

# 含硫污水处理负压气提技术优化

朱 国 青 鹏 何 海 何 忠

(中国石化西南油气分公司采气二厂)

**摘 要** 元坝气田污水脱硫主要采用“气提+化学除硫+混凝沉降+过滤”的密闭处理工艺去除地层采出水中高达 1 800 mg/L 的硫化物。为此,文章选用负压气提脱硫技术,并对工艺运行条件进行优化,得到脱硫效率最佳、效果最稳定的条件为:气提气源采用燃料气与空气气提对脱硫效率影响不大,脱硫最佳的进水 pH 值为 5 左右;脱硫工艺最佳气液比为 6:1~8:1。现场实验表明,脱硫率高达 96%,且效果稳定,达到了高含硫气田水经济高效处理的目的。

**关键词** 元坝; 高含硫; 气田; 负压气提; 脱硫

DOI:10.3969/j.issn.1005-3158.2019.06.004

文章编号:1005-3158(2019)06-0016-04

## 0 引 言

元坝气田为高含硫气田,其采出水水质属于 CaCl<sub>2</sub> 型,氯根含量平均值 20 000 mg/L,具有高硫化物,高矿化度,成分组成复杂等特点<sup>[1-3]</sup>。目前除硫技术主要有气提法、氧化法、沉淀法、生物法、生物脱硫药剂法等<sup>[4]</sup>。元坝气田对采出水经预处理后进行回注或低温蒸馏资源利用,以符合国家严格的环保政策和节能减排政策。目前元坝气田已有预处理站两座,采出水处理工程处理规模 600 m<sup>3</sup>/d,其针对高含硫气田采出水使用的脱硫工艺为物理化学法,工艺流程为“气提+化学除硫+混凝沉降+过滤”的密闭处理过程,图 1 为元坝气田脱硫工艺流程。

但是,随着装置的运行,该工艺暴露出许多不足。主要存在以下几个问题:

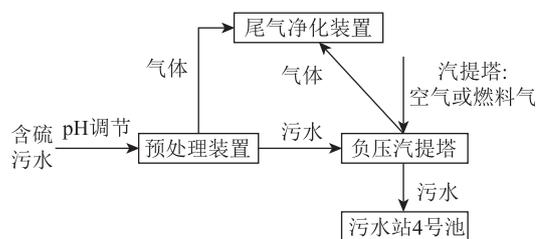
1) 元坝 29 处理站采用的锌盐除硫剂、大坪站使用的双氧水除硫,1 t 水处理成本分别为 33.2,53.06 元,分别占整个药剂成本的 70%,73%,除硫成本高。

2) 气提后的硫化物含量很高,29 处理站经过气提后的硫化物含量约 400~600 mg/L,造成后续除硫成本高。

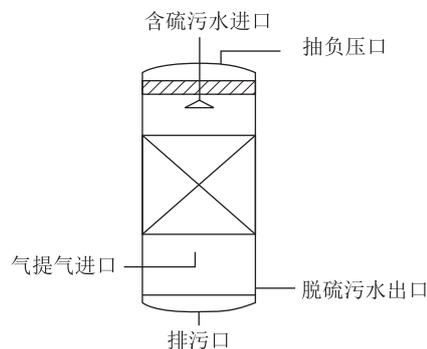
3) 氯化锌除硫污泥产量大,年产 70% 含水率污泥 1 600 t,污泥处理费用高。

4) 双氧水除硫工艺用试剂带刺鼻性气味,储运和人身安全风险高。

为了降低污水处理成本,减少危废产生量,探索新的污水处理工艺技术,引进了负压气提技术,同时对负压气提技术进行了一系列参数条件的优化。



(a) 负压气提技术流程



(b) 负压脱硫装置

图 1 负压气提技术

## 1 实验部分

### 1.1 实验仪器与试剂

负压气提装置(元坝气田自制设备);pH 仪:上海雷磁台式酸度计 PHS-3G;实验所需药品盐酸为分析纯,现场实验盐酸为工业级;成都市科隆化学品有限公司。

### 1.2 技术优化

美国 Sohio 石油公司西德克萨斯州的 Spraberry 油田采用燃气汽提方法处理含硫油田水,结果表明,

采用这种方法能使含硫量从 400~500 mg/L 降低到 0.5~1.0 mg/L<sup>[5]</sup>。在我国,负压气提技术也广泛应用于各大高含硫气田。赵德银<sup>[6]</sup>等采用了负压气提技术除硫,应用于塔河稠油高含硫油田,并对比了正压气提法和负压汽提法两种工艺,结果表明,负压气提工艺所需气提气量少,硫化氢脱硫率更高,与正压气提相比,脱硫率提高了 15.6%。

