

东莞市市场监督管理局 发布

DB44xx

××××-××-××实施

××××-××-××发布

分布式天然气重整制氢技术要求

Specification of distributed natural gas reforming

for producing hydrogen

（征求意见稿）

DB44xx/T ××××—××××

东莞市地方标准

ICS: xxx

CCS：xxx

目次

[前言 I](#_Toc177316756)

[1 范围 1](#_Toc177316757)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc177316758)

[3 术语和定义 1](#_Toc177316759)

[4 系统组成 2](#_Toc177316760)

[5.技术要求 2](#_Toc177316761)

[6.检验与测试 5](#_Toc177316762)

[7 运行与维护 8](#_Toc177316763)

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。

本文件由东莞新能源研究院提出。

本文件由东莞市发展和改革局归口。

本文件起草单位：中国科学院工程热物理研究所、中国标准化研究院、东莞新能源研究院、东莞新锋能源科技有限公司、东莞理工学院、..........。

本文件为首次发布。

分布式天然气重整制氢技术要求

1 范围

本文件规定了分布式天然气重整制氢的系统组成、技术要求、运行与维护、安全与环保、试验与检测。

本文件适用于工业用、商业用的以天然气及脱盐水为原料，采用天然气重整与氢气提纯的制氢系统。

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 150 钢制压力容器

GB 151 管壳式换热器

GB/T 4237 不锈钢热轧钢板

GB 5099 钢制无缝气瓶

GB/T 12241 安全阀 一般要求

GB 12337 钢制球形储罐

GB 17820-2018 天然气

GB 18047-2017 车用压缩天然气

GB/T 3634工业氢

GB/T 7445 纯氢、高纯氢气和超纯氢

GB/T 5831 气体中微量氧的测定 比色法

GB/T 5832.1 气体分析 微量水分的测定 第1部分：电解法

GB/T 5832.2 气体分析 微量水分的测定 第2部分：露点法

GB/T 6285 气体中微量氧的测定 电化学法

GB/T 8984.1 气体中一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物的测定 第1部分:气体中一氧化碳、二氧化碳和甲烷的测定 气相色谱法

GB/T 8984.2 气体中一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物的测定 第2部分:气体中一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物总含量的测定 气相色谱法

《化学工业建设项目试车规范》

《固定式压力容器安全技术监察规程》

《气瓶安全监察规程》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

压缩天然气 compressed natural gas

主要成分为甲烷的压缩气体燃料。

[来源: GB18047-2017, 3.1]

3.2

天然气重整natural gas reforming

通过水蒸气重整、部分氧化等反应，将天然气中的碳氢化合物转化为氢气和一氧化碳/二氧化碳的过程。

3.3

分布式制氢 distributed hydrogen production

在局部地区，利用现有基础设施，如天然气、水和电力，通过小型化的分布式设备制取氢气。

3.4

氢气提纯 hydrogen purification

从重整产生的混合气体中提取高纯度氢气的过程，常用技术包括膜分离、变压吸附（PSA）和电化学分离。

[来源：GB/T 24499-2009,2.25]

3.5

能耗 energy consumption

制备每立方米氢气所消耗的天然气、电能和热能。

3.6

热源 heat source

为天然气重整制氢工艺提供所需热能的来源，形式包括并不限于天然气燃烧、余热回收、电加热和可再生能源等方式。

4 系统组成

分布式天然气重整制氢系统由甲烷转化模块、氢气提纯模块、气体储罐等工艺设备，和与其配套的控制系统、辅助系统等设备组成。

5.技术要求

5.1 主要工艺装置

5.1.1 甲烷重整模块

甲烷重整制氢设备的材质在所有的工作条件下，应具有必要的化学稳定性；在运行中不会发生各种形式的化学反应；在反应过程压力的变化中，保持机械性能的稳定性；在工作条件下应不发生氢脆、氢腐蚀和其他形式的腐蚀。

甲烷重整制氢设备设计、制造、检验和验收应符合《化学工业建设项目试车规范》、《固定式压力容器安全技术监察规程》、GB150、GB151的规定。当采用不锈钢板时应符合GB/T 4237的规定。容器的规格、尺寸、壁厚应按计算确定，并留有必要的余量。

甲烷重整制氢设备的布置应根据系统的总体设计，做到顺应制氢流程、连接管路短、方便操作和维修。

5.1.2 氢气提纯模块

5.1.2.1 总体要求

氢气提纯模块的材质在所有的工作条件下，应具有必要的化学稳定性；在运行中不会发生各种形式的化学反应；在反应过程压力的变化中，保持机械性能的稳定性；在工作条件下应不发生氢脆、氢腐蚀和其他形式的腐蚀。氢气提纯模块为高温高压容器，其设计、制造、检验和验收应符合《化学工业建设项目试车规范》、《固定式压力容器安全技术监察规程》、GB150、GB151的规定。当采用不锈钢板时应符合GB/T 4237的规定。容器的规格、尺寸、壁厚应按计算确定，并留有必要的余量。

