



中国天然气发热量直接测定技术现状和发展计划

Текущая ситуация и план развития технологии прямого измерения теплоты сгорания природного газа в Китае

石油工业天然气质量监督检测中心
Центр контроля и проверки качества природного газа нефтяной
промышленности

2021年10月
Октябрь 2021 г.





目录 СОДЕРЖАНИЕ

一、背景

I. Теоретические предпосылки

二、发热量直接测定技术现状

II. Текущая ситуация технологии прямого измерения теплоты сгорания природного газа

— 水流式热量计

- Проточный калориметр

— Cutler-Hammer型热量计

- Калориметр Cutler-Hammer

— 基准(0级)热量计

- Контрольный (уровень 0) калориметр

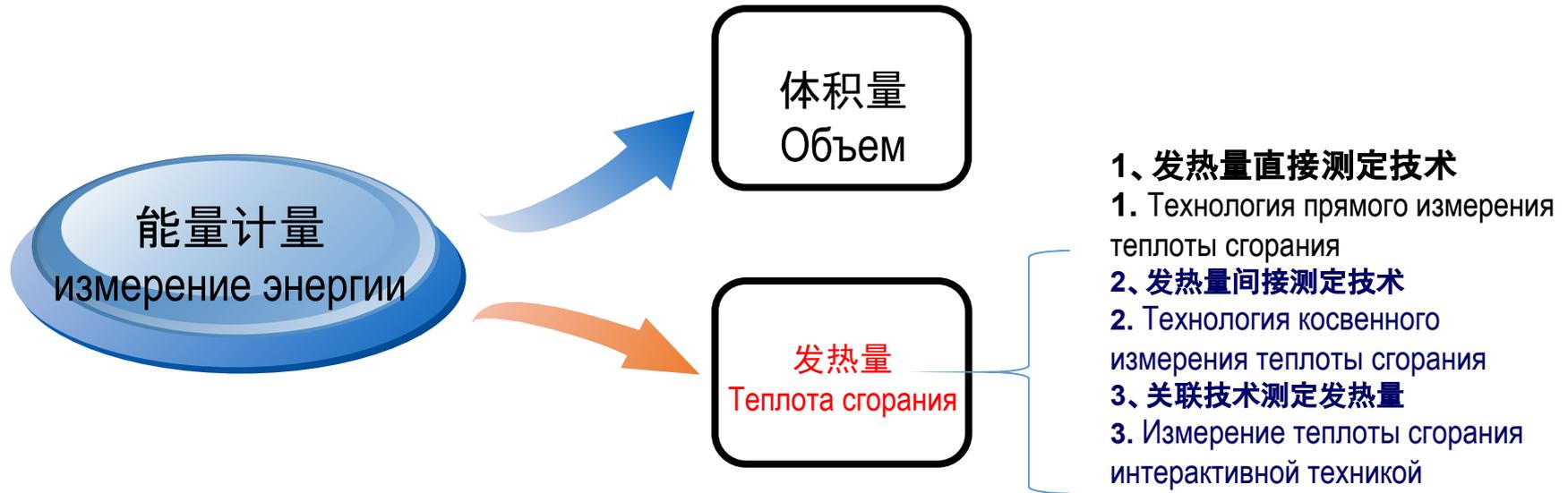
三、下一步发展计划

III. План последующего развития



一、背景

I. Теоретические предпосылки



发热量在能量计量中成为计量参数，其测定值是否准确可靠，是保障能量计量公平公正的重要因素。

Теплота сгорания становится параметром измерения при учете энергии, точность и надежность ее измеренного значения является важным фактором для обеспечения объективности и справедливости учета энергии.

发热量可直接测定、通过色谱组成分析数据计算、或通过赋值方法、关联技术得到。其中，高不确定水平的发热量直接测定技术，是完善天然气发热量溯源链的重要环节。

Теплота сгорания может быть определена прямым измерением, расчетом данных хроматографического анализа состава или методом присвоения и интерактивной техникой. Среди них технология прямого измерения теплоты сгорания с высокой неопределенностью измерений является важным звеном в совершенствовании цепочки прослеживания теплоты сгорания природного газа.



一、背景

I. Теоретические предпосылки

我国已建成发热量直接测试装置

Установка для прямого измерения теплоты сгорания природного газа была построена в Китае

1、水流式热量计

1. Проточный калориметр

$U=1.0\%$ ($k=2$)

2、Cutler-Hammer型热量计

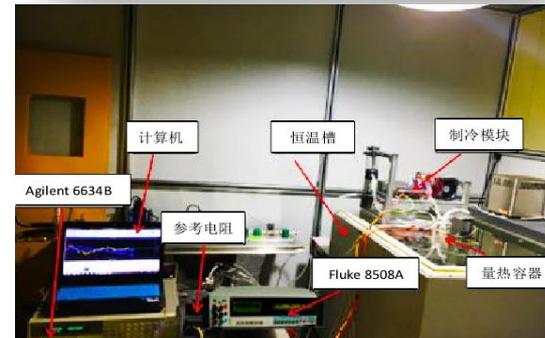
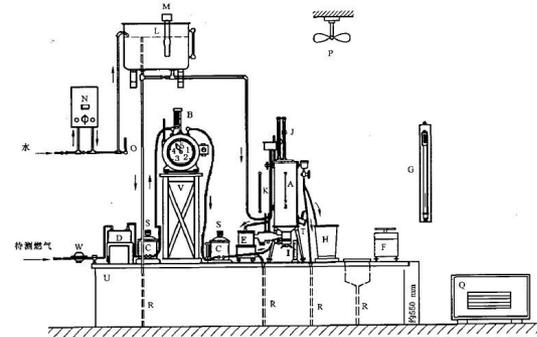
2. Калориметр Cutler-Hammer

$U=0.25\%$ ($k=2$)

3、Rossini型热量计

3. Калориметр Rossini

$U=0.3\%$ ($k=2$)



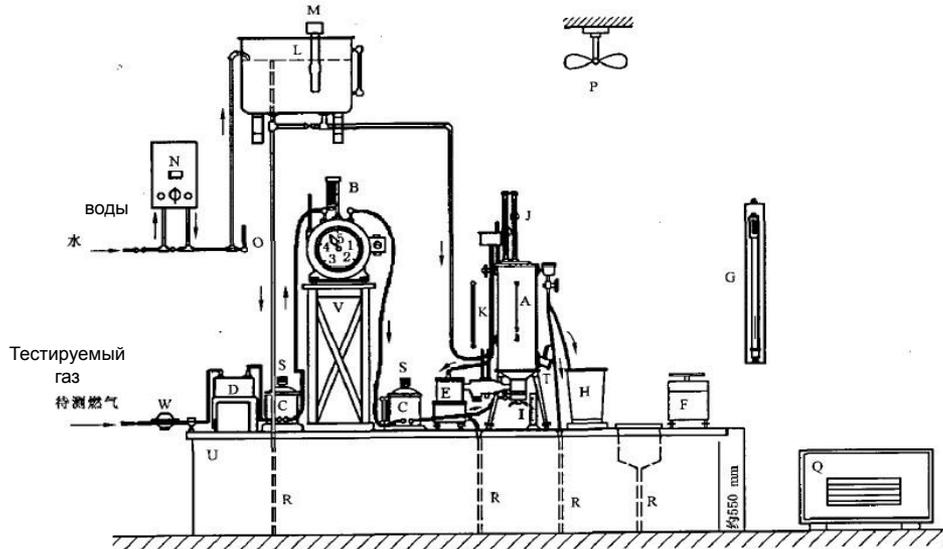


二、发热量直接测定技术现状-水流式热量计

II. Текущая ситуация технологии прямого измерения теплоты сгорания природного газа - проточный калориметр

测试原理&标准方法

Принцип измерения и эталонный метод



•工作原理:一定量的燃气经稳压后进入燃烧室内完全燃烧,燃烧时释放的热量被水流吸收,根据达到稳定状态时的各个参数,计算出燃气的热量。
Принцип работы: газ определенного количества поступает в камеру сгорания после стабилизации давления для полного сгорания, тепло, выделяющееся во время сгорания, поглощается потоком воды, а тепло газа рассчитывается в соответствии с различными параметрами при достижении состояния стабилизации. .

