

后端  $\varnothing 8$  mm 孔配削边菱形销, 仅限制绕 Z 轴转动, 并对两孔中心距误差进行柔性补偿。定位销选用 20Cr 渗碳淬火, 硬度 60 HRC, 与孔配合间隙 0.005–0.012 mm, 既保证定位精度又避免过定位; 销子与支承块均做成可调式, 磨损后垫片补偿即可恢复精度。夹紧系统采用桥式快卸压板与铰链螺栓组合: 压板前端设浮动压脚, 后端通过铰链实现  $90^\circ$  翻转, 装卸工件无需完全拆下螺母; M12 高强度细牙螺栓配合碟形弹簧垫圈, 在 1.6 kN 预紧力下仍保持自锁; 压板与工件之间加 0.2 mm 压缩量的聚氨酯垫, 吸收高度误差并保护已加工表面。基体为焊接结构, 焊后退火消除应力, 再经精铣、磨削保证定位面平面度  $\leq 0.01$  mm, 底部设 T 形槽定位键, 实现夹具在机床工作台上的快速找正与刚性连接。

### 4.3 误差校核、工艺兼容与现场优化

通过“一面两销”误差模型综合计算, 基准位移误差约 0.046 mm, 折算到前端面垂直度仅 0.008 mm, 远小于图纸 0.03 mm 要求, 系统安全裕度充足。夹具在立加与车削中心之间的切换只需旋转定位键方向并更换压板高度垫片, 圆柱销与菱形销采用快换衬套, 换型时间控制在 5 min 以内。现场进一步优化: 在夹具体侧面加装 M6 起吊环, 便于行车吊装; 所有定位销、支承钉表面涂 DLC 涂层, 降低摩擦系数并减少铁屑粘附; 底面排屑槽末端接入压缩空气接口, 加工完毕自动吹屑, 避免二次定位误差。试切结果表明, 该夹具使轴承座孔系位置精度 CPK 值由 1.33 提升至 1.67, 单件装夹节拍由 45 s 缩短至 28 s, 年产能提高约 18%, 完全满足中小批量柔性制造的需求, 为同类箱体零件的高效、高精度加工提供了可复制的技术范式。

## 5 轴承座的质量检测

### 5.1 表面质量对轴承座性能的影响

轴承座表面粗糙度对其服役性能具有决定性作用。耐磨性方面, 两相对运动表面经历初期、正常、快速磨损三个阶段: 若粗糙度过大, 结合面存在微观缝隙, 易嵌入磨粒加速磨损; 粗糙度过小则难以储存润滑油, 导致半干摩擦或分子黏附, 同样加剧磨损, 故需控制在合理区间。耐腐蚀性方面, 潮湿空气和腐蚀介质易沉积于粗糙表面的凹坑, 粗糙度值越大, 腐蚀扩展越快, 耐蚀性越差。装配质量方面, 过大的粗糙度会加快轴承外圈与座孔配合面的微动磨损, 降低配合精度和轴承寿命, 因此有装配要求的表面必须保持较低粗糙度值。

### 5.2 精密加工与表面粗糙度控制技术

为满足上述性能要求, 轴承座在精加工阶段可采用多种工艺组合: 砂带磨削可快速去除余量并降低宏观不平度; 精密切削(高速铣、镗、车)通过优选刀具材料与几何角度, 控制剪切力, 实现尺寸与位置精度同步提升, 但刀具脆性高、易崩刃, 不适用于高硬度合金或陶瓷; 超精密磨削在高刚性磨床上使用精修金刚石砂轮, 切削量可控制在亚微米级, 获

得 IT4 级以上尺寸精度、形位精度及  $Ra \leq 0.1 \mu\text{m}$  的表面; 珩磨、研磨、超精研抛及磁光光整等技术则用于进一步降低表面粗糙度、去除变质层, 提高耐磨与耐蚀性能。实际生产中常将上述工艺按“粗磨—半精磨—超精磨—光整”流程组合, 以实现效率与精度的平衡。