因此针对现有技术不足,提出了负压气提技术。负压气提技术主要原理是利用文丘里效应,在污水气提塔内形成负压,降低气提的饱和溶解度,通过负压抽吸作用,将产生的硫化氢气提及时抽走,打破气相和液相中硫化氢的分压平衡,降低气相中硫化氢分压,通过对污水 pH 值的调整,使污水中硫化物向硫化氢分子态转化,提高污水中分离硫化氢的效率。表 1 为不同 pH 值下的硫化物存在形态<sup>[7]</sup>。

表 1 不同 pH 值下的硫化物存在形态

指标	存在形态
pH ≤ 5.5	H <sub>2</sub> S
5.8 < pH < 8	H <sub>2</sub> S、HS <sup>-</sup>
pH = 8	HS <sup>-</sup>
8 < pH ≤ 9.8	HS <sup>-</sup> 、S <sup>2-</sup>
pH > 9.8	S <sup>2-</sup>

负压气提可以以空气或燃料气为气提气,当以空气为气提气时,鼓气风机风量 0~100 m<sup>3</sup>/h,风压 40 kPa;以燃料气循环气提时,循环风机风量 0~80 m<sup>3</sup>/h,风压 ≥ 25 kPa;利用循环风机将含硫尾气氧化塔中的燃料气回用于负压气提塔。图 1(a)是负压气提技术流程;图 1(b)为负压脱硫装置。

### 1.3 工艺参数优化

处理对象为元坝气田采出水,硫化物含量平均值为 1 800 mg/L。实验主要探讨负压气提技术的最优工艺参数,包括不同进水量、气提气种类、是否加盐酸调节 pH 值、不同气液比等,以得到脱硫效率最佳、效果最稳定的实验条件。

## 2 结果与讨论

### 2.1 进水 pH 值对脱硫效率的影响

该阶段主要考察在不同进水 pH 值条件下,pH 值在哪个范围内对脱硫效果显著。考虑成本,采用空气作为气提气源。进水 pH 值对脱硫效率的影响见图 2。由图 2 可知,当 pH 值在 4.5~5.5 时,脱硫效

率可达 90% 以上。

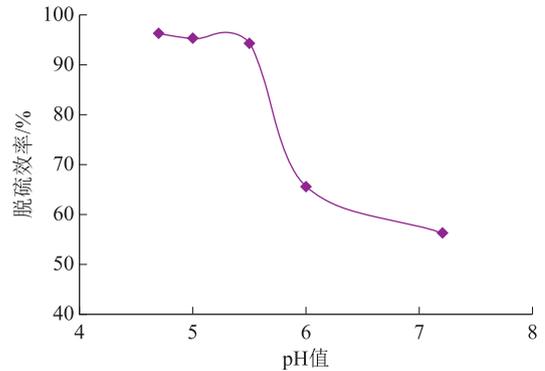


图 2 进水 pH 值对脱硫效率的影响

### 2.2 气提气种类对脱硫效率的影响

主要对比以燃料气和空气为气提气时,对脱硫效率的影响。保持进水 pH ≈ 5,以排除 pH 值对脱硫效果的影响。不同气提气对脱硫效率的影响见图 3。

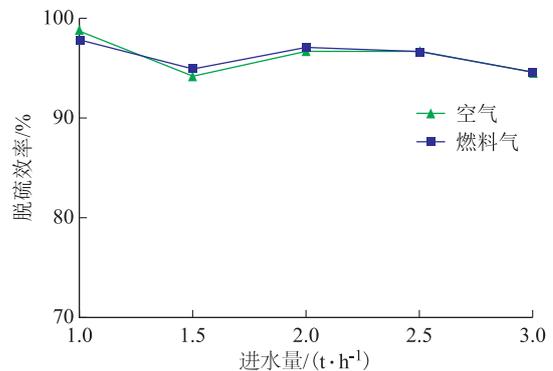


图 3 不同气提气对脱硫效率的影响

由图 3 可知,在不同进水量情况下,当以燃料气和空气作为气提硫化物的气源时,脱硫效率总体差异变化不大,这与气源主要起提供负压条件的作用有关,因此燃料气和空气均可以作为负压气提气源。

### 2.3 加酸与否对气提效率分析

由于实际情况的原水 pH 值在 6~8 之间变化,考虑分析不加入盐酸是否可以达到气提除硫的目的。加酸与否对出水硫化物含量的影响见图 4,加酸与否对脱硫效率的影响见图 5。

如图 4、图 5 所示,分别是不同来源的进水且 pH 值在 6~8 不等的情况下,不加入盐酸和加入等量的盐酸的对比图。当水量从 1 m<sup>3</sup>/h 增大到 3 m<sup>3</sup>/h,可以看出不加酸调节 pH 值时,出水硫化物普遍都较高,脱硫效率都较低,平均只有 70%。对比可知,加入盐酸调节 pH 值可有效提高脱硫效率。

