

热值仪校准规范编制说明

规范起草组

2026 年 9 月

一、任务背景及来源

热值仪是在钢铁冶金、石油化工、煤化工等行业测量工业煤气、天然气、液化石油气等可燃气体热值的仪器。燃烧式热值仪的原理为：将一定量的可燃气体通入热值仪燃烧室内，调节气体压力和流量至合适范围后，使其充分燃烧，通过测温元件测得燃烧前后的温差，同时由振动式密度计等测得测量单元测得燃气的密度或相对密度，计算出气体的热值。在实际工作中，由于缺乏对应的检定规程或校准规范，多以参照 JJG 412-2005《水流型气体热量计检定规范》的计量参数对仪器计量性能进行评估，但两种仪器测量原理、结构型式和应用场景存在显著差异，导致校准过程中无标准方法可以参照和评价，编制适合燃烧式热值仪的校准规范需求尤为迫切。热值仪校准规范的编制，可为该类仪器建立清晰的溯源链，为各级市场监管部门提供更加准确的设备性能监测数据，也为各仪器生产企业、仪器使用企业提供质量控制、技术改进的重要支撑，推动高质量检测和计量工作的发展。

针对热值仪的校准，国内目前发布和实施的地方校准规范主要是 JJG 412-2005《水流型气体热量计检定规程》、JJG(冀)207-2023《天然气热值仪校准规范》、JJF 2258-2025《关联法天然气发热量测定仪校准规范》、JJF 1993-2022《天然气能量计计量技术规范》等，说明在国内的计量单位和使用单位开始关注该类仪器的溯源。但这些检定规程和校准规范在针对目前得到广泛使用的连续燃烧法热值仪校准时，均存在部分局限性：水流型气体热量计为间歇式设备，且通过人工手动操作，实验过程较长，多用于实验室精密测试，不满足现场连续、快速测试需求。关联法天然气发热量测定仪与连续燃烧法原理不同，本质上属于不同的仪器。JJG(冀)207-2023《天然气热值仪校准规范》中，只针对天然气对应的发热量范围，提供了校准方法及所需标准物质，未考虑钢铁等行业广泛应用的煤气发热量测试校准。JJF 1993-2022《天然气能量计计量技术规范》规定了用于贸易计量的天然气能量计计量系统的评价和天然气能量计量结果的核验及其等级的评定方法的通用原则，不针对特定仪器确定校准方法等具体内容。由于现在暂无国家校准规范，将来势必有更多的地方或行业校准规范出台，因此，有必要编制针对此仪器的校准规范。

为了保障热值仪的量值准确可靠，使仪器的计量性能和溯源性满足政府管理和监督需要，急需制定该仪器的计量校准规范。起草任务由国家市场监督管理总局 2024 年下达（市监计量发[2024]40 号文），归口单位为全国碳达峰碳中和计量技术委员会钢

铁计量分技术委员会。

二、依据和主要参考资料

本校准规范制定依据和主要的参考资料有：

- (1) JJF 1993—2022《天然气能量计量技术规范》；
- (2) GB/T 11062—2020《天然气 发热量、密度、相对密度和沃泊指数的计算方法》；
- (3) GB/T 35211—2017《天然气发热量的测量 连续燃烧法》；
- (4) GB/T 38521—2020《气体分析 纯度分析和纯度数据的处理》；
- (5) JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》；
- (6) JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》；
- (7) JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》。

三、仪器与计量标准调研

目前热值仪的主要生产厂家为：德国尤尼(UNION)公司、日本横河(YOKOGAWA)公司、美国赛默飞世尔(Thermo Fisher)公司等，这些公司生产的设备在钢铁冶金企业、石油石化企业都有多年的应用经历，也推出过不同系列和型号的产品，如 CWD2005 型、CWD2005DPC 型、FLO-CAL 型、CS6T 型、CM6G 型等，国内也有一些公司推出了不同型号的热值仪，在钢铁冶金企业得到了一定的应用。

经国家标准物质资源共享平台查询，热值气体标准物质共有 2 个，标准物质信息如表 1 所示：

表 1 热值气体标准物质

研制单位	标准物质编号	标准物质名称	热值/kJ/m ³	相对扩展不确定度 ($k=2$)
国家标准物质研究中心	GBW(E)130152	热值气体标准物质	6500~50000	2%
江苏天鸿化工有限公司	GBW(E)130099	热值气体标准物质	7000~42000	2%

