

ICS 71.020  
CCS F 13

**T/CIEP**

中国工业环保促进会团体标准

T/CIEP 0275—2025

## 生物质合成气制绿氢技术规范

Technical specification for biomass synthesis gassy green hydrogen

2025 - 11 - 17 发布

2025 - 11 - 24 实施

中国工业环保促进会 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 .....	1
4 方法分类 .....	2
5 基本要求 .....	2
5.1 原料要求 .....	2
5.2 氢气质量要求 .....	2
5.3 环保要求 .....	2
6 热化学法制氢 .....	2
6.1 气化制氢 .....	2
6.2 超临界水气化制氢 .....	4
6.3 生物质热解重整制氢 .....	5
7 生物法制氢 .....	7
7.1 直接光解法制氢 .....	7
7.2 间接光解法制氢 .....	7
7.3 光发酵制氢 .....	7
7.4 暗发酵制氢 .....	7
7.5 光暗发酵耦合制氢 .....	7
7.6 无细胞合成酶生物转化制氢 .....	7
8 检验方法 .....	7
8.1 原料检验 .....	7
8.2 氢气质量检验 .....	8
8.3 环保检验 .....	8
9 包装、标志及贮存 .....	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。

本文件由中国工业环促进会提出并归口。

本文件起草单位：广州环投永兴集团股份有限公司、广州环投增城环保能源有限公司、国能龙源环保有限公司、四川天采科技有限责任公司、北京汇文育才标准化技术服务有限公司、北京世联中科国际能源应用科学研究院。

本文件主要起草人：舒永辉、胡欢、唐勋、宋琛、王琳琳、陈勇、葛金林、高家凯、陈运、唐金财、衣殿霞、王路路。

# 生物质合成气制绿氢技术规范

## 1 范围

本文件规定了生物质合成气制绿氢的方法分类、基本要求、热化学法制氢、生物法制氢、检验方法和包装、标志及贮存。

本文件适用于以生物质为原料，通过热化学法或生物法生产绿氢的企业、项目设计单位、检验检测机构等。

## 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 190 危险货物包装标志
- GB/T 5099.1 钢质无缝气瓶 第1部分：淬火后回火处理的抗拉强度小于1100MPa的钢瓶
- GB/T 5099.3 钢质无缝气瓶 第3部分：正火处理的钢瓶
- GB/T 5099.4 钢质无缝气瓶 第4部分：不锈钢无缝气瓶
- GB/T 7144 气瓶颜色标志
- GB 8978 污水综合排放标准
- GB/T 3634.1—2006 氢气 第一部分 工业氢
- GB/T 14194 压缩气体气瓶充装规定
- GB 16297 大气污染物综合排放标准
- GB 18596 畜禽养殖业污染物排放标准
- GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
- GB/T 19773—2005 变压吸附提纯氢系统技术要求
- GB/T 20103—2006 膜分离技术 术语
- GB/T 28733 固体生物质燃料全水分测定方法
- GB/T 30366—2024 生物质术语
- GB/T 30725 固体生物质燃料灰成分测定方法
- GB/T 30727 固体生物质燃料发热量测定方法

## 3 术语和定义

GB/T 30366—2024界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 生物质 biomass

直接或间接利用绿色植物光合作用形成的，包含植物、动物和微生物以及由这些生命体排泄与代谢所产生的有机物质。

注：生物质分为农业生物质、林业生物质、餐厨垃圾和园林废弃物等城市固体废弃物、动物废弃物等。

[来源：GB/T 30366—2024，3.1，有修改]

### 3.2

#### 生物质合成气制绿氢 biomass synthesis gassy green hydrogen

采用生物质等可再生资源生产氢气的过程。

### 3.3

#### 生物质热化学法制氢技术 biomass thermochemical hydrogen production technology

通过高温热解等手段，将生物质转化成富氢可燃气后通过分离得到纯氢的方法。

注：该方法可由生物质原料直接制氢，也可由生物质解聚的中间产物（如甲醇、乙醇）制氢。

## 3.4

**生物质生物法制氢技术 biomass biological hydrogen production technology**

通过微生物或酶的生物催化作用,在常温或中温条件下将生物质转化成氢气或含氢代谢产物的方法。

## 3.5

**变压吸附法 pressure swing adsorption (PSA) method**

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,在一定的压力下吸附,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。

[来源: GB/T 19773—2005, 3.1]

