

ICS xxxx

CCS E xxxx

团体标准

T/CPI XXXX-202X

加氢装置高压空冷系统运行及 管理技术规范

Technical specification for operation and management of high
pressure air cooling system in hydrogenation unit

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国石油和石油化工设备工业协会 发布

目 次

前言	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 运行维护	2
4.1 设防管理.....	2
4.2 日常运行管理.....	2
4.3 温度控制.....	3
4.4 状态监测.....	3
4.5 工艺防腐.....	3
5 寿命管理	5
5.1 通用要求	5
5.2 空冷管束的预防性维修策略.....	5
6 检修管理	5
6.1 检修周期.....	5
6.2 检修要求.....	5
6.3 停工期间鉴定及腐蚀检查.....	6
7 更新改造	6
7.1 选材.....	6
7.2 管系设计.....	6
7.3 关键参数可视化监控	6
7.4 衬管结构.....	7

7.5 风机.....	7
7.6 注水泵.....	7
7.7 截断阀.....	7
7.8 翅片管.....	8
7.9 制造和采购要求.....	8
7.10 高压空冷器的安装规范	8
参考文献.....	9
附录 A（资料性）铵盐结晶温度计算方法	10
A.1 氯化铵结晶温度.....	10
A.2 硫化铵结晶温度.....	10
附录 B（资料性）注水量计算方法	11
附录 C（资料性）酸性水中硫化铵浓度的计算方法	12
C.1 常规算法.....	12
C.2 无热高分流程的算法.....	12
附录 D（资料性）硫化铵 K 系数计算方法	14
附录 E（资料性）反应流出物系统硫化氢分压的计算方法	15
附录 F（资料性）高压换热器换热系数 K 值的计算方法	16

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。

本文件由中国石油和石油化工设备工业协会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

加氢装置高压空冷系统运行及管理技术规范

1 范围

本文件规定了加氢装置高压空冷器在运行维护、寿命管理、检修管理、更新改造等方面的基本要求。

本文件适用于加氢装置反应流出物空冷系统,设计压力在6.4MPa~35MPa范围的鼓风式丝堵管箱空冷器,其他压力等级的空冷器管理可参照本文件。

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/T 2654 焊接接头硬度试验方法

NB/T 47013.1~15 承压设备无损检测

SH/T 3542 石油化工静设备安装工程施工技术规程

3 术语和定义

3.1

加氢装置 hydrogenation unit

对加氢处理、加氢裂化、加氢精制等炼油生产装置的总称。

3.2

反应流出物空冷系统 reactor effluent air cooler (REAC) system

一般指从最后一台反应流出物高压换热器或者从第一个注水点开始到冷高压分离器或冷高压和低压分离器之前的流程范围内的设备和管道。

3.3

工艺防腐 process corrosion prevention

采取工艺技术措施,防止或减轻装置腐蚀的技术。

3.4

分散控制系统 distributed control system

又称为集散控制系统,是以微处理器为基础,采用控制功能分散、显示操作集中、兼顾分而自治和综合协调的设计原则的新一代仪表控制系统,一般简称DCS。

3.5

K_b 系数 K_b value

又称为 K_b 值,氯化铵或硫氢化铵的离解常数,以气相中氯化氢或硫化氢与氨气的分压的乘积表示,常用于计算氯化铵和硫氢化铵结晶温度。

3.6

酸性水 sour water

一种含有硫化氢、氨、二氧化碳等挥发性弱电解质的水溶液，主要产生于常减压、催化裂化、焦化及加氢等生产装置，也称作含硫污水。一般可分为酸式酸性水和碱式酸性水，加氢反应流出物系统的酸性水属于碱式酸性水。

