



中华人民共和国国家标准

GB/T 30500—2014

气体超声流量计使用中检验 声速检验法

Ultrasonic gas flow meter performance online audit—
Method using speed of sound checking

2014-02-19 发布

2014-06-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和符号	2
3.1 术语和定义	2
3.2 符号	2
4 基本原理	3
4.1 理论声速	3
4.2 测量声速	4
4.3 声速检验法的原理	4
5 技术要求	5
5.1 气体条件	5
5.2 气体组成测量	5
5.3 压力测量	5
5.4 温度测量	5
5.5 安装条件	5
5.6 技术要求	5
6 声速检验	6
6.1 测量条件	6
6.2 测量设备	6
6.3 测量前检查	6
6.4 测量程序	6
7 测量结果处理	7
7.1 声速偏差计算	7
7.2 最大声速差计算	7
7.3 重复性计算	7
8 检验结果	8
9 检验间隔	8
附录 A (资料性附录) 天然气和其他烃类气体中的声速计算	9
附录 B (资料性附录) 超声流量计的信息诊断	17

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准在起草过程中参考了美国天然气协会第 9 号技术报告 (AGA Report No.9)《用多声道超声流量计测量天然气流量》(Measurement of gas by multi path ultrasonic meters) 和第 10 号技术报告 (AGA Report No.10)《天然气和其他相关烃类气体中的声速》(Speed of sound in natural gas and other related hydrocarbon gases) 的部分内容。

本标准在起草过程中参考了 JJG 1030—2007《超声流量计》。本标准的主要技术要求与 JJG 1030—2007 的主要差异如下：

- 增加了声速检验法的基本原理；
- 明确了声速检验法的技术要求；
- 对声速检验法的操作程序做了规定；
- 对声速检验结果的处理方法做了规定；
- 附录 A“天然气和其他烃类气体中的声速计算”主要参考 AGA Report No.10 进行编写。

本标准由全国石油天然气标准化技术委员会 (SAC/TC 355) 提出并归口。

本标准起草单位：国家石油天然气大流量计量站、国家石油天然气大流量计量站南京分站、国家石油天然气大流量计量站成都分站。

本标准主要起草人：肖迪、郑琦、张福元、高军、段继芹、马福军、郭亮、成晓一、于栋。

气体超声流量计使用中检验 声速检验法

1 范围

本标准规定了用声速检验法对气体超声流量计进行使用中检验的方法。

本标准适用于以传播时间差法为原理、具备自诊断功能的插入式气体超声流量计。

表 1 规定了本标准可用的气体特性范围。

表 1 符合本标准的气体混合物的特性范围

项 目	适 用 范 围	
摩尔分数/%	甲烷	45.0~100.0
	氮气	0~50.0
	二氧化碳	0~10.0
	乙烷	0~10.0
	丙烷	0~4.0
	总丁烷	0~1.0
	总戊烷	0~0.3
	碳六加	0~0.2
	氦气	0~0.2
	氢气	0~10.0
	一氧化碳	0~3.0
	水	0~0.05
	硫化氢	0~0.02
温度/℃	-8~62	
压力(绝压)/MPa	0.2~12	

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 3836.1 爆炸性环境 第 1 部分:设备 通用要求

GB 3836.2 爆炸性环境 第 2 部分:由隔爆外壳“d”保护的的设备

GB 3836.4 爆炸性环境 第 4 部分:由本质安全型“i”保护的的设备

GB/T 13609 天然气取样导则

GB/T 13610 天然气的组成分析 气相色谱法

GB/T 18603 天然气计量系统技术要求

GB/T 18604 用气体超声流量计测量天然气流量
GB 50251 输气管道工程设计规范

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

声速 speed of sound

声波在介质中的传播速度。

3.1.2

传播时间 transit time

超声流量计发射的脉冲信号在介质中传播的时间。

3.1.3

平均声速 average speed of sound

超声流量计各声道测量到的声速平均值。

3.1.4

理论声速 theoretical speed of sound

通过热力学公式得到的理论上的声速。

3.1.5

计算声速 calculate speed of sound

利用声速计算软件计算得到的声速。

3.1.6

声速偏差 speed of sound deviation

测量声速与计算声速之间的偏差。

3.1.7

最大声速差 maximum speed of sound path spread

超声流量计各声道测量声速最大值与最小值之间的差值。

3.2 符号

本标准所用符号和单位见表 2。

表 2 符号和单位

符号	名称	量纲	单位
A	流量计流通面积	L^2	m^2
C	计算声速	LT^{-1}	m/s
C_f	测量声速	LT^{-1}	m/s
$\overline{C_f}$	平均声速	LT^{-1}	m/s
c_p	比定压热容	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	$kJ/(kg \cdot K)$
c_v	比定容热容	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	$kJ/(kg \cdot K)$
L	声道长度	L	m

表 2 (续)

符号	名 称	量 纲	单 位
M	摩尔质量	M	kg/mol
p	工作条件下的绝对静压	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
q	流量计测量体积流量	L^3T^{-1}	m^3/s
R	通用气体常数	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	$kJ/(kg \cdot K)$
T	热力学温度	Θ	K
V	流体轴向平均流速	LT^{-1}	m/s
V_m	流体轴向流速	LT^{-1}	m/s
Z	压缩因子	1	
ρ	摩尔密度	L^{-3}	m^{-3}
κ	等熵指数	1	

