

油田回注水处理常规工艺分析及改进方法探讨

杨帅¹ 孙成超¹ 余晓敏²

1 中国市政工程华北设计研究总院有限公司 2 中国市政工程西北设计研究院有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i1.11773

[摘要] 随着国家对油田开采需求的增加,对油田回注水处理工艺也提出了更高要求,本文主要针对目前回注水常规处理工艺中的关键工段气浮和过滤,分析和研究其运维中存在的问题,并探讨相应的优化改进方案,提高除油效率,为实际生产和工艺发展提供一定的思路和支持。

[关键词] 油田; 回注水; 处理技术; 气浮; 过滤

中图分类号: TE144 **文献标识码:** A

Analysis of Conventional Processes for Oilfield Reinjection Water Treatment and Discussion on Improvement Methods

Shuai Yang¹ Chengchao Sun¹ Xiaomin Yu²

1 North China Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd.

2 CSCEC AECOM Consultants Co., Ltd.

[Abstract] With the increasing demand for oilfield development in China, higher requirements have been put forward for the treatment process of oilfield reinjection water. This article mainly focuses on the key sections of air flotation and filtration in the current conventional treatment process of reinjection water, analyzes and studies the problems in its operation and maintenance, and explores corresponding optimization and improvement plans to improve oil removal efficiency, providing certain ideas and support for actual production and process development

[Key words] Oilfield; Reinjection water; Treatment technology; Air flotation; Filtration

引言

我国油田开采主要以水驱为主,因此开采过程中常伴随大量含油污水的产生,为填补地层出油空腔,降低生产用水量,目前油田采出水主要以处理后回注为主。针对油田回注水,国家出台了相关水质标准及处理工艺设计规范,对常规工艺和水质参数给出一定要求和参考。现有常规处理工艺技术主要以气浮、过滤为主,技术成熟,应用广泛。

油田回注水处理应引起广泛关注和重视,采出水中常含有大量油污、有害气体以及固体悬浮物等杂质,采出水处理不达标便注入地层其危害是不容小觑的。首先,未达标的污水含有的有害物质会对地层造成污染,导致地层结构的破坏和油藏的污染;其次,未处理完全的悬浮物颗粒会堵塞地层,从而降低油藏的开采效率,降低油井产量;第三,具有腐蚀性杂质会腐蚀和损害油井设备,设备维护频繁,降低生产效率并增加维护成本,同时地层修复和清理难度及费用将远高于采出水的处理和回注。

综上,本次主要针对目前常规处理工艺的特点及问题,从高效性和实用性角度出发,针对性地提出一些改进和优化方法,为实际生产和工艺发展提供一定的设计思路和理论依据。

1 回注水常规工艺及存在问题

按目前国家行业标准及相关工程经验,油田回注水去除污染物主要为油及悬浮物,目前常规处理工艺流程基本为采出水-三相分离器-水力旋流器-气浮选器-介质过滤器-回注。

三相分离器可使采出废水流体中的气、油、水三相分离。其分为立式、卧式、球形三种形式,其中卧式分离器采用相对较多。典型的卧式三相分离器主要包括入口分流器、消泡器、聚结板、涡流消除器、除雾器等构造。采出废水进入三相分离器时,首先经过入口分流器,使液体与气体初步分离,然后携带液滴的气体流经聚结板,液滴进一步凝聚分离,气体则消泡器和除雾器进一步净化,从而变成干气从出气口排出。油水混合液体则在重力作用下,因密度差使水下沉底部,油上浮到表面,形成油水界面,上层油污翻越油水挡板进入油室进而分离排出,下层废水则被油水挡板拦截从底部排水口排出,油水液位控制器通过操纵排油阀和排水阀控制排放量,以保持油水界面的稳定。

水力旋流器主要利用密度差,通过结合重力沉淀、离心分离等强化过程,实现油水高效分离。水力旋流过程中的关键设备为水力游流器,上游处理单元出水经污水泵加压后输送至水力旋