3.7

洗涤水 wash water

生产过程中，对原材料、半成品、成品、设备等进行洗涤的水。

3.8

静态混合器 static mixer

利用两种或几种流体的离心力和剪切力，通过固定在管内的混合元件，产生分流、合流、旋转、压缩、扩张、改变流向等，使流体达到良好混合的设备。

3.9

单点注水 single point wash water injection

在高压空冷进口管道的总管设置单一注入点加注洗涤水的方式。

3.10

多点注水 multiple point wash water injection

在高压空冷进口管道的各支管设置多个注入点加注洗涤水的方式。

3.11

缓蚀剂 corrosion inhibitor

又称腐蚀抑制剂，是防止金属腐蚀所用药剂的总称。

3.12

设防值 proactive threshold

为保证装置安全运行，对其所加工原料的腐蚀性介质含量设定的限值。其本质是解决原料劣质化的“容限”问题，使装置面临的腐蚀风险可控，在安全与经济之间找到平衡。

3.13

腐蚀检查 corrosion survey

在装置停工检修期间，由专业技术人员对炼油装置中各类设备和管道的腐蚀减薄、环境开裂、材质劣化等状况所进行的内、外部检查。

3.14

预防性维修 preventive maintenance

设备在发生故障之前进行的经常性检查、维护保养及修理，以预防设备及其部件的过早失效。

4 运行维护

4.1 设防管理

高压空冷器运行中要严格遵守操作规程，保证高压空冷器工艺指标，确保高压空冷器在设计允许范围内运行，严禁超温、超压、超负荷和超设防运行，监控的设防值包括：

- a) 原料中硫、氮、氯离子、铁离子和金属含量等应严格控制在设计值范围内；
- b) 补充氢(新氢)中不含氯化物或氯离子。

4.2 日常运行管理

4.2.1 操作人员应按规定进行日常巡回检查，加强工艺操作和检查记录管理，应重视原料油、新氢、注水和高分水分析记录，定期进行空冷器出口温度测量，及时进行运行分析总结。

空冷器入口温度、原料、加工量、注水等操作条件发生显著变化时，应对空冷器系统重点腐蚀部位加强检测和巡查并及时调整到设计允许范围内运行。

4.2.2 为便于指导和规范操作，应制定明确的操作管理要求，对空冷器特别是高压空冷器开停、原料、日常调整、巡检、维护等作出详细规定，规范高压空冷器的运行维护。

4.2.3 应在设备月报或工艺防腐月报中对加氢高压空冷运行情况和腐蚀管理情况进行专门分析。

4.2.4 严禁翅片管外部采用水喷淋降温方式，以免引起外部腐蚀加剧的情况发生。

4.2.5 企业应制订紧急情况下的处理措施。

4.2.6 宜在冷高压分离器排水出口管道设置酸性水采样点。

4.3 温度控制

4.3.1 推荐安装变频器的风机必须保持设计条件下运行，优先保证变频开度的一致性。

4.3.2 不宜局部关闭百叶窗，环境温度变化较大时，结合温度检测结果，及时进行工艺调整。

4.4 状态监测

4.4.1 对高压空冷的出入口管系，定期开展脉冲涡流面扫查或 C 扫描，对扫查发现的减薄部位实施监控。

4.4.2 开展高压空冷系统的日常定点测厚工作，合理安排定点测厚频次，存在明显减薄趋势和原料性质发生明显劣化时，可适当增加测厚频次及测厚部位。

4.4.3 采用红外热成像、温度测量等辅助检测技术，监控高压空冷的偏流和结垢情况，并根据原料中氮、氯含量和冷高压分离器酸性水中的硫化铵浓度等关键参数合理制定检测频次，发现异常情况应及时采取应对措施加以处置。