但经与研制单位联系，这些标准物质均研制于上世纪八九十年代，现因各种原因已不再复制，暂无法获得可直接使用的热值气体标准物质。以 GBW(E)130152 为例，根据国家标准物质资源共享平台资料显示，该热值气体标准物质研制起止日期为 1986 年 6 月至 1990 年 12 月，被批准时间为 1991 年 3 月，距今已有 30 多年时间，无法直接使用热值气体标准物质对设备进行校准。

结合测试方法和行业使用现状，考虑使用已知组分的混合气体标准物质对仪器进行校准，这主要是因为：（1）热值气体标准物质的组成即为混合气体标准物质，使用

混合气体标准物质从材料本身来说与热值气体标准物质并无二致；（2）目前使用的检测相关方法 GB/T 35211—2017《天然气发热量的测量 连续燃烧法》和 GB/T 11062—2020《天然气 发热量、密度、相对密度和沃泊指数的计算方法》中，详细规定了使用已知组分的混合气体作为校准气体或质量监控气体时，通过其组分计算热值的方法，该方法起草时采用了 ISO 6976:2016 国际标准，是国际通用方法，在全球范围内均具有指导意义，且 ISO 针对此应用场景编制了电子表格文档，可非常方便地计算已知组分混合气体的热值及不确定度；（3）经与仪器厂商、使用企业调研得知，目前在实际使用的也均为使用混合气体标准物质代替热值气体标准物质的方式。

考虑到不同行业的使用需求，调研了不同目标热值的相关气体标准物质研制现状，经国家标准物质资源共享平台查询，标准物质信息如表 2 所示：

表 2 混合气体标准物质

研制单位	标准物质编号	标准物质名称	物质的量 分数/10 ⁻²	相对扩展不 确定度 (k=2)
中国计量科学研究院	GBW 06343	甲烷中氮、二氧化碳、正 丁烷气体标准物质	0.02~20.0	1%
江苏省计量科学研究院	GBW(E)060182	氮中甲烷气体标准物质	1~25	1.5%
液化空气（昆山）气体 科技有限公司	GBW(E)062511	甲烷中氮气体标准物质	5.00~15.0	1%
天津联博化工股份有限 公司	GBW(E)061545	氢气中甲烷、乙烷和丙烷 混合气体标准物质	0.01~1.00	1%
杭州新世纪混合气体有 限公司	GBW(E)063216	氮中氢气体标准物质	0.1~90.0	1%
北京氮普北分气体工业 有限公司	GBW(E)060460	甲烷中乙烷、丙烷、正丁 烷、异丁烷、正戊烷、异 戊烷、正己烷、二氧化碳、 氮混合气体标准物质	0.001~15	1%~3%
佛山三水德力梅塞尔气 体有限公司	GBW(E)062732	甲烷中乙烷、丙烷、正丁 烷、异丁烷、正戊烷、异 戊烷、正己烷、二氧化碳、 氮混合气体标准物质	0.01~5	2%
山西泰能标物科技有限 公司	GBW(E)063161	氮中氢气体标准物质	0.10~50.0	1%
天津联博化工股份有限 公司	GBW(E)061825	氢中甲烷、丙烷和氮混合 气体标准物质	8.5~39	1%
液化空气（昆山）气体 科技有限公司	GBW(E)062510	甲烷中氢气体标准物质	20~30	1%

因不同组分的混合标准气体标准物质热值差异较大，标准物质厂家和量分数系列

较多，加之气体标准物质使用和运输一定程度受地域条件影响，在校准过程中可根据实际情况自行选择合适的标准物质。

此外，根据行业使用实际，也可选用合格的高纯甲烷作为校准用气体。

使用的其他计量标准器及其配套设备如电子秒表等，均应按照应检定规程或校准规范进行检定或校准，满足规程、规范要求后方可使用。

四、主要技术内容的说明

校准规范制定组通过查阅相关技术文献和标准等资料，对热值仪生产厂家及使用单位进行调研等方式，经充分讨论后制定了本校准规范。技术规范主要内容包括范围、引用文件、术语和计量单位、概述、计量特性、校准条件、校准项目和校准方法、校准结果表达、复校时间间隔、附录等部分。具体内容如下：

