

# 安塞油田含油污泥处理工艺的探索与实践

张 旺

中国石油长庆油田分公司第一采油厂, 陕西 延安 716000

**摘 要:**为有效处理安塞油田产生的含油污泥,探索适宜的含油污泥处理工艺,借鉴国内部分油田的成熟作法 and 经验,比较分析并选取可行的工艺开展试验应用,对微生物降解、注水井调剖、污泥处理厂运行和制砖等试验情况进行分析评价。探索调剖、热化学处理、工业制砖及降解的适宜工艺。实现含油污泥处理工艺的经济可行和安全环保,为资源的开发利用提供了参考。

**关键词:**含油污泥;工艺;适应性;实践

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2018.04.008

## Exploration and Practice of Oily Sludge Treatment Process in Ansai Oilfield

Zhang Wang

First Oil Production Plant of PetroChina Changqing Oilfield, Yanan, Shaanxi, 716000, China

**Abstract:** In order to solve the issue of producing oily sludge in Ansai oil fields, proper treatment technology of oily sludge suitable for Ansai oilfield is explored by drawing on the mature practices and experience of some domestic oil fields with comparative analysis and selection of feasible processes. Pilot applications are conducted to analyze and evaluate the conditions of microbiological degradation, profile regulation of injection wells, operation of sludge treatment plants and brick-making. The optimum process of cutting, thermochemical treatment, industrial brick making and degradation are explored. The process of oily sludge treatment is economically feasible, safe and environmental friendly. It provides reference for the exploitation and utilization of resources.

**Keywords:** Oily sludge; Process; Adaptability; Practice

## 0 前言

含油污泥是油田开发过程中产生的危险固体废物,欧美国家评估含油污泥危险特性和环境风险较早,考虑了特征污染因子 TPH 及相关污染物指标。中国对含油污泥的评估起步较晚,存在未制定针对性控制标准、未对危险特性系统评价及未对处理处置技术进行系统评价等问题<sup>[1]</sup>。在开发初期,主要采取定点堆放或掩埋等临时性措施处理含油污泥,随含油污泥产出量增多,原有

的方式难以为继,企业需要改进技术工艺,对固废实施减量、无害化处理和资源化利用。

目前,此领域制定的地方性法规有《陕西省煤炭石油天然气开发环境保护条例》等。按 DB 61/T 1025-2016《含油污泥处置利用控制限值》要求,铺设油田井场、等级公路时,pH 值应为 6~9,石油类物质含量 $\leq 10$  mg/g,含水率 $\leq 40\%$ 。相关的 GB 4284-1984《农用污泥中污染物控制标准》、GB 18484-2001《危险废物焚烧污染控制标准》、HJ 607-2011《废矿物油回收利用污

收稿日期:2018-04-16

作者简介:张旺(1966-),男,陕西临潼人,工程师,本科,主要从事注水、安全环保节能等研究管理工作。

染控制技术规范》等,对含油污泥的收集、储存、运输、利用和处置都有严格要求。

## 1 含油污泥的产生及主要成分

### 1.1 产生的主要途径

从采油过程来看,产生含油污泥的主要环节包括:油井生产时吐砂、固液分离等;油气集输时干支线、站内容器设施含油污泥的沉积;产出水处理时油水和固液分离;站点运行及油水井措施时加药、自然沉积;管线突发破损及应急抢险;油水站点维护及站外管网改造等。

### 1.2 主要成分及处理方式

含油污泥的成分较复杂,部分有危害性。一般含油10%~50%,含水40%~90%,且含有大量苯系物、酚类、蒽、苊等有毒物质,并有病原体、寄生虫(卵)、铜、锌、铬、汞等重金属,盐类以及多氯联苯、二恶英和放射性核元素等很难降解的有毒有害物质。主要矿物成分包括方解石、石盐、重晶石、针铁矿和石英等。现场的简易化验分析包括含水率、含油率和pH值分析等,结果见表1。

常用的含油污泥处理方法包括溶剂萃取法、焚烧法、生物法、焦化法、调剖和综合利用等<sup>[2]</sup>。在无害处理和资源利用方面,匡少平等人<sup>[3]</sup>介绍了调制、分离、萃取、固化、焚烧、回注调剖及橡胶填料剂的应用等。