注 1: 量纲中: 符号 L 为长度, 符号 T 为时间, 符号 M 为质量, 符号 Θ 为热力学温度。
注 2: 表中未列符号在文中出现处加以说明。

4 基本原理

4.1 理论声速

声波在介质中的传播是由一个特定的速度来表征的。理论声速是与介质的压力、温度和组分有关的函数,由热力学公式推导出的理论声速计算表达式见式(1):

$$C = \left\{ \left(\frac{c_p}{c_v} \right) \left(\frac{RT}{M} \right) \left[Z + \rho \left(\frac{\partial Z}{\partial \rho} \right)_T \right] \right\}^{0.5} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- c_v —— 气体的比定容热容;
- c_p —— 气体的比定压热容;
- R —— 通用气体常数;
- T —— 气体的热力学温度;
- M —— 气体的摩尔质量;
- Z —— 气体的压缩因子;
- ρ —— 气体的摩尔密度;
- $\partial Z/\partial \rho$ —— Z 对 ρ 的一次偏导数。

其中 c_v 和 c_p 的表达式见式(2)、式(3)或式(4):

$$c_v = c_p - R \left\{ 1 + T \int_0^p \left[\frac{T}{\rho} \left(\frac{\partial^2 Z}{\partial T^2} \right)_\rho + \frac{2}{\rho} \left(\frac{\partial Z}{\partial T} \right)_\rho \right] d\rho \right\} \dots\dots\dots (2)$$

$$c_p = c_v + \left(\frac{T}{\rho^2} \right) \frac{\left[\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_\rho \right]^2}{\left[\left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_T \right]} \dots\dots\dots (3)$$

或

$$c_p = c_v + R \frac{\left[Z + T \left(\frac{\partial Z}{\partial T} \right)_p \right]^2}{\left[Z + \rho \left(\frac{\partial Z}{\partial \rho} \right)_T \right]} \dots\dots\dots(4)$$

通过测量介质的温度、压力以及气体组成的数据,可以求得各计算参数,代入上述公式可以求得理论声速。AGA Report No.10 对天然气理论声速计算方法有详细的描述,其概要见附录 A。

4.2 测量声速

超声流量计是由流量计表体、超声换能器及其信号处理单元等构成的流量计量器具。基本原理如图 1 所示。

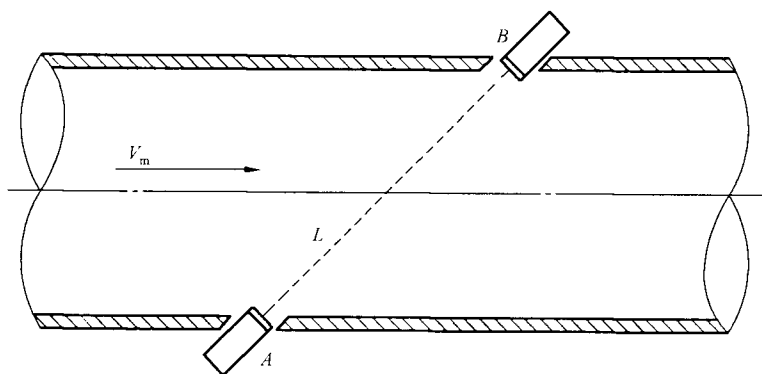


图 1 超声流量计测量基本原理图

声波脉冲由其中一个换能器发射,被另一个换能器所接收。当管道中的流体流速 V_m 不为零时,沿流动方向顺流传播(从 A 到 B)的声波将加快速度,而逆流传播(从 B 到 A)的声波将减慢。因此,声波在介质中的传播速度 C_f 可以用声波传播路径的距离、声波顺流传播时间和逆流传播时间计算,见式(5):

$$C_f = \frac{L}{2} \left(\frac{1}{t_{down}} + \frac{1}{t_{up}} \right) \dots\dots\dots(5)$$

式中:

- L —— 声道长度;
- t_{down} —— 声波在介质中顺流传播的时间;
- t_{up} —— 声波在介质中逆流传播的时间。

测量过程中,通过测量换能器发射脉冲到该脉冲被接收的时间间隔,能够确定声波沿声道顺流和逆流传播时间,从而得到声波在介质中的传播速度。

4.3 声速检验法的原理

超声流量计测量的是体积流量。流体的轴向平均流速与流通面积相乘,能够确定工作条件下的体积流量 q ,见式(6):

$$q = VA \dots\dots\dots(6)$$

式中:

- V —— 流体的轴向平均流速;
- A —— 测量管的截面积。

其中,流体的轴向平均流速是由流量计各声道测量的流体流速采用积分计算得到,见式(7):

$$V = \sum f(V_m) \dots\dots\dots(7)$$

根据图 1 的基本原理,如果声道与测量管轴线间的夹角为 φ ,则流体流速的表达式见式(8):

$$V_m = \frac{L}{2\cos\varphi} \left(\frac{1}{t_{\text{down}}} - \frac{1}{t_{\text{up}}} \right) \dots\dots\dots(8)$$

超声流量计参与体积流量计算的参数包括声道长度、声道角以及流通面积,这些参数在流量计出厂时就已确定并置入,参数一旦变化就会影响流量测量结果;在流量测量过程中,需要测量的只是声波传播时间。比较式(5)和式(8),声速与流速都是通过测量声波传播时间得到的。

通过测量流体的温度、压力和气体组成,利用声速计算软件计算得到工况条件下介质中的计算声速,与在同一条件下流量计的测量声速进行比较,就可以检验流量计测量声速是否准确,从而对流量计测量的声波传播时间进行验证,对流量计的计量性能进行评价。

5 技术要求

5.1 气体条件

适合开展声速检验法的测量气体组成应满足表 1 中的要求。

5.2 气体组成测量

气体组成分析方法(使用的标准气体和取样方法)应符合 GB/T 13610 和 GB/T 13609 的要求,气相色谱分析仪应具备有效的检定证书。对于 A 级计量系统,开展声速检验采用的标气等级应不低于 1.0 级。

