

# 气田采出水处理工艺优化研究与应用

马玉龙<sup>1</sup> 张兆楠<sup>2</sup> 郑政<sup>3</sup> 刘安<sup>4</sup> 张志辉<sup>5</sup>  
 中国石化华北油气分公司采气二厂 陕西 咸阳 712000

**摘要:** 随着东胜气田的不断开发,液气比逐渐上升,水处理能力面临巨大挑战,通过对采出水处理系统进行适应性分析,对污水处理系统工艺流程、设备等配套设施适用性评价,并进行水处理后端气浮及过滤装置优化研究,从而提升水处理能力,提高现有设备运行效率、处理能力,保证经济高效、安全环保运行,满足气田水处理需求。

**关键词:** 水处理;气浮;过滤器;优化提升

## 1 前言

目前气田采出水处理工艺技术种类繁多,但各技术处理的目标都是将采出水中的油和悬浮物等物质去除,来满足气田注水开发的需求;同时将采出水中的有毒物质去除,满足职业卫生及环保的要求<sup>[1-3]</sup>。

东胜气田位于鄂尔多斯盆地北缘,年产气量约20亿方,平均液气比达5.5方/万方,产水量较大,日产采出水2400方,目前有采出水处理系统一套,处理能力为1200方/天,采出水处理能力严重不足,且东胜气田开发历程可划分为开发评价、岩性气藏建产、多类型气藏动用3个阶段,随着开发阵地的转变,东胜气田液气比近年来整体呈现上升趋势。因此,为满足气田生产需要,有必要提升气田采出水处理能力,降低水处理成本。

本文通过对采出水处理系统进行适应性分析,对污水处理系统工艺流程、设备等配套设施适用性评价,并

进行全流程优化研究,提高现有设备运行效率、处理能力,保证经济高效、安全环保运行,研究结果可为气田采出水处理提供参考价值。

## 2 采出水处理现状

东胜气田采出水处理系统采用“重力沉降+气浮+过滤”+辅助加药工艺,运行处理能力1200m<sup>3</sup>/d,主要由于来水水质差,调节容积小,水量及水质调节能力差等原因,导致目前水处理系统负荷重,工艺设备处理效率低,加药量大,运行成本高。且存在管输利用率低等问题。

### (1) 采出水水质特点

东胜气田采出水水型以CaCl<sub>2</sub>为主,兼有Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、NaHCO<sub>3</sub>等水型。采出水矿化度高,腐蚀性强,多层系复合开发导致管道的腐蚀与结垢并存,且采出水中残留大量泡排剂,成稳定胶体态,难以破解,其中含油2.5%、含悬浮物0.25%。

表1 气田采出水主要化学指标数据表

序号	项目 (mg/L)	过滤水	井口返排液	集气站采出水	集气站混合采出水
1	Cl <sup>-</sup>	35109.63	34156.33	55954.22	22362.35
2	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	419.85	517.41	175.82	530.24
3	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0	0	0	0
4	Na <sup>+</sup>	13198.83	7666.27	10213.32	5692.41
5	K <sup>+</sup>	447.01	1388.25	333.78	401.31
6	Mg <sup>2+</sup>	33.32	13.45	41.42	21.55
7	Ca <sup>2+</sup>	690.35	1134.54	2050.67	671.84
8	Sr <sup>2+</sup>	147.00	77.93	252.32	94.74
9	Ba <sup>2+</sup>	27.61	197.12	50.26	19.48
10	总铁	0.6	72.3	46.5	70.6
11	矿化度	58307.85	56290.39	90816.53	37272.07
12	水型	CaCl <sub>2</sub> 型	CaCl <sub>2</sub> 型	CaCl <sub>2</sub> 型	CaCl <sub>2</sub> 型