氢气提纯模块的布置应根据系统的总体设计，做到顺应制氢流程、连接管路短、方便操作和维修。

氢气提纯模块采用的分离技术包括但不限于：膜分离；变压吸附；电化学分离。

上述分离技术的材料要求见5.1.2.2、5.1.2.3和5.1.2.4。

5.1.2.2 膜分离

分离膜材料应选用具备高选择性和高透过率的复合膜，高温下应具有优异的选择性和抗毒化能力。膜组件应具备抗腐蚀能力，包括但不限于对氢气重整过程中产生的气体的抗腐蚀性，相关技术应符合GB20103的规定。

5.1.2.3 变压吸附（PSA）

吸附剂材料应选用高效吸附性材料，吸附器的结构材料应具备良好的耐压能力，确保长期运行稳定性，变压吸附单元设计、制造应符合GB/T19773的有关规定。

5.1.2.4 电化学分离

电化学分离装置的电解质膜应具备高导电性和化学稳定性。电极材料应选择高稳定性、抗氧化的金属或合金，以确保电化学反应的高效进行。

5.1.3 气体储罐

气体储罐应用来存储氢气，其设计、制造检验和验收均应符合《化学工业建设项目试车规范》、《固定式压力容器安全技术监察规程》、GB150的规定。根据具体情况采用不同形式的储罐，球形罐应符合GB 12337的规定；钢瓶应符合GB 5099和《气瓶安全监察规程》的规定。气体储罐上应设置安全阀，安全阀应符合GB/T 12241的规定。

5.2 配套设备

5.2.1 程序控制阀

程序控制阀应用于吸收剂吸收和再生过程气流切换、切断，其设计和选择应充分考虑其耐高温高压，动作频繁和受高速气流冲刷的特性。

5.2.2 传感器

在重整制氢设备进出口，氢气分离设备进出口和气体管路应设置压力传感器。

在重整制氢设备进出口以及反应器沿程，氢气分离设备进出口以及反应器沿程和气体管路应设置温度传感器。

程序控制阀和调节阀应设置阀门位置传感器。

在重整制氢设备进出口，氢气分离设备进出口应设置氢气浓度检测探测器。

5.2.2 自动控制系统

自动控制系统应实现分布式天然气重整制氢各模块的集成化管理，包括但不限于天然气预处理、重整反应、氢气提取和储存，具备数据采集与分析功能。系统应支持对温度、压力、流量、气体纯度等关键参数的实时监测，确保安全运行。

5.2.3 辅助系统

5.2.3.1 气体预处理系统

气体预处理系统应包括净化单元、加热单元。预处理系统应配备除硫、脱碳和水分控制模块，确保天然气纯度符合重整反应要求，硫化物含量应控制在重整反应要求浓度以下。加热单元配备天然气加热装置，确保气体进入重整反应器前达到所需温度，温控精度应满足安全运行和反应检测要求。

5.2.3.2 原料水处理设备

原料水处理系统应包括纯化单元、水蒸气蒸发单元。纯化水的质量及送出压力应与制氢系统相匹配。水蒸气蒸发单元的规格尺寸、内部组件的设计应满足在使用条件下换热面积、温度及压力基本要求，应设置温度及压力检测仪表以监控运行情况，应设置气体平衡口、安全阀等保护设施。

5.2.3.3 热管理系统

重整反应系统应配备高效的热能分配与管理装置。系统应配备有效的散热和冷却装置，保证在高温运行时各模块温度不超过安全范围，散热效率应满足系统持续运行需求。热管理系统的设计应确保系统的能量高效利用。通过对制氢反应过程中产生的余热和其它形式的能量进行回收利用，以降低外部能源需求。应引入系统热效率的评价标准以量化热管理系统的有效性。系统热效率应描述天然气重整过程中化学反应所转化的能量和设备整体的能量利用效率。

系统热效率按公式（1）计算：

  (1)

式中：

*η*system-heat ---系统热效率，精确到小数点后2位；

*E*H2,chemical ---系统中氢气产物的化学能，单位为兆焦（MJ）；

*E*heat ---系统中回收的热量，单位为兆焦（MJ）；

*E*electric ---系统中回收的电量，单位为兆焦（MJ）；

*E*CH4,input ---制氢反应过程中消耗的天然气的总能量，单位为 兆焦（MJ）。

5.2.3.4 气体回收与处理系统

气体回收与处理系统应确保制氢过程中副产气体的有效回收，特别是未完全反应的甲烷和副产氢气。回收的气体可以重新引入制氢系统以减少资源浪费。

甲烷回收率按公式（2）计算：

  (2)