•GB/T 12206《城镇燃气值和相对密度测定方法》
GB/T 12206 "Метод определения теплоты сгорания и относительной плотности городского газа"

•主要针对城市燃气, 目前应用较少
В основном для городского газа, в настоящее время мало применяется

ICS 75. 160. 30
P 45



中华人民共和国国家标准

GB/T 12206-2006
代替GR/T 12206-12207-1990
Заменен GR / T 12206 - 12207-1990

城镇燃气热值和相对密度测定方法
Метод определения теплоты сгорания и
относительной плотности городского газа

Testing method to determine the calorific values
of town gas

2006-09-12发布
Опубликован 12 сентября 2006 г.
2007-03-01实施
Введен в действие 01 марта 2007 г.



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
Главным государственным управлением КНР по
контролю качества, инспекции и карантину
中国国家标准化管理委员会
Государственным комитетом по стандартизации КНР

发布
Опубликован



二、发热量直接测定技术现状-水流式热量计

II. Текущая ситуация технологии прямого измерения теплоты сгорания природного газа - проточный калориметр

不确定评定 确定 неопределенности измерений

水流式热量计发热量直接测量及不确定度评定结果

Результаты прямого измерения теплоты сгорания и оценки неопределенности измерений проточного калориметра

№ №	1	2	3	4	5	6	7	8
Номер								
Теплотворность, H_{di} MJ/m ³	45.63	41.16	35.76	39.96	39.29	38.47	41.69	43.20
Распущенная неопределенность, МДж/м ³	0.22	0.20	0.18	0.18	0.19	0.18	0.19	0.19
Относительная неопределенность, %	0.48	0.48	0.50	0.45	0.48	0.47	0.46	0.44

间接法与直接测定发热量结果的比对1

Сравнение результатов измерения теплоты сгорания косвенным методом прямым методом 1

№ № Номер	Косвенный метод		Прямой метод		Результат сравнения	
	H_m	$U(H_m)$	H_{di}	$U(H_{di})$	$ H_{di} - H_m $	$\sqrt{U^2(H_{di}) + U^2(H_m)}$ $\otimes 2\sqrt{u(x_{di})^2 + u(x_{in})^2}$
1	45.58	0.19	45.63	0.22	0.05	0.29
2	41.23	0.12	41.16	0.20	0.07	0.23
3	35.77	0.20	35.76	0.18	0.01	0.27
4	40.09	0.05	39.96	0.18	0.13	0.19
5	39.39	0.03	39.29	0.19	0.10	0.19
6	38.61	0.04	38.47	0.18	0.14	0.18
7	41.92	0.12	41.69	0.19	0.23	0.22
8	43.15	0.15	43.20	0.19	0.05	0.24

间接法与直接测定发热量结果的比对2
Сравнение результатов измерения теплоты сгорания косвенным методом прямым методом 2

试样编号 № образца	计算法 Метод расчета	仪器法 Метод примени я прибора	比对误差 Отклоне ние сравнени я	计算法 Метод расчета	仪器法 Метод примени я прибора	比对误差 (%) Отклоне ние сравнени я
	Hi (MJ/m ³) (МДж/м ³)	Hi (MJ/m ³) (МДж/м ³)		Hi (MJ/m ³) (МДж/м ³)	Hi (MJ/m ³) (МДж/м ³)	
1	43.78	44.36	+ 1.32	39.50	40.10	+ 1.51
2	35.70	35.64	-0.17	32.17	32.34	+ 0.53
3	42.74	42.75	+ 0.02	38.53	38.45	-0.21
4	41.29	41.30	+ 0.02	37.19	37.73	+ 1.44
5	39.92	39.52	-0.97	35.89	35.56	-0.92

注: 比对误差=(H仪器法-H算法) / H算法x 100%。
Примечание. отклонение сравнения = (H метод применения прибора - H-метод расчета) / H-метод расчета x 100%.

•不同研究对水流式热量计的准确度评定结果在0.5%~1.5%之间, 一般公认的水流式热量计的测量不确定度为1.0%左右。

Результат различных исследований по оценке точности проточного калориметра различных исследований находится в диапазонах 0.5% - 1.5%, общепризнанная неопределенность измерений проточным калориметром составляет около 1.0%.

标准参比条件取0°C, 0°C, 101.325kPa.

Стандартные условия сравнения: 0 °C, 0 °C, 101,325 кПа.

数据来源:

Источник данных:

1、GB/T 31253-2014《天然气气体 标准物质的验证》,

1. GB / T 31253-2014 «Проверка образцовых материалов для природного газа»,

2、曾文平,李忠诚.天然气发热量测定方法研究[J].石油与天然气化工,1999(01).

2. Цэн Вэньпин, Ли Чжунчэн. Исследование метода измерения теплоты сгорания природного газа [J]. Химическая инженерия нефти и природного газа, 1999 (01).



二、发热量直接测定技术现状-Cutler-Hammer型热量计

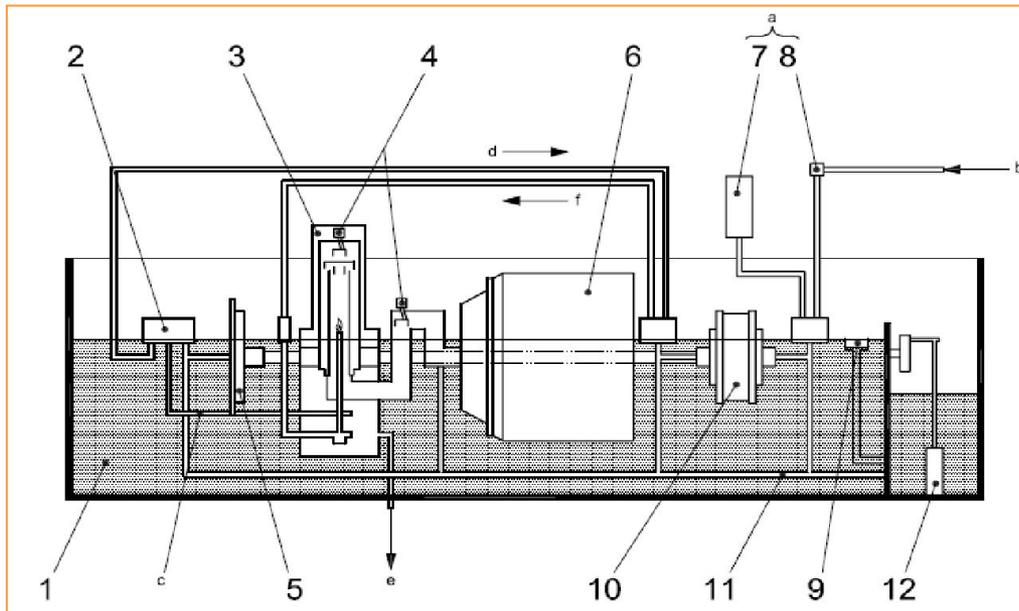
II. Текущая ситуация технологии прямого измерения теплоты сгорания природного газа - калориметр Cutler-Hammer

测试原理

Принцип измерения

□ 热量计的原理是将一定量的气体完全燃烧，通过热交换器，将燃烧产生的热量传递给相关热吸收介质，使得介质的温度随之升高，通过检测介质升高的温度就可以测量得到相关气体的发热量。

Принцип калориметра состоит в том, чтобы полностью сжечь определенное количество газа и передать тепло, выделяемое при сгорании, соответствующей теплопоглощающей среде через теплообменник, таким образом, температура среды повышается, путем измерения повышенной температуры среды можно определить теплоту сгорания соответствующего газа.



