

石油生产污水生化处理工艺探讨

李学智

中海石油（中国）有限公司天津分公司 天津 300459

摘要：石油产业在全球能源体系中占据着支柱地位，然而其生产过程中产生的大量污水，却给生态环境带来了严峻挑战。本文聚焦石油生产污水生化处理工艺。先分析其水质复杂、有机物及含油量高且乳化严重等特性。接着阐述好氧、厌氧及组合生化处理等工艺类型，如活性污泥法、升流式厌氧污泥床、A/O工艺等。同时指出该工艺面临污水水质复杂、微生物适应及成本控制等挑战，并提出优化预处理、微生物驯化及技术创新等应对策略，旨在为提升石油生产污水生化处理效率与效果提供理论依据与实践参考。

关键词：石油生产污水；生化处理工艺；污水处理挑战；应对策略

引言：石油产业在全球能源体系中占据关键地位，然而其生产过程产生大量污水。石油生产污水若未经有效处理直接排放，会对土壤、水体等生态环境造成严重污染，威胁生态平衡与人类健康。随着环保标准日益严格，高效处理石油生产污水成为当务之急。生化处理工艺因具备成本效益、环境友好等优势，在石油生产污水处理领域广泛应用。但在实际运用中，该工艺面临诸多难题，故深入探讨石油生产污水生化处理工艺意义重大。

1 石油生产污水特性分析

1.1 水质复杂成分多样

在采油过程中，因注水开发及油层地质差异，污水混入地层水、化学药剂等，致使成分复杂。其中包含多种金属离子，如钙、镁、铁等，还含有硫化物、酚类、石油类物质。此外，不同油田生产污水成分各异，即使同一油田不同时期污水成分也不稳定。这种复杂性极大增加了处理难度，常规单一处理工艺难以满足净化需求，需多种技术联合才能实现达标处理。

1.2 有机物含量高可生化性差异大

石油生产污水富含大量有机物，像长链烷烃、芳香烃等。这些有机物浓度高，部分可生化性良好，能被微生物分解利用，为污水处理提供了生物处理的基础。然而，也存在部分难降解有机物，如多环芳烃，因其结构稳定，微生物难以将其有效分解，导致污水可生化性差异明显。可生化性好的部分可借助常规生化处理工艺去除，而难降解部分则需强化处理手段，如高级氧化技术，以提高污水整体可生化性，保障处理效果。

1.3 含油量高且乳化严重

石油开采及加工过程中，大量原油混入污水，使得污水含油量颇高。并且，由于机械搅拌、添加化学助剂等因素，油滴在污水中形成稳定乳化体系，乳化严重。

乳化态的油难以通过常规物理分离方法去除，其稳定性阻碍油水分离进程。高含油量不仅会对微生物活性产生抑制，干扰生化处理，还易造成处理设备堵塞、腐蚀等问题。要实现有效处理，需先破乳，破坏乳化体系，将乳化油转化为游离油，再进行后续分离操作^[1]。

2 石油生产污水生化处理工艺类型

2.1 好氧生化处理工艺

2.1.1 活性污泥法

活性污泥法是以活性污泥为主体的废水生物处理技术。其原理是向废水中连续通入空气，培养出具有很强活性的微生物絮凝体，即活性污泥。污水中的有机污染物被活性污泥吸附、分解，转化为二氧化碳、水和微生物细胞物质。在石油生产污水处理中，该方法能高效去除污水中可生化性良好的有机物。它具有处理效率高、处理程度深的优势，能使污水达标排放。不过，活性污泥对水质、水量变化较为敏感，运行稳定性受影响。石油生产污水成分复杂，水质波动大，需要对活性污泥法工艺参数进行精准调控，且要做好污泥回流与处理工作，防止二次污染。

2.1.2 生物膜法

生物膜法是使微生物附着在载体表面，形成生物膜，污水与生物膜接触时，其中的污染物被微生物吸附、氧化分解。在石油生产污水处理中，生物膜法适用于处理低浓度有机污水。载体为微生物提供栖息场所，微生物在膜内分层分布，对不同污染物有针对性降解作用。与活性污泥法相比，生物膜法适应水质水量冲击负荷能力强，运行管理相对简单，微生物不易流失。但生物膜法处理效率在一定程度上受载体特性影响，若载体选择不当，会限制处理效果。在石油生产污水应用中，需筛选合适载体，优化生物膜培养条件，以提升对石油