4.4.4 采用危险气体报警仪、在线红外监测技术或其他有效的在线监测技术，对加氢装置高压空冷器实施在线泄漏监测，以便及时发现设备微量泄漏。

4.4.5 对装置的物料进行腐蚀介质的跟踪，包括加氢原料的硫、酸、氮、氯含量分析和系统氢气的氯化氢含量分析，分析频率可参照表 1 要求执行。

表1 加氢REAC系统与腐蚀相关的化学分析一览表

分析介质	分析项目	单位	最低分析频次	建议分析方法
原料油	总氯含量	μg/g	1次/周	GB/T 18612
	金属含量	μg/g	1次/月	原子吸收光谱法
	硫含量	%	1次/周	GB/T380
	氮含量	μg/g	1次/周	NB/SH/T 0704
	酸值	mgKOH/g	1次/月	GB/T 18609
新氢	氯化氢	mg/m ³	1次/月	气相色谱法
循环氢	硫化氢含量	%	1次/周	气相色谱法
冷低压分离器油品	水含量	μg/g	1次/月	SH/T 0246
冷高压分离器排水、冷低压分离器排水	pH值		1次/周	pH 计
	氯离子含量	mg/L	1次/周	HJ/T 343
	总硫含量		1次/月	HJ/T 60
	铁离子含量		1次/周	HJ/T 345
	氨氮		1次/月	HJ 535 HJ 536 HJ 537
注：反应流出物的总注水量变化时应增加分析频次。				

4.5 工艺防腐

4.5.1 原料质量控制

加氢装置和渣油加氢装置的碳钢或Cr-Mo材质高压空冷器，冷高压分离器酸性水中硫氢化铵浓度按小于3%(质量分数)控制，对于加氢装置高压空冷器采用NS1402材质的，冷高压分离器酸性水中硫氢化铵浓度按小于4%（质量分数）控制。

4.5.3 缓蚀剂

4.5.3.1 原则上不推荐加氢反应流出物系统加注缓蚀剂。

4.5.3.2 若采用多硫化物类型缓蚀剂时，应严格控制注入水中氧含量 $\leq 15\mu\text{g}/\text{kg}$ 且pH值 ≥ 8 。

4.5.4 其他工艺的控制

4.5.4.1 控制循环氢气脱后的 H_2S 含量 $\leq 0.1\%$ （体积分数）；

4.5.4.2 控制高压空冷器出口温度不低于 40°C 。

5 寿命管理

5.1 通用要求

根据高压空冷设计、制造、安装及使用情况，结合每次停工检查的情况，对高压空冷管束制定预防性的更换计划，并结合停工检修进行实施，并对更换下来的管束进行失效分析。对空冷管束和空冷风机制定预防性维修策略。

5.2 空冷管束的预防性维修策略

5.2.1 碳钢管束应结合原料性质、工艺防腐措施落实情况、运行管理情况以及监检测情况进行全面评估，合理制定更换周期。

5.2.2 检修周期按4年计，柴油加氢装置可考虑3~4个检修周期进行更换，蜡油加氢装置可考虑2个检修周期进行更换；检修周期非4年的以及其他类型的加氢装置，可参照本文件，并根据装置实际情况进行调整。

5.2.3 空冷器管束更换原则宜按照如下但不限于以下原则执行：

- a) 已发生泄漏而无法修复或堵管数量单程超过10%或腐蚀严重到影响正常工艺操作的；
- b) 已发生腐蚀且经评估一旦泄漏将导致装置非计划停工的；
- c) 已确认需材质升级的；
- d) 投用时间接近使用寿命后期且材料力学性能下降，继续运行一周期已不能满足设计要求的；
- e) 存在其他风险较高情况的。

6 检修管理

6.1 检修周期

空冷器应随装置大修同步安排检修拆检，可根据生产装置特点、空冷器材质、介质性质、腐蚀速率、实际运行情况等适当调整。

6.2 检修要求

6.2.1 检修规范

按炼油企业设备检维修相关标准规范执行。

6.2.2 丝堵的检修

高压空冷器的检修难点是丝堵的更换，宜制定专门的更换方案。丝堵备件质量及紧固要求应按制造商推荐实施，采用力矩扳手上紧。更换的丝堵或接管螺栓应进行100%光谱和硬度检测。

