



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106643934 B

(45)授权公告日 2019.03.29

(21)申请号 201611005642.6

(22)申请日 2016.11.15

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106643934 A

(43)申请公布日 2017.05.10

(73)专利权人 宁波大学
地址 315211 浙江省宁波市江北区风华路
818号

(72)发明人 杨鸣 汤旭东 曾宇乾 倪佳能

(74)专利代理机构 宁波诚源专利事务所有限公
司 33102

代理人 景丰强 林辉

(51)Int.Cl.
G01F 1/66(2006.01)

(56)对比文件

EP 2887027 A1,2015.06.24,
JP 昭56-4019 A,1981.01.16,
CN 1077796 A,1993.10.27,
CN 105910696 A,2016.08.31,
张立红等.《渐缩形管道中亚音速气流的物
态分析》.《山东建筑工程学院学报》.2005,(第01
期),第85-87页.

审查员 丁长骥

权利要求书1页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

天然气音速计算方法

(57)摘要

本发明公开了一种天然气音速计算方法,天然气音速为 v ,其特征在于:计算天然气音速简化公式为: $v = s_1 t^2 + s_2 p t + s_3 p + s_4 t + c$,其中 p 是待测天然气的气质压力, t 是待测天然气的气质温度, s_1 、 s_2 是常数, $s_3 = A c + B$, $s_4 = A_1 c + B_1$,其中 A 、 B 、 A_1 、 B_1 均为常数, c 是由待测天然气气质决定的参量。



1. 一种天然气音速计算方法,其特征在于:

1) 确定管道内的天然气气质;

2) 根据公式 $v = s_1 t^2 + s_2 p t + s_3 p + s_4 t + c$,得到管道内采样点的天然气音速 v ,其中 p 是待测天然气的气质压力, t 是待测天然气的气质温度, t 的范围为 $-20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$, p 的范围为 $50\text{KPa} \sim 2000\text{KPa}$, $s_1 = -1.128 \times 10^{-3}$, $s_2 = 5.8398 \times 10^{-5}$, $s_3 = 1.26 \times 10^{-5}c - 1.018 \times 10^{-2}$, $s_4 = 1.814 \times 10^{-3}c - 4.139 \times 10^{-2}$,由此 $v = -1.128 \times 10^{-3}t^2 + 5.8398 \times 10^{-5}pt + (1.26 \times 10^{-5}c - 1.018 \times 10^{-2})p + (1.814 \times 10^{-3}c - 4.139 \times 10^{-2})t + c$, c 是由待测天然气气质决定的参量,通过如下步骤得到:

1) 首先利用现有的天然气音速计算公式计算出待测天然气气质在选定的标准气质温度 t_0 ,标准气质压力 p_0 下的标准天然气音速值 v_0 ;

2) 将计算得到的标准天然气音速值 v_0 、对应的标准气质压力 p_0 与标准气质温度 t_0 代入系数 c 的计算公式而得到系数 c :

$$c = \frac{v_0 + 1.128 \times 10^{-3} t_0^2 - 5.8398 \times 10^{-5} p_0 t_0 + 1.019 \times 10^{-2} p_0 + 4.139 \times 10^{-3} t_0}{1.814 \times 10^{-3} t_0 + 1.264 \times 10^{-5} p_0 + 1}。$$

天然气音速计算方法

技术领域

[0001] 本发明涉及天然气流量计量,尤其是一种天然气音速计算方法。

背景技术

[0002] 随着天然气工业的飞速发展,特别是输气管网的大规模建设,用于贸易计量的天然气流量仪表日益增多,其工作压力不断提高,流量范围也不断增大。天然气流量计量是多参数、多组分气体的连续测量,其量值测量具有不可回复性,其测量准确度受众多因素影响。