## 3.6

**气体膜分离 membrane gas separation**

在一定压力驱动下,利用不同气体分子在膜内渗透速率上的差异,使渗透速率相对快的分子在渗透气侧富集,而渗透速率相对慢的分子在渗余气侧富集,从而实现不同气体在膜两侧富集分离的过程。

[来源: GB/T 19773—2005, 6.2.5]

## 4 方法分类

4.1 生物质合成气制绿氢技术可分为生物质热化学法制氢技术(以下简称为“热化学法”)和生物质生物法制氢技术(以下简称为“生物法”)。

4.2 根据具体制氢过程的不同,将热化学法制氢方法进一步划分为气化制氢、超临界水气化制氢和热解重整法制氢;将生物制氢方法进一步划分为直接光解法制氢、间接光解法制氢、光发酵制氢、暗发酵制氢、光暗发酵耦合制氢、无细胞合成酶生物转化制氢。

## 5 基本要求

## 5.1 原料要求

合成气制绿氢的生物质原材料应符合表1的要求。

表1 生物质原材料要求

原料类型	含水率 %	灰分 %	低位发热量 MJ/kg	其他要求
农业废弃物	≤25	≤15	≥12	无霉变、无重金属污染
林业废弃物	≤20	≤8	≥16	无树皮蜡质过多情况
能源作物	≤22	≤10	≥14	在废弃土地上种植或出于土壤修复目的种植的作物,新鲜度 ≥90%
畜禽粪便	≤80	-	-	符合GB 18596无害化要求

## 5.2 氢气质量要求

氢气应符合GB/T 3634.1—2006中3.1工业氢气的技术指标要求。

## 5.3 环保要求

污水排放应符合GB 8978的要求;废气排放应符合GB 16297的要求;固体废物处置应符合GB 18599的要求,气化灰渣、水解残渣可作有机肥或建材辅料。

## 6 热化学法制氢

## 6.1 气化制氢

## 6.1.1 基本原理

生物质气化制氢是指利用气化剂对生物质原料进行气化,转化为富氢燃料的过程。生物质气化过程中的气化剂包括空气、氧气、水蒸气以及空气水蒸气的混合气。生物质气化制氢原理见图1。

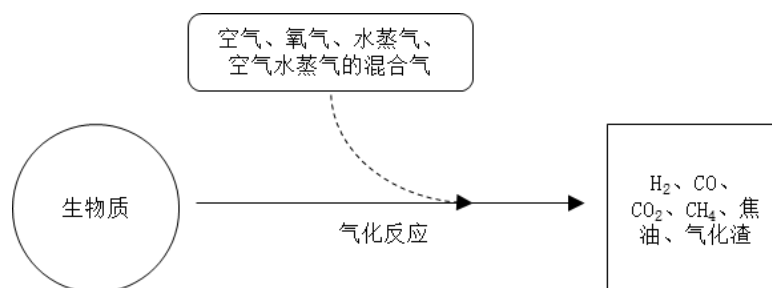


图1 生物质气化制氢原理

### 6.1.2 工艺要求

- 6.1.2.1 应对生物质原料进行预处理，经过破碎、筛分和干燥，使其含水量降低至30%以下。
- 6.1.2.2 将预处理后的生物质连续、稳定地送入气化反应器，气化反应器宜根据原料性质选用流化床、气流床、固定床或其他类型的气化反应器。
- 6.1.2.3 将生物质加热到600℃~1200℃，并供给气化剂进行气化反应，生成以氢气（H<sub>2</sub>）、一氧化碳（CO）、二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、甲烷（CH<sub>4</sub>）为主要成分的粗合成气，同时副产焦油、气化渣等。
- 6.1.2.4 应脱除粗合成气中的粉尘、焦油、硫化氢等杂质，宜通过除尘、水洗、脱硫等净化工艺处理。
- 6.1.2.5 当合成气中一氧化碳含量较高时，可将增加水煤气变换（WGS）反应（CO+H<sub>2</sub>O→CO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>），将一氧化碳转化为额外的氢气，增加氢气产量。
- 6.1.2.6 采用变压吸附（PSA）或膜分离对氢气进行提纯，提纯后的氢气应符合GB/T 3634.1的要求。生物质气化制氢工艺流程见图2。