式中：

*η*CH4,recovery ---甲烷回收率，精确到小数点后2位；

*V*CH4,recovered ---回收的未完全反应甲烷体积，单位为标准立方米（Nm³）；

*V*CH4,input ---进入系统的甲烷体积，单位为标准立方米（Nm³）。

5.2.3.5 能量回收系统

能量回收系统应最大化利用制氢过程中产生的能量，包括余热、未反应的气体等，应具备电能回收模块以最大化电能利用率。

系统总能量利用率按公式（3）计算：

  (3)

式中：

*η*energy,total ---系统总能量利用率，精确到小数点后2位；

*Q*electric,recovered ---回收的电能，单位为千瓦时（kWh）；

*Q*heat,recovered ---回收的热能，单位为兆焦（MJ）。

*Q*total,energy input---系统消耗的总能量，单位为兆焦（MJ）。

5.2.3.6 安全与环境系统

配备在线气体泄漏检测仪器，其中氢气和CO泄漏的检测精度应确保安全标准得到满足。辅助系统需配备防火隔热装置和自动灭火装置。系统应符合防爆区域的规范。‌

6.检验与测试

6.1反应运行前测试

6.1.1 试验前，检查制造商提供的各项合格证书、技术文件、压力容器产品安全质量监督检验证书等。检查外观和各设备尺寸；检查气体管路、电气线路、控制线路是否连接正确。

6.1.2 试验内容**，**主要包括气密性试验、压力容器试验和程序阀门等运动类设备的试车。按照《化学工业建设项目试车规范》和设计图纸对系统进行气密性试验，按照《固定式压力容器安全技术监察规程》和设计图纸对系统进行质量检查和强度试验，并由有资格的检测部门出具证书。根据设计运行工艺流程对程序阀门等运动类设备进行试车。

6.1.3 检测前准备。

6.1.3.1对制氢系统管路用氮气进行吹扫置换气体，置换后系统内氧气含量需满足设计要求。检查原料，生产环境符合设计要求，各设备达到运行具备条件。

6.1.3.2 运行时，逐渐增加负荷直至温度、压力、氢气产量达到设计工况，在稳定运行后，开始进行检测和记录。

6.1.3.3 性能参数检测内容主要包括：氢气产量、氢气纯度、原料消耗量、热能以及电能消耗等，并记录系统工作压力，工作温度等参数。

6.2氢气产量与纯度测试

6.2.1 氢气产量测试

验证分布式天然气重整系统的产氢能力是否达到设计要求。单位时间内的氢气流量应符合设计规格（Nm³/h）。氢气产量测试应遵循标准化方法，确保测量结果的准确性与可比性。

氢气生产单位能耗按公式（4）计算：

  (4)

式中：

*E*H2 ---每立方米氢气的能耗，单位为千瓦时每标准立方米（kWh/Nm³）；

*Q*total,energy ---氢气制备过程中消耗的总能量，单位为千瓦时（kWh）；

*V*H2 ---制备的氢气体积，单位为标准立方米（Nm³）。

6.2.2 氢气纯度测试

提取的氢气纯度应满足下游应用要求。使用气相色谱仪（GC）或其他适合的仪器测试氢气中杂质含量，主要测量CO、CO₂、CH₄、N₂等杂质的浓度。纯氢中杂质含量应符合GB/T 3634、GB/T 7445的规定。检测应按照GB/T 5831、GB/T 5832.1、GB/T 5832.2、GB/T 6285、GB/T 8984.1和GB/T 8984.2进行。

6.3 系统能效测试

6.3.1 天然气消耗量测试

通过气体流量计测量进料天然气的总消耗量，计算每Nm³氢气的天然气消耗，验证系统的能源利用效率。

单位天然气制氢效率按公式（5）计算：

  (5)

式中：

*η*CH4−H2 ---单位天然气制氢效率，精确到小数点后2位；

*V*H2 ---制备的氢气体积，单位为标准立方米（Nm³）；

*Q*CH4---消耗的天然气体积，单位为标准立方米（Nm³）。

6.3.2 电力消耗测试

使用电表测量整个系统在稳定运行时的总电力消耗，记录每立方米氢气生产所需的电量（kWh/Nm³），评估系统运行过程中电能的使用效率。使用电力消耗应符合系统设计标准，并达到目标能效指标。