1-温度稳定装置;2-空气分配器;3-燃烧室;4-温度计;5-助燃空气流量计;6-吸热介质空气流量计;7-燃烧泄压口;8-节流孔板;9-溢流口;10-气体流量计;11-排水管;12-水泵;a-减压装置;b-气体入口;c-二次给气;d-一次空气;e-冷凝物排放;f-气体混合

1- стабилизатор температуры; 2- распределитель воздуха; 3- камера сгорания; 4- термометр 5- расходомер воздуха вспомогательного зажигания; 6- расходомер воздуха-теплопоглощающей среды; 7- отверстие сброса давления при сгорании; 8- дроссельная диафрагма; 9 - сливное отверстие; 10- газовый расходомер; 11- водоотвод; 12-водяной насос; a - декомпрессионное устройство; b вход газа; c - вторичная подача воздуха, d - первичный воздух; e - выброс конденсата; f- смесь газов

Cutler-Hammer热量计的结构示意图

Принципиальная схема калориметра Cutler-Hammer



二、发热量直接测定技术现状-Cutler-Hammer型热量计

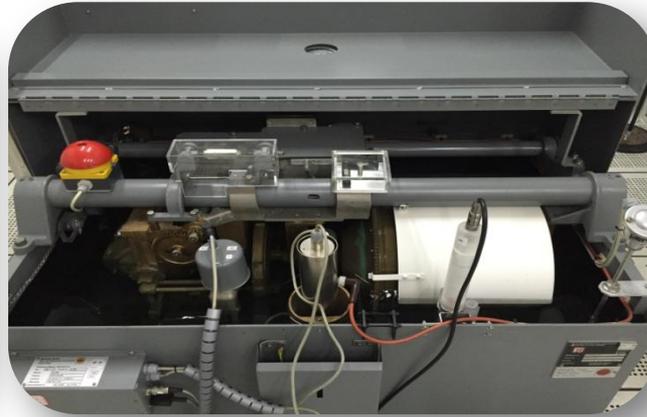
II. Текущая ситуация технологии прямого измерения теплоты сгорания природного газа - калориметр Cutler-Hammer

标准方法

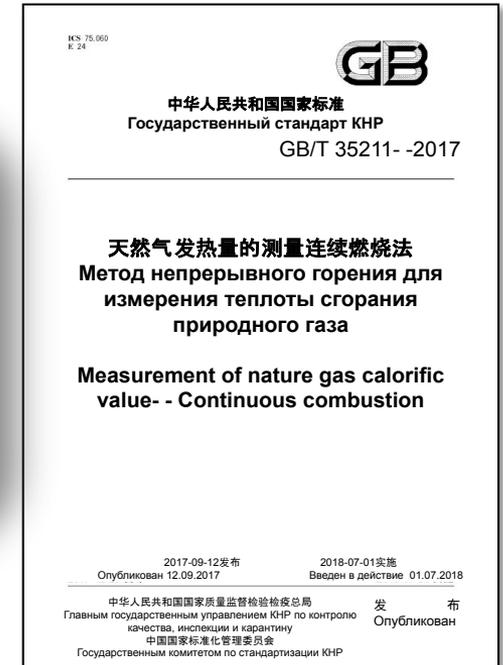
Стандартный метод

天然气研究院依托中国石油天然气集团公司天然气质量控制与能量计量重点实验室，建立了国内首套Cutler-Hammer发热量直接测定标准装置，基于大量测试结果，制定了相应的方法标准。

Опираясь на ключевую лабораторию контроля качества природного газа и учета энергии Китайской национальной нефтяной корпорации, Научно-исследовательский институт природного газа создал первый отечественный комплект эталонной установки прямого измерения теплоты сгорания Cutler-Hammer и разработал соответствующие стандарты методов на основе результатов массовых испытаний.



Cutler-Hammer发热量直接测定装置
Установка прямого измерения теплоты сгорания природного газа Cutler-Hammer



- GB/T 35211-2017《天然气发热量的测量 连续燃烧法》
- GB / T 35211-2017 «Метод непрерывного сжигания для измерения теплоты сгорания природного газа»
- ISO 15971 : 2008《Natural gas — Measurement of properties — Calorific value and Wobbe index》 Annex D



二、发热量直接测定技术现状-Cutler-Hammer型热量计

II. Текущая ситуация технологии прямого измерения теплоты сгорания природного газа- калориметр Cutler-Hammer

关键测试控制

Критический контроль измерения

- 房间温度控制在20-23℃, 水温设置为22.0℃;确定流量计运行正常后, 打开高纯甲烷气体管线阀门, 多次减压, 进入气体分配面板的压力维持在10~15mbar。
Комнатная температура поддерживается на уровне 20-23 °С, а температура воды устанавливается на 22,0 °С. После подтверждения нормальной работы расходомера, открыть клапан газопровода высокочистого метана и несколько раз сбросить давление, чтобы поддерживать давление на распределительной панели приточного газа на уровне 10-15мбар.
- 启动高压点火装置点燃燃烧炉, 待燃烧稳定后, 按照“甲烷—LLgas—甲烷—LHgas—甲烷—HHgas—甲烷—样品气1—甲烷—样品气2—甲烷”顺序, 切换到不同的气体进行燃烧, 每种气体测量时间1h。
Запустить устройство зажигания под высоким давлением для зажигания печи сжигания. После того, как горение станет стабильным, переключить на другие газы для горения в следующем порядке: метан - LLгаз - метан - LHгаз - метан - HHгаз - метан - пробный газ 1-метан - пробный газ 2-метана, продолжительность измерения каждого газа составляет 1 час.
- 测试完毕后, 关闭气体, 导出数据。
При завершении измерения отключить газ и экспортировать данные.





二、发热量直接测定技术现状-Cutler-Hammer型热量计

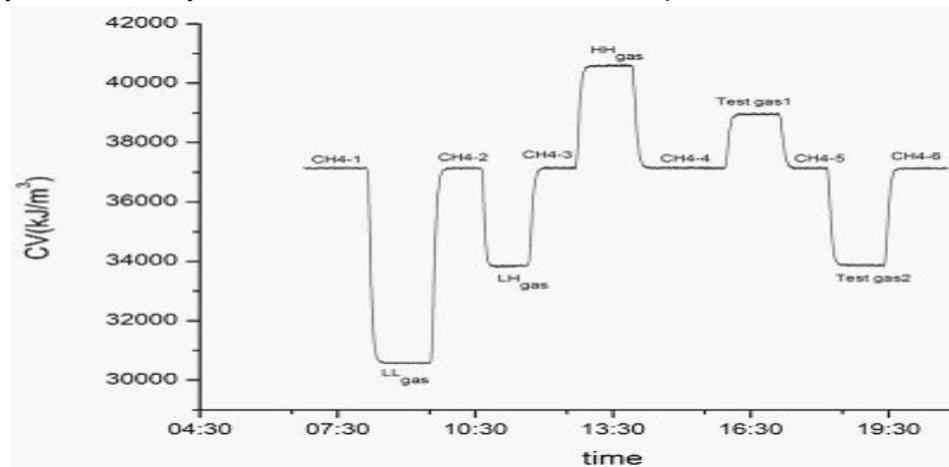
II. Текущая ситуация технологии прямого измерения теплоты сгорания природного газа - калориметр Cutler-Hammer

不确定评定

Определение неопределенности измерений

- 评定本装置测量不确定度, 首先通过不同发热量的标准气体获取发热量的标准曲线, 并利用纯甲烷发热量修正装置系统引入的不确定度。

С целью оценки неопределенности измерений данной установки, сначала определить эталонную кривую теплоты сгорания с помощью образцовых газов с разной теплотой сгорания, затем корректировать неопределенность измерений, вносимую системой установки, с помощью теплоты сгорания чистого метана.