表1 安塞油田含油污泥性质分析

含油污泥来源	含水率 / 含油率 / pH (%) (%) 值	相对密度	粒径 / μm	颜色
清罐含油污泥	12.2 70.96 7.8	1.451	28.1	黑色
井场落地含油污泥	49.92 19.8 8.2	1.583	35.86	黑褐色

## 2 工艺调研

2006年和2007年,笔者先后到辽河、吉林和冀东油田处理现场及2家技术服务企业进行了调研,了解含油污泥产生现状及处理工艺。目前的处理工艺主要有均匀混合、加热加药、固液分离、油水分离、污水回用和污油回收等工艺,残渣用于制砖或填埋,处理后大部分指标可达到标准要求,工艺基本满足现场需求,可作为安塞油田的参考。

其他如华北采油五厂的加药+脱水工艺进行油泥减量化处理,规模10 m<sup>3</sup>/h,2015年5月投运。延长的七里村和青化砭采油厂筛分流化+调质+脱水工艺,处理规模均为120 m<sup>3</sup>/d,2015年8月投运。长庆采油三厂建成规模4 000 m<sup>3</sup>/a工程,2014年8月试运行,应用OSTDS技术(间接热解处理含油污泥),处理后渣土中的TPH(总石油烃)<1 mg/L,含水率15%~25%,渣土用于种植试验和作渗混制普通烧结砖。这些工艺,以减量

化为主,资源化利用程度较低。

国内大多采用脱水干化法处理:含油污泥经搅拌装置混合均匀,经加热加药后使固液分离,通过压滤机对污泥再进行浓缩脱水处理,可将含水率由99%降至70%以下。无害化处理:含水率95%污泥进入箱式压滤机(离心脱水机),压滤后含水率约75%,再通过物料混合装置与煤粉参混均匀,最后由型煤机压制成型煤。燃烧后灰渣中油及重金属含量远低于农用标准<sup>[4]</sup>。

## 3 减量化

安塞油田引进应用减量化处理措施,在完井环节,应用负压射孔、泡沫洗井等工艺,减少残液及压裂砂等的产出<sup>[5]</sup>。井下作业通过改进工艺管理、缩短作业时间、井口安装防喷装置、铺设防渗布及使用橇装式油水处理装置等,减少作业中的含油污泥产出量<sup>[6]</sup>。产出水处理中,及时地回收利用沉积的污泥,有效提高系统运行效率<sup>[7]</sup>。利用含油污泥的成分复杂及间隙不均匀等特性,将其作为过滤介质,提高产出水处理效果<sup>[8]</sup>。从2010年起,含油污泥的产出量平均每年减少15%以上。

## 4 不同的处理方式试验

### 4.1 成分测试和方式选择

在黄晓英等人<sup>[9]</sup>的室内试验中,用四氯化碳震荡提取120 min,运用红外分光光度法准确测定含油污泥中石油类物质的含量,这类测试在长庆油田有部分应用。分析含油污泥含油率、含水率、总悬浮固体含量、污泥沉降比、污泥比阻、pH值和挥发性固体含量的物理、化学及生物降解特性,可为处理方式的选择提供参考<sup>[10]</sup>。国内目前对含油污泥较为普遍的应用是再生煤、型煤、制建筑材料、污泥烧结砖和生产调剖剂等<sup>[11]</sup>。

### 4.2 微生物处理工艺

胜利油田在2004年曾利用微生物分离油、泥和降解污泥中的污染物的性能,培育菌株,对含油污泥进行厌氧处理后再做好氧脱油实验,可使含油在4 h内从23 000 mg/kg降至10 100 mg/kg,脱油率达53.4%<sup>[12]</sup>。2006年8月18日,由江苏博大公司进行试验,用含油污泥30 m<sup>3</sup>,生物诱导处理,使用“倍加清”特种微生物菌种对油类污染物进行生物降解。初期含油4.32%,到11月22日,含油降至1.75%,气温低至2℃,因现场气候环境条件不适宜,试验终止。