6.2.3 注水设施的检修

在装置大修期间，应对注水设施（含注水泵和喷头）等进行全面检查和修理。

6.3 停工期间鉴定及腐蚀检查

6.3.1 检查规范

按炼油企业检修管理相关技术标准要求执行。

6.3.2 检查方法

6.3.2.1 鉴定及腐蚀检查除遵照检查规范外，对碳钢高压空冷器，根据运行情况，单台空冷器可抽5~10根管子拆开两端的丝堵，采用必要的工器具进行检查（一般为第一、二管程入口处），根据检查情况确定是否扩大检查范围。

6.3.2.2 对于NS1402材质的高压空冷器，应根据运行情况决定是否拆检；若高压空冷器不拆检，可对相同材质的出入口管线进行拆检。若运行期间曾因管内严重结垢及腐蚀产物等杂质堆积发生偏流或换热效率下降较大的情况时，检修期间可采取化学清洗方法恢复空冷器换热能力并对化学清洗的结果进行确认。

6.3.2.3 重点检查高压空冷器进出口管线、法兰、弯头、阀门、垫片、螺栓，翅片管弯曲损坏情况，管箱内表面、衬管管口及与管束内壁结合处，注水管附近、前后连接管弯头等部位。

7 更新改造

7.1 选材

7.1.1 应根据用户预期设计寿命要求，加工原料的硫、氮、氯的含量变化，操作设计条件等要求，结合工艺防腐要求，空冷器主要元件材料可采用碳钢、Cr-Mo钢和NS1402等材料。

7.1.2 加氢装置更新改造时，在满足下列条件时可采用碳钢或Cr-Mo钢（当空冷入口介质温度高于200℃时选Cr-Mo钢），否则宜采用NS 1402。

a) 柴油原料类加氢装置： K_f 系数小于0.3，酸性水中硫化铵浓度小于4%（质量分数）（硫化铵浓度指理论计算值，下同），流速在3 m/s~6 m/s。

b) 蜡油原料类加氢装置和渣油加氢装置： K_f 系数小于0.3，酸性水中硫化铵浓度小于3%（质量分数），流速在3 m/s~6 m/s。

7.2 管系设计

运行中，由于集合管、分布管等原因经常出现偏流现象的，可参照图1所示进行改造，即空冷器进出口集合管的布置结构应完全对称；入口集合管三通主管的直管段长度宜不小于10倍管径，以利于介质在三通处均匀分配；空冷器出入口宜采用圆形接管。

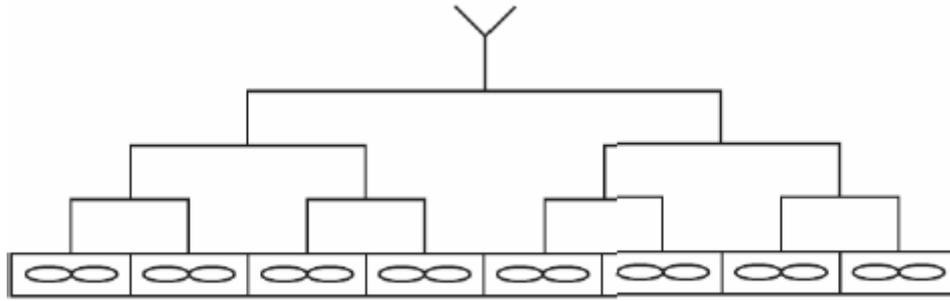


图 1 高压空冷器出入口集合管对称布置示意图

7.3 关键参数可视化监控

在DCS界面或PI系统中嵌入硫化铵 K_b 系数、硫化铵浓度、高压换热器换热系数 K 值等关键参数的监控，利于装置操作和技术人员及时判断反应流出物系统工艺防腐效果，进而及时调整优化。

7.4 衬管结构

针对高压空冷使用过程中泄漏频率较高的管束部位，应采用以下结构。

- 空冷器的管束应水平布置，如图2所示。
- 碳钢换热管入口设S31603、NS1402，或蒙乃尔衬管，长度为200 mm~300mm，并与换热管紧密贴胀；衬管末端采用渐进减薄的斜坡方式，使衬管与基管结合时没有突然的截面变化，从而防止涡流而导致腐蚀，如图2所示。
- 管箱上的接管应采用圆形截面。

