 | 3.5966 | 3.5967 |
| | 4.0 | 5.1942 | 5.1945 | 5.1941 | 5.1944 | 5.1946 |
| | 6.0 | 6.7957 | 6.7955 | 6.7953 | 6.7956 | 6.7956 |
| | 8.0 | 8.3995 | 8.3992 | 8.3993 | 8.3998 | 8.3994 |
| | 10.0 | 9.9987 | 9.9989 | 9.9986 | 9.9987 | 9.9989 |
| 反行程 D ↓ | 10.0 | 9.9995 | 9.9991 | 9.9993 | 9.9992 | 9.9995 |
| | 8.0 | 8.3996 | 8.4000 | 8.3995 | 8.3999 | 8.3997 |
| | 6.0 | 6.7960 | 6.7962 | 6.7959 | 6.7963 | 6.7962 |
| | 4.0 | 5.1943 | 5.1947 | 5.1944 | 5.1946 | 5.1948 |
| | 2.0 | 3.5966 | 3.5969 | 3.5966 | 3.5967 | 3.5968 |
| | 0.0 | 1.9997 | 1.9996 | 1.9999 | 1.9997 | 1.9995 |

注：表中所示数据为变送器 1~5V 输出实测数据放大一倍的结果。

C.2.1 不合理数据

有的原始数据，按前面的两种统计检验法都能通过，但实际又有问题。这样的数据可归类为不合理数据。不合理数据一般有下列几种情况：

a) 同一校准点处的一组测量数据相对测量循环具有明显的渐增性或渐减性。这可用一系列的相邻数据对的两个数据，例如 $y_u(i, j)$ 和 $y_u(i, j+1)$ ，相对大小来判断。这种不合理数据可能由于变送器的零点漂移、热零点漂移或热灵敏度漂移等原因造成。如果由环境温度变化引起，可在稳定环境温度之后，再作校准。

b) 在变送器的测量上限处回差为零。例如，有的变送器的校准规程规定在测量上限处所加被测量应稍超限才作反行程。如果被测量不稍超限就作反行程，将造成测量上限处回差为零。

c) 回差为负值。这可能由于变送器的零漂移、热零点漂移或热灵敏度漂移等原因造成。也可能由于测量仪器切换量程、工作粗心或校准工作条件的其它变化造成。也可能是变送器本身的问题。应该排除影响因素后再作校准。

d) 重复性数值变化剧烈，甚至出现为零的重复性。这可能由于粗心的操作、测量仪器的不确定度（精度）或量程选择不当、测量仪器读数的有效数字位数选取不够所致。

C.2.2 不合理数据发现示例

表 C.4 用计算机检查表 C.1、表 C.2 和表 C.3 原始数据的不合理数据的结果

| 检查项目 | 渐增相邻数据对的 相对个数 | 渐减相邻数据对的 相对个数 | 相等相邻数据对的 相对个数 | H=0 | H=1 |
|-------|------------------|------------------|------------------|-------|-------|
| 表 C.1 | 87.50 % | 87.50 % | 2.08 % | 100 % | 3.3 % |
| 表 C.2 | 50.0 % | 50.0 % | 0.0 % | 0.0 % | 0.0 % |
| 表 C.3 | 56.25 % | 41.67 % | 2.08 % | 0.0 % | 0.0 % |

a) 从表 C.4 可见，可以认为表 C.2 和表 C.3 的原始数据明显不含不合理数据。表 C.2 的原始数据的判定结果乃是不含不合理数据的典型情况。

b) 我们来考察表 C.1 数据，可发现随测量循环的增加，实测数据具有明显的渐增性。从表 C.4 也

可看出，渐增相邻数据对的相对个数与渐减相邻数据对的相对个数相差悬殊。这种原始数据具有明显的温漂等成份，不可能准确地算出变送器的性能指标，故不宜用于校准计算。

c) 图 C.2 所示为某变送器 (m=6, n=3, 原始数据从略) 的误差曲线。由于校准点只有三个循环，故用前面的统计检验法无法准确发现可疑数据。除了在变送器的测量上限处回差为零属于一种不合理情况之外，经判定无其他不合理数据。但从图 C.2 可看出，其 CHR 曲线变化剧烈，非常不合理。因而，可以判定本变送器的实测数据是有问题的，不宜用于校准计算。

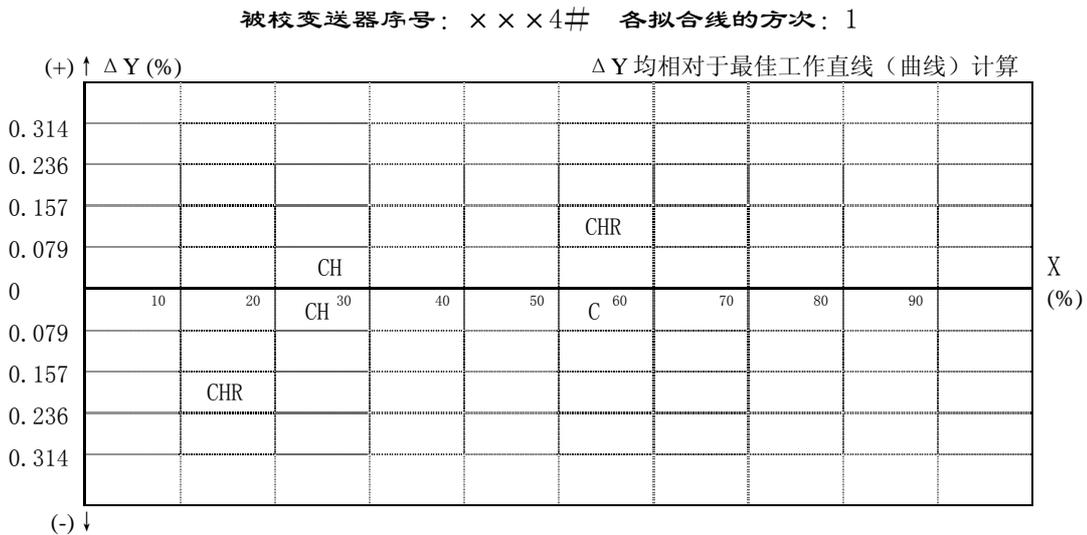


图 C.2 本例所示为某变送器的相对于最佳的工作特性直线（曲线）的线性度、回差、重复性的各种误差曲线。

从图可见，CHR 曲线(包线)变化无规律，且剧烈。故疑有可疑数据。图中也可看出不合理数据。

- C——Conformity;
- CH---Conformity and Hyxtersis
- CHR---Conformity and Hyteresis and Repeatanility

湖南泽天传感科技有限公司标准

<http://www.hnzts.com>

CYB230 型 压力变送器

Q/ZT 001-2019

2019 年 5 月 10 日印

*

未经许可 不得翻印