甲烷修正值
Значение
поправки метана

$$A_{shift,T} = ((H_{s,CH_4} - A_{CH_4,T,b}) + (H_{s,CH_4} - A_{CH_4,T,a}))/2$$

$A_{shift,T}$ 表示为实验气或者标准气体的甲烷修正值,

$A_{shift,T}$ означает значение поправки метана для экспериментального или образцового газа,

H_{s,CH_4} 为ISO给出的甲烷标准值,

H_{s,CH_4} - стандартное значение метана, указанное в ISO,

$A_{CH_4,T,b}$ 和 $A_{CH_4,T,a}$ 为实验气或者标准气体测试前后的甲烷测试值

$A_{CH_4,T,b}$ и $A_{CH_4,T,a}$ - испытательные значения метана до и после испытания экспериментального газа или образцового газа.



二、发热量直接测定技术现状-Cutler-Hammer型热量计

II. Текущая ситуация технологии прямого измерения теплоты сгорания природного газа- калориметр Cutler-Hammer

2个样品的测试不确定评估

Оценка неопределенности измерений 2 образцов

气体 Газ	发热量, kJ/m ³ теплота сгорания, кДж / м ³			计算发热量 Расчетная теплота сгорания	与计算值的偏离 Отклонение от расчетного значения
	测量结果A _s , kJ/m ³ Результат измерения A _s , кДж / м ³	标准不确定度, kJ/m ³ Стандартная неопределенность измерений, кДж / м ³	相对扩展不确定度 · U _{rel} Относительная расширенная неопределенность измерений, U _{rel}	测量结果H _s , kJ/m ³ Результат измерения H _s , кДж / м ³	ΔH _{s, rel}
Test gas 1	38955.21	28.19	0.14%	38938.80	0.04%
Test gas 2	33990.31	25.88	0.15%	33973.54	0.05%

5个样品发热量直接测量值与间接测量值比对

Сравнение значения прямого измерения и значения косвенного измерения теплоты сгорания 5 образцов

气源 Источник газа	直接测定法 Метод прямого измерения		间接测定法 Метод косвенного измерения (气相色谱法) (Газовая хроматография)		差值 Разница	$2\sqrt{u_i^2 + u_d^2}$, MJ/m ³ (мДж/м ³)	$\Delta H_s \leq 2\sqrt{u_i^2 + u_d^2}$ 一致性判定 Определение согласованности (比较传递法) (метод сравнительной передачи)
	测量结果H _{ds} , MJ/m ³ Результат измерения H _{ds} , кДж / м ³	测量不确定度U _d , MJ/m ³ Измерение неопределе нности измерений U _d , мДж / м ³	测量结果H _{is} , MJ/m ³ Результат измерения H _{is} , кДж / м ³	测量不确定度U _i , MJ/m ³ Измерение неопределе нности измерений U _i , мДж / м ³	ΔH _s , MJ/ м ³ ΔH _s , кДж / м ³		
样品1 Образец 1	36.76	0.050	36.71	0.184	0.05	0.190	一致 Соответствие
样品2 Образец 2	36.72	0.049	36.69	0.183	0.03	0.190	一致 Соответствие
样品3 Образец 3	37.45	0.050	37.41	0.187	0.04	0.194	一致 Соответствие
样品4 Образец 4	37.51	0.050	37.45	0.187	0.06	0.194	一致 Соответствие
样品5 Образец 5	37.14	0.054	37.21	0.186	0.07	0.194	一致 Соответствие



二、发热量直接测定技术现状-Cutler-Hammer型热量计

II. Текущая ситуация технологии прямого измерения теплоты сгорания природного газа - калориметр Cutler-Hammer

德国PTB和中国计量院针对此台Cutler-Hammer热量计，给出了不确定度评定证书和测试结果。

Физико-технический институт (PTB) Германии и Национальный научно-метрологический институт Китая предоставили сертификат оценки неопределенности измерений и результаты испытаний для этого калориметра Cutler-Hammer.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt



Seite 3 zum Prüfschein vom 2014-07-07, Prüfscheinnummer: FG001
Page 3 of the Test Certificate dated 2014-07-07, Test Certificate No.: FG001

Table 1: Results of the validation of the calibration curve; determined calorific values H_s , their absolute (U) and relative uncertainties (U_{rel}), calorific values calculated according to analysis certificates and the absolute (ΔH_s) and relative ($\Delta H_{s,rel}$) deviation from these; for the designation of the gas type, see documents 8 and 9 and/or PTB-A 7.63.

Measurement						Certificate				Deviation from Certificate	
Gas type	Date of measurement	H_s Wh/m ³	U Wh/m ³	U_{rel} %	Docu-ment	H_s Wh/m ³	U Wh/m ³	U_{rel} %	Docu-ment	ΔH_s Wh/m ³	$\Delta H_{s,rel}$ %
2HL	13.11.2013	11619	14	0.12	1)	11618	13	0.12	8)	1	0.009
2LHL	13.11.2013	10101	13	0.13	2)	10100	12	0.12	9)	1	0.010
2HL	26.11.2013	11620	15	0.13	4)	11618	13	0.12	8)	2	0.017
2HL	28.11.2013	11621	15	0.13	6)	11618	13	0.12	8)	3	0.026
2LHL	28.11.2013	10102	14	0.14	7)	10100	12	0.12	9)	2	0.020

Table 2: Results of calorific value measurements of test gases; determined calorific values H_s , their absolute (U) and relative uncertainties (U_{rel}), calorific values calculated according to analysis certificates and absolute (ΔH_s) and relative ($\Delta H_{s,rel}$) deviation from these; for the designation of the gas type, see documents 10 and 11.