5.3 压力测量

超声流量计配套使用的压力测量仪表应符合 GB/T 18603 的要求,最大允许误差为 $\pm 0.2\%$,具备有效的检定证书。

5.4 温度测量

超声流量计配套使用的温度测量仪表应符合 GB/T 18603 的要求,最大允许误差为 $\pm 0.3^\circ\text{C}$,具备有效的检定证书。

5.5 安装条件

超声流量计、温度测量仪表、压力测量仪表、气体组成分析设备的安装应符合 GB/T 18604 要求。

5.6 技术要求

超声流量计的测量声速应满足表 3 的要求。

表 3 流量计测量声速技术要求

声速偏差允许范围, E	$\pm 0.2\%$
各声道测量最大声速差允许范围, E_{max}	0.5 m/s
测量重复性优于, E_r	0.05%

6 声速检验

6.1 测量条件

6.1.1 气体流动条件

测量管道内的气体流动平稳,温度分布均匀。气体流速不低于流量计分界流量对应的流速。

6.1.2 环境条件

环境温度、湿度和大气压力应满足测量仪表正常工作要求。所有测量设备、测量场地都应满足 GB 50251 的要求,所有电气设备必须符合 GB 3836.1、GB 3836.2 和 GB 3836.4 的安全防爆要求。

6.2 测量设备

6.2.1 计算软件

理论声速计算软件程序应采用 AGA Report No.10 提供的计算方法,过程参数和计算结果应满足 AGA Report No.10 提供的程序校验要求。

6.2.2 气体组成测量设备

测量气体组成采用的气相色谱分析仪、标准气体和取样方法应符合 5.2 的要求。测量前,应对色谱分析仪进行校准。为保证测量数据具有代表性,推荐采用在线气相色谱分析仪测量气体组成。

6.2.3 压力测量仪表

压力测量仪表应符合 5.3 的要求,单次测量压力波动不超过 $\pm 0.5\%$ 。

6.2.4 温度测量仪表

温度测量仪表应符合 5.4 的要求,单次测量温度变化不超过 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.3 测量前检查

6.3.1 报警文件检查

检查超声流量计的报警记录,确认无影响流量计计量的报警,方可进行使用中检验。

6.3.2 信号检查

通过计算机通讯或现场读取流量计的诊断参数,主要包括:信号的增益值、信号接收质量、信噪比和各声道测量声速比等,各项指标的数值应在产品说明书允许范围内。检查方法参见附录 B。

6.4 测量程序

6.4.1 设置流量点

一般选择常用流量点;如常用流量点在流量计分界流量点以下,应调节流量至分界流量点以上。

6.4.2 测量次数

在设置流量点连续测量次数不低于 3 次。

6.4.3 测量步骤

测量步骤如下：

- a) 把流量调到设定的流量值。
- b) 待流量稳定后,记录各声道的测量声速,最大声速差应符合 5.6 的要求。
- c) 进行采样分析,同时测量记录管道内气体的温度、压力数据。把采样气体组分,采样时间内管道的平均压力和温度输入理论声速计算软件。
- d) 将计算声速与流量计测量的平均声速进行比较,声速偏差应符合 5.6 的要求。
- e) 重复上述步骤,连续测量不少于 3 次。
- f) 计算出测量重复性,应符合 5.6 的要求。

7 测量结果处理

7.1 声速偏差计算

测量平均声速与计算声速偏差计算表达式见式(9)：

$$E = \frac{\overline{C_f} - C}{C} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中：

E ——测量平均声速与计算声速偏差；

C ——计算声速；

$\overline{C_f}$ ——超声流量计测量平均声速。

7.2 最大声速差计算

单一声道测量到的最大声速差计算表达式见式(10)：

$$E_{\max} = (C_f)_{\max} - (C_f)_{\min} \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中：

E_{\max} ——单一声道测量到的最大声速差；

$(C_f)_{\max}$ 、 $(C_f)_{\min}$ ——单一声道测量到的最大声速和最小声速。

7.3 重复性计算

连续重复测量 i 次($i=1,2,3,\dots,n$),声速偏差的测量重复性按式(11)评定：

$$E_r = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (E_i - \overline{E})^2} \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中：

E_r ——测量重复性；

E_i ——第 i 次测量的声速偏差；

\overline{E} —— n 次测量的声速偏差平均值。

8 检验结果

采用声速检验的流量计,应发给检验报告。报告在内容上应包括检验项目和测量结果,并说明是否符合要求。

9 检验间隔

开展声速检验的时间间隔一般不超过12个月。

附录 A
(资料性附录)

天然气和其他烃类气体中的声速计算

A.1 声速计算

声速是由热力学关系式推导而来的,基本关系式见式(1)~(4),压缩因子 Z 的相关计算主要参考 AGA Report No.8 提供的基础方程:

$$Z = 1 + \frac{DB}{K^3} - D \sum_{n=13}^{18} C_n^* T^{-u_n} + \sum_{n=13}^{58} C_n^* T^{-u_n} (b_n - c_n k_n D^{k_n}) D^{b_n} \exp(-c_n D^{k_n}) \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

$$B = \sum_{n=1}^{18} a_n T^{-u_n} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j E_{ij}^{u_n} (K_i K_j)^{\frac{3}{2}} B_{nij}^* \dots\dots\dots (A.2)$$

