

国家市场监督管理总局

发 布

202×-××-××实施

202×-××-××发布

天然气能量计量系统在线测量和性能评价规范

Specification of on-line measurement and performance evaluation for energy metering system of natural gas

（征求意见稿）

**JJF** XXXX—202X

中华人民共和国国家计量技术规范

天然气能量计量系统在线测量和

JJF XXXX-202X

性能评价规范

Specification of on-line measurement and

 performance evaluation for energy metering system of natural gas

**归 口 单 位 ：**全国能源资源计量技术委员会能源计量分技术委

员会

**主要起草单位：**国家石油天然气大流量站计量站成都分站

中国石油西南油气田分公司天然气研究院

中国计量科学研究院

 **参加起草单位：**江苏省质量技术监督气体流量计量检测中心

国家石油天然气大流量站计量站武汉分站

北京燃气集团有限公司

南京市计量监督检测院

广东省计量科学研究院（华南国家计量测试中心）

本规范由全国能源资源计量技术委员会能源计量分技术委员会负责解释

目 录

[引 言 III](#_Toc31314)

[1 范围 1](#_Toc6274)

[2 引用文件 1](#_Toc23898)

[3 术语、符号与单位 3](#_Toc8643)

[3.1 术语 3](#_Toc2088)

[3.2 符号与单位 3](#_Toc13516)

[4 原理及系统组成 4](#_Toc24406)

[4.1 原理 4](#_Toc7814)

[4.2 系统组成 5](#_Toc29695)

[5 能量计量系统在线测量项目和测量特性要求 6](#_Toc3114)

[5.1分级 6](#_Toc17622)

[5.2 在线测量项目和计量特性要求 6](#_Toc30329)

[5.2.1 体积（质量）流量 6](#_Toc28942)

[6 能量计量系统测量及性能评价方法 9](#_Toc11139)

[6.1 在线测量 9](#_Toc13173)

[6.2 性能评价方法 10](#_Toc5081)

[7 评价结果的处理 13](#_Toc28526)

[8 评价间隔 13](#_Toc30240)

[附录 A (资料性) 天然气计量系统性能评价报告推荐格式 14](#_Toc9898)

[附录 B (资料性) 天然气计量系统不确定度评价示例 18](#_Toc21593)

引 言

本规范根据我国天然气能量计量实施的需要，重点针对天然气能量计量系统涵盖的流量计、压力测量仪表、温度测量仪表、发热量测定设备、标准物质和取样装置、流量积算仪/流量计算机等组成部件及整个能量计量系统，给出计量特性要求以及在线测量和性能评价方法，以期支持制造商和使用者，以及贸易计量交接双方开展天然气能量计量，从而确保天然气能量计量交接中能量数据的准确可靠和公平公正。

JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语和定义》、JJF 1004《流量计量名词术语及定义》、JJF 1005《标准物质常用术语和定义》共同构成支撑本规范制定工作的基础性规范，同时参照了GB/T 8170 《数值修约规则与极限数值的表示和判定》、GB/T 8342.4 《石油天然气工业术语 第4部分：油气计量与分析》和GB/T 20604《天然气 词汇》。本规范参照JJF 1993《天然气能量计量技术规范》和GB/T 18603《天然气计量系统技术要求》、GB/T 22723《天然气能量的测定》的要求，进行制定。

本规范为首次发布。

天然气能量计量系统在线测量和性能评价规范

1. 范围

本规范规定了天然气能量计量系统涉及的流量计、压力测量仪表、温度测量仪表、发热量测定设备、标准物质和取样装置、流量积算仪/流量计算机等部件的计量特性要求、在线测量方法和性能评价方法。

本规范适用于设计通过能力不低于100m3/h（计量参比条件下），工作压力不低于0.1MPa（表压）的天然气能量计量系统，适用于新建、在用和维修维护后再次使用的天然气能量计量系统的在线测量和性能评价。

注：当天然气的量以m3表示时，则应限定温度和压力值，我国标准参比条件执行GB/T 19205的规定。

1. 引用文件

本规范引用下列文件：

JJG 633 气体容积式流量计

JJG 640 差压式流量计

JJG 700 气相色谱仪

JJG 882 压力变送器

JJG 875 数字压力计检定规程

JJG 1003 流量积算仪

JJG 1030 超声流量计

JJG 1037 涡轮流量计

JJG 1038 科里奥利质量流量计

JJG 1055 在线气相色谱仪

JJG 1121 旋进旋涡流量计

JJG 2064 气体流量计量器

JJF 1183 温度变送器

JJF 1993 天然气能量计量技术规范

GB/T 5274.1 气体分析 校准用混合气体的制备 第1部分:称量法制备一级混合气体

GB/T 5275 （所有部分）气体分析 动态体积法制备校准用混合气体

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 8423.4 石油天然气工业术语 第4部分：油气计量与分析

GB/T 11062 天然气发热量、密度、相对密度和沃泊指数的计算方法

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 14070 气体分析 校准用混合气体的制备 压力法

GB/T 17747.2 天然气压缩因子的计算 第2部分：用摩尔组成进行计算

GB/T 17747.3 天然气压缩因子的计算 第3部分：用物性值进行计算

GB 17820 天然气

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/T 19205 天然气标准参比条件

GB/T 20604 天然气 词汇

GB/T 21391 用气体涡轮流量计测量天然气流量

GB/T 21446 用标准孔板流量计测量天然气流量

GB/T 22723 天然气能量的测定

GB/T 27894（所有部分）天然气 在一定不确定度下用气相色谱法测定组成

GB/T 28766 天然气分析系统性能评价

GB/T 30490 天然气自动取样方法

GB/T 30491.1 天然气热力学性质计算第1部分:输配气中的气相性质

GB/T 31253 天然气 气体标准物质的验证 发热量和密度直接测量法

GB/T 35186 天然气计量系统性能评价

GB/T 35211 天然气发热量的测量 连续燃烧法

GB/T 37124 进入天然气长输管道的气体质量要求

SY/T 6658 用旋进旋涡流量计测量天然气流量

SY/T 6659 用科里奥利质量流量计测量天然气流量

SY/T 6660 用旋转容积式气体流量计测量天然气流量

SY/T 7448 天然气气体标准物质稳定性分析 气相色谱法

SY/T 7551 用槽道式流量计测量天然气流量

SY/T 7552 天然气贸易计量用流量计选用指南

SY/T 7657.3 天然气 利用光声光谱-红外光谱-燃料电池联合法测定组成 第3部分：红外光谱法测定乙烷及以上烷烃、二氧化碳、一氧化碳含量

SY/T 7658 天然气 在线气相色谱仪性能评价

SY/T 7704 天然气 发热量的测定 可见光光谱-超声波关联法

SY/T XXXX-20XX 天然气取样系统性能评价

SY/T XXXX-20XX 天然气分析用气体标准物质性能评价方法

1. 术语、符号与单位

3.1 术语

JJF 1001、JJF 1004、JJF 1005、JJF 1993、GB/T 8342.4、GB/T 18603、GB/T 20604、GB/T 22723界定的术语和定义适用于本文件。

