

ICS 27.180

CCS F19

# 团 体 标 准

T/CI 140-2022

## 中温变压吸附法提氢系统技术要求

Technical requirements for hydrogen purification system by elevated temperature  
pressure swing adsorption

2022-12-8 发布

2022-12-8 实施

中国国际科技促进会 发布



## 目 次

前 言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	2
4 分类和命名 .....	3
4.1 分类 .....	3
4.2 产品命名 .....	3
5 技术要求 .....	4
5.1 通用要求 .....	4
5.2 单体设备 .....	5
5.3 管道及附件 .....	9
5.4 电气设施 .....	10
5.6 安装 .....	12
5.7 吸附剂 .....	13
6 试验与检测 .....	14
6.1 警示 .....	14
6.2 试验 .....	14
6.3 检测 .....	16
7 标志 .....	17
7.1 通用要求 .....	17
7.2 标志牌的内容 .....	17
7.3 包装箱图示 .....	18
8 产品随机文件 .....	18
8.1 搬运、吊装要求 .....	18
8.2 系统设备图纸 .....	18
8.3 使用手册 .....	18
8.4 安装维护手册 .....	18
9 包装 .....	19
9.1 中温变压吸附法提氢系统的包装 .....	19
9.2 压力容器的包装和运输 .....	19
9.3 充氮保护 .....	19
附录 A（资料性附录） 中温变压吸附法提氢系统示意图 .....	20
附录 B（规范性附录） 容积法测试氢气产量 .....	21
附录 C（规范性附录） 分析仪器测试氢气纯度 .....	23

## 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》起草。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国国际科技促进会提出并归口。

本文件起草单位：清华大学山西清洁能源研究院、清华大学、北京北大先锋科技股份有限公司、山西阳煤丰喜泉稷能源有限公司（现：山西潞安丰喜泉稷能源有限公司）、北京佳安氢源科技股份有限公司。

本文件主要起草人：蔡宁生、史翊翔、李爽、王路、张婧、李军、王冬冬、任建英、李林、潘宣霖、睢俊杰、郝培璇、朱炫灿、张艳花、张佳平、唐伟、耿云峰、李世刚、蒋化、张毅刚、荣杰、梁曙光、张舟、陈莎、江风、李想、刘哲男、郭文龙、薛晓宾、高容川、潘伟峰、张高稳、景明华、段维国、吴红晓、卜辰烨。

本文件为首次发布。

# 中温变压吸附法提氢系统技术要求

## 1 范围

本文件规定了以各类含氢气体为原料,采用中温变压吸附法提纯氢气的制氢系统的术语和定义、分类与命名、技术要求、试验与检测、标志、产品随机文件、包装。

本文件适用于工业用和商业用固定式中温变压吸附提纯氢气系统。

## 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标准。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本标准。

GB/T 150.1~GB 150.4 压力容器

GB/T 13306 标牌

GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件

GB/T 13927 工业阀门 压力试验

GB 15322 可燃气体探测器

GB 16297 大气污染物综合排放标准

GB/T 191 包装储运图示标志

GB/T 19773 变压吸附提纯氢系统技术要求

GB/T 19774 水电解制氢系统技术要求

GB/T 20173 石油天然气工业 管道输送系统 管道阀门

GB/T 21465 阀门 术语

GB/T 24919 工业阀门 安装使用维护 一般要求

GB/T 26480 阀门的检验和试验

GB/T 28777 石化工业用阀门的评定

GB/T 3077 合金结构钢

GB/T 3634.1 氢气 第1部分:工业氢

GB/T 3634.2 氢气 第2部分:纯氢、高纯氢和超纯氢

GB/T 37244 质子交换膜燃料电池汽车用燃料 氢气

GB/T 4272 设备及管道绝热技术通则

- GB 50058 爆炸危险环境电力装置设计规范
- GB 50177 氢气站设计规范
- GB 50183 石油天然气工程设计防火规范
- GB 50235 工业金属管道工程施工规范
- GB 50316 工业金属管道设计规范
- GB/T 50493 石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准
- GB 50516 加氢站技术规范
- 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
- HG/T 5549-2019 合成水滑石吸附剂
- JB 4732 钢制压力容器—分析设计标准
- NB/T 10558 压力容器涂敷与运输包装
- SH/T 3097 石油化工静电接地设计规范
- TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

#### 3.1

**中温变压吸附法** mediuemlevated temperature pressure swing adsorption (ETPSA) method  
在 120~450°C 温度范围内，利用固体吸附剂对不同气体的吸附选择性以及气体在吸附剂上的吸附量随其压力变化而变化的特性，在一定压力下吸附，然后通过降低被吸附气体分压使被吸附气体解吸的气体分离方法。

#### 3.2

**中温变压吸附法提氢系统** hydrogen purification system by elevated temperature pressure swing adsorption

采用中温变压吸附法，从含氢气体中提纯氢气的制氢系统。

#### 3.3

**阻火器** fire arrester

指利用火焰通过热导体的狭小空隙时，由于热量损失而使火焰熄灭的原理设计、制造，用来防止外部火焰窜入存有易燃易爆气体的设备、管道内或阻止火焰在设备、管道内蔓延的装置。

