

中国计量测试学会

量学函〔2025〕21号

中国计量测试学会关于《掺氢管输天然气质量和计量技术指南》团体标准征求意见的函

各有关单位：

根据国家标准化管理委员会、民政部印发的《团体标准管理规定》及《中国计量测试学会团体标准管理办法》有关规定，经中国计量测试学会批准立项，由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、中国石油西南油气田分公司、中国测试技术研究院、中核维思仪器仪表有限公司、国家管网集团西部管道有限责任公司、常州磐诺仪器有限公司、中国石油工程建设有限公司西南分公司、北京市燃气集团有限责任公司、中国计量大学、北京中首世佳科技有限责任公司、四川中博氢能能源科技有限公司、辽宁美卓伦检测技术有限公司、四川中测标物科技有限公司、四川华油集团有限责任公司等单位牵头起草的《掺氢管输天然气质量和计量技术指南》团体标准现已完成征求意见稿的编制，为保证标准的科学性、严谨性和适用性，现面向社会广泛公开征求意见。

请各有关单位及专家对上述标准提出宝贵意见和建议，于2025年8月8日前将《征求意见反馈表》反馈至以下联系方式。

联系人：赵英杰

电话：18608380227

电子邮箱：zhaoyingjie@petrochina.com.cn

- 附件：1.《掺氢管输天然气质量和计量技术指南》征求意见稿
稿
2.《掺氢管输天然气质量和计量技术指南》编制说明
3.征求意见反馈表



掺氢管输天然气质量和计量技术指南

Technical Guide for Quality and Measurement of Hydrogen Compressed Natural Gas in Pipeline Transportation

（征求意见稿）

中国计量测试学会

《掺氢管输天然气质量和计量技术指南》

团体标准编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

根据 2022 年中国计量测试学会下发的《关于公布 2022 年度第二批团体标准立项的通知》（量学发〔2022〕182 号）通知，团体标准《天然气管道掺氢输送质量与计量技术指南》由中国石油西南油气田分公司天然气研究院牵头制订。

（二）制定背景

国家发改委《氢能产业发展中长期规划（2021—2035 年）》明确指出要稳步形成氢能储运体系，积极开展掺氢天然气管道试点示范。国内先后于辽宁、河北、内蒙古、宁夏、浙江、广东、四川、陕西等多地开展了天然气掺氢示范项目，掺氢比例覆盖 10%~30%，应用场景涵盖城镇燃气掺氢和长输管道掺氢，建设了城燃-氢气“掺-输-用”一体化平台和可掺氢高压天然气长输管道，并在混氢设备、管材、管输工艺、本质安全、完整性管理以及终端应用等方面取得了实质性成果，验证了天然气管网掺氢运行的可行性。

然而，掺氢天然气的质量和计量作为衔接上下游的关键环节，目前系统性研究相对较少。绝大多数掺氢示范项目采用的设备、方法、管理制度等，整体仍沿用常规天然气的质量检测 and 流量计量标准体系。由于氢气和天然气理化性质间的差异极大，且掺氢天然气的物性参数随氢含量改变呈现显著的非线性特征，基于不同原理开发的设备和方法对天然气掺氢的敏感程度不同，简单套用可能引起不适应，带来检测/计量结果失准的潜在技术风险和贸易纠纷，这一定程度上阻碍了掺氢天然气的规模化和市场化进程。

本标准旨在统一对掺氢天然气质量和计量关键环节的基本认识，确立涵盖品质控制、取样与组分分析、流量测量与计算的全链路技术框架，为掺氢天然气的高效输配和公平贸易提供技术支撑，并为未来的质量/计量技术研究、设备研发和标准规范研制提供方向指引。

（三）起草单位情况

中国石油西南油气田分公司天然气研究院是国际标准化组织天然气技术委员会(ISO/TC 193)国内技术归口单位，同时设立了国际标准化组织天然气技术委员会(ISO/TC

193/SC3)秘书处、全国天然气标准化技术委员会(SAC/TC 244)秘书处，拥有石油工业天然气质量监督检验中心、国家石油天然气大流量计量站成都分站和国家市场监管总局天然气质量控制和能量计量重点实验室，具备较强的天然气品质分析和流量计量技术水平和标准编制能力。牵头制定和修订了多项天然气取样、分析测试、物性参数和流量计量的重要标准和技术规范，如 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 17747《天然气压缩因子的计算》、GB/T 30491《天然气 热力学性质计算》、GB/T 18604《用气体超声流量计测量天然气流量》、GB/T 21391《用涡轮流量计测量天然气流量》等。

标准编制团体成员包括中国计量科学研究院，中国石油西南油气田分公司，中国测试技术研究院，中核维思仪器仪表有限公司，国家管网集团西部管道有限责任公司，常州磬诺仪器有限公司，中国石油工程建设有限公司西南分公司，北京市燃气集团有限责任公司、中国计量大学、北京中首世佳科技有限责任公司，四川中博氢能能源科技有限公司、辽宁美卓伦检测技术有限公司、四川中测标物科技有限公司，四川华油集团有限责任公司。起草单位涵盖技术研发、装备制造、生产运营、掺氢示范的全链条环节，起草人包括计量科研机构、管道运营、燃气终端、设备制造厂家等经验丰富的专业技术人员，共同为本标准提供了多维度的专业视角和实践依据，确保了本标准内容既具有科学严谨性，又充分契合应用实际和产业发展需求。

（四）主要工作过程

1、2022 年 8 月~12 月成立起草工作组，对标准编制大纲进行讨论和确定；

2、2023 年 1 月~2024 年 12 月，牵头单位开展“掺氢天然气取样及分析技术研究”配套科研项目，起草工作组广泛调研国内外天然气掺氢技术应用与研究情况，形成标准工作组草案；

3、2025 年 1 月~2025 年 5 月，召开全体起草工作组会议，对工作组草案进行逐条讨论，主要在标准名称、掺氢比例的限定、掺氢天然气质量与计量与常规天然气技术差异等方面进行了深入的讨论，建议将标准名称由原立项名称“天然气管道掺氢输送质量与计量技术指南”修改为“掺氢管输天然气质量与计量技术指南”，同时，标准的主要内容应为掺氢天然气在质量与计量技术或者方法方面需要考虑的不同因素；

4、2025 年 6 月，牵头单位组织分析测试、计量、新能源领域的专家对工作组草案进行审查，对掺氢比例的限定、引言的内容、质量与计量的技术内容进行了深入的讨论，提

出了尽量明确在掺氢 10% 范围内不同掺氢比例的影响因素、质量应为质量分析等修改意见。起草工作组根据审查意见对标准进行了修改完善，形成征求意见稿。

三、团体标准编制原则、主要内容及其确定依据

（一）编制原则、制定依据与指导思想

1、按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的相关要求和规定，编写本标准内容。

2、本标准在起草过程中参考了由欧洲国家计量机构协会（EURAMET）资助开展的涉及掺氢天然气分析/计量的专项科研项目（如：NewGasMet、Decarb、MET4H₂ 等）所发布的技术报告，以及国内高校关于天然气掺氢后的流动现象和流场变化的数值模拟与仿真论文，并结合了参编技术机构及设备制造商的前期成果和专业经验。