Measurement						Certificate				Deviation from Certificate	
Gas type	Date of measurement	H_s Wh/m ³	U Wh/m ³	U_{rel} %	Docu-ment	H_s Wh/m ³	U Wh/m ³	U_{rel} %	Docu-ment	ΔH_s Wh/m ³	$\Delta H_{s,rel}$ %
9M	20.11.2013	10768	17	0.16	3)	10759	-	-	10)	9	0.084
H3 11K	27.11.2013	11616	13	0.11	5)	11612	-	-	11)	4	0.034

中国计量科学研究院
Национальный научно-метрологический институт КНР
报告编号NMwh2015-0352
Номер отчета NMwh2015-0352



测试结果 Результаты испытаний

气瓶号 Номер газобалло-на	测量次数 Число измерений	测量结果 Результаты измерения	测量不确定度 U(k=2), Wh/m ³		相对不确定度 Относительная неопределенность измерений $\frac{U}{H_s} \cdot 100, \%$	ΔH_s Wh/m ³	$\Delta H_{s,rel}$ %
			Измерение неопределенности измерений U(k=2), Втч / м ³	И			
21914013	301	11568	7.63	0.13	1	0.009	
21914009	314	12022	7.63	0.13	3	0.025	
21914012	324	10321	7.23	0.14	5	0.048	
21914017	324	9249	7.77	0.17	0	0.000	
769135	324	10774	8.12	0.15	5	0.046	
774483	324	12819	10.8	0.17	12	0.094	
NPL 115	324	11325	8.35	0.15	8	0.071	

以下空白
Ниже пусто

说明:
Скавление:
1. 本报告对知道“中国计量科学研究院测试专用度”的完整报告负责。
2. 本报告的结果仅对本次所测试的样品有效。
3. 本报告的结果仅对本次所测试的样品有效。
4. 本报告的结果仅对本次所测试的样品有效。

测试员
Испытатель

303

核员
Проверщик

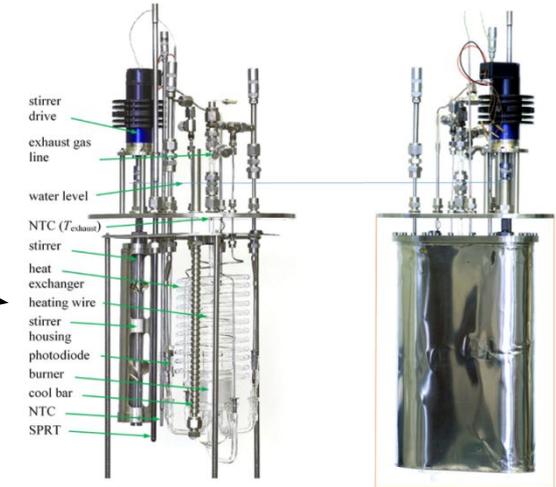
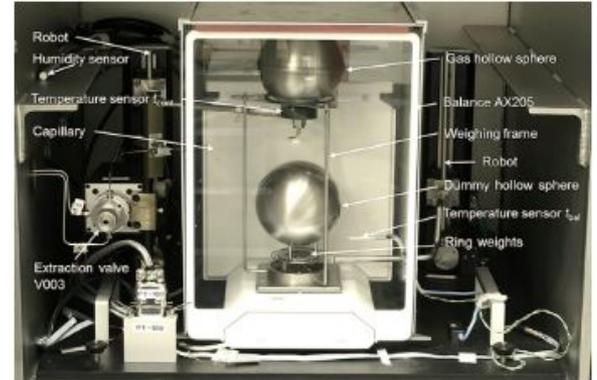
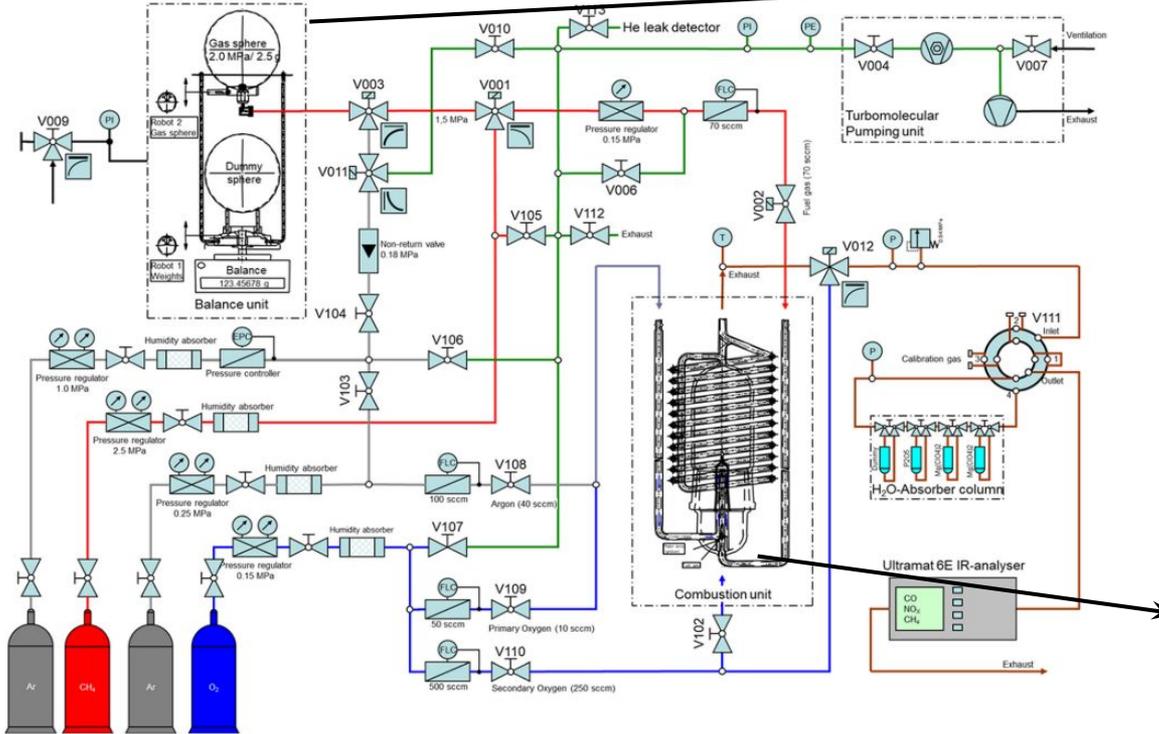
303



二、发热量直接测定技术现状-基准（0级）热量计

II. Текущая ситуация технологии прямого измерения теплоты сгорания природного газа - контрольный (уровень 0) калориметр

Rossini型量热计
Калориметр Rossini



来源: J. Phys. Chem. Ref. Data 48, 043103 (2019)
Источники: J. Phys. Chem. Ref. Data 48, 04310

$$H_s = \frac{C_{\text{comb}} \Delta T_{\text{ad,comb}} + K}{m_{\text{fuel}}} = \frac{h_s}{m_{\text{fuel}}}$$

主要由燃料气体质量测量系统、配气系统、热值测量主体系统（燃烧系统、恒温系统、测温系统、热容标定系统）、烟气成分检测系统和操控软件系统构成。

В основном состоит из системы измерения качества топливного газа, системы газораспределения, основной системы измерения теплоты сгорания (система сгорания, система термостатирования, система измерения температуры, система калибровки теплоемкости), системы определения состава дымового газа и системы программного обеспечения управления.



二、发热量直接测定技术现状-基准(0级)热量计

II. Текущая ситуация технологии прямого измерения теплоты сгорания природного

газа - контрольный (уровень 0) калориметр

Rossini型量热计

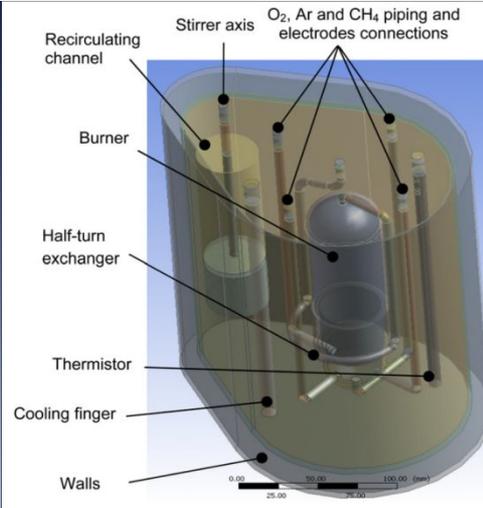
Калориметр Rossini

Elektronic C_{cal} and m_{non}



德国PTB热量计

Калориметр физико-технического института
(PTB) Германии



法国LNE热量计

Калориметр Национальной
испытательной лаборатории (LNE)
Франции



韩国标准科学研究院热量计

Калориметр Научно-
исследовательского института
стандартов и науки Кореи



- 德国、英国、法国均建设有Rossini型基准量热计，不确定度水平接近或优于0.1% ($k=2$) (ISO 15971 0级水平)
В Германии, Великобритании и Франции построены эталонные калориметры типа Rossini с уровнем неопределенности измерений, близким или превышающим 0,1% ($k = 2$) (ISO 15971, уровень 0).
- 韩国标准科学研究院热量计甲烷发热量测试重复性标准差为0.08%左右。
Эталонное отклонение повторяемости измерения теплоты сгорания метана калориметром Научно-исследовательского института стандартов и науки Кореи составляет около 0,08%.