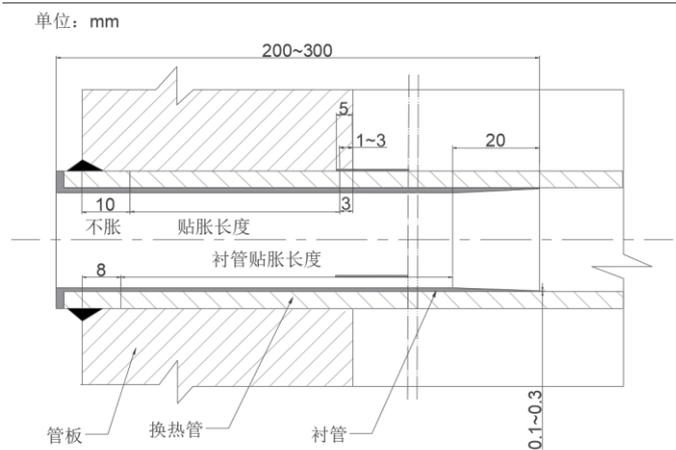


图 2 衬管结构示意图

7.5 风机

风机应采用变频电机，变频范围不得窄于50Hz~10Hz。

7.6 注水泵

注水泵可选用多级离心泵、往复泵和高速泵，往复泵出口应设蓄能器（均压罐）。

7.7 截断阀

使用碳钢材质高压空冷器，且装置停工对企业整体生产影响较大的（如与催化裂化配套的渣油加氢装置），每台高压空冷器前后可设置手动或电（气）动截断阀，设置前应进行HAZOP分析或风险评估，设置后制定截断阀管理、操作和维护要求。

7.8 翅片管

空冷管束（翅片管）在最上一排进出口两端各留出100mm左右的光管，便于泄漏时的检测和堵管修复等操作，光管部分应采取适当的防腐措施。

7.9 制造和采购要求

7.9.1 通用要求

高压空冷器的制造和采购按企业物资采购技术标准或规范执行。同时，还应符合下列条款要求。

7.9.2 制造过程要求

制造过程应满足但不限于以下要求：

- a) 管子应采用高精度优质碳钢管，且要求正偏差满足要求。
- b) 制造厂家应通过第三方质量认证且具有焊评、模拟试样分析等数据，掌握合适的焊接工艺和热处理工艺，确保产品管接头（包括焊缝和热影响区）的维氏硬度控制在225HV10以内。管接头的硬度制样、取样位置、测试方法、报告格式均应遵照GB/T 2654进行，且必须使用维氏硬度计。
- c) 制造前，制造厂应书面提交关于管接头热处理设备，热处理方法，热处理有效性的说明文件。
- d) 新建空冷器换热管与管板的焊接接头应随机抽取进行射线检测或超声波等检测，符合NB/T 47013等标准的要求，设计压力高于10MPa的，抽检比例不低于10%，设计压力低于10MPa的，抽检比例不低于5%。

7.9.3 现场监造要求

买方需对以下但不限于五个过程进行现场监造确认：

- a) 管端焊后胀接前以0.2MPa压缩空气的泄漏检查；
- b) 衬管长度及衬管末端扩口的检查；
- c) 管板焊接部位的磁粉或着色检查；
- d) 管接头热处理；
- e) 管束水压试验合格后进行整体气密性试验检查。