### 3.4

**氢回收率 hydrogen recover rate**

指利用中温变压吸附法生产氢气时，产品氢气中纯氢的体积（标准状态）与原料气体中所含氢气的体积（标准状态）之比。

### 3.5

**固定式的中温变压吸附法提氢系统 stationary hydrogen purification system by elevated temperature pressure swing adsorption**

指所有设备、管道全部固定在设备基础、管道支架上的中温变压吸附法提氢系统。

### 3.6

**吸附剂寿命 adsorbent lifetime**

指吸附剂正常使用的年限。

### 3.7

**吸附剂活化 adsorbent activation**

通过改变吸附剂本身的某一些结构或化学成分以提高吸附剂本身的吸附能力，或单纯地提高对某一种物质的吸附效果。

## 4 分类和命名

### 4.1 分类

中温变压吸附法提氢系统产品，按氢气产品纯度分为普通型、纯气型。

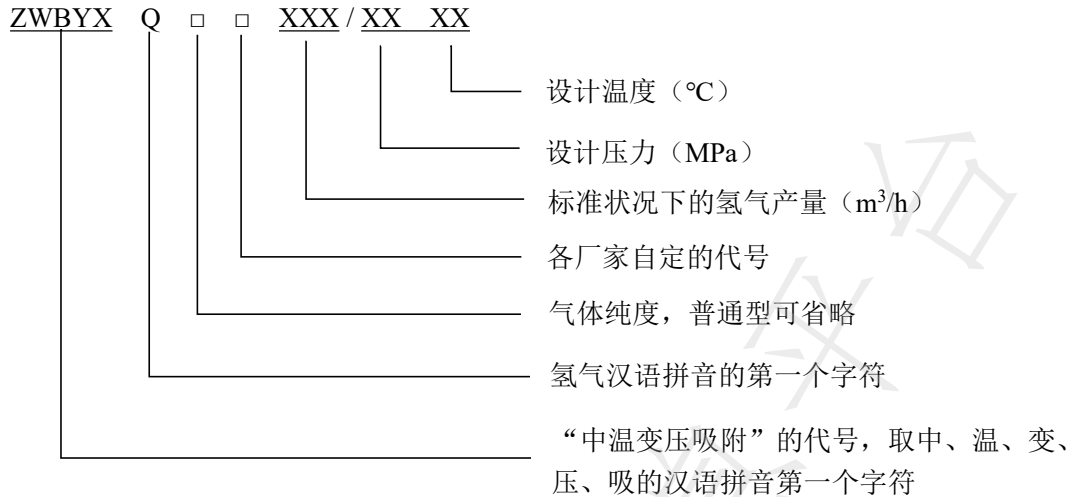
普通型中温变压吸附法提氢系统：产品氢气纯度 $\geq 99.5\%$ 。

纯气型中温变压吸附法提氢系统：产品氢气纯度 $\geq 99.99\%$ 。

对于纯气型中温变压吸附法提氢系统制取的纯氢，其杂质含量如  $O_2$ 、 $CH_4$ 、 $CO$ 、 $CO_2$ 、 $H_2O$ 、 $Ar$  和  $N_2$  等允许浓度可根据用户要求商定。

### 4.2 产品命名

中温变压吸附法提氢系统的产品命名由大写的汉语拼音字母和阿拉伯数字组成。



注：设计压力为装置生产氢气所能达到的最大压力，设计温度为装置生产氢气时所能达到的最高工作温度。

## 5 技术要求

### 5.1 通用要求

#### 5.1.1 一般要求

5.1.1.1 中温变压吸附法提氢系统包括下列单体设备或装置：原料气预处理设备、吸附器组件、保温组件、真空泵组、氢气缓冲罐、氢气压缩机、程序控制阀、自动控制系统及相应软件。中温变压吸附法提氢系统示意图，见附录 A。

5.1.1.2 中温变压吸附法提氢系统的解吸气可根据需要回收利用或排入大气。当排入大气时，应符合 GB 16297 及地方环保的有关规定。

5.1.1.3 中温变压吸附法提氢系统净化后氢气的质量应符合 GB 3634 或 GB/T 7445 中氢气和高纯氢气质量标准的规定。

#### 5.1.2 工作条件

5.1.2.1 中温变压吸附法提氢系统的工作压力范围为：0~6MPa(G)。

5.1.2.2 中温变压吸附法提氢系统的工作温度范围为：120~450°C。

5.1.2.3 中温变压吸附法提氢系统所处场所所有爆炸危险区域的范围及等级的划分，应符合 GB 50177 和 GB 50058 的有关规定。

5.1.2.4 中温变压吸附法提氢系统原料气种类有煤制氢气体、碳氢燃料重整制氢气体、工业余热重整制氢气体、天然气转化气、甲醇转化气、氨裂解/分解气、水煤气或半水煤气、焦炉煤气、炼厂气、合成氨或合成甲醇的弛放气、管道掺氢天然气等。原料气中的氢气体积含

量宜大于 20%。

5.1.2.5 中温变压吸附法提氢系统应设置吹扫置换气气体接口，置换气体宜采用氮气。

5.1.2.6 中温变压吸附法提氢系统中，表面温度高于 50°C 的设备、管道及仪表管道应采取绝热措施，绝热措施应符合 GB/T 4272 的有关规定。

5.1.2.7 冷却水水压及水质应符合 GB/T 19773 的有关规定。

5.1.2.8 中温变压吸附法提氢系统应设置原料气复温调温器和水冷器，使除氧后原料气的温度及水蒸气浓度达到操作要求后，进行之后的吸附工序。

5.1.2.9 中温变压吸附法提氢系统应采用氮气、蒸气充洗管道，以提升产品氢气的收率。

## 5.2 单体设备

### 5.2.1 一般规定

5.2.1.1 单体设备应根据中温变压吸附法提氢系统的规模、用气特性、氢气质量要求等合理配置。

5.2.1.2 单体设备的技术性能、工作参数应满足中温变压吸附法提氢系统的总体要求，单体设备的性能参数、技术要求应严于系统的要求。

### 5.2.1.3 单体设备的材质

单体设备内、连接部位、气体接触的内表面、密封件所用的材料应具有下列特性。

5.2.1.3.1 在所有的工作条件下，具有必要的化学稳定性。

5.2.1.3.2 在运行中不会发生各种形式的化学反应，以避免反应生成物对氢气的污染。

5.2.1.3.3 应适应变压吸附过程压力的变化，能承受交变应力的状况，并在工作条件下保持机械性能的稳定性。

5.2.1.3.4 所选用材料在中温工作条件下应不发生或避免发生氢脆、氢腐蚀、应力腐蚀和其他形式的腐蚀。

### 5.2.2 吸附组件

5.2.2.1 吸附器组是中温变压吸附法提氢系统的主体设备，它的性能参数将决定中温变压吸附法提氢系统的技术性能。

吸附器组的规格尺寸、内部构件应以提高氢回收率、减少制造成本为基本要求。

5.2.2.2 吸附器组的吸附器数量，应根据中温变压吸附法提氢系统的原料气组成、吸附压力、吸附剂的动态吸附容量、氢气产量、氢气纯度及氢气回收率等因素确定。

5.2.2.3 吸附器的设计、制造、检验、试验和验收应严格遵守 TSG 21、JB 4732 和 GB 150 的规定，且必须考虑交变应力的影响。吸附器上受压元件之间及其与非受压元件之间的焊接应