进水与出水硫化物含量的对比见图 6,不同进水量对脱硫效率的影响见图 7。

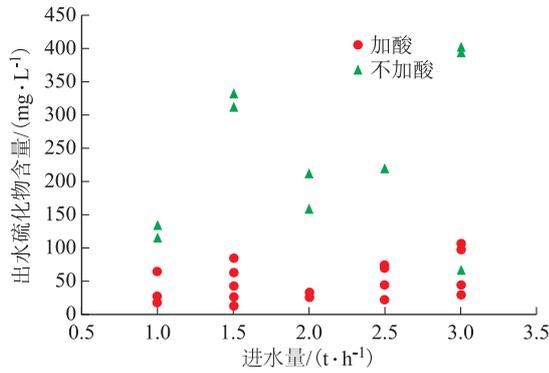


图4 加酸与否对出水硫化物含量的影响

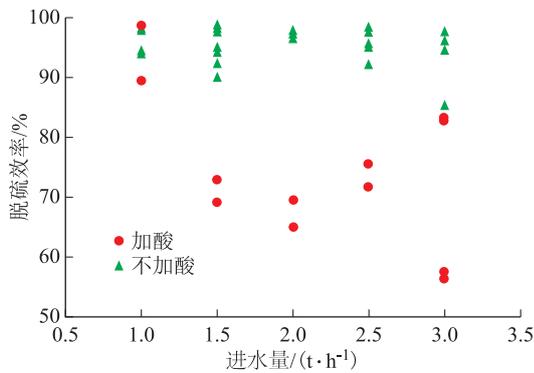


图5 加酸与否对脱硫效率的影响

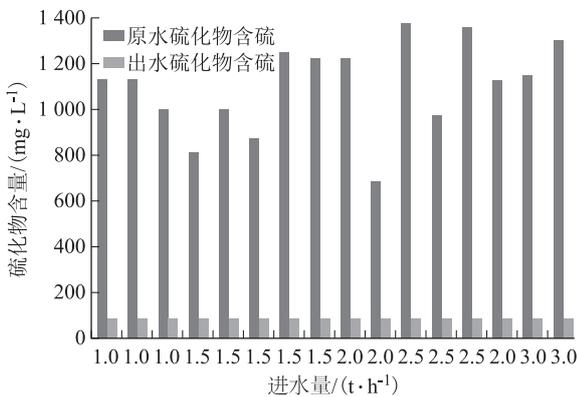


图6 进水与出水硫化物含量的对比

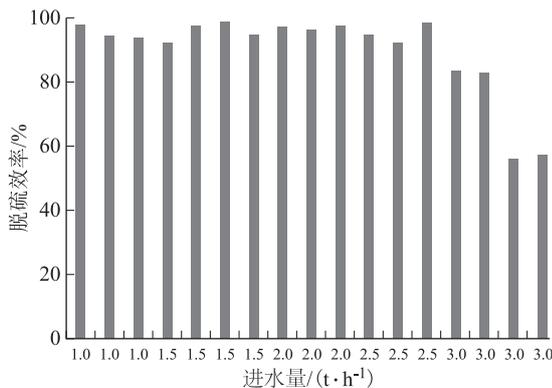


图7 不同进水水量对脱硫效率的影响

图6、图7分别是在不同原水中加入盐酸,将pH值都调节至5左右的进水与出水硫化物含量对比图和脱硫效率图,由于原水来源不同,故原水中硫化物浓度与pH值都不同。由图7可知,当水量从1 m<sup>3</sup>/h增大到2.5 m<sup>3</sup>/h,出水硫化物含量平均42 mg/L,最低12.5 mg/L,脱硫效率维持在94%以上,平均达到96%。

### 2.4 不同气液比脱硫效率分析

不同气液比对出水硫化物含量的影响见图8。图8是对比分析气液比为5:1,6:1,8:1,13:1时的脱硫效果。将不同来源且pH值不同的进水加入盐酸调节pH≈5的条件下,由图8可知,当气液比6:1时脱硫效率最好,高达97%。气液比过大或者过小,脱硫效率相对略低,且脱硫效率稳定性略差。其中气液比8:1是未加入酸的实验结果,其出水硫化物含量85 mg/L。不同气液比的平均脱硫效率见表2。