3、天然气掺氢输送的基本理念是利用现有的天然气基础设施，故掺氢天然气的质量与计量体系势必需要基于常规天然气搭建，如此可最小化天然气输配/交接系统开展掺氢适配时的难度和运行成本。根据上述原则，本标准并非长篇累牍地从头构建掺氢天然气专属的、涵盖全部环节的“掺氢天然气计量系统技术要求”（类似于 GB/T 18603），而是通过剖析氢气掺入后天然气各类理化性质和流动行为的变化，进而归纳这些变化对分析/计量设备的影响，最终针对有可能受到影响的设备和方法给出相应指导和建议；而对于未受影响的部分，可继续参照原天然气的方法标准和技术规范执行。

这一原则在标准文本中具体体现为：首先使用陈述性条款告知使用者可继续参照执行的原天然气标准规范；若其中存在受到掺氢影响的部分，后续使用陈述性和推荐型条款告知这部分例外情况，并给出有关指导和建议。如此，使用者可快速地、直接了当地获悉新建/改造掺氢天然气用的分析和计量系统时，需要对原天然气系统的哪些部分作出调整，而不需从头开始、逐项审查系统的每个环节，大大提高本标准的使用效率。

4、本标准作为指南标准，除了提供应用层面的指导和建议外，还给出了与之相关的技术背景和信息供使用者参考，以便使用者获悉这些指导和建议的底层逻辑，并帮助其合理判断是否有必要调整，以及调整的程度。

（二）标准主要内容说明

标准共包括 7 部分内容。鉴于标准文本中已对部分技术条款、指导和建议给出了有关信息或作出了相应说明，此处仅对重要的、且未在文本中详细展开的部分进行阐述。

（1）对范围的说明

本标准将氢气浓度的适用范围限定在 10%，是综合考虑了当前主流的检测和计量技术的准确度保障能力、分析计量标准体系的适应性以及现有天然气基础设施和终端用户设备的可接受度后，设置的可控且相对安全的技术边界。具体依据如下①②③：

①Decarb 项目技术报告《Hydrogen and hydrogen-enriched natural gas in European gas grids》指出：“10 vol%的氢含量可被普遍接受，并符合欧洲标准和 EASEE-gas CBP 中规定的相对密度、高位发热量和沃泊指数的限制。此外，这也是天然气价值链利益相关方在短期/中期方案（2025~2030 年）中预期的氢含量。”、“在不对天然气基础设施和终端用户装置进行重大改造的情况下，将天然气中的氢含量最大提高到约 5~10 vol %是可行的。”

②NewGasMet、Decarb、MET4H₂ 项目发表的技术报告均表明，大多数常见的天然气流量计（如：孔板、超声、涡轮、科里奥利、容积式流量计）在掺氢比例≤10%范围内均能较好地维持规定的计量性能。

③天然气研究院论文《天然气管道掺氢对天然气分析计量的影响》总结了现有天然气分析计量标准对氢气浓度的适用范围。从表 1 可以看出，大多数标准的氢浓度适用范围在 10%以内。

表 1 天然气分析计量标准对氢气浓度的适用范围统计表

标准编号	标准名称	氢气浓度 范围	天然气 相对密度	高位发热量/ (MJ·m ⁻³)
GB 17820—2018	天然气	—	—	一类气 ≥ 34.0 二类气 ≥ 31.4
GB/T 37124—2018	进入天然气长输管道的气体质量要求	0 ~ 3.0%	—	≥ 34.0
GB/T 13610—2020	天然气的组成分析 气相色谱法	0 ~ 10%	—	—
GB/T 17281—2016	天然气中丁烷至十六烷烃类的测定 气相色谱法	0 ~ 10%	—	—
GB/T 27894.3—2011	天然气 在一定不确定度下用气相色谱法测定组分 第 3 部分：用两根填充柱测定氢、氮、氧、氮、二氧化碳和直至 C ₈ 的烃类	0 ~ 0.5%	—	—
GB/T 27894.6—2012	天然气 在一定不确定度下用气相色谱法测定组成 第 6 部分：用三根毛细管色谱柱测定氢、氮、氧、氮、二氧化碳和 C ₁ 至 C ₈ 的烃类	0 ~ 0.5%	—	—
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	0 ~ 100%	—	—
GB/T 17747.1—2011	天然气压缩因子的计算 第 1 部分：导论和指南	0 ~ 10%	—	—
GB/T 17747.2—2011	天然气压缩因子的计算 第 2 部分：用摩尔组成进行计算	0 ~ 10%	0.55 ~ 0.80	27.95 ~ 41.93
GB/T 17747.3—2011	天然气压缩因子的计算 第 3 部分：用物性值进行计算	0 ~ 10%	0.55 ~ 0.80	27.95 ~ 41.93
GB/T 30491.1—2014	天然气 热力学性质计算 第 1 部分：输配气中的气相性质	0 ~ 10%	—	—
GB/T 30491.2 20XX（制订中，等同采用 ISO 20765-2: 2015）	天然气 热力学性质计算 第 2 部分：扩展应用范围的单相（气相、液相和稠密相）流体性质	0 ~ 40%	—	—
GB/T 18604—2014	用气体超声流量计测量天然气流量	—	0.55 ~ 0.80	—
GB/T 21391—2022	用气体涡轮流量计测量天然气流量	—	0.55 ~ 0.80	—
GB/T 30500—2014	气体超声流量计使用中检验 声速检验法	0 ~ 10%	—	—
SY/T 6658—2021	用旋进旋涡流量计测量天然气流量	—	0.55 ~ 0.80	—
SY/T 6659—2016	用科里奥利质量流量计测量天然气流量	—	0.55 ~ 0.87	—
SY/T 6660—2021	用旋转容积式气体流量计测量天然气流量	—	0.55 ~ 0.80	—

10%以内意味着现有设备和方法能够尽可能少地针对天然气掺氢作出重大技术调整，降低应用的技术门槛，为掺氢天然气的推广争取足够的信心和经验积累时间。随着技术进步和产业成熟，该上限有望在未来逐步提高。

氢气浓度在 10%以上时，尽管部分分析方法和计量设备的准确度不一定能够满足规定的要求，但本标准所指出的氢气掺入后需考虑的因素及有关应对措施依然适用，参照执行仍可起到一定程度的优化作用。