流器后产生旋流,从而获得较强的离心效应,污水和水在离心力的作用下在旋流器的内部形成内旋流和外旋流,比重较大的水为外旋流主要介质,通过外壁水相出口排出,比重较小的污水为内旋流主要介质,从容器中央油相出口排出,从而实现油水的分离。水力旋流分离在外加离心重力场的作用下,进一步提高油水分离程度,常作为三相分离器除油的二级强化处理。

气浮选机主要用于去除乳化油污,是油田采出水除油的关键工序。气浮除油原理主要是利用水中溶气析出时产生的细微气泡将水中的乳化油粘附聚集,实现破乳,以形成较大油粒随气泡一起上浮形成浮渣,达到去除水中较小油粒的目的,气浮法可以去除废水中粒径大于 $10\mu\text{m}$ 油滴。气浮法的除油效率主要取决于溶气过程中气泡形成效果的优劣,应尽可能使溶气过程中气水充分混合,气泡粒径越小越分散,越利于与水中油粒粘附聚集;同时为提高气浮分离效果,常在气浮工段前投加清水剂或絮凝剂等,通过药剂的混凝作用,进一步促进破乳凝聚,提高除油率。气浮选机主要设备及构筑物为溶气设备、气浮池、污油池等,其中溶气设备为影响气浮效果的关键一环,目前常用的溶气设备按溶气方式基本分为加压溶气、射流溶气、三相涡流溶气三类,其中三相涡流溶气为近年应用较为广泛效果较为突出的溶气方式。三相涡流溶气方式中,其涡流头可产生强烈紊流,强化分散效果,使气体、废水以及絮凝药剂高效且充分混合,从而提高油污去除率。溶气过程为气浮工序的重要环节,对气浮效果有决定性作用,气浮工序作为去除乳化油的主要工序,也是保障油田采出水处理达标的关键一环。

介质过滤器主要用于去除悬浮固体、特定有害杂质离子等,并可一定程度去除微小油粒,作为气浮除油的补充工序。常用的主要有核桃壳过滤器或双介质过滤器。核桃壳过滤器其滤料为核桃壳,其具有比表面积大和吸附性能优良等特点,可有效地截留和去除水中的悬浮物、杂质以及异味物质;双介质过滤器滤料主要为石英砂、磁铁矿,或改性纤维球、纤维束等,石英砂颗粒均匀,沉降性能和过滤性能优异,磁铁矿对铁、锰、氟等特定离子和带电微粒都有吸附作用,改性纤维有较大孔隙率,吸附效果优异。介质过滤过程中,水流自上而下或自下而上流经滤料层,一方面物理过滤可高效截留水中的较大颗粒、油滴与杂质,另一方面因滤料特殊的内部结构,如微小孔隙和纤维能够有效地吸附水中的小颗粒悬浮物、杂质以及异味物质,滤料吸附性能可进一步强化过滤机制,通过分子间作用力,将更多杂质吸附在其表面,以实现水中杂质全面高效地拦截。此外,过滤器还应定时进行反冲洗和再生随着正向过滤的持续运行,杂质和污染物会在滤料表面积累,特别针对含油污水,油污会在滤料表面凝集聚结,严重影响过滤效果。因此必须进行反冲洗操作。常规反冲洗主要以气水反冲洗为主,同时较多过滤器会设置搅拌器,在冲洗环节翻转滤料,实现滤料间搓洗以强化清洗效果。反冲洗是介质过滤器系统中不可或缺的关键环节,冲洗效果的优劣直接影响其出水效果和运行稳定。介质过滤器通常是采出水处理的最后一道工序,其处理效果对系统水质亦有决定性影响。