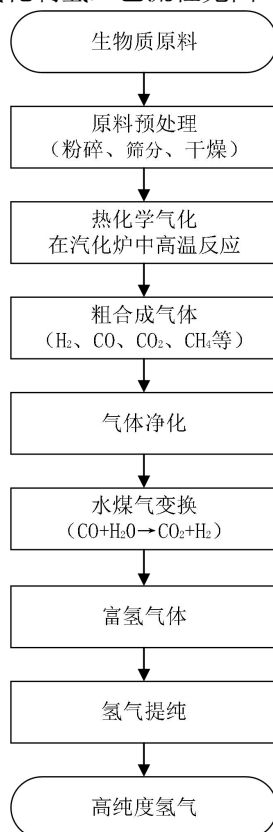


图2 生物质气化制氢工艺流程

## 6.2 超临界水气化制氢

### 6.2.1 基本原理

超临界水气化制氢是指利用水在超临界状态下的特殊性质，通过热解、水解、冷凝和脱氢分解，将生物质、有机废弃物等原料高效转化为富含氢气的合成气的过程，超临界水气化制氢原理见图3。

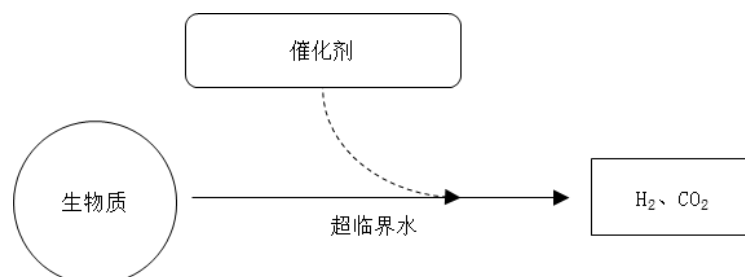


图3 超临界水气化制氢原理

### 6.2.2 工艺要求

6.2.2.1 应对生物质原料进行预处理，经过破碎、研磨或均质化，与水形成适宜浓度的浆液或溶液。

6.2.2.2 将预处理后的浆料通过高压泵连续、稳定地送入超临界水气化反应器。反应器材质应能承受高温、高压及超临界水的强腐蚀性，宜选用耐腐蚀镍基合金等特种材料。

6.2.2.3 反应器应维持超临界状态，温度应控制在  $400^{\circ}\text{C}\sim 700^{\circ}\text{C}$ ，压力控制在  $25\text{ MPa}\sim 35\text{ MPa}$ ；停留时间根据原料组分调整，设置为  $1\text{ min}\sim 10\text{ min}$ ，宜选用管式反应器或高压釜式反应器，同时需维持无氧或低氧气氛（氧气浓度 $\leq 2\%$ ）。

6.2.2.4 宜使用催化剂提高反应速率与氢气产率。常用催化剂包括碱金属化合物（如碳酸钾、氢氧化钠）或金属催化剂（如镍基、钨基催化剂）。

6.2.2.5 应优化原料在反应器内的停留时间，以确保反应充分进行并最大化氢气产率。停留时间宜根据原料种类和工艺目标控制在合理范围，对于易气化的生物质原料（如葡萄糖、甘油、藻类等），停留时间宜为  $1\text{ min}\sim 5\text{ min}$ ；对于难气化的生物质原料（如木质素、木质纤维素含量高的废弃物等），停留时间宜为  $5\text{ min}\sim 15\text{ min}$ 。当以最大化氢气产率为目标时，可适当延长停留时间至  $10\text{ min}$  以上；当以提高反应效率和经济性为目标时，应在保证碳转化率的前提下，尽量缩短停留时间。