(2)对理论声速和压缩因子推荐算法的说明

Decarb 项目技术报告《Hydrogen and hydrogen-enriched natural gas in European gas grids》以及天然气研究院论文《天然气管道掺氢对天然气分析计量的影响》对基于 AGA8-92DC 方程和 GERG-2008 方程计算得到的掺氢天然气声速和压缩因子作了比较。结果发现，氢浓度在 10%以内，AGA8-92DC 计算结果与 GERG-2008 间的差异较小；当氢浓度进一步提高至大于 10%时，二者计算结果间的差异会显著增大。由于 AGA8-92DC 仅适用于氢浓度 $\leq 10\%$ 的天然气，而 GERG-2008 可拓展至 $\leq 40\%$ ，尽管在本标准限定的氢浓度（10%）内，采用 AGA8-92DC 和 GERG-2008 的计算结果都是可接受的，但出于二者自身的适用范围和为后续掺氢比例提升留足余量的角度考虑，10%以上时推荐采用 GERG-2008（即参照 GB/T 30491.2 执行）。

(3)对气质分析整体上仍可参照现有天然气检测方法标准执行的说明

基于各类检测方法标准自身的适用范围，并从各方法的工作原理进行分析，氢气浓度在 10%以内时，总硫、硫化氢、二氧化碳、一氧化碳、氧气、水露点的分析方法基本不受影响，可继续参照原标准执行。

(4)对可供选用的主要流量计类型的说明

NewGasMet、Decarb、MET4H₂ 项目对常见的天然气流量计（包括：差压式、超声、涡轮、容积式、科里奥利、热式、膜式、文丘里喷嘴）在掺氢天然气中的测量性能作了相关测试，发现差压式、超声、涡轮、容积式、科里奥利在一定范围的氢浓度下性能能够满足规定的要求，即上述 5 款流量计的掺氢运行性能已得到实际测试数据的检验。膜式燃气表和文丘里喷嘴尽管也能很好地维持性能，但二者极少用于管输天然气的计量。热式流量计因掺氢后天然气热导率发生显著变化，受到的影响较大，需要根据工况进行复杂的热导系数修正，故在此不推荐选用。至于其他类型的流量计（如：旋进漩涡、槽道式），国内外暂未见在掺氢天然气中进行过详细的性能验证，故在此不作明确的推荐。

(5)对入口速度分布和流量计安装条件的说明

西南石油大学论文《混氢天然气对流量计安装条件的适应性分析》、《混氢天然气管道标准孔板流量计适应性研究》、《混氢天然气管道超声波流量计适应性研究》通过**数值仿真模拟**揭示了掺氢天然气管道内的流场分布情况，以及对流量计测量性能的影响。结果表明，氢气掺入天然气后会改变流体的性质和流动状态，掺氢天然气在经过扰流件后产生的非对称速度分布和涡流现象更为显著。具体结论为：在单 90°弯头后 44D（孔板标准规定的最低直管段长度）和 50D（超声标准规定的最低直管段长度）截面处，掺氢量为 10%~30% 时，气体流速未恢复到对称速度分布；②在双 90°弯头后 44D 截面和 50D 截面处，掺氢量为 10% 时，气体流速已恢复到对称速度分布，掺氢量为 20%~30% 时的流速未恢复到对称速度分布；③在双 90°弯头后 30D 截面处，掺氢量为 10% 时的流速未恢复到对称速度分布。故现行标准规定的最低直管段长度不足以保证掺氢天然气恢复至对称速度分布。

因此对于超声和孔板这类对入口速度分布要求较高的流量计，前直管段宜适当加长，但具体设置为多少倍 D 时可确保入口速度分布达到要求有待后续的**实流测试验证**。

(6)对流量计整体上仍可参照其方法标准进行选用的说明

除了标准文本中指出的需要作额外考虑和调整的因素外，孔板、超声、涡轮、容积式、科里奥利流量计整体上仍可参照其在常规天然气中的方法标准安装和使用。这是基于对各类流量计的测量原理的分析以及 NewGasMet、Decarb、MET4H₂ 项目对各类流量计的测试结果而作出的结论。上述项目搭建了使用掺氢天然气和常规天然气作为介质的实流校准/测试平台，比对了流量计在掺氢天然气和常规天然气中的计量性能。现将相关结果或结论分别列举如下：

①标准孔板流量计：物理原理决定了孔板对雷诺数具有明确的纯依赖性，并不区分不同的流体，仅需通过膨胀数 ϵ 对可压缩流体进行修正。因此，参照 GB/T 21446 附录 B 的要求对掺氢天然气进行相应参数的计算即可。

②超声流量计：MET4H₂ 项目技术报告《Evaluation of existing gas models for gas flow suitable for hydrogen》计算了两款不同厂商的超声流量计在常规天然气和掺氢天然气中的流量加权平均误差(FWME)，结果见图 1。未观察掺氢后产生的系统性偏移，这可能与不同流量计使用的换能器性能及采取的流量修正软件不同有关。

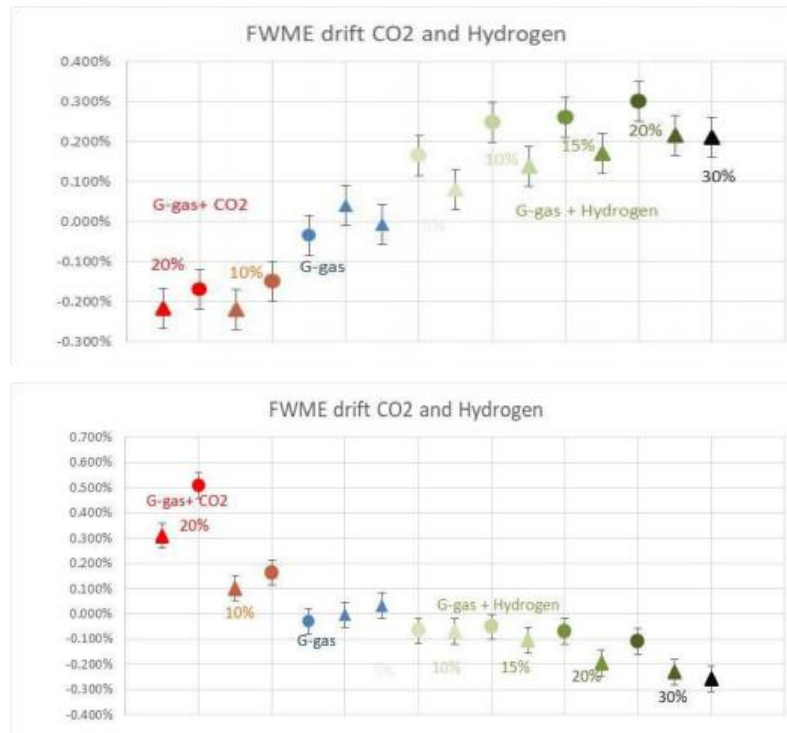


图 1 超声流量计在不同气体介质中的流量加权平均误差：厂商 A（上）&厂商 B（下）

NewGasMet 项目技术报告《Report on the impact of renewable gases, and mixtures with natural gas, on the accuracy, cost and lifetime of gas meters》作了类似的测试，结果见图 2。