7.10 高压空冷器的安装规范

高压空冷器的安装按SH/T 3542的规定执行。

参考文献

- 1 GB 150.1~150.4 压力容器
- 2 GB 151 热交换器
- 3 NB/T 47007 空冷式热交换器
- 4 NB/T 47015 压力容器焊接规程
- 5 NB/T 47018.1~5 承压设备用焊接材料订货技术条件
- 6 NB/T 47019.1~9 锅炉、热交换器用管订货技术条件
- 7 NB/T 12558 压力容器涂敷与运输包装
- 8 SH/T 3096 高硫原油加工装置设备和管道设计选材导则
- 9 API RP 932 B 加氢反应器流出物空冷器系统中腐蚀控制的设计、材料选择、制造、运行和检验指南 (Design, Materials, Fabrication, Operation, and Inspection Guidelines for Corrosion Control in Hydroprocessing Reactor Effluent Air Cooler (REAC) Systems)
- 10 GB/T 18612 原油有机氯含量的测定
- 11 GB/T 380 石油产品硫含量测定法 (燃灯法)
- 12 NB/SH/T 0704 石油和石油产品中氮含量的测定 舟进样化学发光法
- 13 GB/T 18609 原油酸值的测定 电位滴定法
- 14 SH/T 0246 轻质石油产品中水含量测定法(电量法)
- 15 HJ/T 343 水质 氯化物的测定 硝酸汞滴定法 (试行)
- 16 HJ/T 60 水质 硫化物的测定 碘量法
- 17 HJ/T 345 水质 铁的测定 邻菲罗啉分光光度法
- 18 HJ 535 水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法
- 19 HJ 536 水质 氨氮的测定 杨酸分光光度法
- 20 HJ 537 水质 氨氮的测定 蒸馏-中和滴定法
- 21 HJ 506 水质 溶解氧的测定 电化学探头法
- 22 GB/T 6920 水质 pH值的测定 玻璃电极法
- 23 GB/T 6909 锅炉用水和冷却水分析方法 硬度的测定
- 24 GB/T 15453 工业循环冷却水和锅炉用水中氯离子的测定
- 25 HJ 484 水质 氰化物的测定 容量法和分光光度法
- 26 GB 11901 水质 悬浮物的测定 重量法

附录 A

(资料性) 铵盐结晶温度计算方法

A.1 氯化铵结晶温度

氯化铵结晶温度的计算公式:

$$T = \frac{-38150}{\ln(Kp)-39.7} - 460 \quad (\text{A.1})$$

$$Kp = P_{\text{NH}_3} \times P_{\text{HCl}}$$

式中:

P_{NH_3} , P_{HCl} —— NH_3 和 HCl 的分压, psia²;

T ——氯化铵结晶温度, °F。

A.2 硫氢化铵结晶温度

硫氢化铵结晶温度的计算公式:

$$T = \frac{-19589}{\ln(Kp)-41.6} - 460 \quad (\text{A.2})$$

$$Kp = P_{\text{NH}_3} \times P_{\text{H}_2\text{S}}$$

式中:

P_{NH_3} , $P_{\text{H}_2\text{S}}$ —— NH_3 和 H_2S 的分压, psia²;

T ——硫氢化铵结晶温度, °F。

注: $T (^{\circ}\text{C}) = \frac{T (^{\circ}\text{F}) - 32}{1.8}$

附录 B

(资料性)

注水量计算方法

通常采用工艺过程模拟的方法来计算反应流出物气相的蒸汽饱和所需的水量。另外，也可以按照以下步骤采用手工计算饱和蒸汽相中所需的水量。需要注意的是，此计算方法仅为估计值，并且可能与模拟计算的结果相差5%左右。

a) 估算注水点注水后的平衡温度。如果没有热高压分离器，温度通常应比注入前的操作温度低17℃~55℃；如果存在热高压分离器，温度可能比操作温度低110℃或更低。

b) 基于饱和蒸汽表，确定在上述温度下的饱和水蒸汽压力。

c) 估算在注水点反应流出物气相中氢/烃的摩尔流量（通常与冷高压分离器的气相流量非常接近）。

d) 采用下列公式估算给定条件下水蒸汽达到饱和和压力所需注入水的摩尔流量。

$$F_W = F_C \times H_C \times \frac{P_{\text{sat stm}}/P_{\text{system}}}{1 - P_{\text{sat stm}}/P_{\text{system}}} \quad (\text{B. 1})$$