3.1.1天然气能量计量系统 Natural gas energy metering system

 用于实现天然气能量计量的全套计量仪表和其他设备。

3.1.2 在线测量 On-line measurement

在天然气输送管线和场站上直接进行的实时（包含场站内样品转移的延时）测量。

3.1.3性能评价 performance evaluation

 通过系列方法考察系统测量特性是否满足测量需求的过程。

3.1.4计量系统性能评价 performance evaluation of measuring system

按规定的方法,分别对计量系统中计量器具和设备的配置及性能进行评价,综合给出整个计量系统的性能评价结果。

3.2 符号与单位

以下符号与单位适用于本标准

3.2.1 能量：符号为E，单位为焦耳或者千瓦时，单位符号为J或kWh；能量流量：符号为e，单位为兆焦耳每小时或者千瓦时每秒，J/h或kWh/s；

注：天然气贸易结算中可使用兆焦耳（MJ）或吉焦耳(GJ)作为结算单位。

3.2.2天然气的量：符号为Q，单位为m3或kg；

3.2.3压力：符号为P，单位为MPa或kPa；

3.2.4温度：符号为T，单位为℃(摄氏温度),或K(绝对温度)；

3.2.5单位发热量：符号为H，单位为MJ/m3，kWh/m3或MJ/kg，kWh/kg；

3.2.6摩尔质量：符号为M，单位为g/mol, kg/mol；

3.2.7时间：符号为t，单位为s，h，d，m；

3.2.8压缩因子：符号为Z，无量纲；

3.2.9密度：符号为ρ，单位为kg/m3。

1. 原理及系统组成

4.1 原理

天然气能量的测量，是将一段时间（*t*0到*t*1）内的能量流量积分得到其能量，见公式(1)。

  （1）

式中：

*E*——测量周期内通过界面的天然气总能量，J或kWh；

*t*0——测量周期的开始时刻；

*t*1——测量周期的结束时刻；

*e*(*t*)——单位时间内流经横截面的气体能量流量，J/h或kWh/s；

*dt*——时间变量。

实际测量中，将总能量测量的时间细分为n个单位时间段，每一时间段的能量按照公式(1)进行计算，细分的时间段一般为小时、天、周或月。测量周期内的全部时间段的能量加和后就得到总能量，见公式(2)。

 *En*= （2）

式中：

*En*——n个单位时间段能量累积计量结果；

*Em*——计量时间周期内第m次测量天然气发热量期间内通过界面的天然气能量值，J或kWh；

n——计量的单位时间段的数量；

*Qm*——计量时间周期内第m次测量天然气发热量期间内通过界面的天然气在计量参比条件下的体积或质量，m3或kg；

*Hm*——计量时间周期内第m次天然气单位体积发热量或质量发热量，J/m3或kWh/m3,或J/kg或kWh/kg。

注1: 当单位发热量的单位为J/m3，天然气体积单位为m3，或者当发热量单位为J/kg，天然气质量单位为kg，则计算的能量值的单位为J；当单位发热量的单位为kWh/m3，天然气体积单位为m3，或者当发热量单位为kWh /kg，而天然气质量单位为kg，则计算的能量值的单位为kWh。

注2: 将J换算为kWh时，除以3.6×106。

4.2 系统组成

天然气能量计量系统，一般由流量计、取样装置、发热量测定系统、流量积算仪/流量计算机、压力测量仪表和温度测量仪表等部件构成，示意图见图1。



图1 能量计量系统构成

1. 能量计量系统在线测量项目和测量特性要求

5.1分级

天然气能量计量系统应按JJF 1993进行分级，分为A、B、C、D四级计量系统。

5.2 在线测量项目和计量特性要求

天然气计量系统在线测量应包括体积（质量）流量、压力、温度、发热量、能量值。

5.2.1 能量值

5.2.1.1应在相同参比条件下获取体积（质量）流量以及单位发热量，并按公式（2）计算得到能量值。

5.2.1.2 各级能量计量系统的能量值测量性能要求见表1。

表1 能量值性能评价要求

| 计量系统分级 | 技术要求 |
| --- | --- |
| A级 | 能量测量最大允许误差为±1.0%。 |
| B级 | 能量测量最大允许误差为±2.0%。 |
| C级 | 能量测量最大允许误差为±3.0%。 |
| D级 | 能量测量最大允许误差为±5.0%。 |

5.2.2 体积（质量）流量

5.2.2.1体积流量是由现场安装在管道上的超声流量计、孔板流量计、涡轮流量计、旋转容积式流量计、旋进旋涡流量计等流量计测量得到体积流量。

5.2.2.2质量流量是由现场安装在管道上的质量流量计测量得到质量流量。

5.2.2.3若流量计仅能测量获得到工作条件下的体积（质量）流量，应换算为标准参比条件下的体积流量。

5.2.2.4各级能量计量系统的流量测量性能要求见表2。

表2 各级能量计量系统的流量测量性能要求

| 能量计量系统分级 | 计量性能要求 |
| --- | --- |
| A级 | 工作条件下体积（质量）流量最大允许误差为±0.7% |
| B级 | 工作条件下体积（质量）流量最大允许误差为±1.2% |
| C级 | 工作条件下体积（质量）流量最大允许误差为±1.5% |
| D级 | 工作条件下体积（质量）流量最大允许误差为±2.5% |

5.2.3 压力

5.2.3.1压力值是由现场安装在管道上的压力计量仪表或集成在流量计上的压力传感器测量得到。

5.2.3.2各级能量计量系统的压力测量性能要求见表3。

表3 各级能量计量系统的压力测量性能要求

| 计量系统分级 | 技术要求 |
| --- | --- |
| A级 | （1）压力测量仪表的最大允许误差为±0.2%；（2）模拟量输出或数字量输出，宜为数字量输出。 |
| B级 | （1）压力测量仪表的最大允许误差为±0.5%；（2）模拟量输出或数字量输出，宜为数字量输出。 |
| C级 | （1）压力测量仪表的最大允许误差为±1.0%；（2）模拟量输出或数字量输出，宜为数字量输出；（3）可与流量计本体集成。 |
| D级 | （1）压力测量仪表的最大允许误差为±1.0%；（2）模拟量输出或数字量输出，宜为数字量输出；（3）可与流量计本体集成。 |