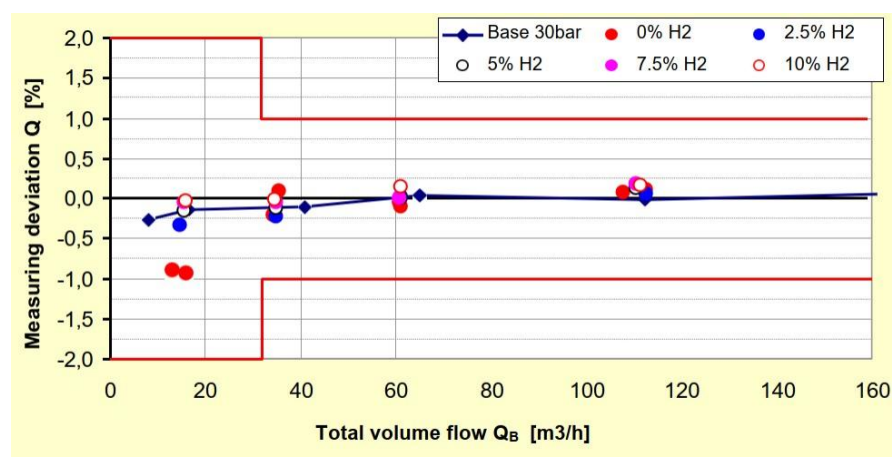


图 2 超声流量计在不同掺氢比例天然气中的测量误差

由上述结果可以看出，在掺氢比例 10%以内且混合良好的情况下，超声流量计整体可以维持规定的计量性能。

③涡轮流量计：物理原理决定了涡轮对雷诺数具有明确的纯依赖性，并不区分不同流体。Decarb 项目技术报告《Hydrogen and hydrogen-enriched natural gas in European gas grids》和 MET4H₂ 项目技术报告《Evaluation of existing gas models for gas flow suitable for hydrogen》计算了涡轮流量计在常规天然气和掺氢天然气中的测量误差，见图 3 和图 4。结果显示测量误差作为雷诺数的函数，未显示出对气体组成的依赖性，在不同的掺氢比例下涡轮流量计仍可维持规定的计量性能。

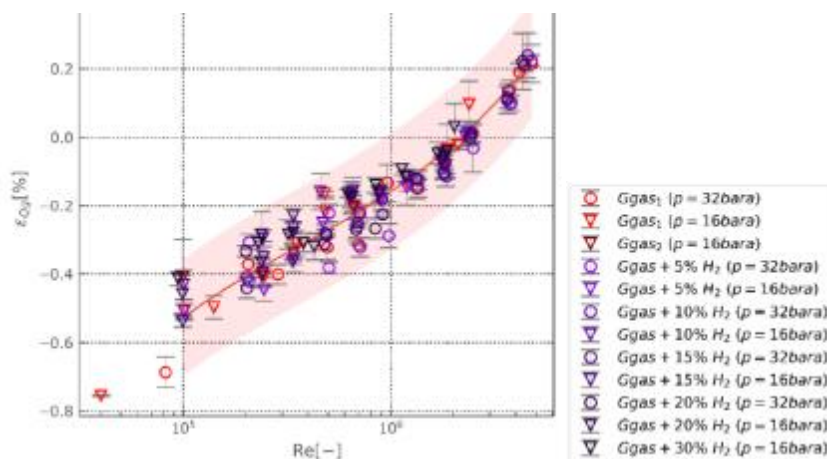


图 3 涡轮流量计的测量误差与气体雷诺数的函数

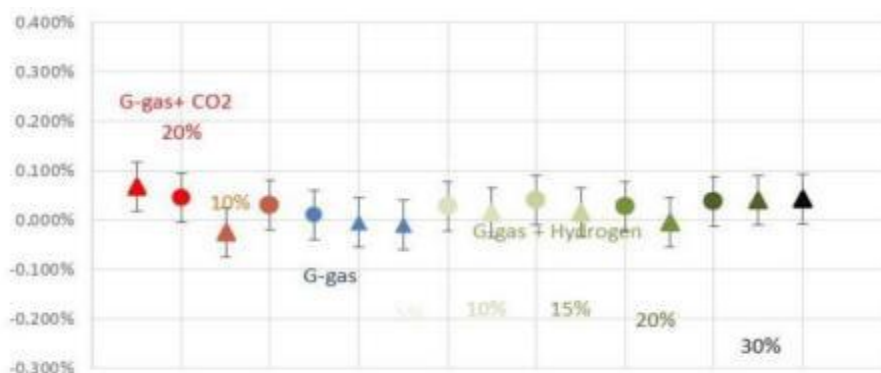


图 4 涡轮流量计在不同气体介质中的流量加权平均误差

④旋转容积式流量计：物理原理决定了容积式对被测介质的组成不敏感。NewGasMet 技术报告《Effect of hydrogen admixture on the accuracy of a rotary flow meter》计算了旋转容积式流量计在常规天然气和掺氢天然气中的测量误差，见图 5。在两种天然气中的误差曲线相当吻合。掺氢天然气中，低流量点下测得值呈现偏负的趋势，可以解释为由于氢气的低粘度导致转子的泄漏增加，流量计倾向于少计掺氢天然气的流量，但这种影响在大流量点下基本可以忽略。

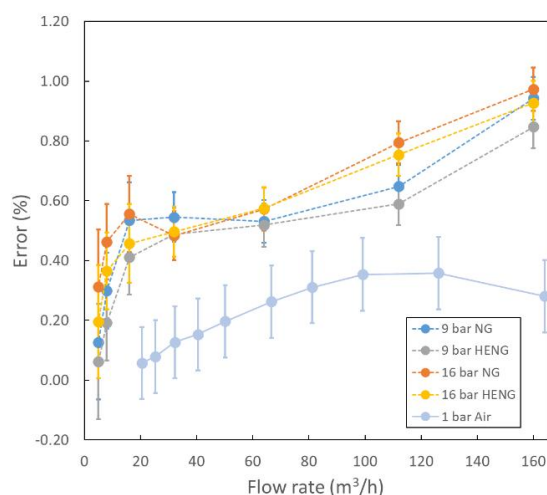


图 5 旋转容积式流量计在不同气体介质中的测量误差

⑤科里奥利质量流量计：物理原理决定了科里奥利对被测介质的组成不敏感。Decarb 技术报告《Hydrogen and hydrogen-enriched natural gas in European gas grids》计算了科氏流量计在常规天然气和掺氢天然气中的测量误差，见图 6。不同介质间未观察到显著的偏差。

科氏流量计使用的气体模型通常是制造商的专有信息，制造商会进行大量测试和校准，以确保在各种流量和流体类型下的测量准确性。因此，流量计所使用的精确数学模型和算法可能不会公开披露。选用时，参考制造商的随机文件对掺氢天然气的测量结果进行修正 是必要的。