二、发热量直接测定技术现状-基准(0级)热量计

II. Текущая ситуация технологии прямого измерения теплоты сгорания природного газа

- контрольный (уровень 0) калориметр

中国计量大学开展了基于Rossini原理的0级热量计的研发工作，针对燃料气体质量测量系统、配气系统、燃气热值测量主体系统（热容校准、温度场优化）、烟气成分检测系统开展了细致有针对性的研究工作，预期经优化后甲烷发热量的测试 **不确定度水平可达0.3%**。

Китайский университет по метрологии провел исследования и разработку калориметра нулевого уровня на основе принципа Rossini, выполнил тщательные и целенаправленные работы по исследованию системы измерения качества топливного газа, системы распределения газа, основной системы измерения теплоты сгорания газа (калибровка теплоемкости, оптимизация поля температуры), а также системы обнаружения состава дымовых газов, по результатам которых, ожидаемый **уровень неопределенности измерений теплоты сгорания метана после оптимизации может достигать 0,3%**.

中国计量科学研究院搭建了Rossini型热量计，甲烷发热量的测量**不确定度估计为0.2%**。

Национальный научно-исследовательской метрологический институт КНР построила калориметр Rossini, измеренная которым **неопределенность измерений метана оценивается в 0,2%**.

参考文献：

Литература:

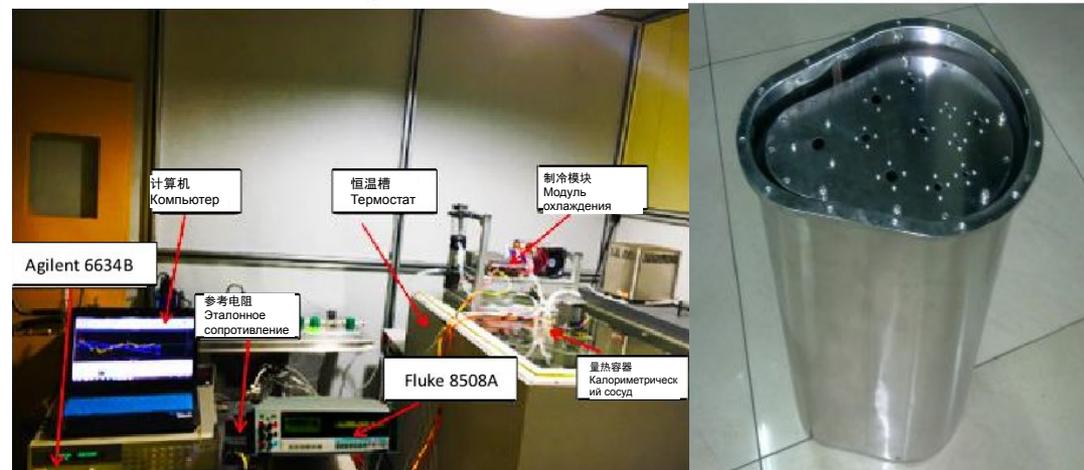
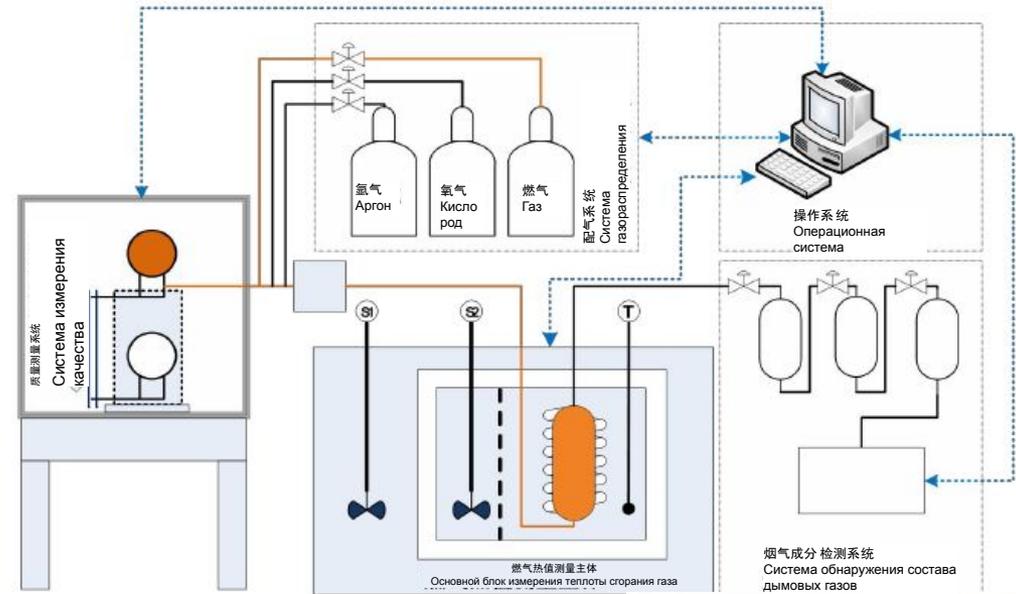
1. 金梁勇, 基于Rossini法的燃气热值测量主体装置的研究 [D].

2016, 中国计量大学.

1. Цзинь Ляньюн, Исследование основного устройства для измерения теплоты сгорания газа на основе метода Rossini [D], 2016 г., Китайский университет Цзилян.

2. 杜军燕等, Rossini型气体热量计非稳态温度场的优化分析. 中国测试, 2017. 43(08): p. 119-124.

2. Ду Цзюньян и др. Оптимизационный анализ нестационарного температурного поля газового калориметра Rossini // China Measurement & Test, 2017г. 43 (08): стр. 119-124.





二、发热量直接测定技术现状-基准(0级)热量计

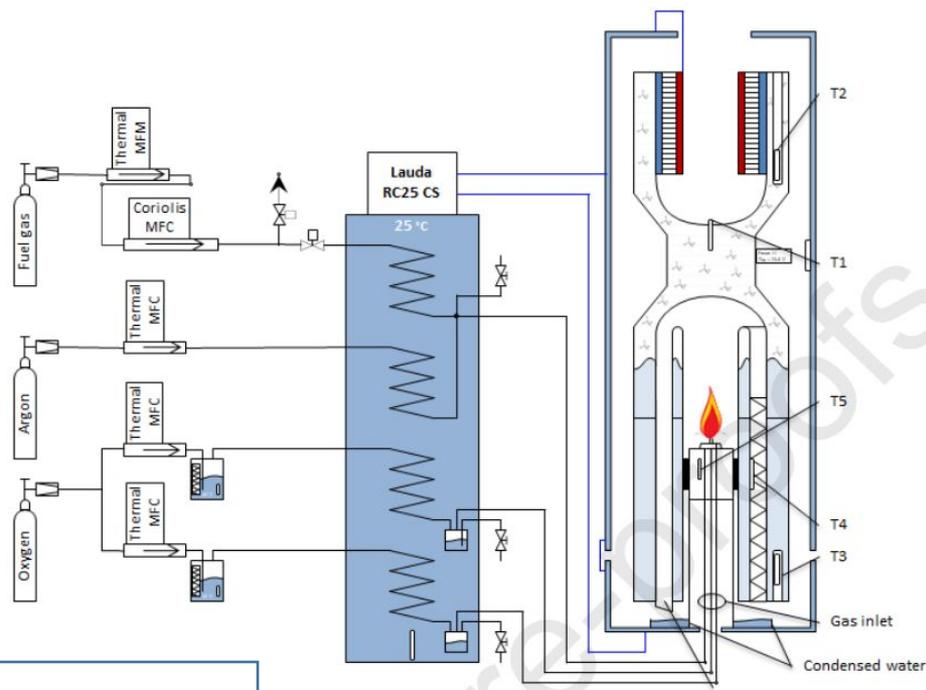
II. Текущая ситуация технологии прямого измерения теплоты сгорания природного газа - контрольный (уровень 0) калориметр