[0003] 现有的计算天然气音速方法主要是根据美国燃气协会发表的AGA10号报告中提出的计算公式来计算的,该计算方法较为繁琐,设计多次求偏导数以及积分计算,同时由于气体流量计的成本控制,流量计内置的单片机核心计算能力一般,面对高强度、高频率的计算要求时效率低下。

发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是针对上述现有技术存在的问题,提供一种计算简单而高效的天然气音速计算方法。

[0005] 本发明解决上述技术问题所采用的技术方案为:一种天然气音速计算方法,其特征在于:1) 确定管道内的天然气气质;2) 根据公式 $v = s_1 t^2 + s_2 p t + s_3 p + s_4 t + c$,得到管道内采样点的天然气音速 v ,其中 p 是待测天然气的气质压力, t 是待测天然气的气质温度, s_1 、 s_2 是常数, $s_3 = A c + B$, $s_4 = A_1 c + B_1$,其中 A 、 B 、 A_1 、 B_1 均为常数, c 是由待测天然气气质决定的参量,并且 t 的范围为 $-20^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$, p 的范围为 $50\text{KPa} \sim 2000\text{KPa}$ 。

[0006] 为了使得天然气音速的计算误差最小, $s_1 = -1.128 \times 10^{-3}$, $s_2 = 5.8398 \times 10^{-5}$, $s_3 = 1.26 \times 10^{-5} c - 1.018 \times 10^{-2}$, $s_4 = 1.814 \times 10^{-3} c - 4.139 \times 10^{-2}$,由此 $v = -1.128 \times 10^{-3} t^2 + 5.8398 \times 10^{-5} p t + (1.26 \times 10^{-5} c - 1.018 \times 10^{-2}) p + (1.814 \times 10^{-3} c - 4.139 \times 10^{-2}) t + c$ 。

[0007] 系数 c 通过如下步骤得到:

[0008] 1) 首先利用现有的天然气音速计算公式计算出待测天然气气质在选定的标准气质温度 t_0 ,标准气质压力 p_0 下的标准天然气音速值 v_0 ;

[0009] 2) 将计算得到的标准天然气音速值 v_0 、对应的标准气质压力 p_0 与标准气质温度 t_0 代入系数 c 的计算公式而得到系数 c :

$$[0010] \quad c = \frac{v_0 + 1.128 \times 10^{-3} t^2 - 5.8398 \times 10^{-5} p_0 t_0 + 1.019 \times 10^{-2} p_0 + 4.139 \times 10^{-3} t_0}{1.814 \times 10^{-3} t_0 + 1.264 \times 10^{-5} p_0 + 1}。$$

[0011] 与现有技术相比,本发明的优点在于:适用于家用燃气流量计算,能精确、高效的计算出当下的天然气音速,运用到当下主流的气体流量计当中,能提高工作效率。

附图说明

[0012] 图1为天然气音速计算流程图。

具体实施方式

[0013] 以下结合附图实施例对本发明作进一步详细描述。

[0014] 一种天然气音速计算方法,考虑到城镇燃气管道的真实工作环境,气质温度的主要变化范围为-20℃至60℃,气质压力的主要变化范围为50KPa至2000KPa的环境下,因此,本发明的计算方法所涉及到的气质温度与气质压力均在上述所提及的变化范围之内。本发明的计算方法可以克服AGA10号报告中提出的天然气音速计算公式存在的求解繁琐的问题,并以现行的AGA10报告提出的天然气音速计算方式为基准,将本发明计算结果的相对误差控制在0.5%以内。

[0015] 具体地,天然气音速 v 是关于气质温度与气质压力的二次多项式:

$$[0016] \quad v = s_1 t^2 + s_2 p t + s_3 p + s_4 t + c$$

[0017] 其中系数 s_1 、 s_2 是与气质无关的常数项,系数 c 是与气质有关的参量, p 是气质压力(可测得), t 是气质温度(可测得),而系数 s_3 、系数 s_4 均可用与系数 c 有关的线性关系式表示,上述公式中只有一个待定标量 c 。 $s_3 = A c + B$, $s_4 = A_1 c + B_1$,其中 A 、 B 、 A_1 、 B_1 均为常数。