5.2.4 温度

5.2.4.1温度值是由现场安装在管道上的温度计量仪表或集成在流量计上的温度传感器测量得到。

5.2.4.2各级能量计量系统的温度测量性能要求见4。

表4 各级能量计量系统的温度测量性能要求

| 计量系统分级 | 技术要求 |
| --- | --- |
| A级 | （1）测量范围覆盖介质温度变化范围；（2）最大允许误差为±0.5℃；（3）温度测量仪表宜选择现场仪表为铂电阻+室内仪表为温度变送器的方式，或者测量环境可控时可选择现场仪表为一体化温度变送器；（4）现场仪表仅为铂电阻时应采用3线制或4线制模拟量输出，现场仪表为一体化温度变送器采用数字量输出。 |
| B级 | （1）测量范围覆盖介质温度变化范围；（2）最大允许误差为±0.5℃；（3）温度测量仪表宜选择现场仪表为铂电阻+室内仪表为温度变送器的方式，或者测量环境可控时可选择现场仪表为一体化温度变送器；（4）现场仪表仅为铂电阻时应采用3线制或4线制模拟量输出，现场仪表为一体化温度变送器采用数字量输出。 |
| C级 | （1）测量范围覆盖介质温度变化范围；（2）最大允许误差为±1.0℃；（3）温度测量仪表可选择现场仪表为铂电阻+室内仪表为温度变送器的方式，或者选择现场仪表为一体化温度变送器，或者与流量计本体集成；（4）现场仪表仅为铂电阻时应采用3线制或4线制模拟量输出，现场仪表为一体化温度变送器采用数字量输出。 |
| D级 | （1）测量范围覆盖介质温度变化范围；（2）最大允许误差为±1.0℃；（3）温度测量仪表可选择现场仪表为铂电阻+室内仪表为温度变送器的方式，或者选择现场仪表为一体化温度变送器，或者与流量计本体集成；（4）现场仪表仅为铂电阻时应采用3线制或4线制模拟量输出，现场仪表为一体化温度变送器采用数字量输出。 |

5.2.5 发热量

5.2.5.1发热量可以采用直接测定、间接测定或关联技术方法获得。

5.2.5.2各级能量计量系统的发热量测定性能要求见表5。

表5 各级能量计量系统的发热量测定性能要求

| 计量系统分级 | 技术要求 |
| --- | --- |
| A级 | （1）在线气相色谱分析仪1.1 检测出待测样品气的所有组分应满足GB/T 11062的要求，检测结果符合GB/T 13610或GB/T 27894系列标准要求；1.2 整机性能应满足JJG 1055要求；1.3 由组成计算得到的天然气发热量平均偏差或测量不确定度≤0.5%；1.4 设置的标准参比条件符合GB/T 19205要求，标准参比温度至少应包括25℃、20℃、15℃、0℃；1.5 具备按照GB/T 11062、GB/T 30491.1和GB/T 17747.2计算发热量、密度和压缩因子功能；（2）关联技术：如采用关联技术测定天然气发热量的最大允许误差为±0.5%。（4）累积取样系统为全压取样，应含按流量比例和按时间取样方式，取样按GB/T 13609和GB/T 30490执行。（5）具备数据读取功能和接口。（6）标准物质1.1 超过1.2ⅹ108 m3/天输送量的计量系统采用具备国家标准物质定级证书的国家一级标准物质，并保证持续有效供应；1.2 标准物质组成应考虑气源变化，用单点校准定量应符合GB/T 13610、GB/T 27894或SY/T 7704.3的要求，用校准曲线法定量应使用GB/T 28766进行性能评价；1.3仪器设定的自动校准周期不宜超过7天。（7）工作条件下，密度计算不确定度不超过0.35%，压缩因子计算不确定度不超过0.3% |
| B级 | （1）在天然气能量结算周期内气质变化引起的发热量波动大于0.5%时，应配备1套在线气相色谱仪（若已配累积取样系统，可不配置）。天然气能量结算周期内气质变化引起的发热量波动小于0.5%时，可配备专用赋值软件；（2）配备在线气相色谱分析仪组成计算得到的天然气发热量平均偏差或测量不确定度≤1.0%；（3）发热量离线测定和赋值结果最大允许误差不超过±1.25%；（4）采用关联技术测定天然气发热量的最大允许误差应不超过±1.0%。（5）具备固定赋值和可变赋值功能，有可靠途径为专用赋值软件提供赋值所需的组成、流量、压力、温度、管道长度和管径等信息，以计算得到赋值结果；（6）在天然气能量结算周期内气质变化引起的发热量波动小于0.5%时，宜配备1套点样取样系统，满足GB/T 13609和GB/T 30490要求；（7）标准物质1.1 应保证持续有效供应国家二级标准物质，应具备国家标准物质定级证书;1.2标准物质组成应考虑气源变化，用单点校准定量应符合GB/T 13610、GB/T 27894或SY/T 7704.3的要求，用校准曲线法定量应使用GB/T 28766进行性能评价；1.3仪器设定的自动校准周期不宜超过7天。（8）工作条件下，密度计算不确定度不超过0.7%，压缩因子计算不确定度不超过0.3% |
| C级 | 1. 发热量离线测定或赋值最大允许误差不超过±2.0%；
2. 具备固定赋值和可变赋值功能；有可靠途径为专用赋值软件提供赋值所需的组成、流量、压力、温度、管道长度和管径等信息，以计算得到赋值结果；
3. 累积取样系统技术要求详见本表A级站要求；
4. 必要时，企业可选择配备在线气相色谱分析仪，天然气发热量平均偏差或测量不确定度≤1.0%。
5. 工作条件下，密度计算不确定度不超过1.0%，压缩因子计算不确定度不超过0.5%
 |
| D级 | (1)发热量测定最大允许误差不超过±2.0%；(2)具备固定赋值和可变赋值功能；有可靠途径为专用赋值软件提供赋值所需的组成、流量、压力、温度、管道长度和管径等信息，以计算得到赋值结果； (3) 工作条件下，密度计算不确定度不超过1.0%，压缩因子计算不确定度不超过0.5% |

1. 能量计量系统测量及性能评价方法

6.1 在线测量

6.1.1流量

气体超声流量计、标准孔板流量计、涡轮流量计、旋转容积式流量计、气体旋进旋涡流量计、科里奥利质量流量计及槽道式流量计测量流量按表6给出的标准执行。

表6天然气流量计测量流量时应满足的标准要求

|  |  |
| --- | --- |
| 流量计类型 | 在线测量方法及要求 |
| 气体超声流量计 | GB/T 18604 |
| 标准孔板流量计 | GB/T 21446 |
| 涡轮流量计 | GB/T 21391 |
| 旋转容积式流量计 | SY/T 6660 |
| 气体旋进旋涡流量计 | GB/T 36241 |
| SY/T 6658 |
| 科里奥利质量流量计 | GB/T 31130 |
| SY/T 6659 |
| 槽道式流量计 | SY/T 7551 |

6.1.2压力

压力及差压测量除应符合JJG882、JJG875中规定的测量方法和要求外，还应满足表6规定的标准要求。

6.1.3温度

温度及铂电阻测量除应符合JJF1183、JJG229中规定的测量方法和要求外。还应满足表6规定的标准要求。

6.1.4发热量

发热量测量通常在天然气取样并进行天然气组成分析后，再利用组成进行发热量计算获得发热量；也可以使用其他关联方法进行发热量测试。测量过程应满足表7规定的标准要求。

方法的实施宜考虑分析对象的组成变化，变化较大的计量系统应使用GB/T 28766对分析设备进行性能评价后，用校准曲线法进行定量；

表7 发热量测量时应满足的标准要求

|  |  |
| --- | --- |
| 类型 | 发热量在线测量方法及要求 |
| 取样 | GB/T 13609 |
| GB/T 30490 |
| 组成分析 | GB/T 13610 |
| GB/T 27984 |
| SY/T 7433 |
| 发热量计算 | GB/T 11062 |
| 关联方法 | SY/T 7704.3 |

[6.1.5 能量值](#_Toc138146603)