6.2.2.6 反应后的高温高压流出物应经过减压、冷却和气液分离，得到粗合成气。

6.2.2.7 应采用变压吸附等气体分离技术对粗合成气中的氢气进行提纯，提纯后的氢气质量应符合 GB/T 3634.1 的要求。超临界水气化制氢工艺流程见图4。

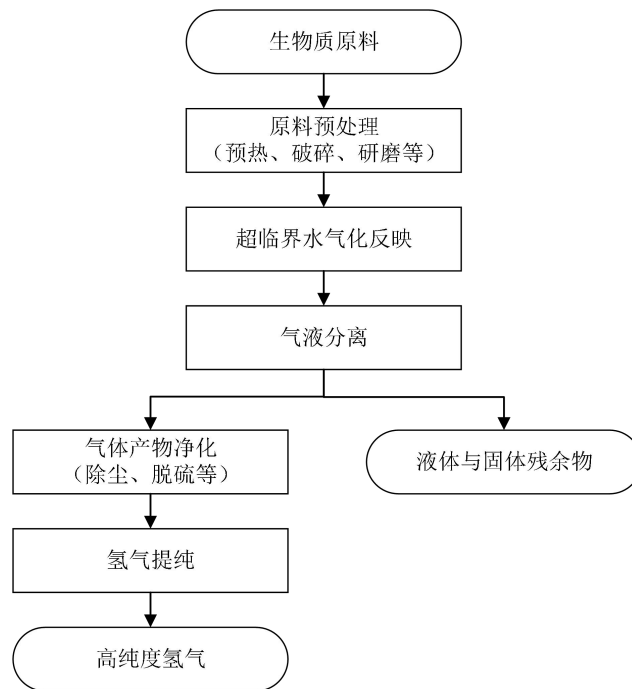


图4 超临界水气化制氢工艺流程

### 6.3 生物质热解重整制氢

#### 6.3.1 基本原理

生物质热解重整制氢是指通过热解将生物质转化为中间产物，再对中间产物进行催化重整，制取氢气的过程。生物质热解重整制氢原理见图5。

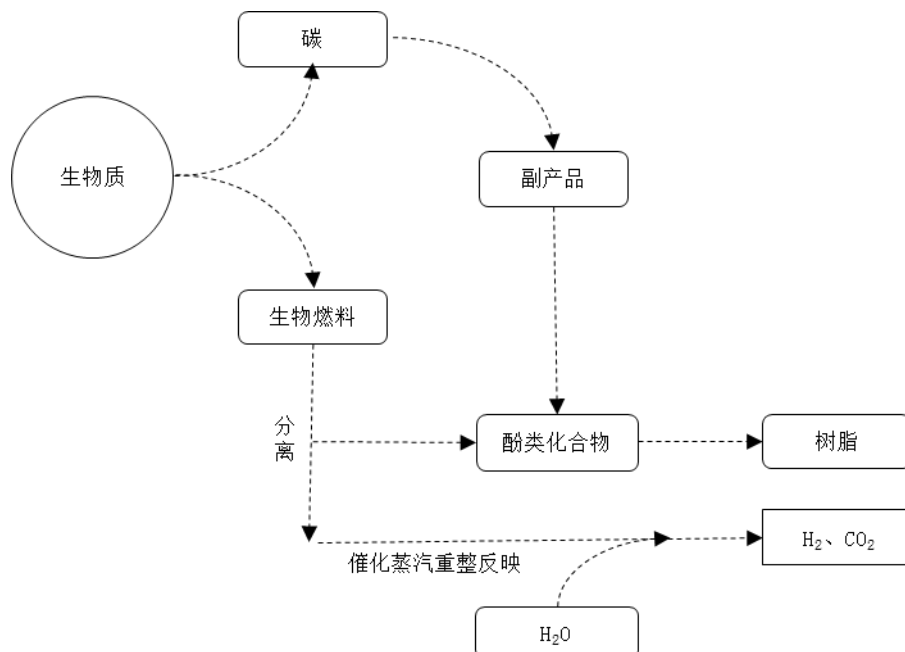


图5 生物质热解重整制氢原理

### 6.3.2 工艺要求

- 6.3.2.1 应对生物质原料进行预处理，经过破碎、筛分和干燥，将粒径调整至适配范围，使其含水量降低至 15% 以下，以保障热解效率与工艺稳定性。
- 6.3.2.2 应将预处理后的生物质送入热解反应器，温度应设为 500℃~800℃，宜选用流化床、旋转锥等升温速率快、温度均匀的反应器，热解过程应在严格缺氧的条件下进行。
- 6.3.2.3 应将热解产物（生物油和热解气）导入催化重整反应器，温度应设为 700℃~900℃，并通入水蒸气进行重整反应。应对水蒸气与生物质碳的比例进行优化控制。
- 6.3.2.4 重整反应应选用高性能催化剂，具备良好的抗积碳和抗烧结能力。工艺设计中应重点考虑催化剂再生方案或长效运行机制，应对催化剂失活问题。
- 6.3.2.5 应对重整产出的粗合成气进行净化，清除其中的粉尘、硫化氢、焦油等杂质，宜通过除尘、脱硫等工艺处理。
- 6.3.2.6 采用变压吸附或膜分离对氢气进行提纯，提纯后的氢气应符合 GB/T 3634.1 的要求。生物质热解重整制氢工艺流程见图 6。