[0018] 为了使得天然气音速的计算误差最小,系数 s_1 为常数项,且值为 $s_1 = -1.128 \times 10^{-3}$;系数 s_2 为常数项,且值为 $s_2 = 5.8398 \times 10^{-5}$;系数 s_3 可以用系数 c 的线性表达式表示,该式为: $s_3 = 1.26 \times 10^{-5} c - 1.018 \times 10^{-2}$;系数 s_4 可以用与系数 c 有关的线性关系式来表示,系数 s_4 的计算公式为: $s_4 = 1.814 \times 10^{-3} c - 4.139 \times 10^{-2}$,只与待标定量 c 有关。

[0019] 而系数 c 的确定可通过以下方式:在气质组成成分已知的条件下,利用美国燃气协会10号报告AGA10提出的音速计算公式计算在任一气质压力 p_0 与任一气质温度 t_0 下的天然气音速大小 v_0 ,将计算得到的 v_0 以及对应的 p_0 、 t_0 代入下式中便可得到 c 的值:

$$[0020] \quad c = \frac{v_0 + 1.128 \times 10^{-3} t^2 - 5.8398 \times 10^{-5} p_0 t_0 + 1.019 \times 10^{-2} p_0 + 4.139 \times 10^{-3} t_0}{1.814 \times 10^{-3} t_0 + 1.264 \times 10^{-5} p_0 + 1}$$

[0021] 因此,本发明公式的具体形式为:

$$[0022] \quad v = -1.128 \times 10^{-3} t^2 + 5.8398 \times 10^{-5} p t + (1.26 \times 10^{-5} c - 1.018 \times 10^{-2}) p + (1.814 \times 10^{-3} c - 4.139 \times 10^{-2}) t + c$$

[0023] 实施例1:

[0024] 以美国燃气协会10号报告所提到的气质GulfCoast例,该气质的主要成分摩尔百分比见表1。

[0025] 表1各种气质主要成分摩尔百分比

[0026]

	甲烷	氮气	二氧化碳	乙烷	丙烷	异丁烷	正丁烷	异戊烷	正戊烷	正己烷
Gulf Coast	96.5222	0.2595	0.5956	1.8186	0.4596	0.0977	0.1007	0.0473	0.0324	0.0664
Amarillo	93.6724	3.1284	0.4676	4.5279	0.828	0.1037	0.1563	0.0321	0.0443	0.0393
High N2	81.441	13.465	0.985	3.3	0.605	0.1	0.104	0	0	0
High CO2	81.211	5.702	7.585	4.303	0.895	0.151	0.152	0	0	0
Ekofisk	85.9063	1.0068	1.4954	8.4919	2.3015	0.3486	0.3506	0.0509	0.048	0

[0027] 同时,得到针对于该气质的音速计算公式的流程可见图1:

[0028] 1) 首先利用美国燃气协会AGA10号报告提出的天然气音速计算公式计算出在标准

气质温度 t_0 为20℃,标准气质压力 p_0 为1000KPa下的标准天然气音速值 v_0 (计算 v_0 时,选取其他的气质温度与气质压力作为标准参考值也均可),得到标准天然气音速值 $v_0=430.104514\text{m/s}$;在此步骤中,也可以用其他天然气音速计算方法得到标准天然气音速值 v_0 ;

[0029] 2) 将计算得到的标准天然气音速值 v_0 以及对应的标准气质压力 p_0 与标准气质温度 t_0 代入系数 c 的计算公式:

$$[0030] \quad c = \frac{v_0 + 1.128 \times 10^{-3} t^2 - 5.8398 \times 10^{-5} p_0 t_0 + 1.019 \times 10^{-2} p_0 + 4.139 \times 10^{-3} t_0}{1.814 \times 10^{-3} t_0 + 1.264 \times 10^{-5} p_0 + 1}$$