[能量值按照本文件4.1的原理及方法，获取天然气的量和单位发热量后，按照JJF 1993和GB/T 22723要求计算获得。](#_Toc138146603)

6.2 性能评价方法

6.2.1 概述

天然气流量计量系统中流量计、压力和温度测量仪表、发热量以及流量积算仪/流量计算机等的性能评价项目和方法主要依据相关的检定规程和校准规范，性能评价的流程参照GB/T 35186、GB/T 28766执行。

6.2.2流量计

流量计的技术指标性能评价通常采用流量计相关的检定规程进行，也可采用流量测量方法标准中的校准方法进行性能评价，通过检定或校准的方法对其准确度等级、重复性、测量不确定度、示值误差等开展性能评价。超声流量计等不同类型流量计性能评价方法和要求见表8。

表8天然气流量计性能评价方法及要求

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 流量计类型 | 检定规程 | 流量计标准 | 评价项目 | 性能核查方法 |
| 超声流量计 | JJG 1030 | GB/T 18604  | 准确度等级、最大允许误差、重复性、重复性、流量示值误差、最大峰间误差、测量不确定度 | 查阅流量计检定证书或校准证书，标准流量计比较法 |
| GB/T 30500 | 声速偏差、各声道测量最大声速允许范围、测量重复性 | 声速检验现场核查 |
| 标准孔板流量计 | JJG 640  | GB/T 21446 | 流出系统C及其相对不确定度、重复性、准确度等级或最大允许误差  | 查阅流量计检定证书或校准证书，标准流量计比较法进行性能核查。 |
| 涡轮流量计 | JJG 1037 | GB/T 21391  | 准确度等级、最大允许误差、重复性、测量不确定度 |
| 旋转容积式流量计 | JJG 633 | SY/T 6660  | 准确度等级、最大允许误差、重复性、示值误差、重复性、测量不确定度 |
| 气体旋进旋涡流量计 | JJG 1121 | SY/T 6658 | 准确度等级、最大允许误差、重复性、示值误差、测量不确定度 |
| 科里奥利质量流量计 | JJG 1038  | SY/T 6659  | 准确度等级、最大允许误差、重复性、示值误差、测量不确定度 |
| 槽道式流量计 | / | SY/T 7551  | 重复性、示值误差及对应流出系数、测量不确定度 |
| 注：流量计检定应按照检定规程要求进行评价；校准应按照校准规程要求进行评价 |

6.2.3压力

压力测量设备的技术指标性能评价应符合JJG 882、JJG 875要求，通过检定或校准的方法对其准确度等级及最大允许误差、回差、测量结果不确定度开展性能评价。不同类型流量计配套的压力测量仪表还应满足相关流量计测量标准中的要求（见表6）。压力测量设备的性能核查方法和要求见表9。

表9压力测量性能评价应满足的标准要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 类型 | 检定规程 | 评价项目 | 性能核查方法 |
| 压力变送器/压力传感器 | JJG 882、 JJG 875 | 准确度等级及最大允许误差、回差、测量结果不确定度 | 可采用查阅检定证书或校准证书，测量回路校准、标准值比对等方法进行现场性能核查。 |

6.2.4温度

温度测量设备的技术指标性能评价应符合JJF 1183、JJG 229要求，通过检定或校准对测量误差、测量结果不确定度等开展性能评价。不同类型流量计配套的温度测量仪表还应满足相关流量计测量标准中的要求（见表6）。温度测量设备的性能核查方法和要求见表10。

表10温度测量性能评价应满足的标准要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 类型 | 检定规程/校准规范 | 评价项目  | 性能核查方法 |
| 温度测量仪表 | JJG 229、JJF 1183 | 温度测量允许偏差、测量结果不确定度 | 可采用查阅设计文件、技术报告、检定证书或校准证书，测量回路校验、标准值比对等方法进行现场性能核查。 |

6.2.5发热量（含取样系统和标准物质）

发热量测定系统的性能评价应符合JJG 700/JJG 1055、JJF XXXX的要求，不同设备的再测量过程中的性能核查方法和要求见表11。

表11 发热量测定应满足的评价方法

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 类型 | 检定规程 | 标准编号 | 性能核查方法 |
| 取样系统 | / | SY/T XXXX | 可采用查阅设计文件、技术报告、检定证书或校准证书以及标准物质证书，并使用GB/T 28766进行分析系统的性能评价。 |
| 气相色谱 | JJG 700JJG 1055 | GB/T 28766 |
| 直接测定法 | JJF XXXX | GB/T 35211 |
| 关联法 | SY/T 7704 |
| 标准物质 | / | SY/T XXXX |

6.2.6 流量积算仪/流量计算机

流量积算仪/流量计算机应符合JJG 1003的要求。通过检定或校准的方法对其压力测量通道测量误差、温度测量通道测量误差、流量计算误差等开展评价。流量积算仪/流量计算机具备输出流量值、压力、温度、密度、压缩因子、发热量及能量等的功能。流量积算仪/流量计算机的测量结果误差或不确定度可采用查阅检定证书或校准证书获得。

在流量积算仪/流量计算机性能的现场核查中，采用超声流量计测量流量的计量系统中流量积算仪/流量计算机还应符合GB/T 18604 要求，采用孔板流量计测量流量的计量系统中流量积算仪/流量计算机还应符合GB/T 21446要求。

流量积算仪/流量计算机输出的物性参数计算方法有效性确认按照GB/T 17747.2、GB/T 17747.3、GB/T 30491.1或GB/T 30491.2，GB/T 11062，流量结果的有效性按照累计和瞬时流量比对进行现场核查。

6.2.7能量值

按照JJF1993规定进行天然气能量的不确定度计算，按照Ur<MPEV 的原则,评定天然气能量计量系统的等级。评定的结果应满足表5的要求。

1. 评价结果的处理

计量系统性能评价的结果，由标准参比条件下天然气能量相对扩展不确定度计算结果确定。

按表1至表5中的计量特性进行天然气能量计量系统各部件性能评价结果的判定，附录A给出评价报告的推荐格式，附录B给出评价示例。

1. 评价间隔

为确保在用天然气能量计量系统的准确可靠，应在天然气能量计量系统投运6个月内或大修后，以及存在可能影响计量性能的因素时进行性能评价。

附录 A (资料性) 天然气计量系统性能评价报告推荐格式

天然气能量计量系统性能评价报告

根据规范正文内容，对#个计量站（#站）内的#条计量支路（#线、#线......）上的计量系统性能进行了评价试验，包括：①流量计、压力与温度测量仪表、发热量测定系统的计量性能；②1个月内连续的生产运行数据，含压力、温度、高位发热量、流量和能量数据。评价结果如下：

#站

A.0 点站基本信息

日均输气量####×104 m3/d，站场规模为#级。气源主要为天然气。

A.1 #线计量系统

**A.1.1 仪表信息**

A.1.1.1 工况参数

工况参数

|  |  |
| --- | --- |
| 流动介质 | 天然气 |
| 介质平均压力 |  |
| 介质平均温度 |  |
| 安装条件 |  |
| 评价时间 |  |
| 评价人 |  |