根据现有工程运行经验,三相分离器和水力旋流器除油效率可在60%~70%左右,出水含油量基本在500~800mg/L左右;气浮选器油去除率可在80%左右,出水含油量基本可在100~200mL,特别是目前较为先进的三相涡流混合技术,能够实现气-油-水的充分混合,对油的去除率可到85%甚至更高;介质过滤多采用核桃壳过滤器或双介质过滤器,过滤工艺可去除大部分悬浮固体颗粒同时出水含油量可达10~30mg/L左右。

由上分析可知,三相分离及水力旋流,是油田采出水的基础工序,作为前序处理可去除大部分易于分离的气体、悬浮固体和油污,是后续工段稳定高效运行基础保障,而气浮和过滤则可去除粒径较小的乳化油、特定离子、和悬浮杂质,是影响采出水处理效果的关键工段,对处理是否达标起决定性作用,也是技术要求更高、改进优化效益更佳的重要环节,因此应特别关注此两工序的实际问题和提升措施。

就工艺流程总体而言,常规工艺技术成熟、应用广泛,处理效果相对稳定。然而,一方面,常规工艺中关键工段气浮和过滤,实际运行中也常存在较多问题:气浮过程中主要存在溶气与絮凝过程难以高效结合、气浮分离效果提升与用地受限矛盾等问题;过滤过程中主要存在滤料板结、搅拌器磨损、冲洗水量大等问题;另一方面随着油田开采持续挖潜,对回注水处理提出了更高要求,如化学驱采含聚废水水质情况更为复杂,其中聚合物及表面活性物质会不同程度降低常规工艺处理效率;又如低渗油藏开采,其回注水水质要求也不断提高,为实现要求配注率现有工艺也常难以满足要求;近年间新兴的部分深度处理工艺,如改性材料过滤、改性膜过滤、生物处理等,技术尚处于开发和改进阶段且受设备厂商供货质量和运维水平因素制约较大,难以保证持续稳定运行;同时,一味延长处理工序,一方面增加投资及运行维护成本,另一方面需增加额外用地,对于海上平台或已建油田采出水处理设施改造等用地紧张的情况终究难以实现。综上,就目前采油废水处理现状而言,常规工艺尚有提升的需求和空间,同时从稳定运行及节约成本角度对比新兴工艺,显然对现有工艺寻求进一步的优化和改进更具经济及实用价值^[1]。

2 改进方法探讨

前已述及,回注水主要处理工段为气浮及过滤,本次主要针对此两工段的特点及改进方法进行分析研究。

2.1 气浮工艺

就气浮工艺而言,前已述及,其关键为溶气和破乳过程,溶气设备按溶气方式基本分为加压溶气、射流溶气、三相涡流溶气三类;而强化破乳过程目前常采用投加清水剂或絮凝剂,通过其凝聚作用提高油污去除效果。

溶气混凝方面,常用三种溶气气浮方法中,加压溶气气浮和射流溶气气浮为相对传统的气浮工艺,其溶气量受环境影响较大,同时散气过程中气泡与污水混合均匀程度有限且随机性较大,成为提高除油率的主要限制因素;三相涡流为近年广泛应用的新型溶气气浮方式,其溶气装置主要为三相涡流头,其工作原

理即通过高速涡流使气、水、油充分混合,大幅提高了溶气效率及均匀性,进而促进气浮分离效果,但是三相涡流体系中,絮凝药剂也在涡流设备前投加,多数设备厂商虽提出涡流过程可使药剂分子骨架完全打开,利于发挥絮凝作用,但同时也会因高速湍流造成絮体破裂,从而对絮凝过程产生消极影响,不同于其他机械混合絮凝方式,其难以相对精确地控制水力梯度而更好地完成絮凝过程。为解决这一问题,可对三相涡流溶气气浮加以改进,一方面可适当增加涡流头串联个数并设置较大的混合能量变化梯度,同时在各涡流头间设置超越管道,以根据实时水质及加药量调整投入运行的涡流头个数,从而达到增强混合及保护絮体的双重效果;另一方面,也可将加药点置于涡流混合末端,利用末端若干涡流头进行药剂混合,絮凝过程则独立于涡流体系之后,增加絮凝区采用传统的机械絮凝方式,实现实时精准的过程控制。