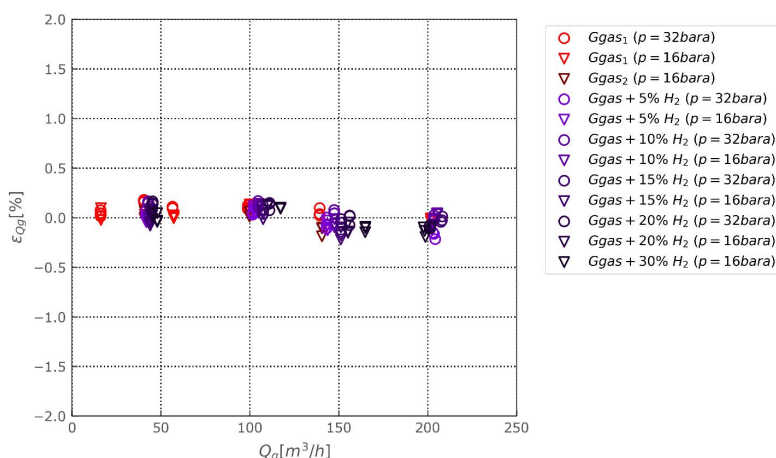


图 6 科里奥利质量流量计在在不同掺氢比例天然气中的测量误差

(7)对氢气掺入对超声流量计超声换能器影响的说明

从测量原理分析，氢气对超声流量计测量性能的潜在影响较大，主要体现在对超声换能器的信号接收和处理质量的影响上。MET4H₂ 项目的技术报告《Evaluation of existing gas models for gas flow suitable for hydrogen》指出氢气掺入可能需要超声换能器在工作频率、时间分辨率、声学方向性、声耦合与解耦等方面针对掺氢天然气中更高的声速做出调整。因此标准文本中对这些影响逐项作了解析，并建议使用者据此向设备制造商详细咨询。

SICK 公司在《gwf Gas+Energie》期刊发表的技术报告称其“FLAWSIC 气体超声流量计可以测量含氢天然气。氢含量高达 10%的混合所带来的测量不确定性可以忽略不计，或者由 FLAWSIC 补偿”。中核维思公司在静态测试氢含量 10%掺氢天然气的实际试验中，发现换能器的超声信号基本不受影响。NewGasMet 等项目的技术报告也表明，10%氢含量下对所测试的几款商业超声流量计未观测到显著的性能变化。故预计 10%氢含量对于换能器性能的影响可以接受。但考虑到流量计的厂商及型号不同，其换能器在富氢介质中的性能表现可能有较大差异，使用者在新采购或继续使用超声流量计用于掺氢天然气计量时，向设备制造商的咨询仍是必要的。

三、经济效益、社会效益和生态效益

经济效益：统一掺氢天然气质量与计量技术要求是产业健康发展的基石，本标准的实施有望减少因检测和计量失准争议引发的贸易摩擦，助力掺氢天然气的市场推广。通过合理的指导及建议，帮助输配端降低设备改造和使用成本，指导设备制造商进行针对性研发和生产，提升产品国内外认可度。同时，还有望为相关技术服务（品质检测、设备认证等）创造市场空间。

社会效益：本标准的建立有助于保障掺氢天然气输配计量和交接计量的准确可靠，形成公平、透明的市场环境，从而增强终端用户（工业、商用和民用）对天然气掺氢利用的信心与接受度。同时有助于消除市场壁垒，促进不同区域、不同主体间掺氢天然气的互联互通，助力国家能源安全战略和构建多元互补融合的现代能源供应格局。

生态效益：氢能作为一种典型的绿色新能源，是促进传统化石能源清洁利用和可再生能源规模发展的理想能源载体。掺氢天然气的大面积推广能够进一步降低天然气的碳排放；氢能在打通其输送堵点后，也将促进风电光电消纳，鼓励更多氢能终端利用项目落地，推动交通、化工、制造业等多领域的降碳减排，从而为国家双碳战略做出实质贡献。

四、与有关法律、行政法规及相关标准的关系

本标准与现行法律、法规和强制性国家标准无冲突；与其他相关国家标准无冲突，可相互补充。

五、重大分歧意见的处理经过和依据

无重大分歧。

六、涉及专利的有关说明

不涉及相关专利。

七、实施要求与措施建议

由于国内暂缺掺氢天然气组分分析和流量量值溯源可用的试验平台，难以获得参考量值以帮助确定标准中部分条款的技术指标。建议依托现有天然气掺氢管道输送/终端利用项目，建设掺氢天然气分析测试和流量计量试验平台，开展天然气分析设备、流量计以及计量系统用于掺氢天然气的适应性研究，并结合仿真模拟、流场分析技术和实验验证一手数据，确定和完善相关技术指标。

建议设立标准反馈渠道，收集新建或在运掺氢天然气项目在标准实施过程中遇到的问题和意见，定期对标准进行评估和修订，使标准不断适应掺氢天然气产业发展的新需求，保持其科学性和实用性。

八、其他应当说明的事项

本标准仅考虑和针对氢气掺入对取样代表性、分析/计量设备测量性能、物性参数算法准确度的影响等涉及质量和计量的技术问题，而不涉及安全问题（如：管输工艺的适应性、管材氢脆与氢腐蚀、设备防护与防爆、氢泄漏的监检测等）。

目 次

前 言 II

引 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 总体原则 2

5 质量分析 3

 5.1 取样 3

 5.2 分析方法 3

6 流量测量 4

 6.1 流量计 4

 6.2 配套仪表 7

 6.3 流量计算方法 8

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国计量测试学会提出并归口。

本文件起草单位：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，中国石油西南油气田分公司，中国测试技术研究院，中核维思仪器仪表有限公司，国家管网集团西部管道有限责任公司，常州磐诺仪器有限公司，中国石油工程建设有限公司西南分公司，北京市燃气集团有限责任公司、中国计量大学、北京中首世佳科技有限责任公司，四川中博氢能能源科技有限公司、辽宁美卓伦检测技术有限公司、四川中测标物科技有限公司，四川华油集团有限责任公司。

本文件主要起草人：周理，赵英杰，张佩颖，李春辉，何敏，戴承平，方向，赵普俊，任佳，张镨，朱琦，蔡黎、蔡浩晖，潘义，王少楠，陈学锋，陈荟宇，周代兵，黄敏，李怀平，王涵文，王海兰，董新利，徐志鹏，邓凡峰，雷励，杜彦平，孙盛龙，白志远，杨嘉伟，张西，石磊。