A.1.1.2 流量计

超声流量计信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 出厂编号 |  | 位号 |  |
| 生产厂家 |  | 型号规格 |  |
| 口径 |  | 测量范围 |  |
| 准确度等级 |  |
| 最大示值误差 | *q*t以上： | *q*t以下： |

A.1.1.3 压力、温度测量仪表

压力变送器信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 出厂编号 |  | 位号 |  |
| 生产厂家 |  | 型号规格 |  |
| 测量范围 |  | 信号输出类型 |  |
| 准确度等级 |  |

温度变送器信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 出厂编号 |  | 位号 |  |
| 生产厂家 |  | 型号规格 |  |
| 测量范围 |  | 信号输出类型 |  |
| 准确度等级 |  |

A.1.1.4 在线气相色谱分析仪

在线气相色谱分析仪信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 出厂编号 |  | 位号 |  |
| 生产厂家 |  | 型号规格 |  |
| 准确度等级 |  |
| 检测器性能 | 重复性 | 定性分析 |  |
| 定量分析 |  |
| 分离度 | 氮和甲烷 |  |
| 正丁烷和异丁烷 |  |
| 稳定性 |  |
| 灵敏度 | 甲烷 |  |
| 正丁烷 |  |
| 物性参数计算 |  | 算法 |
| 密度 |  |
| 压缩因子 |  |
| 高位发热量 |  |
| 其他要求 | 标准参比条件 |  |
| 取样口位置设置 |  |

A.1.1.5 流量计算机

流量计算机信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 出厂编号 |  | 位号 |  |
| 生产厂家 |  | 型号规格 |  |
| 置入参数 | 标准参比条件 |  |
| 压缩因子/声速 |  |
| 流量计修正系数 |  |

**A.1.2 流量、能量数据**

#站#线 202#.##.##-202#.##.##流量数据

| **时间/日期** | **压力****(kPa)** | **温度****(℃)** | ***H*s****(MJ/m3)** | **工况流量****(m3/h)** | **标况流量****(m3/h)** | **体积****(m3)** | **能量****(MJ)** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 20##/##/## ##:##:## |  |  |  |  |  |  |  |
| 20##/##/## ##:##:## |  |  |  |  |  |  |  |

**A.1.3 小结**

1.3.1根据规范正文的要求，可以确定#站#线能量计量系统中流量计、压力测量仪表、温度测量仪表、发热量测定设备、标准物质和取样装置、流量积算仪/流量计算机等设备的计量特性均可以满足天然气能量计量系统对体积（质量）流量、压力、温度、发热量、能量值等参数的在线测量要求。

1.3.2通过对#站#线能量计量系统性能要求进行符合性判断，该计量系统满足JJF 1993对于#级能量系统要求，说明该规范正文的可实施性。

#站#线计量系统计量评价具体情况

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **仪表类型** | **技术要求** | **符合性** | **备注** |
| 气体超声流量计 |  | □ |  |
| 压力测量仪表 |  | □ |  |
|  | □ |  |
| 温度测量仪表 |  | □ |  |
|  | □ |  |
|  | □ |  |
|  | □ |  |
| 发热量测定 |  | □ |  |
|  | □ |  |
|  | □ |  |
|  | □ |  |
|  | □ |  |
|  | □ |  |
|  | □ |  |
|  | □ |  |
|  | □ |  |
|  | □ |  |
| 能量计量系统 |  | □ |  |

**A.1.4 附件**

流量计检定证书

\*流量计检定证书扫描件\*

压力变送器检定证书

\*压力变送器检定证书扫描件\*

温度变送器校准证书

\*温度变送器校准证书扫描件\*

标准物质证书

\*标准物质证书扫描件\*

色谱分析仪校准证书

\*色谱分析仪校准证书扫描件\*

流量计算机校准证书

\*证书扫描件\*

附录 B (资料性) 天然气计量系统性能评价示例

根据规范正文内容，对1个计量站（A站）内的2条计量支路（a路、b路）上的计量系统性能进行了评价试验，分别得到a路、b路天然气能量计量系统的性能评价结果。

B.1 A站基本信息

日均输气量6000×104 m3/d，气源主要为天然气。

B.2 a路计量系统

**B.2.1 仪表信息**

B.2.1.1 工况参数

工况参数

|  |  |
| --- | --- |
| 流动介质 | 天然气 |
| 介质平均压力 | 9.628 MPa |
| 介质平均温度 | 31.699 ℃ |
| 安装条件 | 上游25D处安装有阀门，10D处安装有整流板；下游3D处安装温度变送器，压力变送器自流量计表体取压 |
| 评价时间 | 2024年5月 |
| 评价机构 | 国家石油天然气大流量站计量站武汉分站 |

B.2.1.2 流量计

超声流量计信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 出厂编号 | WA821030005  | 位号 | FIQ35501 |
| 生产厂家 | 上海中核维思 | 型号规格 | CL-1-8S |
| 口径 | DN400 | 测量范围 | (500-10000) m3/h |
| 准确度等级 | 1.0级 |
| 最大示值误差 | *q*t以上：0.87% | *q*t以下：0.88% |

B.2.1.3 压力、温度测量仪表

压力变送器信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 出厂编号 | 6060408 | 位号 | PT35501 |
| 生产厂家 | Rosemount | 型号规格 | 3051CA4A |
| 测量范围 | (0~15) MPa | 信号输出类型 | (4~20) mA HART |
| 准确度等级 | 0.1级 |

温度变送器信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 出厂编号 | 8458901 | 位号 | TT35501 |
| 生产厂家 | Rosemount | 型号规格 | 3144P |
| 测量范围 | (-40~80) ℃ | 信号输出类型 | (4~20) mA HART |
| 准确度等级 | *U*=0.03℃（*k*=2） |

B.2.1.4 在线气相色谱分析仪

在线气相色谱分析仪信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 出厂编号 | 712138-2 | 位号 | XSX00L001COP132501 |
| 生产厂家 | Emerson | 型号规格 | Daniel 570 |
| 准确度等级 | / |
| 检测器性能 | 重复性 | 定性分析 | 0.1% |
| 定量分析 | 0.1% |
| 分离度 | 氮和甲烷 | / |
| 正丁烷和异丁烷 | 5366 |
| 仪器稳定性 | / |
| 柱箱温度稳定性 | 0.0℃ |
| 灵敏度 | 甲烷 | / |
| 正丁烷 | 3818 mV mL/mg/ |
| 物性参数计算 |  | 算法 |
| 密度 | GB/T 11062 |
| 压缩因子 | GB/T 11062 |
| 高位发热量 | GB/T 11062 |
| 其他要求 | 标准参比条件 | 20℃，101.325kPa干基 |
| 取样位置 | 取样口 |

B.2.1.5 流量计算机

流量计算机信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 出厂编号 | 2107028 | 位号 | FIQ35501 |
| 生产厂家 | 上海中核维思仪器仪表有限公司 | 型号规格 | FCL-3 |
| 置入参数 | 标准参比条件 | 20 ℃, 101.325 kPa |
| 压缩因子/声速 | AGA8/AGA10 |
| 流量计修正系数 | 无 |