### 5.3 轴承座综合检测方法

表面精度检测, 比较法通过触觉或视觉与标准样块对比, 操作简便但精度低, 适用于  $Ra 0.16\text{--}10 \mu\text{m}$  的外表面批量快速筛查; 针描法用触针式粗糙度仪扫描表面, 自动生成  $Ra$ 、 $Rz$  等多参数, 适用于  $Ra 0.04\text{--}5 \mu\text{m}$  的内外表面; 光切法利用光带截面成像测  $Rz 0.8\text{--}100 \mu\text{m}$ , 需人工取点效率低; 显微干涉法采用白光或激光干涉与显微技术, 可测  $Rz 0.063\text{--}1 \mu\text{m}$  的平面、圆柱面及球面, 分辨率达纳米级, 适用于高精度要求。垂直度检测以轴承座前端面对基准 C 的垂直度为例, 将  $\varnothing 30$  mm 心轴穿过内孔并安装于偏摆仪, 百分表测头接触前端面, 旋转轴承座一周, 取最大与最小读数差之半作为垂直度误差, 必要时配合激光铅垂仪多点复核。<sup>[5]</sup>

## 6 结语

该论文对轴承座零件加工工艺规程及其工装设计进行了深入研究, 具有一定的理论和实践意义。同时, 也为相关领域的研究和应用提供了一定的参考和借鉴。首先, 该论文对轴承座零件的加工工艺进行了详细的介绍。在加工过程中, 需要采用适当的加工方法和工艺参数, 以确保加工精度和表面质量。同时, 还需要对加工过程进行严格的控制, 以避免出现加工误差和质量问题。其次, 该论文还对轴承座零件的工装设计进行了深入研究。在工装设计中, 需要考虑到零件的形状、尺寸、材料等因素, 以及加工过程中的力学特性和加工精度要求。最后, 该论文还对轴承座零件加工过程中的质量控制进行了探讨。在加工过程中, 需要采用适当的检测方法和设备, 以确保零件的加工精度和表面质量。同时, 还需要建立完善的质量管理体系, 以保证产品的质量稳定性和一致性。

### 参考文献

- [1] Ye W. On the Effective Strategy to Improve the Level of CNC Machining Technology[J]. Journal of Engineering Mechanics and Machinery, 2022,7(3):6-10.
- [2] 王玲. 浅析机械加工制造信息化的发展现状及趋势[J]. 现代工业经济和信息化, 2023,13(03):34-35+40.
- [3] 宋秀侠. 浅谈数控加工过程工艺方案的优化设置与分析[J]. 科学大众(科学教育), 2013(1):133.
- [4] 李政平, 马少荣. 关于轴承座机械加工工艺方案的优化[J]. 黑龙江造纸, 2021,49(2):34-35,38.
- [5] 曹冬梅, 李海东. 灰铸铁的力学性能提升及热处理研究[J]. 机械工程师, 2014(10):82-83.

# Current Situation and Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Sludge from Wastewater Treatment Plants of Refining and Chemical Enterprises

Huifang Yang Shunbin Qi Meijia Fu Mengmei Bai Xiaohui Li

Qingyang Petrochemical Branch of China National Petroleum Corporation, Qingyang, Gansu, 745000, China

## Abstract

With the rapid development of refining and chemical enterprises, the problem of sludge produced by their sewage treatment plants has become increasingly severe, among which heavy metal pollution is particularly prominent. Heavy metal pollution affects water bodies, soil and the atmosphere, and may also enter the human body along the food chain, threatening human health. This article focuses on the sewage treatment plants of refining and chemical enterprises, analyzes the current situation of heavy metal pollution in sludge, and explores the types, concentrations and sources of common heavy metals. After conducting an environmental risk assessment of heavy metals in sludge, the severity of the problem was highlighted, and it was found that the treatment measures were lagging behind. Studies show that the content of heavy metals in the sludge of such enterprises is generally high. To this end, this paper proposes plans such as strengthening the resource utilization of sludge, optimizing treatment processes, and establishing heavy metal monitoring systems, aiming to reduce the harm of heavy metal pollution to the environment and public health, and provide references and directions for sludge treatment in refining and chemical enterprises.