本文件为首次发布。

引 言

国家发改委《氢能产业发展中长期规划（2021—2035 年）》明确指出要稳步形成氢能储运体系，积极开展掺氢天然气管道试点示范。国内先后于辽宁、河北、内蒙古、宁夏、浙江、广东、四川、陕西等多地开展了天然气掺氢示范项目，建设了城燃-氢气“掺-输-用”一体化平台和可掺氢高压天然气长输管道，并在混氢设备、管材、管输工艺、本质安全以及终端应用等方面取得了实质性成果，验证了天然气管网掺氢运行的可行性。然而掺氢天然气的质量和计量作为衔接上下游的关键环节，目前国内系统性研究相对较少。由于氢气和天然气理化性质间的差异极大，简单套用常规天然气的质量检测和流量计量标准体系，可能引起设备和方法等的不适应，带来检测/计量结果失准的潜在技术风险和贸易纠纷，这一定程度上阻碍了掺氢天然气的规模化和市场化进程。

本标准的制订旨在统一对掺氢天然气质量和计量关键环节的基本认识，确立涵盖取样与组分分析、流量测量与计算的全链路技术框架，为掺氢天然气的高效输配和公平贸易提供技术支撑，并为未来的质量/计量技术研究、设备研发和标准规范研制提供方向指引。

本标准在起草过程中参考了由欧洲国家计量机构协会（EURAMET）资助开展的涉及掺氢天然气分析/计量的专项科研项目（如：NewGasMet、Decarb、MET4H₂ 等）所发布的技术报告，以及国内高校关于天然气掺氢后的流动现象和流场变化的数值模拟与仿真研究论文，并结合参编技术机构及设备制造商的前期成果和专业经验，给出了现有天然气质量检测和流量计量技术用于掺氢天然气时需考虑的差异及对应的调整措施。受限于国内暂缺掺氢天然气组分分析测试和流量量值溯源可用的试验平台、难以获得真实实验与参考数据佐证的现状，部分结论和指导尚且停留在定性层面，定量的技术指标的确定有待技术研究的进一步深入以及现场实践的不断积累。

本标准不涉及与其应用有关的所有安全问题（如：管输工艺的适应性、管材氢脆与氢腐蚀、设备防护与防爆、氢泄漏的监检测等）。在使用本标准前，使用者有责任制订相应的安全和保护措施，并明确其限定的适用范围。

掺氢管输天然气质量与计量技术指南

1 范围

本文件提供了管道输送的掺氢天然气的取样与组成测定、分析与计量设备选用以及流量计算方面的指导和建议，并给出了与需考虑要点有关的信息。

本文件适用于氢含量（体积分数）不超过10.0%（ $x_{H_2} \leq 10 \text{ vol\%}$ ）的、氢气和天然气已经过充分混合并均匀的掺氢天然气。氢含量（体积分数）超过10.0%的掺氢天然气可参照本标准执行。

本文件适用于交接计量系统和输配计量系统中掺氢天然气的质量分析与流量计量。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 17820 天然气

GB/T 11060.1 天然气 含硫化合物的测定 第1部分：用碘量法测定硫化氢含量

GB/T 11060.2 天然气 含硫化合物的测定 第2部分：用亚甲蓝法测定硫化氢含量

GB/T 11060.3 天然气 含硫化合物的测定 第3部分：用乙酸铅反应速率双光路检测法测定硫化氢含量

GB/T 11060.4 天然气 含硫化合物的测定 第4部分：用氧化微库仑法测定总硫含量

GB/T 11060.5 天然气 含硫化合物的测定 第5部分：用氢解-速率计比色法测定总硫含量

GB/T 11060.8 天然气 含硫化合物的测定 第8部分：用紫外荧光光度法测定总硫含量

GB/T 11060.10 天然气 含硫化合物的测定 第10部分：用气相色谱法测定硫化化合物

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 17283 天然气水露点的测定 冷却镜面凝析湿度计法

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/T 18603 天然气计量系统技术要求

GB/T 18604-2023 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 用涡轮流量计测量天然气流量

GB/T 21446-2008 用标准孔板流量计测量天然气流量

GB/T 22634 天然气水含量与水露点之间的换算

GB/T 27894.6 天然气 在一定不确定度下用气相色谱法测定组成 第6部分：用三根毛细管色谱柱测定氢、氦、氧、氮、二氧化碳和C1至C8的烃类

GB/T 28473（所有部分） 工业过程测量和控制系统用温度变送器

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 30491.2 天然气 热力学性质计算 第2部分：扩展应用范围的单相（气相、液相和稠密相）流体性质

GB/T 30500-2014 气体超声流量计使用中检验 声速检验法

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

JJF 1004 流量计量名词术语及定义

JJF 1183 温度变送器校准规范

JJG 882 压力变送器

JJG 1003 流量积算仪

3 术语和定义

GB/T 18603、GB/T 20604、JJF 1004界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

掺氢天然气 hydrogen compressed natural gas (HCNG)

氢气以特定体积比例与天然气掺混后形成的气体。

4 总体原则

除符合 GB 17820、GB/T 37124 和 GB/T 18603 对管输天然气质量和计量的基本要求外，掺氢管输天然气的质量和计量还需考虑以下因素；对于未受影响的部分，可继续参照相应的方法标准和技术规范执行：

- a) 掺氢对天然气气体质量的影响；
- b) 掺氢对取样和分析设备的影响；
- c) 掺氢对流量计和配套仪表的影响；
- d) 掺氢对流量计算涉及的物性参数算法的影响。

5 质量分析

5.1 取样

用于掺氢天然气的取样系统的设计和操作符合 GB/T 13609、GB/T 30490（针对累积取样系统）以及 GB/T 18603 的有关内容。

氢气的密度约为天然气的 1/8，输送管道和取样系统内可能发生分层现象，导致氢气和天然气混合的不均匀。离线/在线取样口宜设置于主管道上气体流动并充分混合的区域；必要时，可在取样口前加装静态混合器。取样时确保足够高的流速（形成湍流），以获取均匀的气样。

氢气易泄漏，取样系统（管线、阀门、接头、密封件等）宜针对氢气作专门的设计和密封性优化；同时对管道和设备进行定期泄漏检查，以尽可能避免微漏对氢气以及痕量组分测定分析的影响。

5.2 分析方法

5.2.1 发热量

掺氢天然气的发热量以其高位发热量为准。高位发热量的计算按照 GB/T 11062 执行，其所依据的组成的测定按照 GB/T 13610 执行，标准参比条件以 GB/T 19205 为准。

5.2.2 氢气

掺氢天然气中氢气含量的测定宜采用气相色谱法，按照 GB/T 13610 或 GB/T 27894.6 执行；当氢气含量高于 0.5% 时，宜按照 GB/T 13610。仲裁试验以 GB/T 13610 为准。

有实时监测氢气浓度的需要时，宜优先选用在线气相色谱法，此类情况包括但不限于：掺氢比例可能频繁波动（如：上游掺混工艺不稳定、多气源切换）、下游用户或终端设备对氢含量敏感。在线测量不经济，且氢气含量和发热量在取样周期内的波动能够维持在协议约定的限值以内时，可选用离线气相色谱法。

由于氢气（H₂）与氦气（He）的导热系数较为接近，基于热导原理工作的气相色谱仪不宜以 He 为载气，否则其热导检测器（TCD）难以区分氢气和氦气，因而难以测定样品中的氢气含量。氩气（Ar）的导热系数与氢气和氦气差异较大，宜选用 Ar 作为色谱仪分析通道载气。