B.3 A站b路

**B.3.1 仪表信息**

B.3.1.1 工况参数

工况参数

|  |  |
| --- | --- |
| 流动介质 | 天然气 |
| 介质平均压力 | 9.628 MPa |
| 介质平均温度 | 31.699 ℃ |
| 安装条件 | 上游25D处安装有阀门，10D处安装有整流板；下游3D处安装温度变送器，压力变送器自流量计表体取压 |
| 评价时间 | 2024年5月 |
| 评价机构 | 国家石油天然气大流量站计量站武汉分站 |

B.3.1.2 流量计

超声流量计信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 出厂编号 | WA821030007  | 位号 | FIQ35701 |
| 生产厂家 | 上海中核维思仪器仪表有限公司 | 型号规格 | CL-1-8S |
| 口径 | DN400 | 测量范围 | (500-10000) m3/h |
| 准确度等级 | 1.0级 |
| 最大示值误差 | *q*t以上：-0.35% | *q*t以下：-0.63% |

B.3.1.3压力、温度测量仪表

 压力变送器信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 出厂编号 | 6060410 | 位号 | PT35701 |
| 生产厂家 | Rosemount | 型号规格 | 3051CA4A |
| 测量范围 | (0~15) MPa | 信号输出类型 | (4~20) mA HART |
| 准确度等级 | 0.1级 |

温度变送器信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 出厂编号 | 8458900 | 位号 | TT35701 |
| 生产厂家 | Rosemount | 型号规格 | 3144P |
| 测量范围 | (-40~80) ℃ | 信号输出类型 | (4~20) mA HART |
| 准确度等级 | *U*=0.03℃（*k*=2） |

B.3.1.4 在线气相色谱分析仪

同a路。

B.3.1.5 流量计算机

流量计算机信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 出厂编号 | 2107034 | 位号 | FIQ35701 |
| 生产厂家 | 上海中核维思仪器仪表有限公司 | 型号规格 | FCL-3 |
| 置入参数 | 标准参比条件 | 20 ℃, 101.325 kPa |
| 压缩因子/声速 | AGA8/AGA10 |
| 流量计修正系数 | 无 |

**B.4 能量计量系统不确定度评定**

天然气能量实际测量中，将总能量测量的时间细分为*n*个单位时间段，测量周期内的全部时间段的能量加和后得到总能量。假设能量计量系统在每个单位时间段内能量测量的相对不确定度基本不变，即意味着单位时间段内能量的相对不确定度可以代表全部时间段内的能量测量不确定度。

根据公式(2)，天然气能量的不确定度可由体积流量和体积发热量、或质量流量和质量发热量的不确定度合成得到，即：

 （B.1）

式中：

*u*r(*E*)——天然气能量的相对标准不确定度，%；

*u*r(*q*) ——天然气体积或质量流量的相对标准不确定度，%；

*u*r(*H*)——天然气体积或质量发热量的相对标准不确定度，%。

**B.5 计量参比条件下体积流量*q*不确定度评定**

通常测量得到的工作条件下的体积流量可按下式换算成计量参比条件下的体积流量：

 （B.2）

式中：

*q*——计量参比条件下的体积流量，m3/h；

*q*a ——工作条件下的体积流量，m3/h；

*p*a ——工作条件下的绝对静压力，MPa；

*T*a ——工作条件下的气体热力学温度，K；

*Z*a ——工作条件下的气体压缩因子；

*p*2 ——计量参比条件下的绝对静压力，MPa；

*T*2 ——计量参比下的气体热力学温度，K；

*Z*2 ——计量参比下的气体压缩因子。

计量参比条件下的气体压力和温度为约定参考值，因此不考虑其不确定度贡献，本例中考虑流量计算机引入的不确定度，根据式（B.2），体积流量的相对标准不确定度可表示为：

 (B.3)

式中：

*u*r(*q*)——计量参比条件下体积流量的相对标准不确定度，%；

*u*r(*q*a) ——工作条件下体积流量的相对标准不确定度，%；

*u*r(*p*a)——工作条件下绝对静压力的相对标准不确定度，%；

*u*r(*T*a)——工作条件下气体热力学温度的相对标准不确定度，%；

*u*r(*Z*a) ——工作条件下气体压缩因子的相对标准不确定度，%；

*u*r(*Z*2) ——计量参比下气体压缩因子的相对标准不确定度，%；

*u*r(*M*) ——流量计算机的相对标准不确定度，%。

B.5.1 A站a路

B.5.1.1 *u*r(*q*a)的评定

超声流量计检定结果表明最大示值误差为0.88%。按照均匀分布评估其相对标准不确定度为 :

%

 (B.4)

B.5.1.2 *u*r(*p*a)的评定

压力变送器检定结果显示，（0~12）MPa范围内，压力变送器的最大示值误差为-0.02%。仍按均匀分布评估其相对标准不确定度为:

%

 (B.5)

B.5.1.3 *u*r(*T*a)的评定

温度变送器检定结果显示，（-40~80）℃范围内，温度变送器的扩展不确定度为0.03%（*k*=2），温度的相对标准不确定度为:

%

 (B.6)

B.5.1.4 *u*r(*Z*a)的评定

GB/T 17747计算工作条件下的压缩因子时，其相对标准不确定度通常为0.1%，仍按均匀分布评估其相对标准不确定度为0.058%。

B.5.1.5 *u*r(*Z*2)的评定

根据ISO/TR 29922:2017，当*Z*2大于0.97时，其不确定度不超过0.1%；当*Z*2大于0.99时，其不确定度不超过0.01%。*Z*2为0.9980，即不确定度评估为0.01%，按均匀分布评估其相对标准不确定度为0.0058%。

B.5.1.6 *u*r(*M*)的评定

流量计算机校准结果表明扩展不确定度为0.16%（*k*=2），流量计算机的相对标准不确定度为:

%

 (B.7)

B.5.1.7 *u*r(*Q*m)的评定

基于式（B.3），计量参比条件下体积流量的相对标准不确定度为：

 (B.8)

B.5.2 A站b路

B.5.2.1 *u*r(*q*a)的评定

超声流量计检定结果表明最大示值误差为-0.63%。按照均匀分布评估其相对标准不确定度为 :

%

 (B.9)

B.5.2.2 *u*r(*p*a)的评定

压力变送器检定结果显示，（0~12）MPa范围内，压力变送器的最大示值误差为-0.02%。仍按均匀分布评估其相对标准不确定度为:

%

 (B.10)

B. 5.2.3 *u*r(*T*a)的评定

温度变送器检定结果显示，（-40~80）℃范围内，温度变送器的扩展不确定度为0.03%（*k*=2），温度的相对标准不确定度为:

%

 (B.11)

B. 5.2.4 *u*r(*Z*a)的评定

GB/T 17747计算工作条件下的压缩因子时，其相对标准不确定度通常为0.1%，仍按均匀分布评估其相对标准不确定度为0.058%。

B. 5.2.5 *u*r(*Z*2)的评定

根据ISO/TR 29922:2017，当*Z*2大于0.97时，其不确定度不超过0.1%；当*Z*2大于0.99时，其不确定度不超过0.01%。*Z*2为0.9980，即不确定度评估为0.01%，按均匀分布评估其相对标准不确定度为0.0058%。

