

环保与安全 本栏目由中国化工防治污染技术协会协办

焦化污水的现代净化技术

计中坚 孟祥荣 尹承龙

(中国冶金建设集团鞍山焦化耐火材料设计研究总院, 鞍山 114001)

摘要:阐述了煤转化过程所产生的污水的特性以及在深度净化上存在的问题。针对存在问题,进行了生物脱氮及湿式催化氧化技术的研究,涉及反应机理、工艺路线的改进、技术经济分析及处理效果。并对致癌性物质 BaP 在焦化污水中的分布、存在形式以及净化措施作了探讨。

关键词:焦化污水;生物脱氮;催化湿式氧化;BaP 治理

中图分类号: X784; X703.1

文献标识码: A

Modern technology of purifying coking wastewater

Ji Zhong-jian, MENG Xiang-rong, YIN Cheng-long

(Anshan Coking and Refractory Engineering Consulting Corp., China Metallurgical Construction Group,
Anshan 114001, China)

Abstract: Features of wastewater from coal conversion process and existing problems in its deep purification were described. Technologies of biological denitrification and wet catalytic oxidation were studied in terms of reaction mechanism, process improvement, techno-economic analysis and application result. The distribution, form and treatment measures of carcinogenic BaP in coking wastewater were also reviewed.

Key words: coking wastewater; biological denitrification; wet catalytic oxidation; treatment of BaP

煤的高温及中温干馏、煤气净化以及化工产品精制过程中所产生的污水是一股污染物组成极复杂、浓度高、毒性大且难处理的工业污水。其主要来源有:①剩余氨水,它是煤干馏及煤气冷却过程产生的污水;②煤气净化过程产生的污水,如煤气终冷水和粗苯分离水等;③焦油、粗苯等精制过程及其他场合产生的污水。其中,剩余氨水占总污水量一半以上,也是氨氮主要来源。

焦化污水是从具有上万种组分的煤焦油及荒煤气等煤的干馏产物中分离产生出来的。这众多组分皆可按不同溶解度转入污水中。其中,不仅含有大量无机物,如氨、硫化物、氰化物、氯离子、硫氰离子以及硅、钙、铁、硼、镁、钾、钠、锆元素的化合物;而且,其所含的有机物更多。鞍山焦化耐火材料设计研究总院进行的焦化污水组成分析表明:污水中质量浓度大于 $1 \mu\text{g}/\text{L}$ 的有机物就有近千种。其中,不仅含有大量的酚、甲酚、萘酚等酸性有机物及吡啶、

苯胺、喹啉、咪唑、吡啶等碱性含氮有机物,而且还含有大量芳烃及诸如 BaP 等稠环芳烃(PAH)。

目前,焦化污水处理大多采用普通生化法。它虽然能有效地除去酚、氰,使之达到排放标准,对 COD(化学需氧量)的去除也有效。但是,随着人们对环境认识的不断深入,国家对环保的要求也日趋严格,它已难满足新的要求。在《污水综合排放标准》(GB8979—88)中规定,对新建厂,要求外排污水中的氨氮质量浓度小于 $15 \text{ mg}/\text{L}$ 。对排入重点保护水域的、具有致癌性的 BaP 一类污染物,要求装置排出口小于 $30 \text{ ng}/\text{L}$ 。由于焦化污水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及 BaP 等致癌性芳烃及稠环芳烃的大量存在,普通的生化处理工艺已不能满足环保要求。因此,必须开发适合国情,经济、有效的焦化污水深度净化技术。

鉴于此,鞍山焦化耐火材料设计研究总院在焦化污水处理上,除了加强工艺源头治理,采用煤气的脱硫脱氰净化工艺,大幅度地减少污水产生外,在焦

化污水的深度净化方面,还与有关单位合作开展了一系列研究,取得了具有实用意义的成果,且已在工程上推广应用。

1 焦化污水的生物脱氮^[1,2]

焦化污水中总氮量包括了氨氮、有机氮、氰、硫氰化合物、硝态氮等。其中氨氮占总氮量的 60% 以上,它以游离及固定氮两种形式存在。

由于我国大多数焦化厂目前尚未设置污水脱氮装置,估计全国仅机械化炼焦厂一项每年排入水体的氨氮约 17 000 t,造成受纳水体的严重污染。

污水脱氮可供采用的方法有:化学法,如折点氯化法、催化湿式氧化法等;物理化学法,如吹脱、蒸吹法、离子交换法等;生物法,如硝化-反硝化法和生物塘法等。目前国内外已在生产上应用的焦化污水脱氮工艺主要是生物硝化-反硝化法。