[0031] 从而计算得到系数 $c=419.1554$;

[0032] 3) 确定了系数 c 的值后,将系数 c 代入本发明公式中修正音速公式:

$$[0033] \quad v = -1.128 \times 10^{-3} t^2 + 5.8398 \times 10^{-5} p t + (1.26 \times 10^{-5} c - 1.018 \times 10^{-2}) p + (1.814 \times 10^{-3} c - 4.139 \times 10^{-2}) t + c$$

[0034] 便可以得到针对于气质Gulf Coast的音速简化计算公式,即:

$$[0035] \quad v = -1.128 \times 10^{-3} t^2 + 5.8398 \times 10^{-5} p t - 4.898 \times 10^{-3} p + 0.7190 t + 419.1554$$

[0036] 此时,为了验证得到关于气质Gulf Coast的音速简化计算公式的可行性,可进行相关的误差分析。在选取一系列气质温度与气质压力情况下,以美国燃气协会10号报告AGA10提出的计算公式为基准,计算本发明的相对误差大小。具体情况可见表2。

[0037] 表2气质GulfCoast计算比较

[0038]

气质温度(℃)	气质压力为 50KPa			气质压力为 400KPa			气质压力为 1200KPa			气质压力为 2000KPa		
	AGA10 计算音 速(m/s)	本发明 计算音 速(m/s)	相对 误差									
-20	405.15	404.703	0.11%	402.79	402.587	0.05%	397.4734	397.7497	0.07%	392.34	392.912	0.15%
-10	412.61	412.273	0.08%	410.55	410.3614	0.05%	405.9413	405.9913	0.01%	401.55	401.621	0.02%
0	419.85	419.618	0.06%	418.05	417.9102	0.03%	414.0623	414.0072	0.01%	410.3	410.104	0.05%
10	426.89	426.737	0.04%	425.31	425.2334	0.02%	421.867	421.7976	0.02%	418.66	418.362	0.07%
20	433.72	433.63	0.02%	432.35	432.331	0.01%	429.383	429.3624	0.00%	426.65	426.394	0.06%
30	440.37	440.297	0.02%	439.19	439.203	0.00%	436.6354	436.7015	0.02%	434.33	434.2	0.03%
40	446.84	446.739	0.02%	445.82	445.8493	0.01%	443.647	443.8151	0.04%	441.71	441.781	0.02%
50	453.16	452.956	0.04%	452.28	452.2701	0.00%	450.4385	450.7031	0.06%	448.82	449.136	0.07%
60	459.32	458.947	0.08%	458.57	458.4653	0.02%	457.0289	457.3654	0.07%	455.71	456.266	0.12%

[0039] 实施例2:为了进一步说明本发明的可行性,这里又选取了3种美国燃气协会10号报告所提到的气质,即Amarillo、High N2、High CO2,这三种气质的具体成分摩尔百分比可见表1。

[0040] 首先对3种天然气的音速值进行采样,考虑到城镇燃气管道的真实工作环境,故取

气质温度从-20℃至60℃变化,5℃为步长;气质气压取从50KPa到2000KPa变化,取其中50KPa至300KPa以50KPa为步长,300KPa至2000KPa以200KPa为步长,利用AGA10报告中提出的音速计算公式对3种气质进行不同气质温度与气质压力下的音速值采样。由于数据采样点比较多,表3~表5分别截取了3种气质在一部分采样点上的音速值。

[0041] 同时,通过图1所示的步骤,利用AGA10报告提出的音速计算公式计算出20摄氏度、1000Kpa下不同天然气的音速值 v_0 ,从而确定对应于不同气质的音速计算公式。根据得到的公式分别计算上述3种气质在各个采样点上的音速值,同样由于数据采样点较多,表3~表5分别截取了3种气质在一部分采样点上的音速值。