类污染物去除效果。

2.1.3 氧化沟法

氧化沟法是活性污泥法的一种变形,其曝气池呈封闭沟渠状。污水和活性污泥在沟渠中循环流动,利用转刷、曝气器等设备充氧,使微生物降解污水中的污染物。氧化沟法具有独特水力流态,能形成好氧、缺氧交替环境,可同步实现有机物去除与脱氮除磷。在石油生产污水处理时,氧化沟法对污水中氮、磷及部分难降解有机物有较好处理效果。它工艺流程简单,构筑物少,基建投资低。但氧化沟占地面积较大,运行能耗相对较高,在处理石油生产污水时,要综合考量场地与成本因素,优化运行参数,提高能源利用效率。

2.2 厌氧生化处理工艺

2.2.1 升流式厌氧污泥床(UASB)

升流式厌氧污泥床(UASB)是一种高效的厌氧反应器。其工作原理是,污水从底部进入反应器,自下而上流动,与颗粒污泥床充分接触。在厌氧环境下,微生物将污水中的有机物分解为甲烷、二氧化碳等气体。UASB反应器内形成的颗粒污泥具有良好的沉降性能和高活性,能有效截留微生物,维持较高的生物量。在石油生产污水处理中,UASB对高浓度有机污水有出色处理能力,可降解大部分有机物,降低后续处理负荷。它无需额外的污泥回流装置,节省能耗与运行成本。

2.2.2 厌氧生物滤池

厌氧生物滤池是在厌氧状态下,污水通过填充有固定填料的滤池,微生物附着在填料表面形成生物膜,对污水中的有机物进行分解代谢。污水中的悬浮固体及部分有机物被截留,经微生物作用转化为沼气。在石油生产污水处理领域,厌氧生物滤池适合处理中低浓度有机污水,具有启动速度快、处理效果稳定的特点。由于微生物固定在填料上,不易流失,抗冲击负荷能力较强。但滤池存在易堵塞的问题,尤其是处理含悬浮物较多的石油生产污水时,需要定期对滤池进行反冲洗等维护操作,以保障其正常运行,同时要合理选择填料,提高滤池的通流性与处理效率^[2]。

2.2.3 厌氧流化床

厌氧流化床以砂、活性炭等颗粒状物质为载体,微生物附着其上形成生物膜。污水从底部进入,使载体流化,污水与生物膜充分接触,实现有机物的厌氧分解。在石油生产污水处理中,厌氧流化床具有较高的传质效率,微生物活性高,能快速降解污水中的有机物。其占地面积小,处理负荷大,对水质水量变化适应性强。然而,为维持流化床的流化状态,需要消耗一定能量,且

对设备的耐磨性要求较高。在实际应用中,要优化运行参数,降低能耗,同时选择合适的载体与设备材质,减少磨损,确保厌氧流化床在石油生产污水处理中稳定高效运行。

2.3 组合生化处理工艺

2.3.1 A/O(厌氧-好氧)工艺

A/O工艺结合了厌氧与好氧处理的优点。污水先进入厌氧池,在厌氧微生物作用下,将大分子有机物分解为小分子,提高污水可生化性,同时去除部分有机物并进行脱氮。随后污水流入好氧池,好氧微生物进一步分解剩余有机物,实现污水深度净化。在石油生产污水处理中,A/O工艺能有效处理含氮及难降解有机物的污水。其流程相对简单,投资与运行成本较低。厌氧段对高浓度有机物的初步分解,减轻了好氧段处理负荷,提高了整体处理效率。

2.3.2 A²/O(厌氧-缺氧-好氧)工艺

A²/O工艺在A/O基础上增加了缺氧段。污水依次流经厌氧池、缺氧池和好氧池。厌氧池中,聚磷菌释放磷吸收有机物;缺氧池内,反硝化菌利用硝酸盐和亚硝酸盐为电子受体,将其还原为氮气实现脱氮;好氧池完成有机物降解和过量吸磷。针对石油生产污水,A²/O工艺可同时实现有机物去除、脱氮除磷,处理效果全面且稳定。它能适应水质复杂、污染物种类多的污水,对环境变化有较好的耐受性。

2.3.3 水解酸化-好氧生物处理工艺

水解酸化-好氧生物处理工艺先通过水解酸化将污水中难降解大分子有机物转化为小分子,改善污水可生化性。水解酸化池中,兼性微生物在厌氧条件下对有机物进行不完全分解。之后污水进入好氧池,好氧微生物利用小分子有机物生长繁殖,实现污水净化。在石油生产污水处理时,该工艺能有效处理含大量难降解有机物的污水。水解酸化段降低了好氧处理难度,减少了好氧段曝气量,降低能耗。而且对水质水量冲击有一定缓冲能力。但水解酸化效果受温度、pH值等因素影响较大,需严格控制水解酸化池运行条件,保证其预处理效果,为后续好氧处理奠定良好基础。