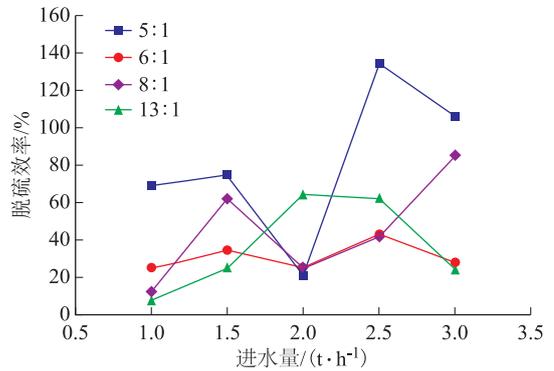


图8 不同气液比对出水硫化物含量的影响

气液比	平均脱硫效率
13:1	95.9
8:1	95.1
6:1	97.0
5:1	95.2

综上所述,通过对比优化一系列工艺参数,得到脱硫效率最佳,效果最稳定的条件为:气提气源采用燃料气与空气气提对脱硫效率影响不大,脱硫最佳的进水pH值为5左右;脱硫工艺最佳气液比为6:1~8:1。负压气提方式可以脱出气田水中的硫化物,技术可行,可以将原水中的硫化物降低至50 mg/L以下。

实验表明,当水量由1~3 m<sup>3</sup>/h变化,加酸后脱

硫效率维持在94%以上,进水最高硫化物含量为1 358 mg/L,出水最低硫化物含量为12.5 mg/L。

### 3 现场应用效果分析

选择元坝29站进行现场实验,设备安装在现有的气提塔B旁边,燃料气接口采用气提塔撬内低压燃料气,污水从气提塔前的预留口处接入,经过实验装置后的水、尾气接入污水处理站的4#池。实验装置包含:预脱硫装置、负压脱硫装置、含硫尾气氧化塔、脱硫再生塔等,在预脱硫装置前设有加酸加碱罐来调节pH值,操作过程中设有pH检测仪来监控pH值的变化。按照上述最优工艺条件进行脱硫,经过20多天的现场实验,共进行了35次实验,分别以燃料气和空气为汽提气源,总体脱硫效率较好,脱硫效果比较稳定,均在95%左右。

测得出水硫化物含量降低至40 mg/L,现场用便携式硫化氢检测仪测试硫化氢。进水与脱硫出水后的水样对比可知,原水中悬浮物浓度较高呈黄色,脱硫后污水悬浮物浓度大幅降低,水质呈乳白色。经测定悬浮物由418 mg/L降至58 mg/L,为后续的处理降低了成本。脱硫液将硫化氢氧化为单质硫磺,分散在脱硫液中,可知,硫磺颗粒较大,分散性好,易分离。硫磺颗粒经层叠过滤机分离后的硫磺,经计算,过滤后分离出的硫磺(硫膏)中含水率65%左右。

### 4 结束语

通过对气提技术与目前污水处理技术的不足进行分析,本文探索了新的污水处理工艺技术,引进负压气提技术,降低污水处理成本的同时,减少危废产生量,弥补了原污水处理工艺的不足。实验装置包

含:预脱硫装置、负压脱硫装置、含硫尾气氧化塔、脱硫再生塔等。

对负压气提技术进行优化,参数调整后,得到设备运行的最佳条件,脱硫效果明显提升,具体如下:

1)气提气可采用燃料气或空气,两者对脱硫效率影响不大;当污水在pH值为5左右时,脱硫最佳;气液比为6:1~8:1脱硫最佳,效果最稳定。影响负压气提脱硫的关键因素是控制待处理污水的pH值与气液比。

2)经实验,当工作压力为-0.02 MPa,pH≈5时,对含硫污水的进行深度脱硫,硫化物含量从1 200 mg/L左右,降低到50 mg/L以下,处理量0.3~3 m<sup>3</sup>/h。

### 参考文献

- [1] 范伟,高继峰,刘畅.高含硫气田含硫污水三级除硫技术优化[J].加工处理,2017,36(7):55-58.
- [2] 姚华弟,李闽,肖文联,等.高含硫气田水处理工艺技术优化[J].化学工程与装备,2017(2):104-118.
- [3] 王增刚,刘涛,彭龙,等.高含硫气田水处理工艺优化改造及效果分析[J].集输处理,2017,36(2):41-44.
- [4] 宋玲,程志强,蓝艳,等.元坝气田采出水除硫工艺技术应用实践[J].工业用水与废水,2018,49(4):43-46.
- [5] 杨旭,吴晓玲.含硫污水处理方法综述[J].油气田环境保护,1994,4(3):59-61.
- [6] 赵德银,叶帆,赵毅,等.一种新型气提脱硫工艺在稠油脱除硫化氢中的应用[J].应用化工,2014,43(10):255-257.
- [7] 屈撑囤,沈哲,杨帆,等.油气田含硫污水处理技术研究进展[J].油田化学,2009,26(4):453-457.

(收稿日期 2019-03-09)

(编辑 李娟)

## 广告索引

石油石化污染物控制与处理国家重点实验室  
“石油与环保”摄影作品征集  
“环境监测·环境评价”主题征文活动通知  
投稿要求

封二 前插一 前插二  
后插一  
封三  
封底