[0042] 以AGA10报告提出的天然气音速计算方法为基准,得到通过AGA10报告计算出的音速值 v_1 ,并计算出本发明提出的天然气音速简化计算公式的计算结果 v_2 。并根据相对误差计算公式

$$\delta = \frac{|v_1 - v_2|}{v_1} \times 100\%$$

计算得到对应的相对误差大小。

[0043] 表3气质Amarillo计算比较

[0044]

气质温度(℃)	气质压力为 50KPa			气质压力为 400KPa			气质压力为 1200KPa			气质压力为 2000KPa		
	AGA10 计算音速(m/s)	本发明 计算音速(m/s)	相对误差									
-20	395.31	394.81	0.13%	392.88	392.65	0.06%	387.42	387.71	0.07%	382.12	382.77	0.17%
-10	402.56	402.19	0.09%	400.44	400.24	0.05%	395.69	395.76	0.02%	391.15	391.29	0.03%
0	409.60	409.35	0.06%	407.74	407.60	0.04%	403.63	403.59	0.01%	399.73	399.59	0.04%
10	416.44	416.28	0.04%	414.82	414.74	0.02%	411.25	411.20	0.01%	407.92	407.66	0.06%
20	423.09	422.99	0.02%	421.68	421.65	0.01%	418.59	418.58	0.00%	415.75	415.50	0.06%
30	429.57	429.47	0.02%	428.34	428.33	0.00%	425.68	425.73	0.01%	423.26	423.12	0.03%
40	435.87	435.73	0.03%	434.81	434.79	0.00%	432.53	432.66	0.03%	430.49	430.52	0.01%
50	442.02	441.76	0.06%	441.11	441.03	0.02%	439.17	439.36	0.04%	437.46	437.69	0.05%
60	448.03	447.56	0.10%	447.25	447.04	0.05%	445.61	445.83	0.05%	444.20	444.63	0.10%

[0045] 表4气质High N2计算比较

[0046]

气质温度(℃)	气质压力为 50KPa			气质压力为 400KPa			气质压力为 1200KPa			气质压力为 2000KPa		
	AGA10 计算音速(m/s)	本发明 计算音速	相对误差									

[0047]

		(m/s)			(m/s)			(m/s)			(m/s)	
-20	385.58	386.32	0.19%	383.66	384.12	0.12%	379.39	379.09	0.08%	375.34	374.06	0.34%
-10	392.70	393.54	0.21%	391.03	391.55	0.13%	387.38	386.98	0.10%	383.96	382.42	0.40%
0	399.61	400.54	0.23%	398.17	398.75	0.14%	395.05	394.65	0.10%	392.18	390.56	0.41%
10	406.33	407.31	0.24%	405.09	405.73	0.16%	402.44	402.10	0.09%	400.04	398.47	0.39%
20	412.86	413.86	0.24%	411.81	412.48	0.16%	409.57	409.32	0.06%	407.58	406.15	0.35%
30	419.22	420.18	0.23%	418.33	419.00	0.16%	416.45	416.31	0.03%	414.82	413.62	0.29%
40	425.42	426.28	0.20%	424.67	425.30	0.15%	423.12	423.08	0.01%	421.80	420.85	0.23%
50	431.47	432.15	0.16%	430.85	431.38	0.12%	429.58	429.62	0.01%	428.54	427.86	0.16%
60	437.37	437.79	0.10%	436.87	437.23	0.08%	435.86	435.94	0.02%	435.07	434.64	0.10%

[0048] 表5气质High CO2计算比较

[0049]