式中：

F_W ——冲洗水的摩尔流量，kmol/h；

H_C ——气相摩尔流量，是注入点处气相中 H_2 和烃的摩尔流量，kmol/h；

$P_{\text{sat stm}}$ ——注入水的温度下饱和蒸汽的绝对压力；

P_{system} ——注水点的绝对压力；

F_C ——在表 B. 1 中定义，其它操作压力可使用插值法获得 F_C 值。

针对反应流出物系统注水点，该计算公式可估算使注水点处的气相达到水蒸汽饱和时所需的注水量。为了达到注水点冲洗水注入后不少于 25% 的过量水（25% 的冲洗水保持液态水）要求，则需要将由上述公式计算出的水量乘以 1.25，即得到反应流出物系统注水点需要注入的水量。

表B. 1 F_C 值

操作压力		F_C
psig	(kPa)	
500	(3450)	1.1
1000	(6900)	1.2
1500	(10300)	1.3
2000	(13800)	1.4

附录 C

(资料性)

酸性水中硫氢化铵浓度的计算方法

C.1 常规算法

硫氢化铵的生成量取决于反应流出物中 NH_3 和 H_2S 的浓度。若 H_2S 生成量(摩尔流量)大于 NH_3 生成量(摩尔流量),则酸性水中硫氢化铵浓度的%(质量分数)的计算公式如下:

$$C_{\text{NH}_4\text{HS}} = 0.0364 \times W_f \times F_n \times \frac{C_n}{WW_r}$$

式中: $C_{\text{NH}_4\text{HS}}$ ——酸性水中硫氢化铵浓度(质量分数),用百分数表示;

W_f ——装置原料油的质量流量, kg/h;

F_n ——装置原料油中氮含量(质量分数),用百分数表示;

C_n ——反应器中脱氮率(氮的净转化率),用百分数表示;

WW_r ——反应流出物系统中注入冲洗水的质量流量, kg/h。

若 H_2S 生成量(摩尔流量)小于 NH_3 生成量(摩尔流量),则酸性水中硫氢化铵浓度的%(质量分数)的计算公式如下:

$$C_{\text{NH}_4\text{HS}} = 1.594 \times W_f \times \frac{F_m}{WW_r}$$

式中: $C_{\text{NH}_4\text{HS}}$ ——酸性水中硫氢化铵浓度(质量分数),用百分数表示;

W_f ——装置原料油的质量流量, kg/h;

F_m ——装置原料油中硫含量(质量分数),用百分数表示;

C_n ——反应器中脱氮率(氮的净转化率),用百分数表示;

WW_r ——反应流出物系统中注入冲洗水的质量流量, kg/h。

这些关系式很容易从硫氢化铵由等摩尔量的 NH_3 和 H_2S 组成的这一事实中推导出来。因此,酸性水中形成的硫氢化铵的含量受到 NH_3 和 H_2S 中任一组分的最小摩尔浓度的限制。通常情况下,反应流出物中 H_2S 生成量(摩尔流量)大于 NH_3 生成量(摩尔流量),大多数加氢装置都采取第一种计算方法。

C.2 无热高分流程的算法

在没有热高分(HHPS)且反应器中 H_2S 的生成量大于 NH_3 的生成量的情况下,针对冷高分(CHPS)酸性水中硫氢化铵质量浓度(%)的计算公式如下:

$$C_{\text{NH}_4\text{HS}} = \frac{MW_{\text{NH}_4\text{HS}} \times W_f \times F_n \times C_n \times 100}{MW_N \times WW_r \times 100 \times 100}$$

简化后计算公式:

$$C_{\text{NH}_4\text{HS}} = 0.0364 \times W_f \times F_n \times \frac{C_n}{WW_r}$$

式中: $C_{\text{NH}_4\text{HS}}$ ——酸性水中硫氢化铵浓度(质量分数),用百分数表示;

W_f ——装置原料油的质量流量, kg/h;

F_n ——装置原料油中氮含量(质量分数),用百分数表示;