### (2) 采出水工艺流程

采出水处理工艺流程如图1所示,采出水首先进入采

出水罐至沉降除油罐进行预处理,对采出水中的浮油和悬浮物进行分离沉降,经气浮、过滤后回注地层。

气浮装置为氮气气浮设备，通过溶气和释放系统在水中产生大量的微细气泡，使其粘附于废水中密度与水接近的污染物固体或液体微粒上，造成污染物整体密度

小于水的状态，并依靠浮力作用使其上升至水面，形成浮渣的形式，通过刮渣机刮去水面的浮渣，去除悬浮物等污染物质，从而达到净化水质的目的。

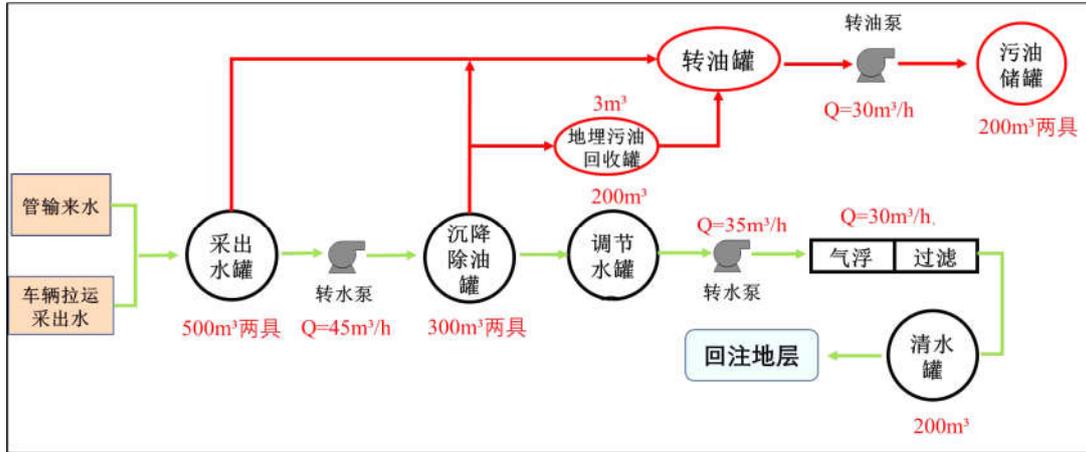


图1 气田采出水处理工艺流程图

### 3 采出水处理系统适应性分析

采出水处理工艺流程为三级沉降除油+气浮+二级过滤，通过对采出水罐、沉降除油罐、调节水罐三级沉降罐相应的沉降时间，关键工艺设备运行参数适应性分析，对比各环节实际处理水质与设计水质标准的偏差、实际处理能力与设计处理能力的偏差，分析接收采出水

量和回注水量，多方面评价水处理效率<sup>[4-6]</sup>。

#### (1) 采出水处理工艺分析

常规污水处理工艺有重力除油+过滤、压力除油+过滤、旋流除油+过滤、悬浮污泥床+过滤等技术；稠油、含聚污水处理工艺有氮气气浮、重力除油+两级气浮、旋流除油+过滤等技术。

表2 采出水处理工艺技术对比表

污水类型	工艺名称	技术特点
常规污水	重力沉降+过滤	油水密度差大于0.05
	压力除油+过滤	
	旋流除油+过滤	油水密度差大于0.07
	悬浮污泥床+过滤	污油负荷不宜过高
稠油污水	重力沉降	油水密度差大于0.03
	氮气气浮	油水密度差小于0.03
含聚污水	氮气气浮	氮气气浮：来水含油较高，乳化严重
	聚结气浮+磁分离	聚结气浮+磁分离：来水含油较高，乳化严重；出水水质要求较好