## Keywords

Refining and chemical enterprises Sewage treatment plant Sludge; Heavy metal pollution Risk assessment Environmental governance Refining enterprises; sewage treatment plants; sludge; heavy metal pollution; risk assessment; environmental remediation

## 炼化企业污水处理厂污泥重金属污染现状及风险评估

杨会芳 祁舜斌 付眉佳 白梦梅 李晓辉

中国石油天然气股份有限公司庆阳石化分公司, 中国·甘肃 庆阳 745000

## 摘要

随着炼化企业迅猛发展,其污水处理厂产生的污泥问题愈发严峻,其中重金属污染尤为突出。重金属污染影响水体、土壤与大气,还可能沿食物链进入人体,威胁人类健康。本文聚焦炼化企业污水处理厂,剖析污泥重金属污染现状,探究常见重金属种类、浓度及来源。经对污泥中重金属环境风险评估,凸显问题严重性,且发现治理措施滞后。研究表明,此类企业污泥重金属含量普遍偏高。为此,本文提出加强污泥资源化利用、优化处理工艺、建立重金属监测系统 etc 方案,力求降低重金属污染对环境及公众健康的危害,为炼化企业污泥治理提供参考与方向。

## 关键词

炼化企业; 污水处理厂; 污泥; 重金属污染; 风险评估; 环境治理

## 1 引言

随着全球经济的快速发展和工业化进程的加速,炼化企业作为化工行业的重要组成部分,其污水处理厂产生的污泥污染问题日益突出。炼化企业的污水处理厂处理过程中的污泥,往往含有大量的重金属污染物,如铅(Pb)、镉(Cd)、铬(Cr)、砷(As)等,这些重金属具有很强的毒性和累积性,对环境及生物体造成长期的危害。污泥中重金属的污染不仅对水体和土壤造成污染,且当这些污染物通过食物链

传递时,对人类健康构成潜在威胁。

污水处理厂在进行废水处理过程中,产生的污泥量逐年增加,而当前对污泥的处理和处置仍处于初级阶段。许多炼化企业的污水处理厂污泥处理技术尚不完善,导致污泥中重金属的排放量居高不下,且污染防治措施较为滞后。当前,国内外对于污泥中重金属污染的研究多集中于对单一重金属的监测与分析,但针对炼化企业污水处理厂的综合治理措施和风险评估研究较为不足。因此,如何有效评估污泥中重金属污染的风险,提出科学合理的治理措施,已经成为亟待解决的重要课题。

本文旨在深入探讨炼化企业污水处理厂污泥中的重金属污染现状,分析不同重金属对环境和人体健康的影响,并

【作者简介】杨会芳(1977-),女,中国甘肃庆阳人,本科,工程师,从事分析检测、化工技术、安全生产研究。

结合风险评估模型,提出具体的治理对策,为提高污水处理厂的污染治理能力、减少重金属污染的扩散提供理论支持和实践参考。

## 2 炼化企业污水处理厂污泥重金属污染现状分析

### 2.1 污泥中重金属的种类和来源

炼化企业污水处理厂的污泥中含有多种重金属元素,常见的包括铅(Pb)、镉(Cd)、铬(Cr)、砷(As)、铜(Cu)、锌(Zn)等。每种重金属的来源不同,铅、镉、铬和砷等重金属元素主要来源于生产过程中所使用的原材料,如冶炼过程中加入的化学试剂、催化剂以及废水中的金属离子。在炼油过程中,原油及其衍生物在处理过程中可能释放出重金属,这些重金属随着污水排放进入污水处理系统,最终聚集在污泥中。

铅和镉主要来自炼油过程中使用的添加剂及催化剂残留物,铬通常来自某些化学过程中的金属还原反应,砷则可能来自原料中含有的砷化合物。铜和锌等金属也可能来源于燃料和催化剂等物质中的残留成分。

污水处理厂的不同工艺和处理方法会影响重金属的去除效果。一些传统的污水处理方法,如沉淀和过滤,可能不足以有效去除这些重金属,导致其浓度在污泥中积累。因此,污染物的来源和处理工艺的选择是影响污泥重金属污染水平的重要因素。