从2008年6月起,由北京众博达公司对主要区块污泥矿物组成、含油率、金属离子及颗粒粒径分布进行分析和室内试验,在杏58-20和坪38-32井场,处理含油污泥量分别为112.50、143.75 m<sup>3</sup>,掺混初期含油率分别为6.47%、7.6%,喷洒浓度为6.0%的微生物试剂,适

量使用化肥,每2~3 d检测翻耕1次。3月后含油率分别降至1.5%、1.4%,至10月底,土壤含油率分别降至0.68%、0.55%,达到1%以下的要求。目前共建有6座微生物处理场地,年处理能力1400 m<sup>3</sup>。

#### 4.3 注水井调剖工艺

早期应用机械和化学方式调剖,改善吸水剖面,提高注采效果<sup>[13]</sup>。含油污泥调剖工艺较早在河南油田应用,使用弱凝胶、胶束等调剖剂,使污泥活性稠化,有效封堵高渗透地层,提高注水波及系数<sup>[14]</sup>。安塞油田首次试验应用于2008年,站内维护产生的含油污泥应用于塞6-2注水井,井口注水压力10.0 MPa,共用污泥24 m<sup>3</sup>,投加了部分药剂,井组含水有所降低,采油量相对稳定,初步见效。现场试验乳化分散、悬浮降黏、交联聚合方法,将含油污泥与交联聚合物冻胶复配改性,自主研发出污泥携带性能好、封堵性能强的KG-1含油污泥冻胶调剖体系,形成含油污泥冻胶调剖剂,污泥加入浓度从8%提高至30%。实施2口井,污泥注入浓度由8%上升到40%,单井污泥用量提高至300 m<sup>3</sup>以上。至2017年共实施27口井,累计注入污泥9900 m<sup>3</sup>,累计增油2155 t,累计降水2513 m<sup>3</sup>,效果明显。

#### 4.4 处理厂处理工艺

王窑含油污泥处理厂于2007年11月建成,2008年4月投入运行,主要为洗涤+超声波空化+压滤的处理工艺。主要设施包括原料存储池、含油污泥上料装置(螺杆泵、螺旋输送机)、洗涤器(加剥离剂和絮凝剂)、溶剂槽、废渣处理器(加2#剥离剂,超声波空化,油渣二次

分离)、储泥罐(泥水分离)、履带式(板框式)压滤机、原油回收系统和加热炉等。在李凡修等人<sup>[15]</sup>编写的试验报告中,用PAC和CPAM絮凝剂处理含油污泥,可将污泥比阻从处理前的 $8.9 \times 10^{12}$  m/kg分别降至 $1.09 \times 10^{12}$  m/kg和 $0.11 \times 10^{12}$  m/kg,助滤剂CaO与絮凝剂复配使用可进一步降低污泥比阻。该系统主要投加WN-1、WN-2、PM-1、PM-2、PC等,浓度为0.01%~3.5%不等,处理后废渣含油率可降至5%以下,含水率<10%,年处理量可达到2000 m<sup>3</sup>以上。在脱水工艺上,应用螺旋沉降离心机较为普遍<sup>[16]</sup>。系统运行后针对腐蚀严重、运行不稳定、劳动强度大及个别指标异常等问题,从2009年至2012年共进行了14项改造,主要对污泥堆放点、上料系统、站内工艺流程等进行了配套完善。

河南油田曾开展了含油污泥燃煤锅炉焚烧试验,积累了一定的经验<sup>[17]</sup>。为扩大处理能力,2012年底在王窑站新增加了1套MY-X-300型焚烧炉系统,处理能力200 kg/h,对难以处理的污泥焚烧利用,2017年焚烧炉共处理含油污泥2060 t,焚烧产生的灰渣主要是飞灰和金属氧化物,体积可减少90%,用于制砖或油区场地填埋。排出的烟气及残渣等主要指标达到环保标准要求,根据GB 16297-1996《大气污染物综合排放标准》涉及的SO<sub>2</sub>和氮氧化物两项最高允许排放浓度960 mg/m<sup>3</sup>和240 mg/m<sup>3</sup>,长2、长6层含油污泥燃烧成分中SO<sub>2</sub>和氮氧化物两项指标超标,污泥燃烧排放物检测统计见表2。