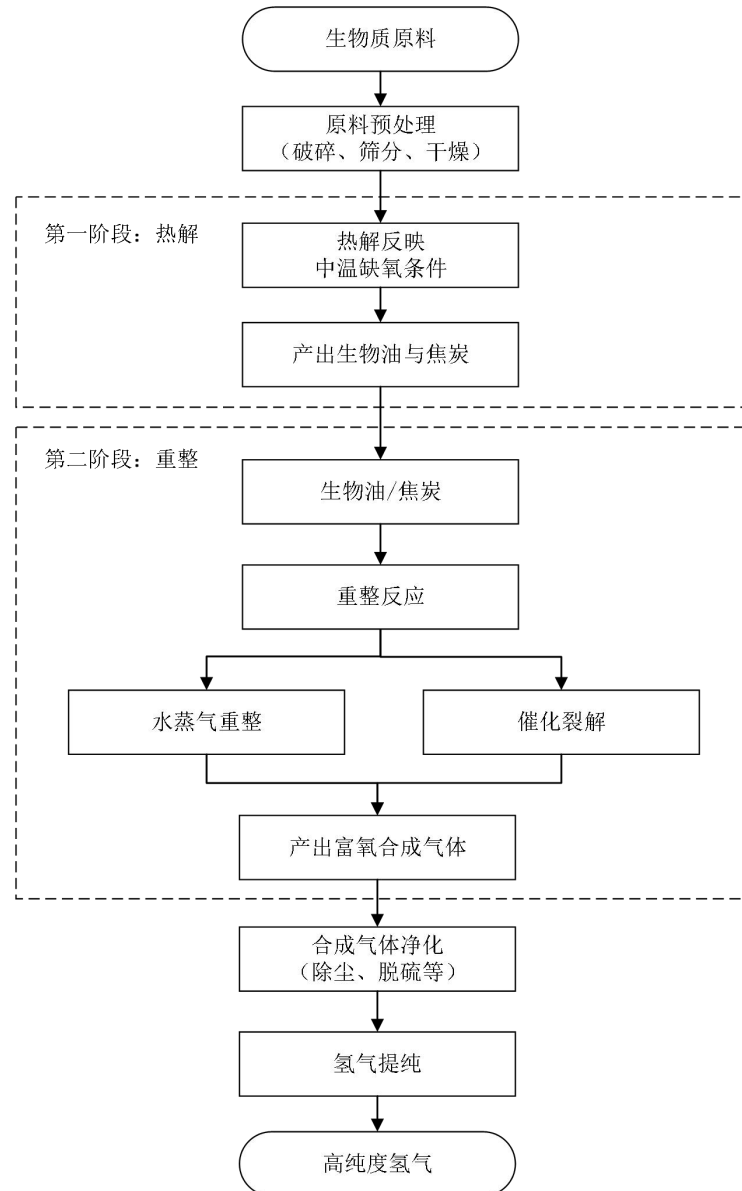


图 6 生物质热解重整制氢工艺流程

## 7 生物法制氢

### 7.1 直接光解法制氢

7.1.1 直接光解法制氢是一种利用光催化剂在常温常压下将生物质直接转化为氢气的技术。

7.1.2 直接光解法制氢的原理是光催化剂在光照下产生光生载流子，这些载流子能够驱动生物质中化学键的断裂，从而实现太阳能向氢能的直接转化。

7.1.3 直接光解法制氢的工艺流程：原料预处理—催化剂混合—光催化反应—气液分离—氢气提纯—物料循环（回收未反应生物质与催化剂）。

### 7.2 间接光解法制氢

7.2.1 间接光解法制氢是一种利用光合生物与生物转化过程分步制氢的技术。

7.2.2 间接光解法制氢的原理是首先通过光合作用将太阳能储存于生物质中，随后通过厌氧发酵或催化重组等过程将生物质转化为氢气。

7.2.3 间接光解法制氢的工艺流程：光合培养—暗发酵—气体分离—氢气提纯—营养循环（将残留物转化为光合培养的营养源）。

### 7.3 光发酵制氢

7.3.1 光发酵制氢是一种利用光合细菌在厌氧光照条件下将有机物转化为氢气的生物制氢技术。

7.3.2 光发酵制氢的原理是光合细菌在厌氧条件下，利用光能驱动细胞内电子传递链，将有机物（如有机酸）氧化所产生的电子和质子（ $H^+$ ），在固氮酶的催化下还原生成氢气。