在焊后整体消除应力热处理（PWHT）之前焊到设备上，热处理后不得再施焊。

5.2.2.4 吸附器应轴向设置多个温度传感器，实时监控由于吸附反应热集聚产生的吸附器飞温现象，控制系统应设定飞温控制上限，一般不宜高于 30℃。

5.2.2.5 中温变压吸附法提氢用吸附剂主要有：活性炭类吸附剂、分子筛类吸附剂和复合金属氧化物。考虑吸附过程中吸附器内的热集聚效应，所选吸附剂在对应操作压力、操作温度下的吸附热不宜高于 65kJ/mol，吸附剂的性能参数应满足提纯氢气的要求。

5.2.2.6 垫片材质的选择应符合相应的标准规定，并确保吸附器在中温工作状态不渗漏，并能承受开、停车时的工作状态变化。

### 5.2.3 中温保温部件

5.2.3.1 中温变压吸附法提氢系统中设备表面及内部，应采取维持系统的中温操作条件的保温部件，如外壁盘管、内壁盘管、热管等。保温介质可以为水蒸气或工厂内富余的中高温惰性流体介质。可根据季节变化及时调整保温流体介质的流量和流速。

5.2.3.2 中温保温部件材质的选择应符合 GB/T 4272 的有关规定。

5.2.3.3 中温保温部件的性能及结构均应满足维持中温操作条件的要求，并应采取密封、防爆措施。

### 5.2.4 中温吸附器防飞温内壁盘管

中温变压吸附法提氢系统设备内部，应根据所选吸附剂反应热效应设计内壁盘管。降温介质可以为循环水。

### 5.2.5 真空泵机组

5.2.5.1 中温变压吸附法提氢系统的真空泵机组用于解吸时吸附器抽真空，降低系统压力，使吸附剂得到更充分的解吸再生。设置真空泵机组可提高氢回收率。

5.2.5.2 真空泵机组可选用液环式或活塞式真空泵。

5.2.5.3 真空泵机组的性能、结构和材质均应满足解吸气体特性的要求，并应设置密封、防爆措施。

5.2.5.4 真空泵应配置防爆型电动机，电力装置设计应满足 GB 50058 的规定，当真空泵机组布置在厂房内时，防爆等级不低于 GB 50058 规定的 dIIC T1。

5.2.5.5 待抽真空气体应经换热器冷却后再进入真空泵。

5.2.5.6 当回收利用真空泵机组排出的解吸气时，应设置氧分析仪，以检测解吸气中的氧含量是否超过安全允许浓度。

5.2.5.7 真空泵入口切断阀后应设置与大气相通的阀门，真空泵排气切断阀前应设置与大气

相连接的排气阀。

5.2.5.8 采用液环式真空泵时，真空机组宜设置与其泵前程序控制阀的停机连锁措施，以确保真空泵故障停车时，程序控制阀同时关闭。为防止液环式真空泵内液体结冰，冬季装置停车时，应及时排空液环式真空泵内液体。

## 5.2.6 压力容器

5.2.6.1 中温变压吸附法提氢系统的压力容器主要用于原料气、产品氢气、解吸气的分离、缓冲与储运。压力容器的设计、制造、检验、试验和验收应严格遵守 TSG 21 和 GB 150 的规定。

5.2.6.2 压力容器的工作压力是指在中温变压吸附法提氢系统正常工作状态下，容器顶部可能达到的最高压力。

5.2.6.3 压力容器的材质应满足氢气在中温系统工作状态下的要求，当采用不锈钢板时应符合 GB/T 24511 的规定，当采用合金结构钢时应符合 GB/T 3077 的规定。

5.2.6.4 压力容器的规格、尺寸、壁厚度应通过分析计算确定。

5.2.6.5 压力容器的布置应根据中温变压吸附法提氢系统的总体设计，并做到顺流程、连接管路短、方便操作和维修、美观大方。

## 5.2.7 氢气缓冲罐

5.2.7.1 根据终充步序需要以及用户对氢气使用要求，中温变压吸附法提氢系统设有相应的氢气缓冲罐。一套中温变压吸附系统内，可根据实际需要设置一个或多个氢气缓冲罐。

5.2.7.2 氢气缓冲罐的储存量应按氢气使用特点、氢气生产能力确定。压力型氢气缓冲罐的氢气有效储存能力根据最高进气压力和最低输出压力之差以及缓冲罐容积确定。

5.2.7.3 氢气缓冲罐上或氢气缓冲罐进气切断阀后、出气管切断阀前的管道上必须设安全阀，安全阀应符合 GB/T 12241 的规定。

5.2.7.4 固定式氢气缓冲罐安全设施的设置，应符合下列规定。

5.2.7.4.1 应设置安全泄压装置。

5.2.7.4.2 罐顶部应设置氢气放空管，放空管应设置 2 只切断阀和取样口。

5.2.7.4.3 应设置压力测量仪表、压力传感器。

5.2.7.4.4 缠绕式氢气缓冲罐应设置氢气泄漏报警装置。

5.2.7.4.5 应设置氮气吹扫置换接口。

## 5.2.8 氢气压缩机

5.2.8.1 氢气压缩机应根据中温变压吸附法提氢系统流程和用户要求设置。其中，可将顺放

气经氢气压缩机升压后打回至原料气以提升收率。

5.2.8.2 根据氢气压缩机进气/排气压力、氢气纯度的要求，选用活塞式、隔膜式或离心式等类型压缩机。

5.2.8.3 氢气压缩机的性能、结构和材质均应满足氢气特性的要求，并应设置防爆、防渗漏措施。

氢气压缩机应配置防爆型电动机、电力装置设计应符合 GB 50058 的规定，当氢气压缩机布置在氢气站厂房内时，防爆等级不低于 GB 50058 规定的 dIIC T1；当氢气压缩机布置在室外或者敞开式、半敞开式厂房时，防爆等级不低于 GB 50058 规定的 eIIC T1。