Z 对 T 求第一次偏导数为:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)_d &= \frac{D}{K^3} \left(\frac{\partial B}{\partial T}\right)_d + D \sum_{n=13}^{18} u_n C_n^* T^{-\langle u_n+1 \rangle} \\ &\quad - \sum_{n=13}^{58} u_n C_n^* T^{-\langle u_n-1 \rangle} (b_n - c_n k_n D^{k_n}) D^{b_n} \exp(-c_n D^{k_n}) \dots\dots\dots (A.3) \end{aligned}$$

式中:

$$\left(\frac{\partial B}{\partial T}\right)_d = - \sum_{n=1}^{18} u_n a_n T^{-\langle u_n+1 \rangle} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j E_{ij}^{u_n} (K_i K_j)^{\frac{3}{2}} B_{nij}^* \dots\dots\dots (A.4)$$

Z 对 T 求第二次偏导数为:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial^2 Z}{\partial T^2}\right)_d &= \frac{D}{K^3} \left(\frac{\partial^2 B}{\partial T^2}\right)_d - D \sum_{n=13}^{18} u_n (u_n + 1) C_n^* T^{-\langle u_n-2 \rangle} \\ &\quad + \sum_{n=13}^{58} u_n (u_n + 1) C_n^* T^{-\langle u_n-2 \rangle} (b_n - c_n k_n D^{k_n}) D^{b_n} \exp(-c_n D^{k_n}) \dots\dots (A.5) \end{aligned}$$

式中:

$$\left(\frac{\partial^2 B}{\partial T^2}\right)_d = \sum_{n=1}^{18} u_n (u_n + 1) a_n T^{-\langle u_n-2 \rangle} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j E_{ij}^{u_n} (K_i K_j)^{\frac{3}{2}} B_{nij}^* \dots\dots\dots (A.6)$$

Z 对 ρ 求第一次偏导数为:

$$\left(\frac{\partial Z}{\partial \rho}\right)_T = K^3 \left\{ \begin{aligned} &\left[\frac{B}{K^3} - \sum_{n=13}^{18} C_n^* T^{-u_n} \right] + \sum_{n=13}^{58} C_n^* T^{-u_n} (-c_n k_n^2 D^{\langle k_n-1 \rangle}) D^{b_n} \exp(-c_n D^{k_n}) \\ &+ \sum_{n=13}^{58} C_n^* T^{-u_n} (b_n - c_n k_n D^{k_n}) b_n D^{\langle b_n-1 \rangle} \exp(-c_n D^{k_n}) \\ &- \sum_{n=13}^{58} C_n^* T^{-u_n} (b_n - c_n k_n D^{k_n}) D^{b_n} (c_n k_n D^{\langle k_n-1 \rangle}) \exp(-c_n D^{k_n}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (A.7)$$

A.2 理想气体比热容、焓和熵的计算

理想气体比热容比 $\frac{c_p^0}{c_v^0}$ 、真实气体比热容比 $\frac{c_p^b}{c_v^b}$ 和等熵指数 κ 是相关的,但皆为独立的数值。在某些工业气体应用中,理想气体比热容比被假定等同于等熵指数。

纯组分理想气体比定压热容计算如下:

$$c_p^0 = B + C \left[\frac{D/T}{\sinh(D/T)} \right]^2 + E \left[\frac{F/T}{\cosh(F/T)} \right]^2 + G \left[\frac{H/T}{\sinh(H/T)} \right]^2 + I \left[\frac{J/T}{\cosh(J/T)} \right]^2 \dots\dots\dots (A.8)$$

纯组分理想气体的焓计算如下:

$$H^0 = A + BT + CD \coth(D/T) - EF \tanh(F/T) + GH \coth(H/T) - IJ \tanh(J/T) \dots\dots\dots (A.9)$$

真实气体的焓计算如下:

$$H = H^0 + RT \left[(Z - 1) - \int_0^p \frac{T}{\rho} \left(\frac{\partial Z}{\partial T} \right) \partial \rho \right] \dots\dots\dots (A.10)$$

纯组分理想气体的熵计算如下:

$$S^0 = K + B \ln(T) + C \{ (D/T) \coth(D/T) - \ln[\sinh(D/T)] \} - E \{ (F/T) \tanh(F/T) - \ln[\cosh(F/T)] \} + G \{ (H/T) \coth(H/T) - \ln[\sinh(H/T)] \} - I \{ (J/T) \tanh(J/T) - \ln[\cosh(J/T)] \} \dots\dots\dots (A.11)$$

混合熵计算如下:

$$S_{\text{mixing}} = -R \sum_{i=1}^N x_i \ln(x_i) \dots\dots\dots (A.12)$$

真实气体熵计算如下:

$$S = S^0 + S_{\text{mixing}} - R \ln \left(\frac{p}{Z p^0} \right) - R \int_0^p \left[\frac{(Z - 1)}{\rho} + \frac{T}{\rho} \left(\frac{\partial Z}{\partial T} \right) \right] \partial \rho \dots\dots\dots (A.13)$$

式中:

$$p^0 = 0.101\ 325\ \text{MPa}.$$

表 A.1 给出计算理想气体比定压热容、焓和熵的系数。表中,能量计量单位是 cal(1 cal=4.184 J)。

表 A.1 理想气体比热容、焓和熵的计算系数

组分	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
甲烷	-29 776.4	7.954 54	43.941 7	1 037.09	1.563 73	813.205	-24.902 7	1 019.98	-10.160 1	1 070.14	-20.061 5
氮气	-3 495.34	6.955 87	0.272 892	662.738	-0.291 318	-680.562	1.789 80	1 740.06	0	100	4.498 23
二氧化碳	20.730 7	6.962 37	2.686 45	500.371	-2.564 29	-530.443	3.919 21	500.198	2.132 90	2 197.22	5.813 81
乙烷	-37 524.4	7.981 39	24.366 8	752.320	3.539 90	272.846	8.447 24	1 020.13	-13.273 2	869.510	-22.401 0
丙烷	-56 072.1	8.143 19	37.062 9	735.402	9.381 59	247.190	13.455 6	1 454.78	-11.734 2	984.518	-24.042 6
水	-13 773.1	7.971 83	6.270 78	2 572.63	2.050 10	1 156.72	0	100	0	100	-3.249 89
硫化氢	-10 085.4	7.946 80	-0.083 8	433.801	2.855 39	843.792	6.315 95	1 481.43	-2.884 57	1 102.23	-0.515 51
氢气	-5 565.6	6.667 89	2.334 58	2 584.98	0.749 019	559.656	0	100	0	100	-7.948 21
一氧化碳	-2 753.49	6.958 54	2.024 41	1 541.22	0.096 774	3 674.81	0	100	0	100	6.233 87
氧气	-3 497.45	6.963 02	2.400 13	2 522.05	2.217 52	1 154.15	0	100	0	100	9.197 49
异丁烷	-72 387	17.814 3	58.206 2	1 787.39	40.762 1	808.645	0	100	0	100	-44.134 1
正丁烷	-72 674.8	18.638 3	57.417 8	1 792.73	38.659 9	814.151	0	100	0	100	-46.193 8
异戊烷	-91 505.5	21.386 1	74.341 0	1 701.58	47.058 7	755.899	0	100	0	100	-60.247 4
正戊烷	-83 845.2	22.501 2	69.578 9	1 719.58	46.216 4	802.174	0	100	0	100	-62.219 7
正己烷	-94 982.5	26.622 5	80.381 9	1 718.49	55.659 8	802.069	0	100	0	100	-77.536 6
正庚烷	-103 353	30.402 9	90.694 1	1 669.32	63.202 8	786.001	0	100	0	100	-92.016 4
正辛烷	-109 674	34.084 7	100.253	1 611.55	69.767 5	768.847	0	100	0	100	-106.149
正壬烷	-122 599	38.501 4	111.446	1 646.48	80.501 5	781.588	0	100	0	100	-122.444
正癸烷	-133 564	42.714 3	122.173	1 654.85	90.225 5	785.564	0	100	0	100	-138.006
氦气	0	4.968	0	100	0	100	0	100	0	100	1.819 8
氩气	0	4.968	0	100	0	100	0	100	0	100	8.677 6