现阶段采出水的处理需要经过一定的流程，先在水中加入杀菌剂，经过沉降设备的处理再加入絮凝剂进行

过滤。这种处理工艺的原理较为简单，实用性较强，相对来说在流程上较为简单。

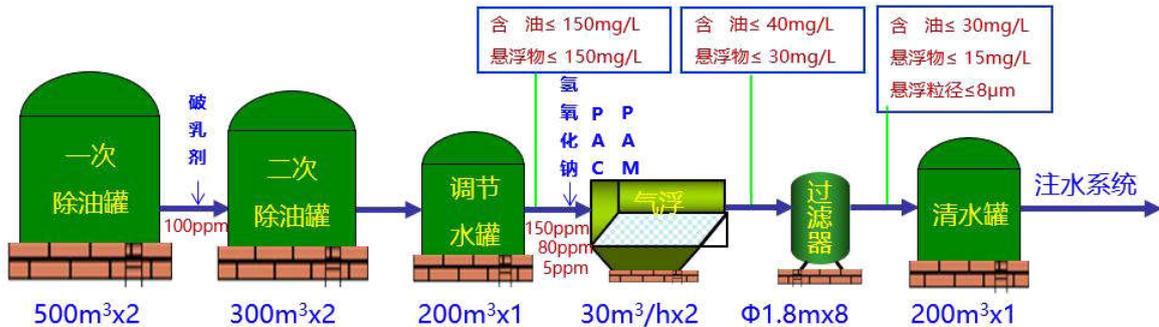


图2 气田采出水处理技术路线图

目前根据原油品轻、易分离的特点，重力分离工艺对浮油去除效果好，适用于现采出水处理。

表3 现有处理工艺出口水质指标对比表

日期	气浮工艺出水		过滤工艺出水	
	含油量 (mg/L)	悬浮物 (mg/L)	含油量 (mg/L)	悬浮物 (mg/L)
2023.04.10	0.6	15.12	0.34	7.81
2023.05.15	0.56	10.71	0.35	3.95
2023.06.02	0.72	12.35	0.44	5.51

(2) 采出水处理系统能力校核

表4 设备校核统计表

设施名称	设计处理量 (m³/h)	单罐有效容积 (m³)	计算数量	校核数量	计算停留时间 (h)	校核停留时间 (h)
300m³除油罐	60	240	2.00	1.00	8.0	4.0
200m³缓冲水罐	60	160	1.00	0.00	2.67	0.00
200m³净化水罐	60	160	1.00	0.00	2.67	0.00
设备名称	设计处理量 (m³/h)	单套处理能力 (m³/h)	计算数量	校核数量	计算处理量 (m³/h)	校核处理量 (m³/h)
气浮处理装置	60	30	2.00	1.00	60	30
二级过滤装置	60	30	2.00	1.00	60	30
污泥脱水装置	4	4	1.00	1.00	4	4

经过校核，处理瓶颈设施设备主要包括污泥脱水、气浮、过滤设备等。为消除处理瓶颈，需要提升污泥脱水能力，提高过滤效率。结合现状及建设条件，主要对气浮及过滤器进行优化提升。

4 治理对策及现场实验

针对上述水处理影响因素，制定对策方案并进行现场实验，主要对水处理系统气浮、过滤设备，选择先进的工艺技术，完善系统配套设施，满足正常生产需要，对原有装置升级改造，在保证水质的前提下增加处理能力，减小水质波动、满足处理水质要求，缓解管道、设备、滤料结垢，减少过滤器反洗频次，降低人工劳动强度。

(1) 氮气气浮优化改造

气浮单套处理规模最大30m³/h，该设备为加药处理工

采出水处理系统设计处理能力按1200m³/d对现有设施设备进行校核，具体情况如表2所示。

罐内有效容积：

$$V = F (H_1 - H_2) \tag{1}$$

根据沉降罐容积计算沉降时间：

$$T = \frac{24V}{GI} \tag{2}$$

根据公式 (1) (2) 得出沉降罐沉降时间和对应的出水含油量、出口悬浮固体含量的关系。

艺，原水中大量的轻质混合物，经过加药后反应，气浮后有大量浮渣，停留在二沉池上端，原设计工艺仅设置有气浮段刮渣设施，二沉池未设置，实际运行中，二沉池大量浮渣上浮，造成后端过滤器负荷增加，悬浮物超标，影响处理效果，缩短滤料寿命。

为解决气浮装置处理时间不够的问题，通过在气浮前端增加旋流反应箱，实现PAM与污水的快速混合反应，反应时间由11.26min提升至14.41min，且将原有二沉池与气浮段联通，延长污水加药反应时间，将原有清水箱改为二沉池，加强处理效果，为保证后续过滤器有足够的缓冲时间需要增设中间水箱，从而将单台能力提升至1000m³/d。