7.3.3 光发酵制氢的工艺流程：原料预处理—菌剂混合—光发酵反应—气液分离—氢气提纯—营养循环。

### 7.4 暗发酵制氢

7.4.1 暗发酵制氢是一种利用厌氧微生物在无光条件下分解有机物生产氢气的生物技术。

7.4.2 暗发酵制氢的原理是特定厌氧菌通过自身的代谢途径，将生物质中的碳水化合物转化为氢气，同时伴随生成有机酸和二氧化碳。

7.4.3 暗发酵制氢的工艺流程：原料预处理—菌剂混合—暗发酵反应—气液分离—氢气提纯—残液利用（用作光发酵或甲烷发酵的原料）。

### 7.5 光暗发酵耦合制氢

7.5.1 光暗发酵耦合制氢是一种通过协同整合暗发酵与光发酵过程以提高氢气总产量的生物制氢技术。

7.5.2 光暗发酵耦合制氢的原理是利用暗发酵阶段将生物质大分子分解为小分子有机酸并释放部分氢气，随后在光发酵阶段由光合细菌利用这些有机酸在光照下进一步产生氢气。

7.5.3 光暗发酵耦合制氢的工艺流程：原料预处理—暗发酵产氢—残液转移—光发酵产氢—气体分离—氢气提纯—系统耦合（光发酵与暗发酵的工艺整合）。

### 7.6 无细胞合成酶生物转化制氢

7.6.1 无细胞合成酶生物转化制氢是一种在细胞外利用人工构建的多酶催化系统将生物质转化为氢气的技术。

7.6.2 无细胞合成酶生物转化制氢的原理是通过精心设计的酶促反应链，在体外协同催化生物质糖类分解，最终由氢化酶催化质子还原生成氢气。

7.6.3 无细胞合成酶生物转化制氢的工艺流程：原料预处理—酶系复合—酶催化反应—气液分离—氢气提纯—酶循环再生（回收与重复利用酶制剂）。

## 8 检验方法

### 8.1 原料检验

- 8.1.1 生物质原料的含水率应按照 GB/T 28733 规定的方法进行测定。
- 8.1.2 生物质原料的灰分应按照 GB/T 30725 规定的方法进行测定。
- 8.1.3 生物质原料的低位发热量应按照 GB/T 30727 规定的方法进行测定。

## 8.2 氢气质量检验

- 8.2.1 氢纯度应按照 GB/T 3634.1—2006 中 4.2 规定的方式计算。
- 8.2.2 水分含量应按照 GB/T 3634.1—2006 中 4.3 规定的方法进行测定。
- 8.2.3 氧、氩和氮含量应按照 GB/T 3634.1—2006 中 4.4 规定的方法进行测定。
- 8.2.4 氯、碱应按照 GB/T 3634.1—2006 中 4.5 规定的方法进行测定。

## 8.3 环保检验

- 8.3.1 污水排放应按照 GB 8978 规定的方法进行测定。
- 8.3.2 废气排放应符合 GB 16297 规定的方法进行测定。
- 8.3.3 固体废物处置应符合 GB 18599 规定的方法进行测定。

## 9 包装、标志及贮存

- 9.1 氢气瓶应符合 GB/T 5099.1、GB/T 5099.3、GB/T 5099.4 的规定，气瓶颜色标记应符合 GB 7144 的规定。运输时，氢气瓶上应附有 GB 190 中指定的标志。
  - 9.2 氢气的充装、标志及贮运应符合 GB/T 14194 的相关规定
  - 9.3 瓶装氢的成品压力在 20℃ 时为  $(13.5 \pm 0.5)$  MPa。用于测量的压力表精度不低于 2.5 级。
  - 9.4 返厂氢气瓶的余压不应低于 0.05 MPa。余压不符合要求的气瓶，水压试验后的气瓶以及新气瓶等在充装前应按规定要求进行加热、抽空和置换。
  - 9.5 氢气出厂时应附有质量合格证，其内容至少应包括：
    - 产品名称，生产厂名称；
    - 生产日期或批号，成品压力，主要成分及含量；
    - 本部分标准号及产品等级，检验员号。
  - 9.6 氢气体积应按照 GB/T 3634.1—2006 附录 C 的方法计算。
-