表2 污泥燃烧排放物检测统计

样本号	CO <sub>2</sub> 含量/ (mg·m <sup>-3</sup> )	NO含量/ (mg·m <sup>-3</sup> )	其他氮氧化物含量/ (mg·m <sup>-3</sup> )	SO <sub>2</sub> 含量/ (mg·m <sup>-3</sup> )	热值/ (J·kg <sup>-1</sup> )
长2层含油污泥	51.95	449.52	721.35	8226.70	35120.32
长6层含油污泥	51.44	465.53	741.47	2860	6381.13

污油回收后,经检测含蜡53.23%,沥青质17.31%,胶质9.86%,凝点74℃,现场较难处理,开展了系列的试验研究,取得了一定的成果。

2017年10月在王窑区新建含油污泥处理厂,设计规模7000 t/a(5~10 m<sup>3</sup>/h),处理后含油率≤20 mg/g,净化污泥含水率≤60%,处理工艺以物理、化学法相结合的离心分离为主,采用“污泥热洗预处理,调质+机械离心脱水”为主,计划2018年8月建成并投入系统试运行。

#### 4.5 制砖试验

2006年6月24日,由长庆工程技术研究院对污泥制成砖进行强度等级检测,结果为4.3 MPa,低于标准要求单块最小抗压强度7.5 MPa。2014年9月30日和

10月14日分别送制品至西安矿产资源监督检测中心,对Hg、Cd、Cr、Zn、Pb、As、Cu、Ni等8种重金属含量进行检测,除Zn含量偏高外(3164 mg/kg),其它含量达到标准要求。参考安家荣等人<sup>[18]</sup>的烧砖试验资料对比得出,适宜烧制砖的含油污泥的含油量应<4%,黏土所占比例应>40%。利用残渣制砖是一项较为成熟的技术,在国内油田应用较为普遍。

#### 4.6 热解技术

热解技术是一种改型的污泥高温处理工艺,污泥在绝氧条件下加热到一定温度使烃类及有机物解析,烃热解后剩余泥渣,烃类可以回收利用<sup>[19]</sup>。王万福等人<sup>[20]</sup>通过热解机理和动力学模型的建立,分析了温度、停留

时间、加热速率及催化剂的种类和数量等影响因素,在国内部分油田进行了试验应用,技术还有待完善,国内油田应用较少,安塞油田目前还未采用。

## 5 工艺特点及对比

### 5.1 工艺特点

微生物处理工艺较环保,副作用小,但对初期含油污泥含油率有要求( $<10\%$ ),施工周期长(3~6月),费用高;调剖工艺经济环保,运行成本低,有较好的控水增油效果,可实现资源的循环利用;含油污泥处理厂可实现规模化,可解决大部分产出物出路,处理指标也易控制;制砖工艺是对处理厂残渣的再处理,实现资源的再利用;含油污泥委托外部有相应资质的单位拉运及无害化处理,虽然可减轻本企业的生产运行负担,但存在一定的环保风险和连带责任。

### 5.2 对比及评价

比较几种处理工艺和运行管理方式,微生物处理工艺可继续在小范围内试验应用;含油污泥调剖工艺应优先考虑实施,需要改进工艺和参数,继续扩大规模,提高调剖驱油效果;含油污泥处理厂的处理运行需从技术和管理方面采取合理措施,控制好成本和运行指标;制砖工艺还需进一步完善,达到标准要求;委外拉运处理应逐渐减少工作量,降低安全环保风险。

## 6 建议

### 6.1 继续开展含油污泥处理技术的研究

对分区域成分、结构、适用技术继续研究,应用适宜处理工艺,落实减量化、无害化、资源化循环利用。如探索对焚烧炉残渣用于油水井措施的工艺,改进污油回收工艺、落地污泥调剖、回水利用、工业制砖、泥土复耕评价等。