5.2.8.4 氢气压缩机的安全保护装置的设定，应符合下列规定。

5.2.8.4.1 压缩机进、出口与第一个切断阀之间，应设安全阀。

5.2.8.4.2 压缩机进、出口应设高压、低压报警和超限停机装置。

5.2.8.4.3 润滑油系统应设油压过高、过低或油温过高的报警装置；膜式压缩机应设油压过高、过低报警装置。

5.2.8.4.4 压缩机的冷却水系统应设温度和压力或流量的报警和停机装置。

5.2.8.4.5 压缩机进、出口管路应设置置换吹扫口。

5.2.8.4.6 采用膜式压缩机时，应设膜片破裂报警和停机装置。

5.2.8.5 氢气压缩机前应设置氢气缓冲罐。对于氢气输送用氢气压缩机，应在进气管与排气管之间设置旁通循环管，循环管上设置可调流量的阀门。

## 5.2.9 程序控制阀

5.2.9.1 程序控制阀用于中温变压吸附法提氢系统的吸附器组在制氢过程中气流的倒换、切断。

5.2.9.2 程序控制阀的设计和选择应充分考虑其动作频繁和受高速气流冲刷的特性，应具备长时间频繁开启、关闭动作不出现泄漏的性能。

5.2.9.3 吸附器组的进气阀、逆放阀的内腔材料应根据原料气组成及设计温度选择材质。

5.2.9.4 程序控制阀的密封垫片材料应根据原料气组成及设计温度选择材质。

5.2.9.5 当氢气系统的阀门采用电动阀时，其防爆等级不低于 GB 50058 规定的 dIIC T1。

5.2.9.6 中温变压吸附法提氢系统的程序控制阀，在安装前应逐个进行气密性试验，并应符合 GB 50235 的规定。

## 5.2.10 阻火器

5.2.10.1 中温变压吸附法提氢系统的氢气排空口前、解吸气做燃料气时在接入燃烧器前的管

道上应装设阻火器。当解吸气管道设有安全水封时，可不设阻火器。

5.2.10.2 阻火器的阻火层结构有砾石型、金属丝网型或波纹型。氢气阻火器应满足 GB 13347 的要求。

5.2.10.3 氢气排空管上的阻火器宜安装在靠近排空口处，阻火器后的氢气管道应采用不锈钢管材。

### 5.3 管道及附件

#### 5.3.1 管道

5.3.1.1 中温变压吸附法提氢系统的管道材质，应符合 GB 50177、GB 50235 和 GB 50316 的有关规定。

5.3.1.2 直接与吸附组件相连的管道，应考虑频繁压力变化引起的交变应力对管道的影响。

#### 5.3.2 管道附件

5.3.2.1 管道附件、阀门的材质应与管道材质相同，其强度及密封性应符合中温变压吸附法提氢系统的工艺管道及仪表的要求。

5.3.2.2 管道附件、阀门的布置应符合中温变压吸附法提氢系统的工艺管道及仪表的要求。

5.3.2.3 对于有热胀冷缩的管段，布置时应结合柔性计算和热补偿的要求，妥善安排，方便操作、安装和维修。

5.3.2.4 管道及附件的布置应整齐有序，减少不必要的交叉。吸附组件的管道、阀门应对称或同行布置。

#### 5.3.3 冷却水管路

冷却水管路应根据环境湿度的要求确定是否采取保温措施，若需要保温时，应采用不燃的材料。

对于不得中断冷却水供应的冷却水管路，应设置断水保护装置及中断报警设施。

#### 5.3.4 中温保温部件管路

5.3.4.1 中温保温部件管路应设置 200~300℃的保温气路，如中压水蒸气、热氮气等惰性气体介质。

5.3.4.2 中温变压吸附法提氢系统的设备和管道隔热工程设计应符合 GB 50264 的有关规定。

5.3.4.3 中温变压吸附法提氢系统的设备和管道保温工程设计应符合 GB/T 8175 的有关规定，保冷设计应符合 GB/T 15586 的有关规定。

5.3.4.4 保温材料的选择以被保温管道的操作温度为依据，保温材料及制品的允许使用温度应高于设备和管道的操作温度。

### 5.3.5 放空管路

中温变压吸附法提氢系统应在适当位置设置放空管路。放空管路必须保持畅通，并应符合下列要求。

5.3.5.1 高压、低压放空管宜分别设置，并应直接与火炬或放空总管连接。

5.3.5.2 不同排放压力的可燃气体放空管接入同一排放系统时，应确保不同压力的放空点能同时安全排放。

5.3.5.3 放空管应设置阻火器，阻火器后的放空短管应采用不锈钢材质。

5.3.5.4 放空管应引至集中排放装置，并应高出屋面或操作平台 2m 以上，且应高出所在地面 5m 以上。

5.3.5.5 放空管应采取防止雨水侵入和杂物堵塞的措施。

5.3.5.6 可能存在点火源的区域内不应形成爆炸性气体混合物。

5.3.5.7 有害物质的浓度及排放量应符合有关污染物排放标准的规定。

5.3.5.8 放空时形成的噪声应符合有关卫生标准。

5.3.5.9 连续排放或间歇排放的可燃气体排气筒顶或放空管口应符合 GB 50183 的有关规定。

5.3.5.10 高温放空管道应采取防止高温可燃气体在放空管内及出口爆燃的措施。

### 5.4 电气设施

#### 5.4.1 氢气生产环境电气设施的设防

在氢气环境内的电气设施选型，不应低于氢气爆炸混合物的级别、组别。氢气环境内电气设施的设防应符合 GB 50058、GB 50177 和 GB 50516 的有关规定。

#### 5.4.2 中温变压吸附法提氢系统

5.4.2.1 中温变压吸附法提氢系统防护罩内的制氢装置的区域爆炸危险等级按照 GB 50177 的规定应为 1 区，其相关电气设备及配线的配置应符合 GB 50058 的有关规定。

5.4.2.2 防护罩的强制通风机及其电动机应为防爆型，并符合 GB 50058 的有关规定。

5.4.2.3 防护罩内应设有氢气浓度超限报警装置，并符合 GB/T 19773 的有关规定。

#### 5.4.3 电气接地

5.4.3.1 所有设备、金属外壳、金属管道、金属底座、框架及突出屋面的放空管等，应接到防雷电感应接地装置上，并符合 GB 50057、GB 50177 和 GB 50516 的有关规定。