加拿大早在 20 世纪 70 年代便开始了焦化污水生物脱氮技术的实验室试验,80 年代英国 BSC 公司首先投入生产应用。近年来,法国的 Lorfont、德国的 Kalsersstuhl 以及澳大利亚 New South Wales 焦化厂的生物脱氮装置相继投产。

目前生物脱氮常用工艺有 A/O、A²/O、及 A/O SBR(序批式处理)型工艺,在生产上常用的是 A/O 工艺。

在我国,80 年代开始实验室研究。鞍山焦化耐火材料设计研究总院与有关单位分别于 1989 年、1991 年完成了改进型 A/O 生物脱氮工艺的小试与工业性试验,取得了很好的效果。随即,鞍山焦化耐火材料设计研究总院设计的、总规模为 6 000 t/d 的宝钢焦化污水 A/O 生物脱氮生产装置先后于 1993

年、1994 年投入运行,各项参数均达到设计要求。

工业性试验及大型生产装置操作参数如表 1 所示。

表 1 工业性试验及大型生产装置处理结果

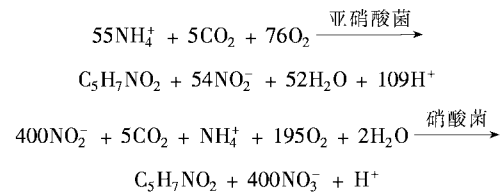
项 目	平均去除率/%			平均出水质量浓度/mg·L ⁻¹			
	BOD	COD _{Cr}	NH ₃ -N	酚	CN ⁻	SCN ⁻	S ²⁻
工业性试验	98	90	98.8	0.08	0.14	0.5	0.76
生产装置	98	88	98.1	0.05	0.21	未检出	—

1.1 改进型 A/O 工艺生物脱氮反应过程^[3]

改进型 A/O 工艺基于好氧硝化及缺氧反硝化过程,将 NH₃-N 最终以氮气形式从水中脱除,其主要反应如下:

(1) 亚硝化与硝化反应

反应式为:



上述反应包括了 NH₄⁺ 及 NO₂⁻ 的氧化过程以及亚硝酸菌和硝酸菌的合成反应。硝化反应是在有氧环境中,由自养型好氧微生物完成。这类菌利用无机碳(CO₂、HCO₃⁻)作碳源,从 NH₄⁺ 和 NO₂⁻ 的被氧化过程中摄取能量以合成细胞物质。亚硝酸、硝酸菌不仅不需要有机养料,而且过多的有机质往往会对它们起抑制作用。

(2) 反硝化反应

反硝化反应是在缺氧条件下,由异养微生物完成,如反硝化杆菌等利用硝酸盐和亚硝酸盐中氮作

(上接第 42 页)

(2)和国内目前采用的复分解四步循环法生产硝酸钾相比较,减少了一个加料步骤,使工艺控制更简单,有利于实现生产装置连续操作。

(3)反应溶液中加入助剂 N,使助剂 N 始终保留在母液中循环,该助剂 N 的加入,使溶液中硝酸钾结晶率提高了 20% 以上,同时,减少了产品中复盐与固溶体的含量,在一定程度上降低了能耗。

(4)完全封闭循环生产,无任何“三废”污染,是绿色环保工艺。该工艺原料利用率高,生产成本低,社会效益与经济效益显著。

(5)所得农用硝酸钾产品达到并超过国外农用

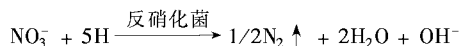
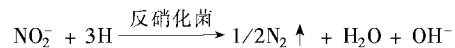
硝酸钾标准,副产品氯化铵 K₂O 和 N 含量达到 28% 以上,是一种农业上畅销的农肥。

(6)国内目前采用的复分解四步循环法生产硝酸钾,如果改用本方法生产,设备与流程基本不做改动,但综合生产成本有较大下降。

参考文献

- [1] 李天文等.相图分析在复分解法硝酸钾生产中的指导作用[J]. 泸天化科技,1999(3):177~181
- [2] 张昱等.农用硝酸钾与氯化铵联产新工艺[J].化肥工业,1998(5):25~27
- [3] 沈晃宏等.万吨级硝酸钾生产装置[J].海湖盐与化工,2000(5):20~23 ●

为电子受体,将其还原成氮气。有机物作为碳源、氢源和电子的供体而被氧化降解,提供能量供细菌增殖。其主要反应如下:



1.2 工艺流程及其特点

改进型 A/O 工艺流程如图 1 所示。设计上,反硝化段采用半软性填料式生物膜反应器,硝化段系悬浮污泥系统,回流采用内循环系统。为了进一步降低生化出水 COD_{Cr} 值,故增设了投加聚合硫酸铁 (PFS) 的后混凝处理装置。