气质 温度 (°C)	气质压力为 50KPa			气质压力为 400KPa			气质压力为 1200KPa			气质压力为 2000KPa		
	AGA10 计算音 速(m/s)	本发明 计算音 速(m/s)	相对误 差	AGA10 计算音 速(m/s)	本发明 计算音 速(m/s)	相对误 差	AGA10 计算音 速(m/s)	本发明 计算音 速(m/s)	相对误 差	AGA10 计算音 速(m/s)	本发 明计 算音 速 (m/s)	相对 误差
-20	372.64	372.53	0.03%	370.27	370.27	0.00%	364.91	365.09	0.05%	359.69	359.92	0.06%
-10	379.46	379.50	0.01%	377.38	377.44	0.01%	372.73	372.73	0.00%	368.25	368.02	0.06%
0	386.09	386.24	0.04%	384.27	384.38	0.03%	380.22	380.14	0.02%	376.38	375.90	0.13%
10	392.53	392.75	0.06%	390.94	391.10	0.04%	387.43	387.33	0.03%	384.14	383.55	0.15%
20	398.80	399.04	0.06%	397.41	397.59	0.05%	394.37	394.29	0.02%	391.56	390.98	0.15%
30	404.91	405.10	0.05%	403.70	403.86	0.04%	401.08	401.02	0.01%	398.68	398.18	0.12%
40	410.86	410.94	0.02%	409.81	409.90	0.02%	407.56	407.53	0.01%	405.53	405.16	0.09%
50	416.67	416.55	0.03%	415.77	415.72	0.01%	413.84	413.81	0.01%	412.14	411.91	0.06%
60	422.35	421.94	0.10%	421.57	421.31	0.06%	419.95	419.87	0.02%	418.53	418.43	0.02%

[0050] 上述的表3~表5分别截取了3种气质在一部分采样点上的相对误差大小,由此可见相对误差均控制在了0.5%以下,证明本发明的计算公式具有较强的可行性。

[0051] 上文中例举了一组系数 s_1 、 s_2 、 s_3 、 s_4 ,而系数 s_1 、 s_2 、 s_3 、 s_4 还可以有其他替代方案,满足相对误差均控制在0.5%以下的要求:如

[0052] $s_1 = -1.130 \times 10^{-3}$

[0053] $s_2 = 5.607 \times 10^{-5}$

[0054] $s_3 = -6.800 \times 10^{-6}c - 2.080 \times 10^{-3}$

$$[0055] \quad s_4 = 1.752 \times 10^{-3}c - 1.553 \times 10^{-2}$$

$$[0056] \quad v = -1.130 \times 10^{-3}t^2 + 5.607 \times 10^{-5}pt + (-6.800 \times 10^{-6}c - 2.080 \times 10^{-3})p + (1.752 \times 10^{-3}c - 1.553 \times 10^{-2})t + c$$

[0057] 又如:

$$[0058] \quad s_1 = -1.142 \times 10^{-3}$$

$$[0059] \quad s_2 = 5.864 \times 10^{-5}$$

$$[0060] \quad s_3 = 2.540 \times 10^{-5}c - 1.549 \times 10^{-2}$$

$$[0061] \quad s_4 = 1.864 \times 10^{-3}c - 6.21 \times 10^{-2}$$

$$[0062] \quad v = -1.142 \times 10^{-3}t^2 + 5.864 \times 10^{-5}pt + (2.540 \times 10^{-5}c - 1.549 \times 10^{-2})p + (1.864 \times 10^{-3}c - 6.21 \times 10^{-2})t + c$$

[0063] 又如:

$$[0064] \quad s_1 = -1.121 \times 10^{-3}$$

$$[0065] \quad s_2 = 5.828 \times 10^{-5}$$

$$[0066] \quad s_3 = 1.450 \times 10^{-5}c - 1.097 \times 10^{-2}$$

$$[0067] \quad s_4 = 1.825 \times 10^{-3}c - 4.584 \times 10^{-2}$$

$$[0068] \quad v = -1.121 \times 10^{-3}t^2 + 5.828 \times 10^{-5}pt + (1.450 \times 10^{-5}c - 1.097 \times 10^{-2})p + (1.825 \times 10^{-3}c - 4.584 \times 10^{-2})t + c。$$



图1