气相色谱仪的分离检测流程中宜额外增加一路，专门用于氢气浓度的分析。

5.2.3 总硫

掺氢天然气中总硫含量的测定可按照 GB/T 11060.4、GB/T 11060.5、GB/T 11060.8 或 GB/T 11060.10 执行，仲裁试验以 GB/T 11060.8 为准。

5.2.4 硫化氢

掺氢天然气中硫化氢含量的测定可按照 GB/T 11060.1、GB/T 11060.2、GB/T 11060.3 或 GB/T 11060.10 执行，仲裁试验以 GB/T 11060.1 为准。

5.2.5 二氧化碳、一氧化碳、氧气

掺氢天然气中二氧化碳含量、一氧化碳含量、氧气含量的测定可按照 GB/T 13610 或 GB/T 27894.6 执行，仲裁试验以 GB/T 13610 为准。

5.2.6 水露点

掺氢天然气水露点的测定按照 GB/T 17283 执行；对于已知压力下的水露点，可按照 GB/T 22634 将其换算到水含量再换算至其他压力下的水露点。仲裁试验以 GB/T 17283 为准。

6 流量测量

6.1 流量计

6.1.1 氢气掺入对流量计的影响

6.1.1.1 概要

氢气掺入对流量计的影响主要源于其对天然气物性和流动行为的改变以及自身活泼的理化性质。6.1.3 和 6.1.4 涵盖这些影响在仪表特性、安装条件、使用与维护方面的具体体现，并给出有关的专门说明。不同型式的流量计因其测量原理、设计结构、制造材质等的不同，受氢气影响的因素、程度及应对措施不同。

6.1.1.2 对传感器的影响

流量计的传感器（探头或可动件）通常基于被测介质的某些物理属性或流动行为工作，而这些属性和行为会随介质性质的变化而变化。氢气与天然气间的物性差异极大，氢气掺入将显著改变天然气的关键物性参数（如：密度、粘度、声速等），传感器的性能表现可能受到影响。

6.1.1.3 对计算模型和流量算法的影响

流量计内置的计算模型和流量算法是基于其测量原理，并根据被测介质的性质进行确立、标定和优化的。由于氢气掺入将显著改变天然气的物性，针对天然气设计的流量计在用于掺氢天然气测量时，需评估其模型和算法的适用性，并作出对应的调整。

6.1.1.4 对入口速度分布的影响

氢气和天然气的密度差异使得氢气掺入会改变天然气的流动状态。掺氢天然气相比于天然气，经过扰流件（如：单弯管、U型管、不同平面的双弯管等）后产生的非对称速度分布和涡流现象更为严重。对于速度分布要求的敏感性较高的流量计，需采取相应措施以确保其入口的气流为充分发展。

6.1.1.5 对零部件的影响

流量计的测量性能与传感器、电子元件、内衬、密封件等核心零部件的功能完整性和性能稳定性密切相关。这些零部件通常由金属或聚合物材料制成，而氢气的理化性质高度活泼，可能与这些材料发生

物理化学交互作用，致使其机械性能、电学性能、表面性质、几何结构等发生变化，导致的后果包括但不限于探头功能失效、可动件位移受阻、信号滞后或漂移、表体内流道光洁度降低。

6.1.2 选用

6.1.2.1 基本原则

流量计选用的一般原则、要求和方法可参照 SY/T 7552，并结合 6.1.1 进行分析比较，经综合评价后选用适宜的流量计。所选用流量计的准确度符合 GB/T 18603 的有关内容。

6.1.2.2 可供选用的主要流量计类型

用于掺氢管输天然气计量的流量计宜选择标准孔板流量计、超声流量计、涡轮流量计、旋转容积式流量计、科里奥利质量流量计。

6.1.3 安装与使用

6.1.3.1 标准孔板流量计

选用标准孔板流量计时，安装和使用符合 GB/T 21446。

氢气可能引起节流件的微小裂纹或孔蚀（氢脆或氢腐蚀），导致其几何尺寸发生改变，孔板流出系数因而变化。因此，需注意定期检查并记录孔板的外观和尺寸状况。有条件的情况下，宜选用氢耐受性强的合金所制成的孔板。

安装时，上游直管段宜长于 GB/T 21446-2008 要求的最低长度。

6.1.3.2 超声流量计

6.1.3.2.1 概要

选用超声流量计时，安装和使用符合 GB/T 18604 和 GB/T 30500。此外，还需考虑氢气掺入对超声换能器、理论声速算法和流量计安装的影响。

6.1.3.2.2 超声换能器

氢气掺入对超声换能器的影响主要体现在下列3个方面：

- a) 氢气中声速约为天然气的 3 倍，故掺氢天然气中声速较天然气有所升高。由于超声流量计基于测量顺流/逆流声波的传播时间差来测算气体流速，声速变化将直接影响该时间差的计算；
- b) 掺氢天然气中较高的声速可能引起超声换能器所发出的声波束形状的变化，影响其声学指向性；还可能加剧由声学效应带来的噪声信号，并加大这些噪声信号与目标信号叠加后的复杂程度；
- c) 氢气中超声波的衰减特性与天然气不同，故掺氢天然气中超声波的传输效果和信号强度将受到影响，可能导致信号接收质量的下降。

在本文件限定的氢气含量范围内，预计上述 a)、b)、c) 因素对于超声换能器性能的影响处于可接受的程度。尽管如此，使用前仍需注意向制造厂咨询超声换能器和信号处理单元的选型和技术参数（如：

阻尼材料、工作频率、发射角、时间分辨率、声学方向性、声耦合与解耦方案、信号处理算法等）能否满足掺氢天然气的测量要求。

6.1.3.2.3 理论声速算法

理论声速计算软件程序可采用GB/T 30491.1给出的计算方法（基于AGA8-92DC方程）或GB/T 30491.2给出的计算方法（基于GERG-2008方程）。

注：GB/T 30500-2014 中推荐的理论声速算法与 GB/T 30491.1 给出的等同，均源自 AGA8-92DC 方程。

AGA8-92DC 方程对天然气声速计算推荐的氢含量上限为 10%，而 GERG-2008 为 40%。因此，当氢气含量高于 10%时，为尽可能减小由算法本身引起的计算误差对声速偏差符合性判断的干扰，理论声速计算宜按照 GB/T 30491.2 执行。

6.1.3.2.4 流量计安装

安装时，上游直管段宜长于GB/T 18604-2023要求的最低长度。

6.1.3.3 涡轮流量计

选用涡轮流量计时，安装和使用符合 GB/T 21391。

氢气的密度约为天然气的 1/8，故掺氢天然气的密度较天然气有所下降。由于介质密度会影响涡轮的轴承运动特性，密度降低可能导致叶轮在低流速下难以启动或响应迟缓，从而产生负偏差。因此，使用前需注意向制造厂咨询叶轮和信号转换单元的选型和技术参数能否满足掺氢天然气的测量要求，并注意避免流量计长期在低流速工况下运行。