5.4.3.2 氢气设备和管道的法兰、阀门连接处需要设置防静电的金属（铜质）连接线跨接。

5.4.3.3 中温变压吸附法提氢系统内的电气设备接地、防雷接地、防静电接地及信息系统接地，宜共用接地装置，其接地电阻应采用各种接地要求的最小值，并不得大于 10Ω。

5.4.3.4 有爆炸危险环境内可能产生静电危险的物体，应采取防静电措施。

## 5.5 自动控制和监测

### 5.5.1 通用要求

中温变压吸附法提氢系统的自动控制系统是确保氢气生产过程顺利进行、生产安全的技术措施。自控系统的软件必须满足工艺要求，宜设置自适应优化操作系统以保证较高的氢气回收率和氢气产品质量，设置故障诊断和程序切换系统以确保不间断输出氢气。自动控制系统应能承受可能事故的发生，当故障发生时，能及时报警、停车，并进行妥善处理。

### 5.5.2 自动控制及监测装置

自控及监测装置应符合下列要求。

#### 5.5.2.1 压力传感器

在吸附器组进出口、氢气压缩机进出口、氢气缓冲罐和仪表空气总管处应设置压力传感器。

#### 5.5.2.2 温度传感器

在各吸附器轴向位置，入口、出口等关键位置以及氢气压缩机的冷却水出口应设置温度传感器。

#### 5.5.2.3 阀门位置传感器

对各种程序控制阀和调节阀的阀位应设置阀门位置传感器。

#### 5.5.2.4 气体浓度检测探测器

5.5.2.4.1 中温变压吸附法提氢系统出口应设置连续检测氢气纯度的分析仪器，并带有防爆装置。

5.5.2.4.2 氢浓度探测、报警装置，应符合 GB/T 50493 和 GB 15322 的要求。

5.5.2.4.3 气体浓度检测分析仪的最小刻度值应小于 0.01%。

### 5.5.3 自动停车

5.5.3.1 当中温变压吸附法提氢系统的监测装置报警后，应及时分析并对系统进行必要调整，使系统恢复正常工作状态。若报警后，经调整仍不能纠正并恢复正常工作的，则应按程序要求停车。

5.5.3.2 为确保系统的正常运行，当出现下列情况之一时，应自动停车检查。

5.5.3.2.1 原料气压力、组分不符合要求。

5.5.3.2.2 程序控制阀出现动作故障或严重漏气且无法隔离。

5.5.3.2.3 系统严重泄漏。

5.5.3.2.4 监测的空气中氢浓度超过 1.0%。

5.5.3.2.5 氢气压缩机进气侧的氢气压力低于允许值。

5.5.3.2.6 电力供应故障。

5.5.3.2.7 氢气压缩机冷却水压力不足或中断。

5.5.3.2.8 任意一个吸附器飞温超过 40℃且无法控制时。

## 5.6 安装

### 5.6.1 通用要求

5.6.1.1 中温变压吸附法提氢系统的安装、组装应按设计文件的要求进行。

5.6.1.2 中温变压吸附法提氢系统的安装应符合 GB 50177、GB 50235、GB 50236、GB 50275 和 SH 3501 的要求。

### 5.6.2 吸附器组的安装

5.6.2.1 吸附器组的安装方式有：整体安装和分散安装。

5.6.2.1.1 小型中温变压吸附法提氢系统的吸附器组可采用整体安装方式，应在制造工厂进行组装后，运至使用现场整体安装。根据吸附器组的尺寸和重量制定吊装、就位方案，在进行充分准备后就位安装。

5.6.2.1.2 大中型中温变压吸附法提氢系统，宜采用分散式安装。将吸附器、程控阀运至使用现场，在现场按设计文件要求进行组装。

5.6.2.1.3 吸附剂的填装应在吸附器就位、管道安装完成，并进行系统试验合格后，在制造厂或技术提供单位的技术人员指导下进行。

### 5.6.2.2 安装后的检查

5.6.2.2.1 整体安装的吸附器组，安装后进行各种相关尺寸、连接管线准确性的检查。

5.6.2.2.2 分散安装的吸附器组，组装完成后，首先进行各种相关尺寸、连接管线的准确性的检查，然后按设计文件要求进行试验验收。

### 5.6.3 中温保温组件的安装

5.6.3.1 中温保温组件安装前应检查制造厂提供的出厂合格证，熟悉技术说明书和相关图纸资料。

5.6.3.2 中温保温组件安装完成后，须在填料前对吸附器内部的中温保温组件管路进行压力试验。

### 5.6.4 氢气压缩机和真空泵机组的安装

5.6.4.1 氢气压缩机和真空泵机组安装前应检查制造厂提供的出厂合格证，熟悉技术说明书

和相关图纸资料。

5.6.4.2 氢气压缩机和真空泵机组的安装和验收应符合 GB 50276 的规定，并按压缩机、真空泵机组的有关标准和制造厂的技术说明书中的要求进行。

5.6.4.3 氢气压缩机和真空泵机组在接入中温变压吸附法提氢系统试运前，应进行下列工作。

5.6.4.3.1 检查电气接线和接地的准确性和可靠性。

5.6.4.3.2 进行单机空负荷试车，并检查各类零部件的运转、活动情况和各部分气密性。

5.6.4.3.3 用含氧量小于 0.5% 的氮气进行吹扫置换。

### 5.6.5 氢气缓冲罐的安装

5.6.5.1 氢气缓冲罐安装前，应按 TSG 21 和设计图纸要求，核对并检查出厂合格证、压力容器检验、试验证明文件和各种技术资料的完整性。

5.6.5.2 根据氢气缓冲罐的规格尺寸、重量和现场情况，制定安装就位方案和相关安全措施。按设计图纸、技术说明文件进行罐内外和各相关尺寸检查。在认真进行各项准备工作后，方可进行安装就位。

5.6.5.3 安装就位后，按技术说明文件核对安装位置和各相关尺寸，合格后进行各种管线、附件的安装。

5.6.5.4 各种管线、附件安装完成后，应进行各种相关尺寸、连接管线连接准确性和接地电阻的检查，接地电阻应符合 SH 3097 的相关规定。

### 5.6.6 氢气管道、阀门及附件的安装

5.6.6.1 氢气管道、阀门附件的安装应符合 GB 50235、GB 50236 和 GB 50316 的要求。

5.6.6.2 氢气管道的管材、阀门附件应符合 GB/T 8163 和 GB/T 14976 的规定，GB/T 8163 和 GB/T 14976 中无规定的管材、阀门附件应符合制造厂家企业标准的规定。