B. 5.2.6 *u*r(*M*)的评定

流量计算机校准结果表明扩展不确定度为0.16%（*k*=2），流量计算机的相对标准不确定度为:

%

 (B.12)

B. 5.2.7 *u*r(*Q*m)的评定

基于式（B.3），计量参比条件下体积流量的相对标准不确定度为：

 (B.13)

**B.6 计量参比条件下体积发热量*H*不确定度评定**

计量参比条件下体积发热量*H*不确定度主要包括天然气组分含量的不确定度和天然气体积发热量的不确定度两方面的贡献。

B.6.1 天然气组分含量的不确定度

天然气中各组分含量由色谱仪测量得到，其不确定度由标准物质各组分含量的不确定度、色谱分析结果的重复性和漂移等三部分组成。

B.6.1.1.标准物质组分含量的不确定度*u*r(*x*j,s)

根据标准物质证书，甲烷为平衡气，天然气中氮气、二氧化碳、乙烷直至正己烷等组分含量*xj,s*的不确定度*u*r(*x*j,s)可以获得。例如证书（GBW(E)061322）中给出乙烷组分的相对不扩展不确定度*U*r(*x*j,s)=1%，则相对标准不确定度*u*r(*x*j,s)=0.5%。乙烷组分含量(*xj,s*)为3.08%mol/mol，则含量的标准不确定度为*u*(*x*j,s)= *xj,s*\* *u*r(*x*j,s)=0.015%mol/mol。

对于部分标准物质中，甲烷以平衡气形式给出的，其组分含量*x*1按照公式（B.14）获得，为98.7988%mol/mol。

 （B.14）

其中，

*x*1*——*甲烷组分含量，单位mol/mol；

——气体中*j*组分的摩尔分数，单位mol/mol。

以公式(B.4)为测量模型，对气体标准物质中甲烷含量的标准不确定度*u*(*x*1,s)进行评定。根据JJF 1059.1，*u*(*x*1,s)可以由其他组分含量的标准不确定度*u*(*xj,s*)分量合成得到，即式(B.15)。

 （B.15）

将天然气中除甲烷以外其余组分的标准不确定度*u*(*x*j,s)代入公式（B.15），可以获得*u*(*x*1,s)=0.017%mol/mol，即相对标准不确定度*ur*(*x*1,s)=0.017%/93.7988% =0.018%。

B.6.1.2 色谱分析结果的重复性*u*r(*x*j,r)

天然气色谱分析结果的重复性可以由检定或校准证书中结果获得，也可以按照在线色谱仪检定规程或校准规范规定的方法通过实验获得。

根据实验结果，天然气中甲烷组分的测量重复性（以相对标准偏差表示）不超过0.2%，其余组分的测量重复性不超过0.4%，按均匀分布评估甲烷和其他组分的测量重复性引入的相对标准不确定度分别为0.12%和0.23%。

B.6.1.3 色谱分析结果漂移*u*r(*x*j,d)

天然气色谱分析结果的漂移可以由检定或校准证书中结果获得，也可以按照在线色谱仪检定规程或校准规范规定的方法通过实验获得。

根据实验结果，天然气中甲烷组分的漂移（以相对偏差表示）不超过0.2%，其余组分不超过0.4%，按均匀分布评估甲烷和其他组分的测量重复性引入的相对标准不确定度分别为0.12%和0.23%。

B.6.1.4 天然气组分含量的不确定度

天然气组分含量的相对标准不确定度按下式评定，结果见表B.1。

 （B.16）

对于天然气中被测组分含量的标准不确定度*u*(*x*j)，可以由组分含量*x*j及其相应的相对标准不确定度*u*r(*x*j)乘积获得，即*u*(*x*j)= *x*j *\*u*r(*x*j)，其结果见下表。

表B.1 天然气组分含量测量结果及其不确定度结果

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 组分 | *x*j,% | *u*r(*x*j,s) | *u*r(*x*j,r) | *u*r(*x*j,d) | *u*r(*x*j) | *u*(*x*j), % |
| C1 | 95.30 | 0.018% | 0.12% | 0.12% | 0.17% | 0.16 |
| C2 | 2.70 | 0.5% | 0.23% | 0.23% | 0.60% | 0.016 |
| C3 | 0.200 | 0.5% | 0.23% | 0.23% | 0.60% | 0.0012 |
| n-C4 | 0.0200 | 0.5% | 0.23% | 0.23% | 0.60% | 0.00012 |
| i-C4 | 0.0200 | 0.5% | 0.23% | 0.23% | 0.60% | 0.00012 |
| n-C5 | 0.0100 | 0.5% | 0.23% | 0.23% | 0.60% | 0.00006 |
| i-C5 | 0.0100 | 0.5% | 0.23% | 0.23% | 0.60% | 0.00006 |
| neo-C5 | 0 | 0.5% | 0.23% | 0.23% | 0.60% | 0 |
| C6 | 0.0400 | 0.5% | 0.23% | 0.23% | 0.60% | 0.00024 |
| N2 | 1.10 | 0.5% | 0.23% | 0.23% | 0.60% | 0.0066 |
| CO2 | 0.60 | 0.5% | 0.23% | 0.23% | 0.60% | 0.0036 |
| 总和 | 100 | - | - | - | - | - |

B.6.2 天然气体积发热量的不确定度

根据GB/T 11062-2020，体积发热量按照公式（B.17）计算。

（B.17）

其中，

——真实气体的体积发热量，单位MJ/m3；

——真实气体的摩尔发热量，单位kJ/mol；

——真实气体的摩尔体积，L/mol；

——真实气体的压缩因子；

——摩尔气体常数，为8.3144621J·mol-1·K-1；

——温度，在标准参比条件下温度为293.15K；

——压力，在标准参比条件下压力为101.325kPa；

B.6.2.1 摩尔发热量

按照公式（B.18）计算真实气体的摩尔发热量。

 （B.18）

其中，

——气体的摩尔发热量，单位kJ/mol；

——气体中*j*组分的摩尔分数，单位mol/mol；

——*j*组分的摩尔发热量，通过查表获得，单位kJ/mol；

*j——*混合气体中的组分，从1到*N*。

表B.2 天然气各组分在不同燃烧参比条件下的理想气体摩尔发热量

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *j* | 组分 | 不同燃烧温度下的高位发热量，kJ/mol | 发热量的标准不确定度*u*()，kJ/mol |
| 0℃ | 15℃ | 20℃ |
| 1 | 甲烷 | 892.92 | 891.51 | 891.05 | 0.19 |
| 2 | 乙烷 | 1564.35 | 1562.14 | 1561.42 | 0.51 |
| 3 | 丙烷 | 2224.03 | 2221.1 | 2220.13 | 0.51 |
| 4 | 正丁烷 | 2883.35 | 2879.76 | 2878.58 | 0.72 |
| 5 | 异丁烷 | 2874.21 | 2870.58 | 2869.39 | 0.72 |
| 6 | 正戊烷 | 3542.91 | 3538.6 | 3537.19 | 0.23 |
| 7 | 异戊烷 | 3536.01 | 3531.68 | 3530.25 | 0.23 |
| 8 | 新戊烷 | 3521.75 | 3517.44 | 3516.02 | 0.25 |
| 9 | 正己烷 | 4203.24 | 4198.24 | 4196.6 | 0.32 |
| 10 | 正庚烷 | 4862.88 | 4857.18 | 4855.31 | 0.67 |
| 11 | 正辛烷 | 5522.41 | 5516.01 | 5513.9 | 0.76 |
| 12 | 正壬烷 | 6182.92 | 6175.82 | 6173.48 | 0.81 |
| 13 | 氢气 | 286.64 | 286.15 | 285.99 | 0.02 |