注：表中相应系数的单位：A 为 cal/mol, B、C、E、G、I 和 K 为 cal/(mol·K), D、F、H 和 J 为 K。

A.3 声速计算流程图

扩展 AGA Report No.8 计算过程后,声速、焓、熵的简要计算方法参见图 A.1。

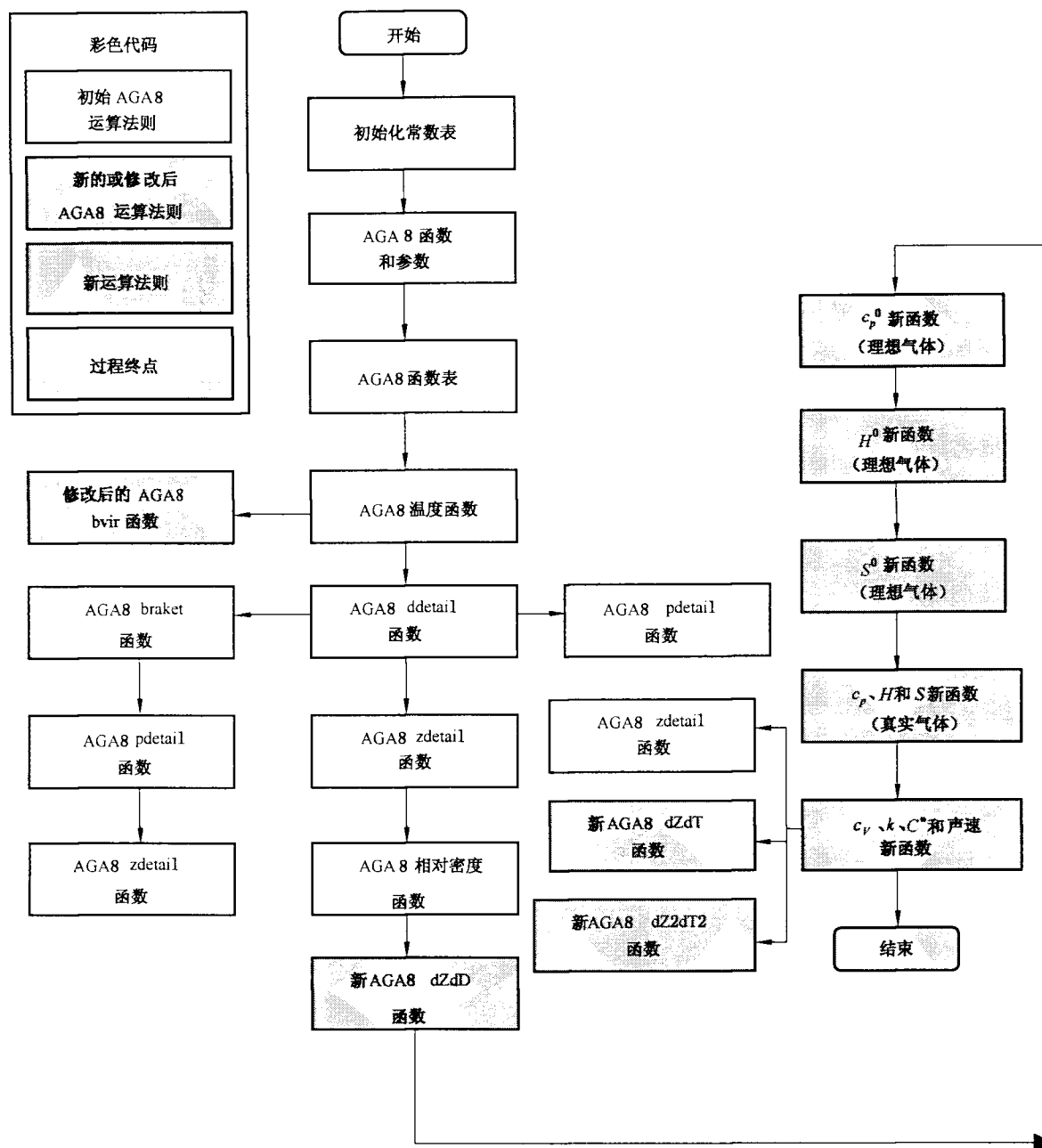


图 A.1 声速计算程序流程图

A.4 程序校验

A.4.1 用于程序开发的详细输出结果

如下三种计算情况提供了特定输入条件下详细的中间和最终输出计算数据。这些数据有助于计算

程序开发。

A.4.1.1 详细的输出结果 # 1

输入	
组分:	纯甲烷
压力:	8.000 MPa(1 160.301 9 psi)
温度:	20.0 °C(68.0 °F)
输出	
摩尔密度:	3.791 749 63 mol/dm ³
摩尔质量:	16.043 000 0 g/mol
压缩因子:	0.865 613 011
$\partial Z/\partial T$:	0.001 370 797 803
$\partial^2 Z/\partial T^2$:	-1.088 846 831 27e-005
$\partial Z/\partial p$:	-0.026 028 123 74
$\partial B/\partial T$:	0.000 396 764 069
$\partial^2 B/\partial T^2$:	-3.347 199 161 56e-006
c_p^0 (理想气体):	2.214 373 95 kJ/(kg·K)
c_p (真实气体):	2.869 130 18 kJ/(kg·K)
c_v (真实气体):	1.783 501 08 kJ/(kg·K)
等熵指数:	1.425 277 99
声速:	432.944 437 m/s
比焓:	528.977 205 kJ/kg
比熵:	9.094 751 39 kJ/(kg·K)
C^* :	0.732 987 437

A.4.1.2 详细的输出结果 # 2

输入	
组分:	Amarillo
压力:	4.000 MPa(580.150 95 psi)
温度:	10.0 °C(50.0 °F)
输出	
摩尔密度:	1.873 961 78 mol/dm ³
摩尔质量:	17.595 510 9 g/mol
压缩因子:	0.906 663 30
$\partial Z/\partial T$:	0.000 849 341 12
$\partial^2 Z/\partial T^2$:	-7.376 625 016 1e-6
$\partial Z/\partial p$:	-0.044 293 901 0
$\partial B/\partial T$:	0.000 479 628 44
$\partial^2 B/\partial T^2$:	-4.280 809 739 1e-006
c_p^0 (理想气体):	2.060 187 14 kJ/(kg·K)
c_p (真实气体):	2.400 088 11 kJ/(kg·K)
c_v (真实气体):	1.645 115 20 kJ/(kg·K)
等熵指数:	1.325 353 94

声速: 400.972 536 m/s
 比焓: 499.296 977 kJ/kg
 比熵: 9.022 996 18 kJ/(kg · K)
 C* : 0.704 302 274

A.4.1.3 详细的输出结果 #3

输入
 组分:见表 A.2。

表 A.2 假定为 21 种组分的混合物

组分	摩尔分数/%	组分	摩尔分数/%	组分	摩尔分数/%
甲烷	86.29	氮气	2.0	二氧化碳	0.50
乙烷	5.0	丙烷	3.0	水	0.01
硫化氢	0.1	氢气	0.01	一氧化碳	0.01
氧气	0.02	异丁烷	1.10	正丁烷	0.90
异戊烷	0.35	正戊烷	0.25	正己烷	0.20
正庚烷	0.10	正辛烷	0.05	正壬烷	0.02
正癸烷	0.01	氦气	0.04	氩气	0.04

压力: 6.000 MPa(870.226 4 psi)
 温度: 40.0 °C(104.0 °F)
 输出
 摩尔密度: 2.625 335 92 mol/dm³
 摩尔质量: 19.478 014 4 g/mol
 压缩因子: 0.877 763 047
 $\partial Z/\partial T$: 0.001 102 513 88
 $\partial^2 Z/\partial T^2$: -8.723 646 404 5e-006
 $\partial Z/\partial p$: -0.037 542 316 3
 $\partial B/\partial T$: 0.000 459 432 0
 $\partial^2 B/\partial T^2$: -3.776 948 019e-006
 c_p^0 (理想气体): 2.082 986 99 kJ/(kg · K)
 c_p (真实气体): 2.556 418 33 kJ/(kg · K)
 c_v (真实气体): 1.736 999 84 kJ/(kg · K)
 等熵指数: 1.306 486 21
 声速: 391.528 389 m/s
 比焓: 508.004 20 kJ/kg
 比熵: 8.514 346 81 kJ/(kg · K)
 C* : 0.710 708 883

A.4.2 用于一致性检查和程序开发的结果列表

表 A.3 中的气体混合物与 AGA Report No.8 第二版已经提供的气体混合物样品配套, Gulf Coast、Amarillo、Ekofisk、High N₂ 和 High CO₂ 五种混合物代表了工业上使用的商品天然气的气质范围。