5.6.6.3 各类阀门应有可靠的支承，确保阀门的正确动作，并不得引起管路的振动或影响单体设备连接处的强度。

5.6.6.4 氢气管道安装后，应进行强度试验、气密性试验和泄漏性试验，符合 GB 50177 和 GB 50235 的规定。

## 5.7 吸附剂

### 5.7.1 吸附剂材料的选择

中温变压吸附法提氢系统吸附材料可选用活性炭类吸附剂、分子筛类吸附剂和复合金属氧化物类吸附剂。

### 5.7.2 吸附剂的吸附热

中温变压吸附法提氢系统吸附剂的吸附热应小于 65kJ/mol。

### 5.7.3 吸附剂的外形和强度

根据不同的用途和外形，中温变压吸附法提氢系统的吸附剂可分为条形、球形及粉状。其中条形和球形可按直径分为不同规格。

#### 5.7.3.1 条形吸附剂

当  $3.0\text{mm} \leq d \leq 3.3\text{mm}$  时，其径向抗压碎力均值  $\geq 70.0\text{N}$  为合格品，径向抗压碎力均值  $\geq 90.0\text{N}$  为优等品；

当  $1.5\text{mm} \leq d \leq 1.7\text{mm}$  时，其径向抗压碎力均值  $\geq 30.0\text{N}$  为合格品，径向抗压碎力均值  $\geq 40.0\text{N}$  为优等品。

#### 5.7.3.2 球形吸附剂

当  $3.0\text{mm} \leq d \leq 5.0\text{mm}$  时，其径向抗压碎力均值  $\geq 80.0\text{N}$  为合格品，径向抗压碎力均值  $\geq 100.0\text{N}$  为优等品；

当  $1.6\text{mm} \leq d \leq 2.5\text{mm}$  时，其径向抗压碎力均值  $\geq 30.0\text{N}$  为合格品，径向抗压碎力均值  $\geq 35.0\text{N}$  为优等品。

### 5.7.4 吸附剂寿命要求

吸附剂寿命需满足单次制氢最低时限要求。

### 5.7.5 吸附剂活化要求

吸附剂活化需满足安全性、简易性、可操作性、重复性及环保性，活化后的吸附剂性能需满足中温变压吸附法提氢系统基本的制氢要求。

## 6 试验与检测

### 6.1 警示

本标准并未指出所有可能的安全问题，使用者有责任采取适当的安全和健康措施，并保证符合国家有关法规规定的条件。

### 6.2 试验

#### 6.2.1 试验前的准备

6.2.1.1 试验前应检查所有制造厂提供的各种合格证、技术文件，包括全部试验记录和证书、图纸资料、吸附器和氢气缓冲罐等压力容器的检验证书，确保文件资料齐全，并逐一进行核对无误后，才能进行试验。

6.2.1.2 外观检查在整套中温变压吸附法提氢系统组装完成后进行，主要是检查外观和各种

相关尺寸，检查各类液体、气体管路和电气线路的连接准确性。

## 6.2.2 试验方法

### 6.2.2.1 强度试验。

对中温变压吸附法提氢系统，应按系统工作压力的 1.15 倍的气压进行试验。试验时，以无油干燥压缩空气或氮气进行试验，试验开始并逐步升高压力，达到试验压力后，至少保持 10 min，若不发生泄漏、变形或其他物理损坏为合格。当设计压力大于 0.6 MPa 时，应得到业主、设计单位的认可，并应采取相应的安全措施。

### 6.2.2.2 气密性试验。

中温变压吸附法提氢系统在进行强度试验合格后，以洁净空气或氮气进行气密性试验。气密性试验压力为设计压力，试验开始后逐渐升压，达到规定压力后，至少保持 30 min，检查所有连接处，包括焊缝、法兰和垫片，以无漏气为合格。

### 6.2.2.3 泄漏量试验。

中温变压吸附法提氢系统在气密性试验合格后，为进一步确认系统的密封性，以洁净空气或氮气进行泄漏量试验。试验压力为系统工作压力；试验时间为 24h。泄漏量试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 0.5%/h 为合格。平均每小时泄漏率 A 按下列式计算：

$$A = \frac{100}{t} \left( 1 - \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2} \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

A—平均每小时泄漏率，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)。

### 6.2.2.5 氢气压缩机、泵类等运动类设备，应按相关的标准进行负荷试车。

### 6.2.2.6 外壳通风试验

6.2.2.6.1 中温变压吸附法提氢系统防护罩的通风量测试。在开启排气通风机后应检查确定每小时的换气次数，并由防护罩内的氢气浓度报警器测定外壳内各部分的通风状况。

6.2.2.6.2 当中温变压吸附法提氢系统的电气柜未采用防爆型电器、配线时，应对电气柜外壳进行压力试验，应在 1.0 kPa 气压下进行检查，不泄漏为合格。

### 6.3 检测

#### 6.3.1 检测前的准备

6.3.1.1 对中温变压吸附法提氢系统进行吹扫置换，吹扫置换后提氢系统内氮气中氧含量小于 0.5%，且无其他氧化性介质。

6.3.1.2 整套系统的原料气、冷却水、电源和自控系统等均应符合设计要求，达到开车所应具有的条件。

6.3.1.3 检测现场的生产环境符合设计要求，各种生产辅助系统均应达到开车所应具备的条件。

6.3.1.4 开车后逐渐增加负荷，产品氢气纯度、工作压力、工作温度、氢气产量达到设计工况并稳定运行后，开始进行检测、记录。

6.3.1.5 性能参数检测的内容有：产品氢气产量、氢气规格（纯度、杂质含量、压力、温度）、原料气耗量、解吸气流量及其组成。进行上述检测的同时，应认真测试并记录系统工作压力、工作温度和环境温度。