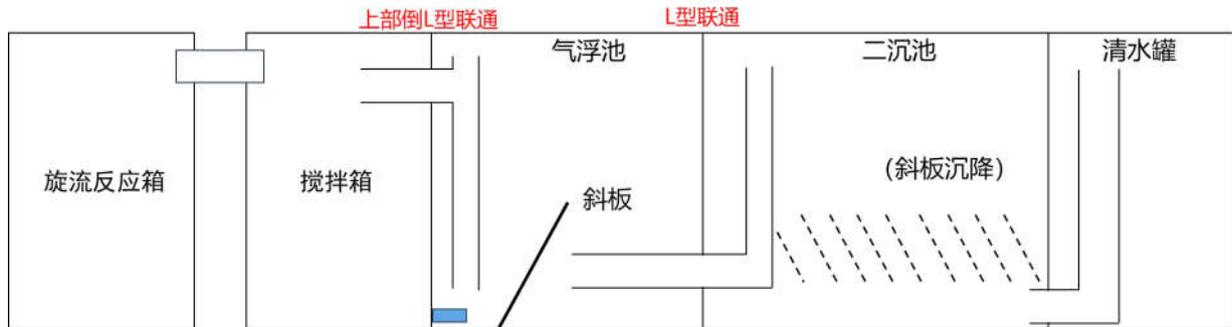


图3 气浮工艺改造图

气浮装置溶气系统结垢严重，释放器多处结垢堵死无法使用，气浮至过滤器、至溶气泵之间管线结垢严重；经过取样分析，垢样99%为碳酸钙。

主要结垢点在溶气系统进出口、过滤提升泵进出口、过滤器滤料，影响结垢的因素有温度、压力和流速，管道由于自流流速较低，且有泵头叶轮产生温度变化，极易成垢，现通过增加聚结除垢器，成垢离子在聚

结除垢器内产生晶核聚结，降低结垢影响。

(2) 过滤器流程优化改造

过滤器单套处理规模最大30m<sup>3</sup>/h，采用的是核桃壳+双滤料过滤器，共计8台。随着处理水量的增加，负荷增加，反冲洗频率较高，导致滤器反洗系统运行效率低，反洗用水量大。