3 生化处理工艺面临的挑战与应对策略

3.1 面临的挑战

3.1.1 污水水质复杂难处理

石油生产污水来源广泛,涵盖采油、炼油等多环节,致使其成分繁杂。其中包含多种金属离子,如钙、镁、铁等,还混有硫化物、酚类、石油类物质,且不同油田、不同时期污水成分波动大。部分有机物结构稳

定,难被微生物分解,像多环芳烃。同时,污水中高含油量以及严重的乳化现象,进一步增加处理难度。常规单一处理工艺难以应对,需多种技术联合,但工艺组合协调难度大,导致污水达标处理困难重重^[3]。

3.1.2 微生物适应能力问题

石油生产污水水质多变,有毒有害物质时常出现,对微生物活性产生强烈抑制。例如,污水中的重金属离子易与微生物细胞内蛋白质结合,破坏细胞结构与功能。并且,污水温度、pH值等环境条件不稳定,微生物难以在这样的环境中维持良好的生长与代谢状态。当水质突变时,微生物种群结构会失衡,优势菌种可能丧失,使得生化处理系统处理效率大幅下降,无法稳定持续地发挥净化污水的作用。

3.1.3 成本控制难题

石油生产污水生化处理过程中,设备购置、安装以及日常运行维护成本高昂。为满足日益严格的环保标准,需不断升级处理工艺与设备,这进一步增加前期投资。处理过程中,能源消耗大,尤其是好氧处理阶段需持续曝气,且微生物培养与驯化需要投入大量人力、物力和时间成本。此外,污泥处理也需额外费用,若处理不当还会造成二次污染,增加后续治理成本,使得整体成本控制成为棘手问题。

3.2 应对策略

3.2.1 优化预处理工艺

为解决污水水质复杂难处理的问题,优化预处理工艺至关重要。首先,采用隔油、气浮等物理方法,能高效去除污水中的大部分浮油与分散油,降低后续处理负荷。通过混凝沉淀,利用混凝剂使污水中的悬浮颗粒与胶体物质凝聚沉降,去除金属离子、部分有机物及悬浮物。针对乳化严重的污水,可选用化学破乳剂,破坏乳化体系,实现油水分离。此外,采用水解酸化等生物预处理手段,将难降解大分子有机物转化为小分子,提高污水可生化性。在实际应用中,根据污水水质特性,灵活组合这些预处理技术,实现对污水的精细化处理,为后续生化处理创造良好条件,提升整体处理效率与达标率。

3.2.2 微生物驯化与优化

鉴于微生物适应能力问题,开展微生物驯化与优化工作刻不容缓。可从污水环境中筛选出对石油生产污水具有较强耐受性的微生物菌株,在实验室模拟污水环

境,逐步提高污染物浓度,对微生物进行驯化。同时,通过基因工程技术,优化微生物基因,增强其对有毒有害物质的降解能力。在实际运行中,合理调控生化处理系统的温度、pH值等环境参数,为微生物营造适宜生长环境。定期补充营养物质,维持微生物生长代谢需求。此外,还可引入优势微生物菌群,丰富微生物多样性,稳定微生物种群结构。

3.2.3 技术创新与成本降低

针对成本控制难题,技术创新是关键。研发新型高效的生化处理设备,如采用节能型曝气装置,降低好氧处理阶段的能耗。探索新型生物载体,提高微生物附着量与处理效率,减少设备占地面积,降低基建成本。在污泥处理方面,创新污泥处理技术,如采用污泥厌氧发酵产沼气技术,实现污泥的资源化利用,不仅节省处理费用,还能产生清洁能源创造收益。同时,利用智能化控制系统,精准调控处理工艺参数,避免因过度处理造成能源浪费。此外,加强与科研机构合作,开展产学研联合创新,加速新技术、新材料在石油生产污水处理中的应用转化,从多方面降低处理成本,提升经济效益与环境效益^[4]。

结束语

石油生产污水生化处理工艺是实现污水达标排放、保护环境的关键手段。面对污水水质复杂、微生物适应困难与成本控制等挑战,通过优化预处理工艺、微生物驯化与技术创新,已取得一定成效。但随着环保要求提升与石油产业发展,生化处理工艺仍需持续探索。未来,应聚焦于研发更高效、低成本且适应复杂水质的处理技术,深化微生物应用研究,推动工艺升级,以实现石油生产与环境保护的协同共进,保障生态平衡与产业可持续发展。

参考文献

- [1]吴潮汉,郭晓培,李阳.炼化特殊污水强化预处理技术工业试验[J].石油炼制与化工,2022,53(3):165-168
- [2]杨超.基于粉末活性炭吸附工艺的劣质重油炼化污水COD达标研究[J].环境保护与循环经济,2024(001):214-218
- [3]徐鑫,李志,齐健,等.基于工业化应用视角的低浓度甲烷催化燃烧催化剂研究进展[J].石油炼制与化工,2024,55(2):121-127.