### 2.2 污泥中重金属的浓度分布

根据多项研究,炼化企业污水处理厂的污泥中重金属的浓度普遍偏高,尤其是铅、镉、铬等金属的浓度常常超过国家土壤污染标准。污泥中的重金属浓度受多种因素的影响,包括污水来源、污水处理技术、生产工艺等。

在实际检测中,许多污水处理厂的污泥中铅、铬、镉、砷等金属浓度超标问题严重。特别是在一些不采用高效重金属去除工艺的企业,污泥中的重金属浓度更为突出。这些高浓度的重金属不仅影响土壤质量,还可能通过风力或水流扩散,造成周围水体和空气的污染,进一步加剧了环境的污染风险。长期积累的重金属污染还会影响农作物的生长,通过食物链进入人体,导致慢性中毒,严重威胁人类健康。此外,重金属的扩散还可能破坏生态系统的稳定性,影响生物多样性。因此,必须加强对污泥中重金属的监测和治理,以减少对环境和公共健康的潜在威胁。

### 2.3 污泥中重金属污染的环境影响

污泥中的重金属污染对环境和人类健康的影响主要体现在以下几个方面:

**土壤污染:** 污泥中的重金属通过土地施用、非法倾倒等途径进入土壤,长期积累后,土壤中的重金属浓度会超标,影响土壤的微生物活性和植物生长,导致土壤环境的恶化。

**水体污染:** 当污泥中的重金属被雨水冲刷或通过水流

转移时,它们可能进入地下水或地表水体,造成水体污染。水体中的重金属不仅对水生生物产生毒害作用,还可能通过食物链进入人类食物中,危害人体健康。

**空气污染:** 污泥中重金属的蒸发和挥发可能对空气质量造成影响,尤其是在高温天气或污泥处理过程中,部分挥发性重金属成分会被释放到大气中,影响空气质量并危害人体健康。

## 3 污泥重金属污染的风险评估

### 3.1 重金属污染的风险评估模型

污泥中重金属的污染风险评估是根据其毒性、环境暴露水平和暴露途径等多因素综合分析得出的结果。常见的风险评估模型包括环境风险指数(ERI)、健康风险指数(HRI)和风险矩阵等方法。

**环境风险指数(ERI):** ERI是根据重金属的浓度、毒性系数和生态因子计算得出的环境污染风险指标。ERI值越大,表明该地区污染风险越高。

**健康风险指数(HRI):** HRI评估的是人群暴露于重金属后可能引发的健康风险,考虑了重金属的摄入途径、毒性以及长期积累效应等因素。

**风险矩阵:** 通过综合考虑不同因素(如浓度、暴露途径和受影响的生态环境等),构建风险矩阵,从而定量评估污泥中重金属的环境风险。

### 3.2 污染风险的评估方法与应用

通过上述评估模型,研究人员可以对不同类型的重金属污染进行量化分析,评估其在土壤、水体和空气中的迁移风险。对于炼化企业污水处理厂的污泥,可以通过监测其重金属浓度,并结合环境暴露量和风险系数,评估污泥处理后对环境和人体的潜在威胁。

三类主要的暴露途径包括:

**土壤吸附:** 污泥中重金属通过土壤吸附作用进入植物,进而影响农作物质量。此途径直接影响农田灌溉及农业生产,进而威胁人类食品安全。

**水体摄入:** 通过雨水或河流,重金属随水流进入饮用水源或灌溉水源,造成水质污染。

**空气传播:** 部分重金属污染通过空气扩散,尤其是在湿度较低的环境下,其颗粒物可能被风力携带到周围环境中。

## 4 污染治理与管理对策

### 4.1 污泥资源化利用

污泥资源化是处理污泥中重金属污染的有效途径之一。在当前环保要求日益严格的背景下,污泥的处理不再仅仅局限于去除污染物,更多的研究和实践开始侧重于污泥的资源化利用。通过优化污泥处理技术,如干化、热解和高温焚烧等,可以有效减少污泥中的重金属含量。干化技术通过将水分从污泥中去除,使污泥体积减小,从而减少了后续处理过程中的能耗,同时也能降低污泥中重金属的迁移能力。热解