1、范围

“本规范适用于采用连续燃烧法原理的热值仪的校准。”，这句话限定了规范的适用范围。

用于气体热值测量的仪器原理不一，本规范只适用于采用燃烧式原理的热值仪校准，其他类型的热值仪，如使用气相色谱法测量气体组分，再根据相关公式计算的或测量折射率、吸光度、运动黏度等参数，并进行补偿修正，通过相互关联关系计算的热值仪，均不属于本规范适用范围。热值仪主要测量对象为煤气、天然气，需要说明的是，连续燃烧法原理的热值仪在液化石油气相关行业也有一定的应用，但液化石油气的热值一般均大于 80 MJ/m^3 ，在实际测试时选用诸如丙烷、丙烯、丁烷等高纯气体或其混合气体进行校准，由于目前暂时缺少此类标准物质；另一方面，对于丙烷、丙烯、丁烷的高纯气体，也尚无国家标准对其含量、杂质成分等作出明确规定，故本规范暂未对其适用性开展研究。

2、引用文件

本规范正文中引用了《JJF 1993—2022 天然气能量计量技术规范》、《GB/T 11062—2020 天然气 发热量、密度、相对密度和沃泊指数的计算方法》、《GB/T 35211—2017 天然气发热量的测量 连续燃烧法》和 GB/T 38521—2020《气体分析 纯度分析和纯度数据的处理》。

3、术语和计量单位

本规范中定义了热值、燃烧参比条件、计量参比条件、相对密度等术语，其中燃烧

参比条件、计量参比条件、相对密度等直接引用自相关国家标准，热值为自定义，参考了体积低位发热量的定义。

4、概述

在概述部分主要介绍了热值仪的用途、原理和组成单元，参考相关技术资料编写。

4、计量特性

计量特性指标包括：响应时间、示值误差、重复性、稳定性。具体计量特性指标见表 3 所示：

表 3 热值仪计量特性

校准项目	技术要求
响应时间	≤20 s
示值误差	不超过± 1.0 %
重复性	≤0.2 %
稳定性	≤0.5%
注：以上指标仅供参考，不做符合性判定。	

4.1 响应时间

响应时间是评定气体测试类仪器性能的重要指标，该指标通常为被测气体浓度发生阶跃式变化时，仪器示值从初始稳定值达到规定比例稳定值所需的时间，反应了气体进入仪器→燃烧反应→传感器反应→信号处理→数据输出这一完整测试链路的动态特性。由于气体测试从其天然特性来说就是一个动态过程，其浓度、流量、工况、反应程度等随时在发生变化，甚至有泄漏、扩散等风险和安全隐患。因此，有必要对仪器的响应时间进行测试和评价，旨在确认仪器在被测气体浓度发生变化时，其示值能够在规定时间内真实反映气体状态，保障测试结果在时间维度上的有效性和仪器在安全方面的可靠性。

分别对主流生产厂家的仪器进行测试，依据其技术特点和测试结果，并参考了其他气体分析仪器、气体报警器等设备的计量性能指标，最终确定热值仪的响应时间不超过 20 s。

4.2 示值误差

示值误差是评价理化类测试仪器计量性能的核心指标，反映了仪器测试结果与参考值之间的系统偏差情况。对示值误差进行评价，有助于确认仪器在规定测试条件和

测试范围内的量值溯源状态和测试能力。本校准规范编制工作中，对主流仪器生产厂家的代表性仪器进行了测试，并尽量覆盖了不同量程范围，最终确定了热值仪的示值误差参考指标。

4.3 重复性

重复性用于表征理化测试设备在相同测试条件下，短期内对同一被测对象进行重复测试时，其结果之间的一致性程度。由于热值仪测试本身是一个在线连续的过程，只需待其示值稳定后连续读取测试数据即可，相对其他理化类测试设备来说测试过程较为简单便捷。本校准规范编制工作中，对主流仪器生产厂家的代表性仪器进行了测试，充分考了了气体流量波动、环境等因素的影响，确定热值仪的重复性参考指标为不超过 0.2%。

4.4 稳定性

稳定性用于表征理化测试设备在连续运行规定时间内，其测试结果随时间变化的程度，对于连续测试仪器来说，是一个较为重要的指标。通过对稳定性的评价，可判断仪器在规定使用时间内是否存在明显的示值漂移或性能衰减，确保测试数据在对比分析或趋势判断工作中的可靠性。本校准规范编制工作中，通过实际测试确定了稳定性参考指标为不超过 0.5%