### 6.2 对现有工艺改进完善

含油污泥调剖工艺优选药品,改进投加方式,改善性能,增加处理量,提高稳定性和控水稳油效果;改进现有含油污泥处理厂的工艺、优化参数、配套药品及投加方式,控制好指标,对异常指标展开专题研究试验;继续制砖的试验应用,提高资源利用效率;继续开展微生物处理工艺的应用,实现产出物的再利用;新建污油泥厂正常投运,增加区域处理能力。

### 6.3 扩大含油污泥的应用

开展循环利用,进行含油污泥的热解等试验,推广较为成熟的工艺,减少含油污泥委外处理量,降低运行成本,提高资源利用率。

## 7 结论

1) 经近些年的探索实践认识到,特低渗油田的含油

污泥处理,必须采取多种措施,才能取得经济和安全环保的良好效果。

2) 在具体处理工艺上,应不断地探索改进,固定处理方式和临时处理方式相结合,主要依靠固定的规模化站点处理,在措施的类型选择上优先考虑污油泥调剖措施,小区块在小范围可应用微生物处理工艺,后期还需要配套的制砖、废渣利用工艺。

3) 对于工艺类型的选择、参数的优选、运行指标的控制和试验改进等方面还需要进行深入研究试验,不断探索优化处理工艺,探索与油田特征相适宜的配套技术。

### 参考文献:

- [1] 孙秉琳,岳勇,万明策,等.我国含油污泥控制标准现状分析[J].油气田环境保护,2013,23(6):16-18.  
Sun Binglin, Yue Yong, Wan Mingce, et al. Analysis of Current Standards of Oily Sludge Pollution Control in China [J]. Environmental Protection of Oil & Gas Fields, 2013, 23(6): 16-18.
- [2] 姜勇,赵朝成,赵东风.含油污泥特点及处理方法[J].油气田环境保护,2005,15(4):38-41.  
Jiang Yong, Zhao Chaocheng, Zhao Dongfeng. Characteristics of Oily Sludge and Several Treatment Methods [J]. Environmental Protection of Oil & Gas Fields, 2005, 15(4): 38-41.
- [3] 匡少平,吴信荣.含油污泥的无害化处理与资源化利用[M].北京:化学工业出版社,2009:100-110.  
Kuang Shaoping, Wu Xinrong. The Harmless Treatment and Resource Utilization of Oily Sludge [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009: 100-110.
- [4] 李冰,谢卫红,朱景义.中国石油油田含油污泥处理现状[J].石油规划设计,2009,20(4):18-20.  
Li Bing, Xie Weihong, Zhu Jingyi. Current Situation of Oily Sludge Treatment in PetroChina [J]. Petroleum Planning & Engineering, 2009, 20(4): 18-20.
- [5] 小乔治·O·苏曼,理查德·C·埃利斯,罗伯特·E·斯奈德.防砂手册[M].钱武鼎,朱燧远,译.北京:石油工业出版社,1988:21-24,64-79.  
Suman G O, Ellis R C, Sinaide R E. Sand Control Manual [M]. Qian Wuding, Zhu Suiyuan, trans. Beijing: Petroleum Industry Press, 1988: 21-24, 64-79.
- [6] 汤清波.两种油水井作业污水处理工艺[J].油气田地面工程,2009,28(8):70-71.  
Tang Qingbo. Process Technology on Working Wastewater Treatment for Two Kinds of Oil Water Wells [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2009, 28(8): 70-71.
- [7] 李化民,苏显举,马文铁,等.油田含油污水处理[M].北