将表B.1中的组分含量以及表B.2中的高位发热量(20℃)数据代入公式（B.18）可以计算天然气的高位摩尔发热量为899.30kJ/mol(20℃)。

B.6.2.2压缩因子

真实气体的压缩因子按照公式(B.19)计算。

(B.19)

其中，

——气体中*j*组分的摩尔分数，单位mol/mol；

——*j*组分的求和因子，通过查表获得；

*j——*混合气体中的组分，从1到*N*。

表B.3 天然气各组分在不同计量参比条件下的求和因子

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *j* | 组分 | 不同计量参比条件下的求和因子 | 求和因子的标准不确定度*u*() |
| 0℃ | 15℃ | 20℃ |
| 1 | 甲烷 | 0.04886 | 0.04452 | 0.04317 | 0.0005 |
| 2 | 乙烷 | 0.0997 | 0.0919 | 0.0895 | 0.0011 |
| 3 | 丙烷 | 0.1465 | 0.1344 | 0.1308 | 0.0016 |
| 4 | 正丁烷 | 0.2022 | 0.184 | 0.1785 | 0.0039 |
| 5 | 异丁烷 | 0.1885 | 0.1722 | 0.1673 | 0.0031 |
| 6 | 正戊烷 | 0.2586 | 0.2361 | 0.2295 | 0.0107 |
| 7 | 异戊烷 | 0.2458 | 0.2251 | 0.2189 | 0.0088 |
| 8 | 新戊烷 | 0.2245 | 0.204 | 0.1979 | 0.006 |
| 9 | 正己烷 | 0.3319 | 0.3001 | 0.2907 | 0.0271 |
| 10 | 正庚烷 | 0.4076 | 0.3668 | 0.3547 | 0.1001 |
| 11 | 正辛烷 | 0.4845 | 0.4346 | 0.4198 | 0.1002 |
| 12 | 正壬烷 | 0.5617 | 0.503 | 0.4856 | 0.1006 |
| 13 | 氢气 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | 0.025 |
| 14 | 氦气 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | 0.025 |
| 15 | 氮气 | 0.0215 | 0.0170 | 0.0156 | 0.0010 |
| 16 | 二氧化碳 | 0.0821 | 0.0752 | 0.0730 | 0.0020 |

将表B.1中天然气组分含量以及表B.3中的求和因子(20℃)带入公式（B.19）可以计算压缩因子为0.99800(20℃)。

B.6.2.3体积发热量的不确定度评定

GB/T 11062-2020给出了高位体积发热量的不确定度评定数学模型。组分含量相关性、求和因子等不确定度贡献相对很小，可以忽略。数学模型可以进一步简化，如公式（B.20）。

（B.20）

将天然气各个组分含量及其不确定度、纯气摩尔发热量及其不确定度数据、以及天然气的高位摩尔发热量代入公式（B.20）可以计算（高位）体积发热量不确定度。

以甲烷组分为例，该组分含量及其摩尔发热量对高位体积发热量对不确定度贡献为：

同理，可以计算其他各个组分的不确定度贡献，见下表。

表B.4 天然气高位体积发热量的不确定度评定

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 组分 | *xj*, % | *u*(*xj*), % |  | *u*()，kJ/mol |  |
| 甲烷 | 95.30 | 0.16 | 0.99083 | 0.19 | 2.554×10-6 |
| 乙烷 | 2.70 | 0.016 | 1.73626 | 0.51 | 7.741×10-8 |
| 丙烷 | 0.200 | 0.0012 | 2.46873 | 0.51 | 8.789×10-10 |
| 正丁烷 | 0.0200 | 0.00012 | 3.20091 | 0.72 | 1.478×10-11 |
| 异丁烷 | 0.0200 | 0.00012 | 3.19069 | 0.72 | 1.469×10-11 |
| 正戊烷 | 0.0100 | 0.00006 | 3.93327 | 0.23 | 5.570×10-12 |
| 异戊烷 | 0.0100 | 0.00006 | 3.92555 | 0.23 | 5.548×10-12 |
| 新戊烷 | 0 | 0 | 3.90973 | 0.25 | 0 |
| 正己烷 | 0.0400 | 0.00024 | 4.66652 | 0.32 | 1.255×10-10 |
| 氮气 | 1.10 | 0.0066 | 0 | 0 | 0 |
| 二氧化碳 | 0.60 | 0.0036 | 0 | 0 | 0 |
| 合计 | 100 | - | - | - | 2.632×10-6 |

高位体积发热量的相对标准不确定度为:

 （B.21）

**B.7天然气能量*E*的不确定度**

B.7.1 A站a路

依据式(B.8)和(B.21)，A站1路天然气能量不确定度为：

天然气能量的相对扩展不确定度(*k*=2)为：

B.7.2 A站b路

依据式(B.13)和(B.21)，A站2路天然气能量不确定度为：

天然气能量的相对扩展不确定度(*k*=2)为：

**B.8 小结**

基于不确定度评定结果，评定天然气能量计量系统等级。

B.8.1 A站a路评定结果

A站a路不确定度评定结果见表B.5，该计量系统满足JJF 1993对于B级能量系统要求。

表B.5 A站1路计量系统计量评价结果情况

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **仪表类型** | **技术要求** | **符合性** | **不确定度评定结果** |
| 气体超声流量计 | 工作条件下体积流量最大允许误差≤0.7% | ☑ | 0.51% |
| 压力测量仪表 | 最大允许误差为±0.2% | ☑ | 0.012% |
| 温度测量仪表 | 最大允许误差为±0.5℃ | ☑ | 0.015% |
| 在线色谱仪 | 配备在线气相色谱分析仪组成计算得到的天然气发热量最大相对误差≤0.5% | ☑ | 0.16% |
| 流量计算机 |  | / | 0.08% |
| 能量计量系统 |  | / | 1.1%（*k*=2） |

B.8.2 A站b路评定结果

A站b路不确定度评定结果见表B.5，该计量系统满足JJF 1993对于A级能量系统要求。

表B.5 A站1线计量系统计量评价具体情况

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **仪表类型** | **技术要求** | **符合性** | **不确定度评定结果** |
| 气体超声流量计 | 工作条件下体积流量最大允许误差≤0.7% | ☑ | 0.36% |
| 压力测量仪表 | 最大允许误差为±0.2% | ☑ | 0.012% |
| 温度测量仪表 | 最大允许误差为±0.5℃ | ☑ | 0.015% |
| 在线色谱仪 | 配备在线气相色谱分析仪组成计算得到的天然气发热量最大相对误差≤0.5% | ☑ | 0.16% |
| 流量计算机 |  | / | 0.08% |
| 能量计量系统 |  | / | 0.80%（*k*=2） |