表 A.3 典型天然气组成

组分	Gulf Coast	Amarillo	Ekofisk	High N ₂	High CO ₂
甲烷	96.522 2	90.672 4	85.906 3	81.441 0	81.211 0
氮气	0.259 5	3.128 4	1.006 8	13.465 0	5.702 0
二氧化碳	0.595 6	0.467 6	1.495 4	0.985 0	7.585 0
乙烷	1.818 6	4.527 9	8.491 9	3.300 0	4.303 0
丙烷	0.459 6	0.828 0	2.301 5	0.605 0	0.895 0
异丁烷	0.097 7	0.103 7	0.348 6	0.100 0	0.151 0
正丁烷	0.100 7	0.156 3	0.350 6	0.104 0	0.152 0
异戊烷	0.047 3	0.032 1	0.050 9	0.000 0	0.000 0
正戊烷	0.032 4	0.044 3	0.048 0	0.000 0	0.000 0
正己烷	0.066 4	0.039 3	0.000 0	0.000 0	0.000 0

表 A.4 是根据本报告中描述的运算法则编制的。提供的数字可求解值适用于一致性检查,但并不反映算法本身固有的不确定度。

表 A.4 声速

温度/℃	压力/MPa	速度/(m/s)				
		Gulf Coast	Amarillo	Ekofisk	High N ₂	High CO ₂
0	0.101 560	419.586 7	409.327 4	393.900 8	399.394 8	385.819 8
0	0.689 476	416.583 9	406.230 7	390.052 4	397.019 0	382.785 0
0	1.378 951	413.199 8	402.733 4	385.637 4	394.387 4	379.345 1
0	2.757 903	407.005 8	396.309 4	377.286 7	389.737 8	372.980 9
0	4.136 854	401.852 3	390.937 9	369.950 3	386.135 1	367.585 6
0	5.515 806	398.153 1	387.062 2	364.255 1	383.902 7	363.591 4
0	6.894 757	396.420 9	385.236 3	361.071 2	383.411 6	361.544 4
0	8.273 709	397.248 9	386.103 3	361.510 0	385.056 7	362.089 2
10	0.101 560	426.652 3	416.202 4	400.470 7	406.141 7	392.295 3
10	0.689 476	424.041 8	413.503 4	397.072 9	404.108 3	389.647 5
10	1.378 951	421.127 0	410.482 8	393.207 0	401.881 6	386.673 1
10	2.757 903	415.882 2	405.026 0	386.001 8	398.033 2	381.259 3
10	4.136 854	411.641 9	400.588 7	379.810 4	395.175 9	376.789 6
10	5.515 806	408.728 3	397.509 5	375.117 2	393.559 9	373.599 9
10	6.894 757	407.519 5	396.200 5	372.541 8	393.460 1	372.089 0
10	8.273 709	408.430 5	397.106 2	372.817 5	395.157 2	372.700 7

表 A.4 (续)

温度/℃	压力/MPa	速度/(m/s)				
		Gulf Coast	Amarillo	Ekofisk	High N ₂	High CO ₂
37.777 78	0.101 560	445.261 0	434.321 7	417.803 4	423.938 7	409.386 6
37.777 78	0.689 476	443.522 4	432.507 4	415.412 4	422.665 3	407.599 6
37.777 78	1.378 951	441.635 4	430.531 5	412.751 7	421.325 3	405.644 5
37.777 78	2.757 903	438.421 4	427.143 5	407.987 3	419.196 5	402.259 2
37.777 78	4.136 854	436.082 1	424.643 2	404.149 3	417.903 9	399.706 3
37.777 78	5.515 806	434.785 5	423.209 4	401.489 1	417.574 9	398.159 9
37.777 78	6.894 757	434.709 5	423.032 0	400.285 7	418.337 9	397.805 2
37.777 78	8.273 709	436.032 1	424.300 2	400.828 8	420.314 8	398.827 9
54.444 44	0.101 560	455.788 9	444.582 7	427.635 8	434.023 3	419.081 7
54.444 44	0.689 476	454.455 6	443.180 2	425.715 2	433.102 7	417.695 4
54.444 44	1.378 951	453.039 8	441.683 6	423.608 2	432.168 9	416.207 7
54.444 44	2.757 903	450.736 4	439.223 3	419.934 6	430.812 8	413.730 8
54.444 44	4.136 854	449.229 0	437.570 8	417.115 7	430.209 3	412.013 4
54.444 44	5.515 806	448.633 1	436.849 5	415.325 8	430.444 3	411.175 4
54.444 44	6.894 757	449.066 5	437.184 7	414.748 6	431.601 7	411.339 1
54.444 44	8.273 709	450.642 9	438.696 9	415.566 1	433.758 4	412.622 0

附 录 B
(资料性附录)
超声流量计的信息诊断

开展声速检验前,应对流量计及配套设备仪表进行检查,包括温度变送器、压力变送器、色谱分析仪和流量计算机,确保各设备仪表均处于正常运行状态。通过系统的检测,可以发现和排除一些影响流量计量的因素。

利用流量计的信息诊断功能,检查以下各项指标,其偏差应在产品说明书允许的范围内。如果存在过大偏差,需要分析产生偏差原因。

B.1 信号的增益值

每一声道信号的增益值,即安装在表体上的探头发出的(接收)信号的强度。

当气体的压力变化或换能器及其反射管壁(如果声道布局为反射式)表面出现脏污时,流量计会自动调整每个换能器发射超声脉冲的增益水平,以保证一定的信号强度。当流量计增益值超出厂家规定要求时,应检查管道压力;如果压力在流量计正常工作范围内,可能是脏污或者换能器老化等问题,需要对流量计进行清洗或更换换能器。