6.1.3.4 旋转容积式流量计

选用旋转容积式流量计时，安装和使用符合 SY/T 6660。

旋转容积式流量计在低流速下，气体可能沿旋转元件相切处的间隙泄漏，导致流量测得值偏低。测量掺氢天然气时，因氢气的粘度显著低于天然气，上述效应容易加剧从而产生负偏差。因此，使用前需注意向制造厂咨询旋转元件的选型和结构设计能否满足掺氢天然气的测量要求，并注意避免流量计长期在低流速工况下运行。

6.1.3.5 科里奥利质量流量计

选用科里奥利质量流量计时，安装和使用符合 SY/T 6659。

使用时需注意参照制造厂的随机文件，选择掺氢天然气适用的气体模型进行压力修正和可压缩性修正。

6.1.4 维护

除遵循产品说明书和相应方法标准的指导外，宜向制造厂咨询该款流量计在掺氢天然气介质中长期使用时的维护是否需要作额外的考虑。一些通用的维护措施包括但不限于：

- a) 利用探头工作的流量计，可在探头表面施加惰性、致密的耐氢防护涂层，隔绝氢气与基体材料的直接接触；

b) 利用可动件工作的流量计，需注意使用与氢气高度兼容的润滑剂，以防其被氢气稀释或发生化学变化致使润滑性能失效；

c) 表体密封件和元器件灌密封胶使用耐氢渗透和溶胀的材料，以防氢气渗透致使元件/电路信号失真；

d) 表体内衬可施加惰性、致密的耐氢防护涂层，以防流道因氢腐蚀产生裂纹和表面粗糙度增大。

由氢气侵蚀导致的性能退化往往是渐进且累积的。必要时，可适当缩短流量计的送检/送校周期，以及时发现并量化使用过程中产生的性能偏差（如：测量误差增大、重复性下降、量程范围缩小等）。

为尽可能确保流量计能在预期的时间间隔内维持所规定的计量性能，宜采取适当措施对其性能开展核查和监控，如：设置核查流量计、自诊断或其他由制造厂推荐的有效方法。另可采取主/旁路交替轮换的方式减轻每台流量计在富氢介质中的工作负荷，以变相延长其维持所需性能的时间间隔。

6.1.5 实流校准

流量计宜使用掺氢天然气或常规天然气为介质进行实流校准。有条件的情况下，宜优先选用掺氢天然气。

使用掺氢天然气为介质进行的实流校准，宜采用下述的或与之等效的组分点×流量点组合校准方法，以充分反映流量计在不同氢含量和流量下的测量性能，并在最终的校准结果中予以体现或补偿：

在特定的氢含量区间内梯度选取多个氢组分点，并按照这些氢组分配置一系列氢含量各异的掺氢天然气。依次用该系列掺氢天然气作为介质，在设定的流量点下对流量计进行测试。其中，氢含量区间（最小氢含量 $x_{H_2-\min}$ 至最大氢含量 $x_{H_2-\max}$ ）设为 0%至现场实际工作的氢含量，流量点的选取按照相应流量计的检定规程或校准规范执行。

因生产工艺的变化，需要流量计在比上次校准时所设定的 $x_{H_2-\max}$ 还要高的氢含量下工作时，宜将该流量计重新送校，并根据新工艺的需求设置新的 $x_{H_2-\max}$ 并校准。

6.2 配套仪表

6.2.1 压力（差压）传感器

用于掺氢天然气计量的压力（差压）传感器的技术指标、安装与使用、测试与校准符合 JJG 882、GB/T 18603 及其他相关标准和规范。

压力（差压）传感器通常依靠测压元件（主要由金属或半导体材料构成）产生的力学-电学响应来工作。在掺氢天然气环境下长期运行，这些部件可能受到氢气的侵蚀致使其响应特性失效或产生偏移，进而导致压力的测量结果失准。因此，使用前需注意向制造厂咨询测压元件的选型和仪表的内部结构设计（如：隔离膜片和导压介质）能否耐受或隔绝氢气分子的影响。

6.2.2 温度传感器

用于掺氢天然气计量的温度传感器的技术指标、安装与使用、测试与校准符合 GB/T 28473（所有部分）、JJF 1183、GB/T 18603 及其他相关标准和规范。

氢气的热导率约为天然气的 6 倍，故掺氢天然气的热导率较天然气有所升高。更高的热导率下测温元件的对温度变化的响应可能过快，从而容易受到局部扰动的影响（如：湍流引起的温度脉动、调压阀

的节流效应等),导致输出信号波动加剧、测得值反而不能充分反映管道内温度分布的平均状况。因此,使用前需注意向制造厂咨询测温元件及信号转换电路的选型和技术参数能否满足掺氢天然气的测量要求,或将温度计安装于套管内以一定程度上抵消高热导率带来的上述负面效应。

6.2.3 流量积算仪

用于掺氢天然气计量的流量积算仪的技术指标、安装与使用、测试与校准符合 JJG 1003、GB/T 18603 及其他相关标准和规范。

流量积算仪软件程序采用的流量计算方法可参照 6.3.1, 压缩因子算法的选择可参照 6.3.2。

6.3 流量计算方法

6.3.1 通则

计算掺氢天然气流量时,体积流量计算、质量流量计算、能量流量计算及计算选取的标准参比条件符合 GB/T 18603 的有关内容及所选用流量计的方法标准。

6.3.2 压缩因子算法

6.3.2.1 掺氢天然气的压缩因子可采用摩尔组成或物性值的方法计算。

6.3.2.2 用摩尔组成进行计算时,可采用 GB/T 17747.2 或 GB/T 30491.1 给出的计算方法(基于 AGA8-92DC 方程),或 GB/T 30491.2 给出的计算方法(基于 GERG-2008 方程)。

注:GB/T 17747.2 与 GB/T 30491.1 给出的压缩因子算法均源自 AGA8-92DC 方程,得到的计算结果是等同的。

AGA8-92DC 方程对天然气压缩因子计算推荐的氢含量上限为 10%,而 GERG-2008 为 40%。因此,当氢气含量高于 10%时,为尽可能减小由算法本身引起的计算误差对流量计工况流量测量结果修正及工况-标况流量转换结果的干扰,条件允许时,压缩因子计算宜按照 GB/T 30491.2 执行。

6.3.2.3 用物性值进行计算时,宜采用 GB/T 17747.3 给出的计算方法(基于 SGERG-88 方程)。

附件 3

中国计量测试学会团体标准（征求意见稿）

征求意见反馈表

建议人姓名		职称/职务		专业	
单位				联系电话	
地址				邮 编	
章、条序号	修改意见或建议				理由/背景材料

衷心感谢您对本项工作的大力支持和辛勤指点！