C_n ——反应器中脱氮率(氮的净转化率),用百分数表示;

WW_r ——反应流出物系统中注入冲洗水的质量流量, kg/h。

$MW_{\text{NH}_4\text{HS}}$ ——硫氢化铵的分子量, 51;

MW_N ——氮的分子量, 14。

上述计算公式是基于在冷高分操作条件下，所有的 NH_3 被酸性水吸收并转化为硫氢化铵的假设前提。这个假设前提是合理的，因为装置的现场数据和工艺模拟结果表明，反应流出物中 99% 以上的 NH_3 在冷却后都会溶解到液相水中。该计算公式的另一个假设前提是反应流出物系统中所有的水都已被冷凝，这是一个合理的假设，虽然冷高分气相和液相烃中含有少量的水，但其所占比例较少。

基于该计算公式，可以计算出在给定硫氢化铵浓度条件下所需的注水量。

附录 D

(资料性)

硫化铵 K_p 系数计算方法

硫化铵的 K_p 系数可用于还未进行酸性水中硫化铵浓度分析的场所，且以反应流出物蒸汽相 H_2S 和 NH_3 为基础进行计算，其计算公式：

$$K_p = [H_2S] \times [NH_3]$$

式中： K_p —— K_p 系数，值越大，即硫化铵浓度越高，发生腐蚀风险越严重；

$[H_2S]$ ——反应流出物中硫化氢的摩尔分数（干基），用百分数表示；

$[NH_3]$ ——反应流出物中氨的摩尔分数（干基），用百分数表示。

附录 E

(资料性)

反应流出物系统硫化氢分压的计算方法

API RP 932-B和API RP 581认为反应流出物系统硫化氢分压对酸性水腐蚀具有明显的影响, 硫化氢在高压空冷器内的分压计算公式:

$$P_{\text{H}_2\text{S}} = \frac{M_{\text{H}_2\text{S}} + M'_{\text{H}_2\text{S}}}{M_{\text{Tot}}} \times P$$
$$= \frac{W_f \times F_S / 32 + 1.03 \times F_{\text{H}_2} \times C_{\text{H}_2\text{S}}}{1.03 \times F_{\text{H}_2} / 22.4} \times P$$

式中: $P_{\text{H}_2\text{S}}$ ——高压空冷器系统的硫化氢分压, kPa;

$M_{\text{H}_2\text{S}}$ ——反应系统生成的硫化氢摩尔数, mol;

$M'_{\text{H}_2\text{S}}$ ——循环氢中硫化氢摩尔数, mol;

M_{Tot} ——空冷器入口气相摩尔数, mol;

P ——空冷器入口压力, kPa。

W_f ——处理量, kg/h;

F_S ——原料硫含量(质量分数), 用百分数表示;

F_{H_2} ——循环氢流量, m^3/h ;

$C_{\text{H}_2\text{S}}$ ——硫化氢浓度(体积分数), 用百分数表示;

附录 F

(资料性)

高压换热器换热系数 K 值的计算方法

目前大多数企业依据经验,将空冷前注水改至高压换热器前注水,每周更改注水流程一次,每次更改注水2h~4h,无法准确判断改注水点后的效果,建议高压换热器前后无差压表的装置在DCS中增加换热器的换热系数K值,以换热系数K值得变化作为更改注水点的依据。

忽略散热损失,根据换热器内的热量平衡, $K \times \Delta t \times S = q \times C_p \times \Delta T$, 则传热系数:

$$K = \frac{q \times C_p \times \Delta T}{\Delta t \times S}$$
$$\Delta t = \frac{\Delta T_c - \Delta T_h}{\ln(\Delta T_c / \Delta T_h)}$$

式中: q ——壳程/管程进料量, kg/h;

C_p ——壳程物流在换热器内的平均热容, kJ/(kg·°C);

ΔT ——壳程/管程进出端温度差, °C;

Δt ——换热器管壳程对数平均温差, °C;

S ——换热器面积, m²。