#### 6.3.2 性能参数检测

##### 6.3.2.1 气体流量的检测

6.3.2.1.1 中温变压吸附法提氢系统的氢气产量检测方法有气体流量计法和容积法。

6.3.2.1.2 检测用气体流量计应由计量部门标定，并在有效认证期内使用。

6.3.2.1.3 容积法检测气体流量法，见附录 B。

##### 6.3.2.2 氢气纯度的检测

6.3.2.2.1 普通氢气纯度和氢中杂质含量采用连续分析仪器检测，见附录 C。纯氢中杂质含量应符合 GB/T 3634、GB/T 7445 的规定。检测应按 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。

6.3.2.2.2 普通氢气的纯度检测的取样点应在中温变压吸附法提氢系统中吸附器组之后和氢气缓冲罐之前。

6.3.2.2.3 纯氢气的杂质含量的检测取样点由用户与制造厂协商确定。

##### 6.3.2.3 原料气和解吸气的检测。

6.3.2.3.1 原料气和解吸气的气体流量采用气体流量计测量。检测用气体流量计应由计量部门标定，并在有效认证期内使用。

6.3.2.3.2 原料气和解吸气组分的检测一般采用气相色谱法。

#### 6.3.3 检测要求

6.3.3.1 在用户现场进行检测的项目检测要求和合格指标应明确规定，并作为设备验收的依据。

6.3.3.2 制造厂家应向设备用户提供下列检测记录、资料和报告。

6.3.3.2.1 所订购设备在制造工厂的检测资料或报告。

6.3.3.2.2 订货合同规定的所有检测项目的检测记录、资料和报告。

6.3.3.3 检测用仪器、仪表和所有相关材料，均应符合有关标准或合同的规定，检测用仪器和仪表均应在有效认证期内使用。

## 7 标志

### 7.1 通用要求

7.1.1 中温变压吸附法提氢系统及其单体设备的标志制作、安装位置，应符合 GB/T 13306 的有关规定。

7.1.2 标志的内容应简洁、明确，显示主要性能参数、指标和要求。标志应固定在易于观察的明显位置。

### 7.2 标志牌的内容

中温变压吸附法提氢系统标志牌应包括下列内容。

7.2.1 制造厂家名称和地址。

7.2.2 产品型号和商标。

7.2.3 制造日期和编号。

7.2.4 主要技术参数：

- a) 氢气产量 ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ )；
- b) 氢气纯度 (%) 或杂质含量 ( $10^{-6}$ )；
- c) 氢气压力 (MPa)；
- d) 原料气名称；
- e) 工作环境温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )；
- f) 工作场所，室内或室外；
- g) 易燃易爆警示或要求；
- h) 设备外形尺寸和重量 (kg)。

以上各项内容，若需要取消应经供需双方协商确定。

7.2.5 压力容器标志牌应遵照 TSG 21 的要求进行。

## 7.2.6 保温部件防烫铭牌。

7.2.6.1 防烫铭牌应悬挂于设备醒目位置。

7.2.6.2 铭牌应标明保温材质及有效期。

7.2.6.3 铭牌应标明使用温度及壳体表面温度。

## 7.3 包装箱图示

包装箱储运图示标志应符合 GB/T 191 的有关规定。

## 8 产品随机文件

### 8.1 搬运、吊装要求

制造厂家应提供中温变压吸附法提氢系统各类单体设备、组件的安全搬运、吊装说明；必要时以图示说明吊装、搬运方法。

### 8.2 系统设备图纸

8.2.1 制造厂家应提供中温变压吸附法提氢系统在安装、运行维护中所需的各种系统流程、设备构造和电气自控等图纸。

8.2.2 提供的图纸应包括下列内容。

8.2.2.1 工艺流程图，列出控制点和管径。

8.2.2.2 各类电气原理图和中温变压吸附法提氢系统或组件的电气连接图和布线图。

8.2.2.3 单体设备总图，单体设备总图应有接管、接线标注。

8.2.2.4 组件内设备及管线图。

8.2.2.5 需土建施工的基础条件图。

### 8.3 使用手册

8.3.1 制造厂家应提供启动、停机程序的技术要求或实施步骤说明书。

8.3.2 安全使用须知的提示，一般包括下列内容。

8.3.2.1 氢气生产的环境有关防爆、防泄漏和安全运行的提示。

8.3.2.2 氢气排入不通风或通风不良的房间内，形成富氢环境的危害的提示。

8.3.3 当中温变压吸附法提氢系统设有远距离监控系统时，制造厂家应提供相关程序说明计算机的操作运行要求。

### 8.4 安装维护手册

8.4.1 制造厂家应提供安装、维护的要求和指导原则，包括中温变压吸附法提氢系统的现场布置和设计必须遵循 GB 50177 的规定，氢气的使用必须遵循 GB 4962 的规定。