5、校准条件

本部分规定了热值仪校准时需要满足的、对校准结果有影响的环境条件、测量标准及其他设备。由于热值仪本身工作对环境温度和相对湿度的要求不高，且考虑到热值仪使用现场的实际条件，校准规范中对环境温度和相对湿度做了相对宽松的规定。但对于所处环境的通风情况和热值仪燃烧后废气排放做了相应规定，以保证校准过程中人员安全。

涉及的测量标准及其他设备包括：气体标准物质、甲烷、氮气、电子秒表等，分别对其不确定度、纯度或最大允许误差做出了规定。

6、校准项目和校准方法

6.1 校准前准备

校准前应确认热值仪处于正常工作条件，开机正常，数据及参数显示正常，各按键和调节旋钮能正常操作，各电缆、数据线、气路管道等连接牢固可靠，按仪器说明书要求对热值仪预热。

将仪器与气体标准物质置于同一房间内，温度稳定至少 2h 后方可开展后续校准工作。

6.2 响应时间

选择热值与日常测量需求接近的一种气体标准物质或甲烷气体，通入该气体并调整输出压力和流量至合适位置，启动点火和测量程序，待示值稳定后记下仪器读数；通入氮气，仪器示值回零后，再通入该气体并确认开始燃烧时启动电子秒表开始计时，待示值第一次达到稳定示值的 90% 时停止计时，并记录电子秒表读数，重复以上过程 3 次，以 3 次读数的算术平均值作为仪器的响应时间。

6.3 示值误差

根据仪器量程或实际使用范围选择高、低两种热值的标准物质，通入气体标准物质待其正常燃烧并示值稳定后，每间隔 30 s 记录一次测量结果，连续记录 7 次，计算算术平均值，并按公式计算示值误差。

6.4 重复性

以示值误差校准时高热值气体标准物质的测量数据计算，以其 7 次测量数据按公式计算相对标准偏差，作为仪器的重复性。

6.5 稳定性

选择示值误差校准时高热值气体标准物质或甲烷气体，通入该气体待燃烧并示值稳定后，记录初始测量值 H_0 ，并在不少于 90 分钟内，每间隔不少于 20 分钟记录一次测量值，取偏离初始读数最大的一次测量值，按公式计算稳定性。

7、校准结果表达

对热值仪校准结果的内容和校准证书的要求等进行了具体的描述和规定，参照 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》相关章节编写。

8、复校时间间隔

仪器复校时间间隔建议不超过 12 个月。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。如果对仪器对检测数据有怀疑、仪器更换主要部件或进行过修理，应对仪器重新校准。

9、附录

参照 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》给出了热值仪校准原始记录参考格式和校准证书内页推荐格式，同时给出了已知组分气体标准物质的热值及不确定度评定示例和常用已知组分气体标准物质参考，并依据 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定和表示》给出了热值示值误差校准结果的不确定度评定示例。此外，当使用高纯气体校准热值仪时，对其不确定度的计算方法进行了说明。

五、制订规范参考资料的说明

1、制定本校准规范的主要参考资料有：

- (1) JJF 1993—2022《天然气能量计量技术规范》；
- (2) GB/T 11062—2020《天然气 发热量、密度、相对密度和沃泊指数的计算方法》；
- (3) GB/T 35211—2017《天然气发热量的测量 连续燃烧法》。

本规范中的热值仪是天然气贸易计量中的重要测试仪器，在 JJF 1993—2022《天然气能量计量技术规范》中有相关规定，故参照了 JJF 1993—2022《天然气能量计量技术规范》；对于使用已知组分的混合气体标准物质对仪器进行校准时，对气体标准物质热值及不确定度的计算和评估过程，GB/T 11062—2020《天然气 发热量、密度、相对密度和沃泊指数的计算方法》（编辑采用 ISO 6976:2016《天然气 发热量、密度、相对密度和沃泊指数的计算方法》）中进行了详细规定，故参照了 GB/T 11062—2020《天然气 发热量、密度、相对密度和沃泊指数的计算方法》；因涉及具体实验操作及校准，故参照了 GB/T 35211—2017《天然气发热量的测量 连续燃烧法》的部分内容叙述；因校准可能使用甲烷气体或其他单一组分气体，故参照了 GB/T 38521—2020《气体分析 纯度分析和纯度数据的处理》关于不确定度的计算。此外，结合对不同厂家、不同型号仪器的试验数据，最终给出了相应的计量特性指标。

2、编制依据的通用规范性文件有：

JJF 1001-2011 《通用计量术语及定义》

JJF 1071-2010 《国家计量校准规范编写规则》

JJF 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》