КТТ-7量热计

Калориметр КТТ-7

俄罗斯门捷列夫计量院建设的基准量热计，是通过不断电制冷液化热管内因天然气燃烧传热导致的气化氟利昂，而使热管内的温度、压力保持平衡，并根据电制冷功率计算天然气发热量的。

Эталонный калориметр, построенный Всероссийским научно-исследовательским институтом метрологии имени Д. И. Менделеева, осуществляет расчет теплоты сгорания природного газа на основе обеспечения баланса температуры и давления в тепловой трубе в результате газификации фреона, вызванной теплопередачей при сгорании природного газа в тепловой трубе сжижения посредством непрерывного электрического охлаждения, и мощности электрического охлаждения.



$$Q_{\text{Combustion}} \Rightarrow Q_{\text{Evaporation}} \Leftrightarrow Q_{\text{Condensation}} \Leftarrow Q_{\text{Peltier}}$$

燃烧传热引起氟利昂气化
Теплопередача при сгорании вызывает газификацию фреона

帕尔贴制冷液化氟利昂
Сжиженный фреон, охлажденный модулем Пельтье

热管内温度、压力处于平衡状态

Температура и давление в тепловой трубе находятся в равновесии.

参考文献: Y.I. Alexandrov /Thermochemica Acta 382 (2002) 55–64
Летература: Y.I. Alexandrov /Thermochemica Acta 382 (2002) 55–64

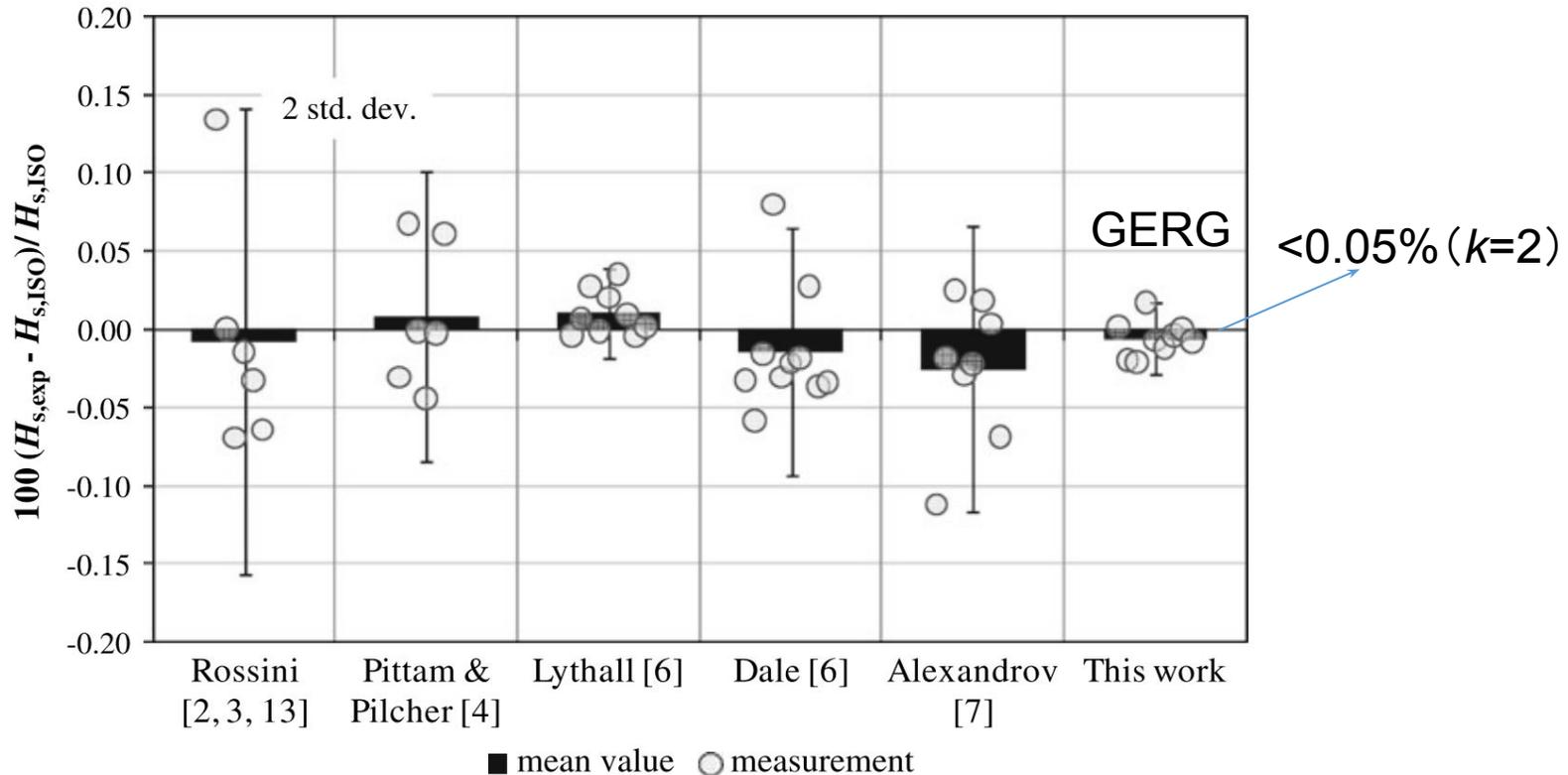
俄罗斯КТТ-7热量计示意图
Принципиальная схема российского калориметра КТТ-7

•测量甲烷发热量的相对不确定度水平达到0.1% (k=2)。
Уровень относительной неопределенности измерений теплоты сгорания метана достигает 0,1% (k = 2).



二、发热量直接测定技术现状-基准(0级)热量计

II. Текущая ситуация технологии прямого измерения теплоты сгорания природного газа - контрольный (уровень 0) калориметр



来源:

Источник:

Int J Thermophys (2010) 31:665–679

□ Rossini, Pittam&Pilcher, Lythall, Dale, GERG等均基于Rossini原理的气体热量计原理获取, 各种方法的区别在于对燃气进样量确定方式及尾气分析的不同。

Rossini, Pittam&Pilcher, Lythall, Dale, GERG и др. определены на основе принципа газового калориметра Rossini, разница между различными методами заключается в способе определения объема впрыска образцов газа и анализе отходящего газа.

□ 俄罗斯的Alexandrov采用KTT-7获取的测量结果。

Alexandrov России использует результаты, измеренные калориметром KTT-7.