8.4.2 安装维护手册主要包括下列内容。

8.4.2.1 安装要求提示，包括设备基础、设备就位、电气接线、自控仪表和控制阀的安装要求。

8.4.2.2 对有爆炸危险的氢气生产场所，提出安装防爆电器及其配线的要求，并提出氢气生产的运行维护要求，包括通风、易燃材料和明火管制的要求。

8.4.2.3 提供吸附剂等的出厂合格证书，推荐使用年限。

8.4.2.4 说明各种需定期更换或清洗的零部件，并提出更换、清洗的要求。

## 9 包装

### 9.1 中温变压吸附法提氢系统的包装

中温变压吸附法提氢系统的包装应符合 GB/T 13384 的有关规定，并按装箱单的编号、项目名称和件数进行装箱。

### 9.2 压力容器的包装和运输

压力容器的包装和运输应符合 NB/T 10558 的有关规定。

### 9.3 充氮保护

纯氢型设备产品出厂时，宜进行充氮保护，氮气纯度 $\geq 99.9\%$ ，充氮压力 $\geq 0.2\text{MPa}$ ，此类设备的开口处应进行封堵。

附录 A  
(资料性附录)  
中温变压吸附法提氢系统示意图

A.1 中温变压吸附法提氢系统示意图

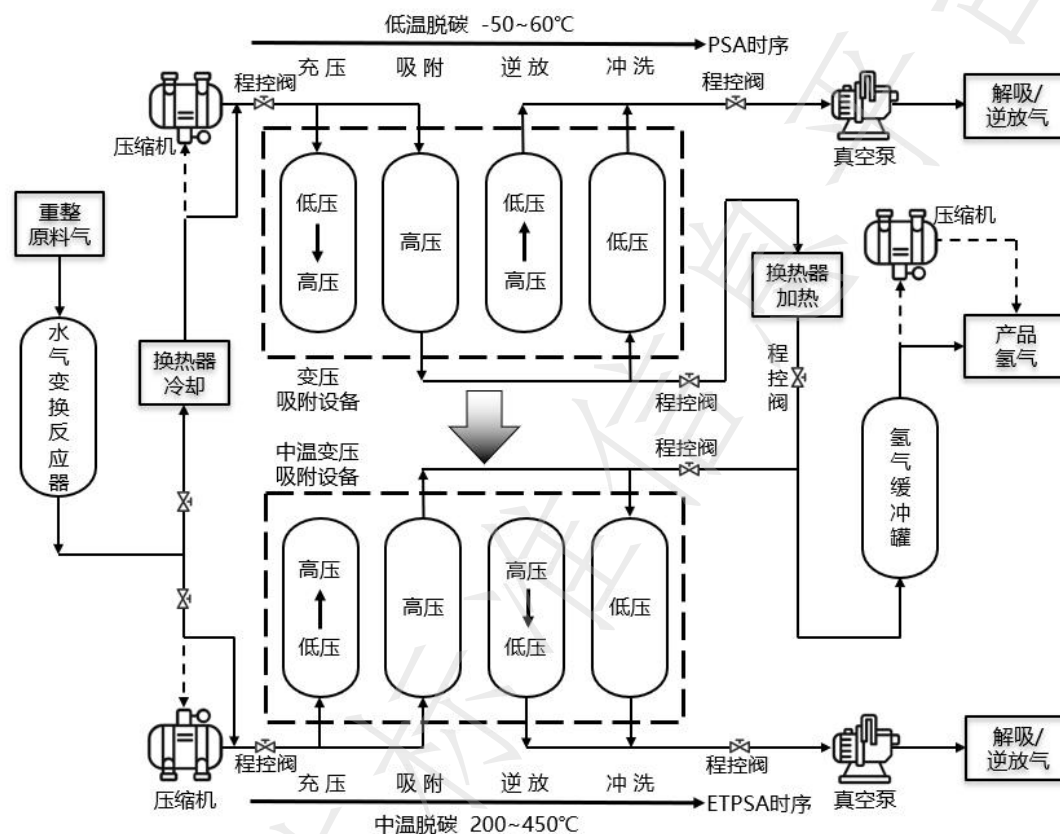


图 A.1 中温变压吸附法提氢系统示意图

A.2 中温变压吸附法提氢系统示意图说明

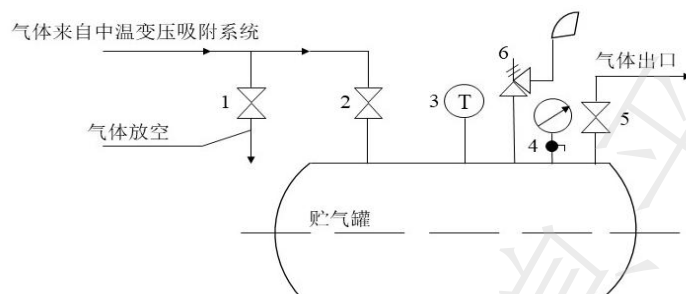
A.2.1 原料气经原料气预处理设备流出，若压力满足中温变压吸附工艺要求时，可直接进入中温变压吸附设备；若压力不满足中温变压吸附工艺要求时，需经压缩机加压后进入中温变压吸附设备。

A.2.2 虚线框内为中温变压吸附设备，中温变压吸附设备的管道及气流均处于中温操作温度区。

A.2.3 若氢气缓冲罐出口气体压力满足用户要求时，可直接作为产品氢气供用户使用；若氢气缓冲罐出口气体压力不满足用户要求时，需经压缩机加压后供用户使用。

附录 B  
(规范性附录)  
容积法测试氢气产量

B.1 容积法测试系统流程如图 B.1 所示。



- 1— 阀-1;  
2— 阀-2;  
3— 温度计;  
4— 压力表;  
5— 阀-3;  
6— 安全阀。

图 B.1 容积法测试系统示意图

## B.2 测试方法

B.2.1 测试前应对贮气罐的结构容积进行核算。

B.2.2 开阀-1，关闭阀-2、阀-3，准确记录贮气罐内气体的起始压力和温度。

B.2.3 开阀-2，关闭阀-1、阀-3，记录起始时间。

B.2.4 经一定时间充灌气体后，关闭阀-2，开阀-1，记录终止时间、贮气罐内压力和温度。

B.2.5 气体产量按式 (B.1) 计算。

$$Q = \frac{T_0 V}{t p_0} \left( \frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right) \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

$Q$ —标准状况下气体产量，单位为立方米每小时 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )；

$p_0$ —标准状况下气体压力 (0, 101.325)，单位为兆帕 (MPa)；

$p_1$ —起始时贮气罐内气体绝对压力，单位为兆帕 (MPa)；

$p_2$ —终止时贮气罐内气体绝对压力，单位为兆帕 (MPa)；

$T_0$ —标准状况下气体温度，单位为开尔文 (K)；

$T_1$ —起始时贮气罐内气体温度，单位为开尔文 (K)；

$T_2$ —终止时贮气罐内气体温度，单位为开尔文（K）

$V$ —贮气罐结构容积，单位为立方米（ $m^3$ ）；

$t$ —测试时间，单位为小时（h）。

---

## 附录 C

(规范性附录)

## 分析仪器测试氢气纯度

## C.1 氢气纯度

## C.1.1 测试仪器

分析氢气中氧含量的氧分析仪器,按 GB/T 3634 的规定对氧气含量采用同手工分析或气相色谱仪比对过的仪表进行分析。

分析仪的量程为 0~1% O<sub>2</sub>, 刻度值应小于 0.01%。

## C.1.2 测试方法

将氢气送入分析仪进口接头, 分析仪就直接显示出体积氧含量值。

C.1.3 氢气纯度  $C_{H_2}$  按式 (C.1) 计算, (仅对氧含量规定):

$$C_{H_2} = (1 - C_{XO}) \times 100 \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

$C_{H_2}$ —氢气纯度, 用(%)表示;

$C_{XO}$ —仪表显示氧含量值。