6.3.3 热能利用测试

通过温度传感器与热量计，测量进入和排出反应器的热能，计算系统的废热回收效果和热能利用率，主要针对重整过程中的高温废气和设备散热部分。

废热回收效率按公式（6）计算：

  (6)

式中：

*η*waste heat, recovered为废热回收效率，精确到小数点后2位；

*Q*recovered ---通过热交换器等设备回收的有效热量，单位为千瓦时（kWh）

*Q*waste heat ---系统产生的总废热量，单位为千瓦时（kWh）。

 热能利用率涵盖了系统中所有有效利用的热量，包括直接用于反应的热量和间接用于加热、气化等的热量。热能利用率按公式（7）计算：

  (7)

式中：

*η*heat, used为热能利用率，精确到小数点后2位；

*Q*effective ---实际被系统有效利用的热量，包括用于重整反应和其他辅助过程的热量，单位为千瓦时（kWh）。

*Q*total,input ---整个系统输入的总热量（包括外部输入和通过燃料直接提供的热量），单位为千瓦时（kWh）。

6.4 碳捕集与储存系统

用户可根据需求安装碳捕集与储存（CCS）模块，CO₂捕集模块应能将排放气体中的CO₂浓度控制在环境标准之内，且应具备储存和压缩功能。

碳捕集效率按公式（8）计算：

  (8)

式中：

*η*CCS ---碳捕集效率，精确到小数点后2位；

*M*CO2,captured ---捕集的CO₂质量，单位为千克（kg）；

*M*CO2,total ---系统产生的CO₂总量，单位为千克（kg）；

 系统应确保碳捕集效率符合相应设计要求。

6.5 系统安全性测试。

6.5.1 压力测试

 确保反应器、储罐和管道系统的耐压性，防止高压气体泄漏。对系统进行超压测试，施加1.5倍工作压力的试验压力，观察压力保持时间和系统的密封性。系统应无泄漏，无变形或损坏，压力降不超过设计允许值。

6.5.2 泄漏检测

检查系统在运行过程中是否存在氢气、天然气或CO等有害气体的泄漏。使用气体检测仪器（如氢气检测仪）在管道、储罐、接头等关键点进行泄漏检测，检测精度应确保安全标准得到满足。检测点的气体浓度应低于安全限值，无气体泄漏。用洁净空气或氮气进行泄漏量实验来检测系统密封性。实验压力为系统工作压力；试验时间需符合设计要求。泄露量实验过程应记录系统内气体的温度、压力。以平均每小时泄漏率不超过设计要求。

平均每小时泄漏率按公式（9）计算：

  (9)

式中：

*A*---平均每小时泄露率，用（%/h）表示；

t---试验时间，单位为小时（h）；

*P*1、*P*2---试验开始，结束时的绝对压力，单位为兆帕（MPa）；

*T*1、*T*2---试验开始、结束时的气体绝对温度，单位为开尔文（K）。

6.5.3 紧急停机测试

 检验系统在紧急情况下的停机和安全保护功能。模拟紧急故障（如超压、超温、泄漏等），触发系统的紧急停机机制，观察响应时间和停机后状态。系统应在规定时间内（通常不超过1秒）完成停机，所有关键参数恢复至安全范围内。

7 运行与维护

7.1 制氢系统运行应在满足设计工况的条件下进行，并根据工艺要求定期检查维护设备、电气和控制仪表，以确保系统长期稳定可靠运行。

7.2 生产企业应建立运行维护相关的各项管理制度，以及运行和检修规程。

参考文献

1. GB 150 钢制压力容器
2. GB 151 管壳式换热器
3. GB/T 4237 不锈钢热轧钢板
4. GB 5099 钢制无缝气瓶（neq ISO 4705）
5. GB/T 12241 安全阀 一般要求（eqv ISO 4162）
6. GB 12337 钢制球形储罐
7. GB 17820-2018 天然气
8. GB 18047-2017 车用压缩天然气
9. GB/T 3634工业氢
10. GB/T 7445 纯氢、高纯氢气和超纯氢
11. GB/T 5831 气体中微量氧的测定 比色法
12. GB/T 5832.1 气体分析 微量水分的测定 第1部分：电解法
13. GB/T 5832.2 气体分析 微量水分的测定 第2部分：露点法
14. GB/T 6285 气体中微量氧的测定 电化学法
15. GB/T 8984.1 气体中一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物的测定 第1部分:气体中一氧化碳、二氧化碳和甲烷的测定 气相色谱法
16. GB/T 8984.2 气体中一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物的测定 第2部分:气体中一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物总含量的测定 气相色谱法
17. 《化学工业建设项目试车规范》
18. 《固定式压力容器安全技术监察规程》（质技监局锅发[1999]154 号）
19. 《气瓶安全监察规程》