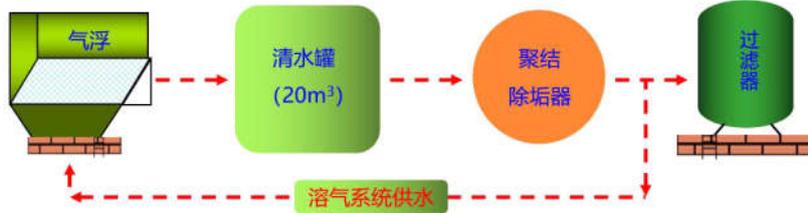


图4 聚结除垢器改造原理图



图5 气浮改造完成前后水处理能力变化曲线图

为了增强采出水系统的水处理能力，8台过滤器滤料更换为微孔陶瓷+无烟煤双滤料，且将过滤器流程由串联

流程改造为并联流程，优化过滤器运行模式，提升过滤效果。

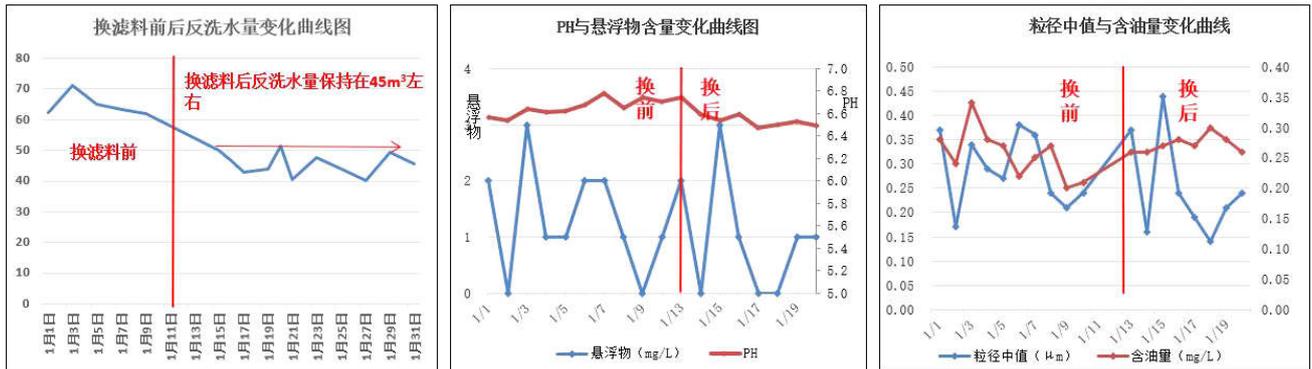


图6 过滤器改造前后反洗水及水质变化曲线图

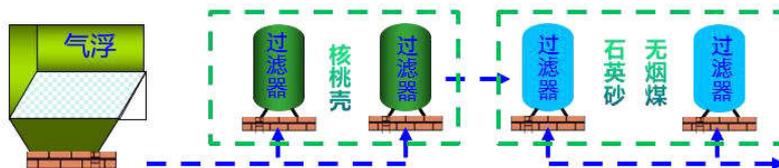


图7 过滤器改造前串联运行模式图

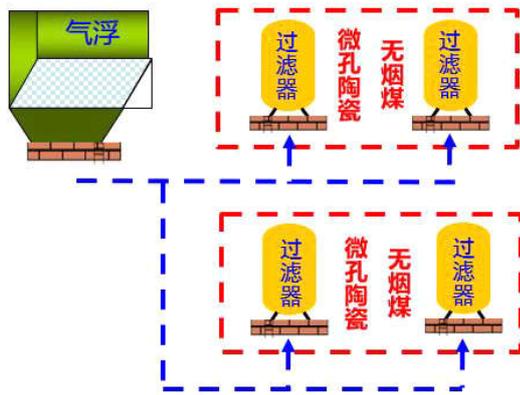


图8 过滤器改造后并联运行模式图

改造完成后,反洗水量60方降低至45方,水质指标对比无明显变化,均符合回注要求;过滤进口压力维持在0.1-0.2MPa,较之前下降0.2-0.4MPa,改造效果明显。

### 5 结论

通过对采出水处理系统进行适应性分析,对污水处理系统工艺流程、设备等配套设施适用性评价,并进行全流程优化研究,较好的解决了水处理能力不足的问题。

1、通过对气浮设备的技术改造,实现PAM与污水的快速混合反应,反应时间由11.26min提升至14.41min,延长污水加药反应时间,加强处理效果。

2、通过对过滤设备滤料更换及工艺流程改进,优化

过滤器运行模式,反洗水量60方降低至45方,水质指标对比无明显变化,符合回注要求,过滤进口压力维持在0.1-0.2MPa,较之前下降0.2-0.4MPa,过滤效果明显提升。

### 参考文献

- [1]詹天兵,王柏静,郭红,等.气浮技术在吉林油田采出水处理中的应用[J].石油规划设计,2013,24(2):3.DOI:10.3969/j.issn.1004-2970.2013.02.006.
- [2]梁文义.大庆油田采出水回注处理工艺技术的创新及应用[J].水处理技术,2008,34(006):62-65.DOI:JournalArticle/5aec865ac095d710d40101d3.
- [3]郭治勇,吴迪华,李连群.溶气气浮技术在稠油污水处理中的应用研究[C]/2018全国石油石化企业污染防治技术交流会.中国石油企业协会,2018.
- [4]李聪敏.气浮技术在海上平台含油污水处理中的应用分析[J].中国科技期刊数据库工业7A,2021(11):3.
- [5]祁雪洪,康万利,董朝霞,等.吉林油田模拟CO<sub>2</sub>驱采出水性质研究[J].油气田地面工程,2011,30(9):3.DOI:10.3969/j.issn.1006-6896.2011.9.003.
- [6]刘兆福,王玉晶,张书航,等.油田低温采出水处理工艺技术研究[J].油气田地面工程,2008,27(4):2.DOI:10.3969/j.issn.1006-6896.2008.04.003.