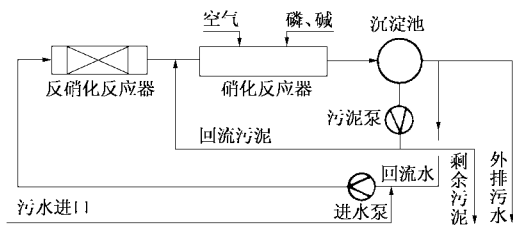


图 1 改进型 A/O 工艺示意流程

生产性试验在以下工艺条件下进行:反硝化段、硝化段的水力停留时间分别为 10~15 h 及 20~25 h,硝化段碱度 50~150 mg/L,硝化液回流比 3~5,污泥龄 50~100 d。其进出水指标如表 2 所示。从表 2 中参数可见,各项目出水水质除 COD_{Cr} 外,其余皆符合国家的《污水综合排放标准》。当生化出水再经投加 PFS 混凝,沉淀后出水 COD_{Cr} 可降至 100 mg/L 以下,达到排放标准要求。

表 2 生产性试验结果

污染物	平均质量浓度/mg·L ⁻¹		去除率/%
	进水	出水	
COD _{Cr}	1700	170	90
BOD ₅	695	8.2	98
酚	219	0.08	99.96
NH ₃ -N	395	4.7	98.8
有机氮	120	7.5	93
CN ⁻	4.2	0.14	96.7
SCN ⁻	321	0.5	99
总氮	597	143	76
油	14	6.8	61.7
S ²⁻	13.6	0.76	93.4

生产实践表明,本工艺有以下特点:

(1)反硝化段采用半软性填料,不设置机械搅拌装置,节省动力消耗。再者,反硝化段利用原料污水中有机物作碳源,不需要外加碳源,减少操作费用。缺氧反硝化反应对污染物具有较高的降解效率。例如,通过反硝化段,BOD₅、COD_{Cr} 分别去除 66%、38%;SCN⁻、酚、有机氮和硫化物分别降解 59%、62%、36%和 82%。所以这是一种经济、高效、节能的降解工艺。

(2)反硝化段采用生物膜反应器,保持了污泥的高浓度(质量浓度约 10 g/L)。另者,由于形成较稳定生物膜,反硝化段具有较好的耐负荷冲击性。进水水质在一定波动范围(30%~50%)内仍能基本维持稳定运行。采用专利技术,在硝化段投加生长素,有利于促进硝化反应,又保持了较高的污泥浓度(6~8 g/L)。由于两段反应器内均持有较高污泥浓度,故各项容积负荷值均较高。例如,硝化段、反硝化段其容积负荷分别为:NH₃-N 0.5~0.7 kg/(m³·d)和 NO_T 0.6~0.8 kg/(m³·d)。

1.3 技术经济分析及工艺改进途径

A/O 工艺应用于焦化污水脱氮,在国内外已成为先进、可靠的技术,正在推广应用。对改进型 A/O 工艺的可行性研究表明,此种工艺基建投资较普通生化处理约高 30%左右,但其操作费用却要增加 60%~80%。从表 3 操作费用分析可知:费用的增加主要由于硝化反应碱耗造成,约占 50%。降低操作费用将成为改进这一工艺的关键。

表 3 操作费用分析表

原材料		动力		车间经费	工资及附加费
合计	其中 Na ₂ CO ₃	合计	其中电力		
59	49	11.8	5.0	24.1	5.1

研究表明,改进工艺主要有以下途径:

(1)加强工艺源头治理。氨氮主要来自蒸氨废水,目前蒸氨废水含氨氮在 400 mg/L 左右,若蒸氨工艺增设脱固定氨设施,并适当增加蒸氨塔塔盘数,以提高吹蒸效率,可使蒸氨废水中氨氮降至 150 mg/L 左右,从而大幅度降低氨氮硝化过程中碱耗量。

(2)适当增加原水碳氮比,以提高反硝化率。由于 NO₃⁻ 反硝化还原过程是产生碱过程,即每克 NO₃⁻ 被反硝化可产 3.57 g 碱,提高反硝化率就可提高产碱量,从而减少总的碱耗量。不仅如此,提高碳

氮比还是提高全过程总氮去除率的关键。

但是,由于焦化污水碳氮比不足,其 BOD₅ 与总氮比值仅 1.5 左右,而完全反硝化要求比值在 3 左右。因此,目前 A/O 工艺反硝化不完全,总氮去除率受限。这也使反硝化产碱减少,总碱耗过大。为此,除了降低进水中 NH₃-N 外,工艺上宜不设剩余氨水溶剂脱酚装置,使原污水中增加含酚量,提高 BOD₅ 值。采取上述措施后可使原污水中碳氮比大于 2,总的碱耗量可望减少 50% 以上,总氮去除率可能提高至 70% 左右。