气浮分离方面,目前油田用气浮分离池均为单一的平流或辐流池体形式,气浮表面负荷有限,若有更大的处理水量需求,则除油率必然受到影响。为加强气浮分离效果,提高表面负荷,可在气浮池刮渣板下间隔适当距离设置一组斜板,斜板具体安装参数可根据实际水质及油污性质经小试或中试确定,但建议斜板间距不宜小于50mm,长度不大于0.8m,斜板角度不宜小于60°,以避免油渣堵塞板结,斜板应尽可能采用疏油材质,同时建议设置冲洗设施,定期冲洗维护。气浮池中增加斜板是应用浅池理论,减小上浮距离和时间,相当于增大气浮池面积,从而有效提高气浮池表面负荷,节约占地面积,强化处理效果。对于含油量较大或用地受限的改造或海上平台项目,斜板强化气浮分离显然更具兼容性及实践意义。

2.2 过滤工艺

目前油田过滤工段主要采用核桃壳过滤器或双介质过滤器两种,二者过滤效果良好、操作便捷,但是实际使用中滤后冲洗过程仍存在较大问题,传统冲洗多采用气水冲洗,并适当搅动滤料实现搓洗过程,此种方式对滤料表面油渣去除效果有限,耗水量大且油污积存滤料易板结,搅拌器运行反复磨损。冲洗过程优化可从冲洗介质和冲洗方式着手,一方面可将普通气洗改为高

温蒸汽或惰性气体冲洗,高温环境可降低油的粘滞性,更利于油污脱附,滤料粘结更易解离,并且适当增大气洗强度和ación,气吹为主搅拌为辅,以实现滤料搓洗目的,气体加热亦可利用采油工艺废热,不额外增加能源消耗;另一方面,水洗过程可在滤料不同深度处设置侧向冲洗水嘴,增强水流紊动,既可以强化非机械搓洗滤料效果,一定程度缓解搅拌器磨损,又可以起到滤料表面的扫洗作用,避免已洗脱的油污落回滤料表层二次粘附;高温气冲和侧向水冲联合作用,可整体提高冲洗效率,节约冲洗用水,改善冲洗效果,延长过滤器使用寿命^[2]。

3 结语

油田回注水常规处理工艺中,主要以气浮和过滤为主,两工艺段技术成熟,运行稳定,但也存在优化提效诉求,本次研究主要针对气浮工艺中三相涡流混合气浮中溶气与混凝协调统一问题提出了强化混合能量梯度设置或加药点后串接独立絮凝区方案,对气浮分离效果强化问题提出了增设斜板方案;针对过滤工艺的滤料板结、搅拌器磨损、冲洗水量大问题提出了高温气洗方案以及沿滤料深度方向增设侧向水冲方案。经分析,改进方案有利于工艺系统整体除油效率的提升,对减小占地、节能降耗、日常管理维护、设备使用寿命延长、以及环境兼容性扩展都有实际意义。

我国油田开采已进入新的时期,相应的对采出水处理系统的要求也日益提高,未来应进一步研发和精进油田采出水处理技术,以更好的支撑国家石油工业持续发展^[3]。

[参考文献]

- [1]王会莹,王兵,林孟雄.油田回注水治理工艺研究[J].西南石油大学学报,2007,(S2):107-109,178.
- [2]齐延云,陈国柯,夏体德.海洋石油油田生产水处理工艺及技术研究[J].石化技术,2023,30(5):95-97.
- [3]曹志兴,赵威,曾祥红,等.海上某油田生产水处理系统问题分析与改进[J].山东化工,2023,52(7):238-241.

作者简介:

杨帅(1993—),男,汉族,天津人,硕士,工程师,从事给排水科学与工程研究。