B.2 信号接收质量

正常工作的流量计的接收信号的百分比高于厂家规定的正常值,且各声道接收信号的百分比差异不大。如果流量计某个声道接收信号的百分比明显变小,则可能是因为流速较快或其他影响换能器的工作因素,或换能器有故障。

B.3 信噪比

正常工作的流量计的信号和噪声比值的特点是:信噪比高于厂家规定的正常值,各声道信噪比差异不大,声道距离长的声道的信噪比略低。如果某个声道的信噪比远小于厂家规定正常范围,则表明噪声对信号的影响过大,可能产生的问题有:

- a) 探测不到超声波信号,计量中止;
- b) 探测到错误的超声波信号,导致传输时间测量错误,从而导致计量错误。

此时,需要将噪声的来源隔离或消除。

B.4 各声道测量声速的比较(相对声速比较)

三个声道及以上的流量计可通过每个声道声速值的比较对流量计各声道的工作情况进行监测。这种相对声速比较一般都包括在流量计的自诊断信息中,且与气体组分无关,可以在流动状态下进行分析。各声道间的相对声速比较可用相对声速偏差曲线图表示。图 B.1 为一台 5 声道流量计的相对声速偏差曲线图,显示了在干标和实流校准时测得的各声道的相对声速偏差。图中,横坐标按照声道数进行编号,5/1 表示声道 5 与声道 1 的相对声速偏差,依此类推。

流量计声道的结构布置不同,产生的曲线图形状也可能不同。

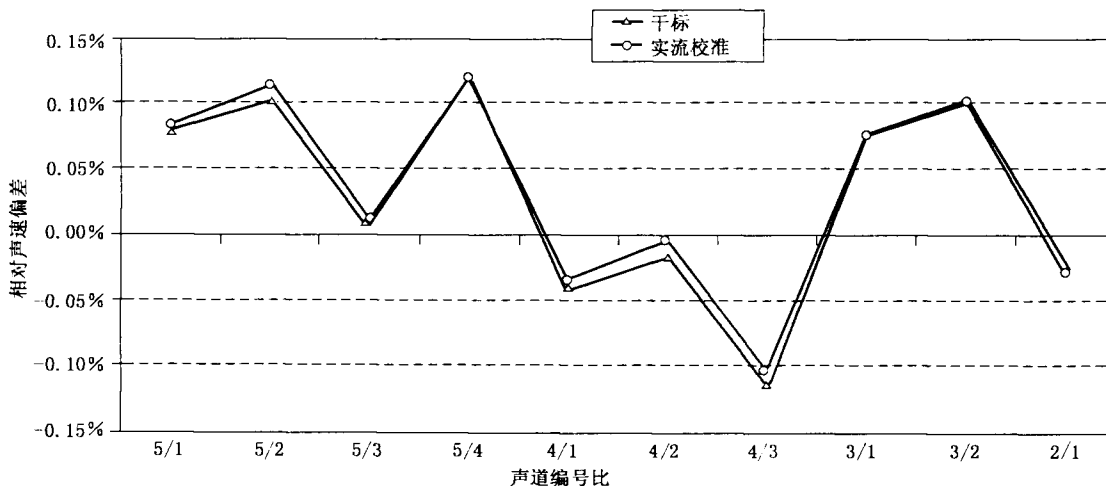


图 B.1 一台 5 声道流量计用氮气干标和实流校准时的相对声速偏差曲线图

相对声速比较随时间的变化趋势可显示流量计声道的故障及可能造成的测量误差。可通过对出厂测试、干标、实流校准和流量计现场计量时的相对声速偏差曲线图进行分析比较，以监测流量计的工作状态。

B.5 流速比

流量计各声道测量得到的流速之间存在着特殊的关系，这种关系反映了由管路结构决定的气体速度剖面。当流速高于 1 m/s 或 2 m/s 时，流量计工作在正常状态下，如果管路条件没有发生变化，各声道间的测量流速关系不会随着时间产生大的变化。因此，可以利用这一特性来监测各声道是否正常工作。

B.6 其他参数

除了声速这一最重要的参数之外，还有许多的参数需要监测，以确保流量计的最佳性能。这些参数的组合可作为形成专用监测系统的基础。表 C.1 是有关自诊断信息分析方法的示例。

表 B.1 自诊断信息分析示例表(pp 代表每个声道)

存在的问题	接收信号质量	增益值 pp	信噪比 pp	声速 pp	流速 pp
换能器故障	×	×		×	×
信号检测问题	×	×		×	×
噪声	×	×	×		
压力测量故障			×		
温度测量故障				×	
脏污	×	×		×	×
流速剖面的变化					×
流速过高	×	×	×		
注：“×”表示存在问题。					

B.7 流态检查

通过观察信号参数,分析气体的流动是否稳定,判断是否存在旋涡、不对称流或者脉动流,流量计的信号接收是否受到噪声干扰。过于复杂流动条件会使流量计工作在非正常状态下,会影响流量测量的准确度。

B.8 信息趋势图

把检定周期内所有声速检验数据进行汇总,建立流量计各信息数据的历史档案,绘制流量计信息趋势图,一般包括:

- a) 增益趋势图;
- b) 信号质量趋势图;
- c) 信噪比趋势图;
- d) 声速比趋势图;
- e) 流速比趋势图。

根据这些趋势图,能够发现一些满足厂家规定要求,但与历史趋势背离的异常数据,通过分析,判断流量计是否发生故障或计量性能发生变化。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
气 体 超 声 流 量 计 使 用 中 检 验
声 速 检 验 法

GB/T 30500—2014

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 40 千字
2014年6月第一版 2014年6月第一次印刷

*

书号: 155066·1-49182 定价 24.00 元



GB/T 30500—2014

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107