- 京:石油工业出版社,1992:237-244.
- Li Huamin, Su Xianju, Ma Wentie, et al. Oily Water Treatment in Oilfield [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992: 237-244.
- [8] 刘红,杨晓峰.油田采出水处理系统中悬浮污泥过滤技术的应用试验[C]//吴奇.中国石油学会2005全国油田注水技术研讨会论文集.北京:中国石化出版社,2005:173-175.
- Liu Hong, Yang Xiaofeng. Application Test of Suspended Sludge Filtering Technology in the Water Treatment System of Oilfield Production [C]//Wu Qi. Proceedings of the 2005 National Symposium on Oilfield Water Injection Technology of Chinese Petroleum Society. Beijing: China Petrochemical Press, 2005: 173-175.
- [9] 黄晓英,白鹤鸣,潘文启,等.含油污泥石油类测定方法研究[J].油气田环境保护,2015,25(3):54-57.
- Huang Xiaoying, Bai Heming, Pan Wenqi, et al. Research on the Methods to the Determination of Petroleum in Oily Sludge [J]. Environmental Protection of Oil and Gas Fields, 2015, 25 (3): 54-57.
- [10] 郝坚,裴润有,杨树成,等.含油污泥特性指标分析[J].油气田环境保护,2013,23(6):32-34.
- Hao Jian, Pei Runyou, Yang Shucheng, et al. Analysis on the Characteristics of Oily Sludge [J]. Environmental Protection of Oil & Gas Fields, 2013, 23 (6): 32-34.
- [11] 孔令荣,夏福军,荆国林.国内含油污泥的综合利用方法[J].能源环境保护,2011,26(3):1-4.
- Kong Lingrong, Xia Fujun, Jing Guolin. Comprehensive Utilization of Oily Sludge in China [J]. Energy Environmental Protection, 2011, 26 (3): 1-4.
- [12] 许增德,张建,侯影飞,等.含油污泥微生物处理技术研究[J].生物技术,2005,15(2):61-64.
- Xu Zengde, Zhang Jian, Hou Yingfei, et al. Study on Biotreatment of Oil-Contaminated Sludge [J]. Biotechnology, 2005, 15 (2): 61-64.
- [13] 王鸿勋,张琪.采油工艺原理[M].2版.北京:石油工业出版社,1989:342-344.
- Wang Hongxun, Zhang Qi. Principle of Oil Production Process [M]. 2<sup>nd</sup> ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 1989: 342-344.
- [14] 李丹梅,王艳霞,余庆中,等.含油污泥调剖技术的研究与应用[J].石油钻采工艺,2003,25(3):74-76.
- Li Danmei, Wang Yanxia, Yu Qingzhong, et al. Application and Research of Profile Control of Oily Sludge [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2003, 25 (3): 74-76.
- [15] 李凡修,辛焰,陈武.含油污泥脱水性能试验[J].环境污染与防治,2001,23(3):105-106.
- Li Fanxiu, Xin Yan, Chen Wu. Study on the Dewatering Property of Oil Contaminated Sludge [J]. Environmental Pollution & Control, 2001, 23 (3): 105-106.
- [16] 董进.螺旋沉降离心机在污泥脱水装置上的应用[J].石油化工环境保护,1996,(4):35-39.
- Dong Jin. Application of Screw Centrifuge to Sludge Dewatering Process [J]. Environment Protection in Petrochemical Industry, 1996, (4): 35-39.
- [17] 李恒进,胥元刚,李胜彪,等.河南稠油油田油泥砂无害化处理工艺[J].油气田地面工程,2009,28(8):79-80.
- Li Hengjin, Xu Yuangang, Li Shengbiao, et al. Harmless Treatment Technology of Oil Sludge Sand in Henan Heavy Oil Field [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2009, 28 (8): 79-80.
- [18] 安家荣,苟金鑫,王诗航,等.含油污泥处理后残渣用于烧结砖试验[J].油气田地面工程,2016,35(11):9-12.
- An Jiarong, Gou Jinxin, Wang Shihang, et al. The Experiment on Sintered Brick Using the Residual of Treated Oily Sludge [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2016, 35 (11): 9-12.
- [19] 王万福,杜卫东,何银花,等.含油污泥热解处理与利用研究[J].石油规划设计,2008,19(6):24-27.
- Wang Wanfu, Du Weidong, He Yinhua, et al. Research on Pyrolysis of Oily Sludge and Its Application [J]. Petroleum Planning & Engineering, 2008, 19 (6): 24-27.
- [20] 王万福,金浩,石丰,等.含油污泥热解技术[J].石油与天然气化工,2010,39(2):173-177.
- Wang Wanfu, Jin Hao, Shi Feng, et al. Pyrolysis Technology Overview of Oily Sludge [J]. Chemical Engineering of Oil and Gas, 2010, 39 (2): 173-177.