二、发热量直接测定技术现状-基准(0级)热量计

II. Текущая ситуация технологии прямого измерения теплоты сгорания природного газа - контрольный (уровень 0) калориметр

两种技术比较:

Сличение двух технологий:

	Rossini量热计 (欧洲气体研究组织GERG) 研制 Разработка калориметра Rossini (Европейская группа научных исследований природного газа GERG)	KTT-7量热计 Калориметр KTT-7
基本原理 Основной принцип	当燃烧释放热量与热敏电阻释放热量使得水温变化一致时, 通过热敏电阻消耗电量计算发热量。 Когда тепло, выделяемое при сгорании, и тепло, выделяемое термистором, приводят к согласованному изменению температуры воды, теплота сгорания рассчитывается по электроэнергии, потребляемой термистором.	通过不断电制冷液化燃料燃烧引起的热管内的气化氟利昂, 使热管内的温度、压力保持平衡, 根据电制冷功率计算天然气发热量。 Осуществляет расчет теплоты сгорания природного газа на основе обеспечения баланса температуры и давления в тепловой трубе в результате газификации фреона, вызванной сгоранием сжиженного топлива в тепловой трубе сжижения посредством непрерывного электрического охлаждения, и мощности электрического охлаждения.
水平 Уровень	测量甲烷发热量的相对不确定度水平达到0.05% ($k=2$)。 Уровень относительной неопределенности измерений теплоты сгорания метана достигает 0,05% ($k = 2$).	测量甲烷发热量的相对不确定度水平达到0.1% ($k=2$)。 Уровень относительной неопределенности измерений теплоты сгорания метана достигает 0,1% ($k = 2$).
优缺点 Преимущество и недостаток	1、技术比较成熟, 已有多国建立该装置, 方便开展比对研究。 1. Технология относительно развита, данная установка была построена в многих странах, сравнительные исследования удобные. 2、ISO15971推荐0级发热量直接测定装置。 2. ISO15971 рекомендует применение установки прямого измерения теплоты сгорания нулевого уровня.	1、燃烧腔及烟气与热管内氟利昂通过相变传热, 传热效率高。 1. Камера сгорания, дымовой газ и фреон в тепловой трубе передают тепло за счет фазового перехода, что характеризуется высокой эффективностью теплопередачи. 2、由俄罗斯独立开发, 后期比对分析具有一定的局限性。 2. Данная установка разработана Россией самостоятельно, что имеет определенное ограничение для будущего сравнительного анализа.

参考文献:

Литература:

1. Int J Thermophys (2010) 31:665–679
2. Y.I. Alexandrov /Thermochimica Acta 382 (2002) 55–64

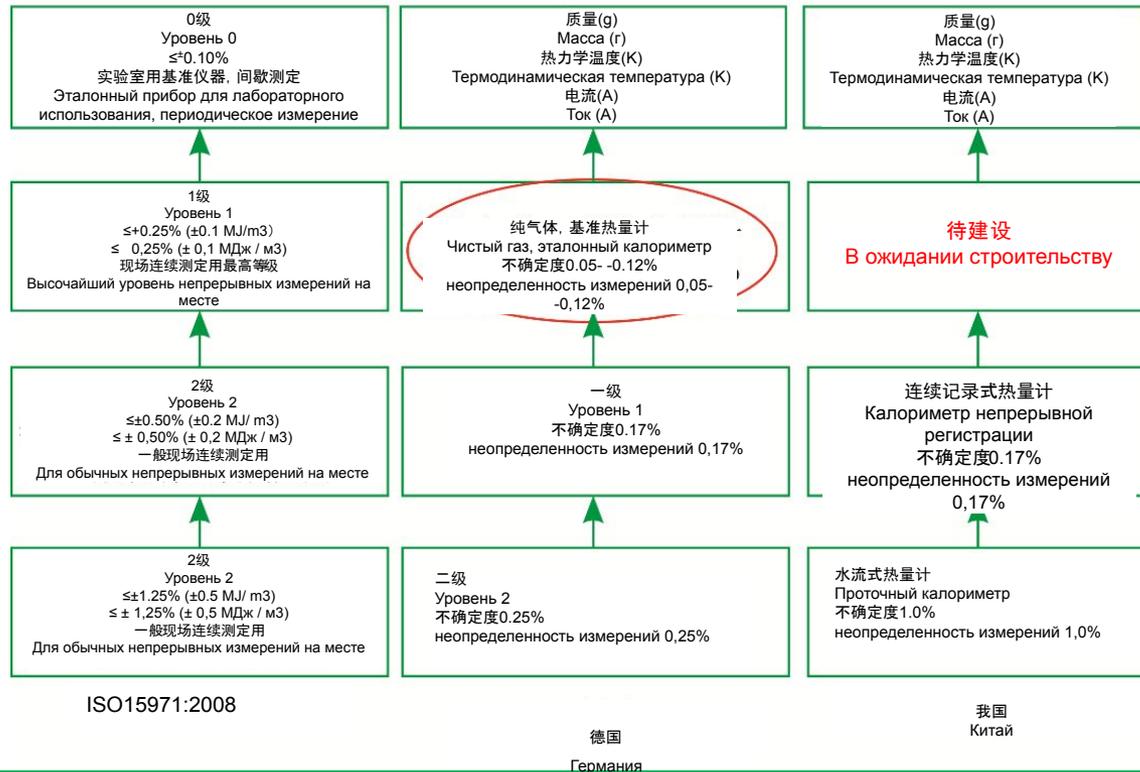


三、下一步发展计划

III. План последующего развития

发热量直接测定溯源链:

Цепь отслеживания прямого измерения теплоты сгорания:



我国尚未建立ISO 15971标准定义的发热量直接测定0级装置, 与欧美发热量直接测定不确定度优于0.1% (k=2) 还有一定差距, 发热量直接测定溯源链不完善。

В Китае пока не построена установка прямого измерения теплоты сгорания нулевого уровня, определенное в стандарте ISO 15971. По сравнению с неопределенностью прямого измерения теплоты сгорания, достигнутой в Европе и США, составляющей лучше 0,1% (k = 2), Китай все еще немного отстает, наша цепь отслеживания прямого измерения теплоты сгорания пока не совершенная.



三、下一步发展计划

III. План последующего развития

拟与中国计量科学院、中国计量大学等机构深入合作，基于 Rossini 热量计的测量原理，在现有工作基础上，通过实验与数值模拟结合的手段改进优化：

Планируем всесторонне сотрудничать с Национальным метрологическим институтом КНР, Китайским университетом Цзилян и другими учреждениями, осуществить улучшение и оптимизирование на основе принципа измерения калориметра Rossini и существующих работ, путем комбинации эксперимента и численного моделирования:

— **燃料气体称量系统**

— Система взвешивания топливного газа

— **气体燃烧系统**

— Система сгорания газа

— **热容标定系统**

— Система калибровки теплоемкости

— **温度场控制和温度测量系统**

— Система контроля температурного поля и измерения температуры

— **燃烧尾气分析系统**

— Система анализа отходящих газов сгорания

不断优化提升热量计的不确定水平，争取早日建成达到国际先进水平的0级发热量直接测定装置，以完善天然气发热量直接测定的溯源链，保障天然气能量计量实施的公平公正和我国在天然气计量领域的国际话语权。

Постоянно оптимизировать и улучшить уровень неопределенности измерений калориметра и стремиться к быстрому построению установки прямого измерения теплоты сгорания нулевого уровня, достигавшей международного передового уровня, чтобы улучшить цепь отслеживания прямого измерения теплоты сгорания природного газа и обеспечить объективность и справедливость учета энергии, а также международное право слова Китая в области учета природного газа.



汇报结束 谢谢大家
спасибо за внимание!