(3) 采用 NO₂⁻ 途径进行硝化-反硝化。由硝化-反硝化反应方程式可知,采用此途径,一则可减少硝化耗氧量(实际上可减少 25% 左右),另则可减少反硝化过程的有机碳消耗量(约减少 40% 左右)。因而,在同样碳氮比下,提高了反硝化率,可达到一举两得的效果,一是提高了总氮去除率,二是提高了反硝化过程的产碱率,使总碱耗量减少。但外排水中 NO₂⁻ 需转化为 NO₃⁻,以免次生污染。故工艺上改为 A²/O 流程,或采用 SBR 流程。

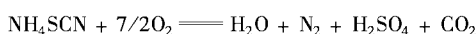
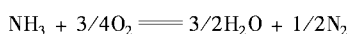
(4) 采用廉价碱源。以 NaOH、焦油车间废碱液等取代目前常用的 Na₂CO₃ 以降低处理费用。

2 焦化污水的催化湿式氧化^[4]

该法是污水在高温、高压下保持在液相状态下,通入空气,通过催化剂作用,对污染物进行较彻底的氧化分解,使之转化为无害物质,从而使污水得到深度净化的方法。催化湿式氧化法是 20 世纪 70 年代发展起来的新工艺,它是在普通湿式氧化法,即齐默尔曼(Zimmerman)法基础上发展形成。日本大阪煤气公司(Osaka Gas Engineering Corp)于 20 世纪 80 年代完成了半工业性试验。鞍山焦化耐火材料设计研究总院与中科院大连化物所于 1992 年完成了包括焦化污水在内的含高浓度有机物及氨氮污水的催化湿式氧化小型连续性试验。试验采用了自行研制的有别于国外的新型、高效、双组分催化剂,该工艺用在焦化污水上取得了较理想的效果。

2.1 反应机理

污水中氨氮、氰、硫氰化合物、有机物等含氮化合物经氧化分解最终生成 N₂、CO₂、SO₄²⁻ 等,其主要反应式如下:

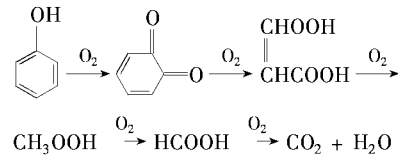


酚类、烃类以及一般构成 BOD₅、COD 的组分,经催化湿式氧化后也生成 CO₂ 和 H₂O 等,如酚的分

解:



其反应过程如下:



2.2 工艺过程及条件

高浓度污水不经稀释,按反应要求加入 NaOH 调节 pH 值在 10 左右,并用泵加压至约 7.0 MPa,再导入空气。气液混合物经换热及管式加热至 250 ~ 290℃ 后入催化反应器。水中污染物与空气中氧催化氧化分解,反应空速保持在 1 ~ 2 h⁻¹,反应产物经换热、冷却及气液分离后外排。净化后污水可供回用或直接外排,尾气中不含有害成分可直接排向大气,其工艺流程如图 2 所示。

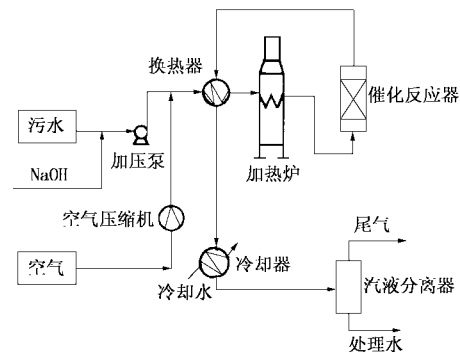


图 2 催化湿式氧化工艺流程图

2.3 处理效果

经催化湿式氧化处理后,水中溶解性及悬浮状污染物得到较彻底的氧化分解,达到深度净化的要求。同时,又可使污水达到脱色、除臭、杀菌的目的。焦化剩余氨水及古马隆污水等,经一次催化湿式氧化,其出水各项指标均可达到排放标准,符合回用要求。

采用国内研制的新型高效双组分催化剂(贵金属与稀土元素)在反应压力为 8.0 MPa、温度 280℃、空速 1.0 h⁻¹ 时,对焦化的剩余氨水(未经蒸氨等处理)取得了如表 4 所示结果。

表 4 湿式催化氧化处理前后的剩余氨水水质

	COD _{Cr} /mg·L ⁻¹	NH ₃ -N 质量浓度/mg·L ⁻¹	pH 值
原污水	6305	3775	9.8
处理后水	32	5	7

由表4可见,污水中各污染组分得到了彻底分解。通过气相色谱分析,污水中稠环芳环(PAH)也开环分解,如BaP的分解率大于98%。试验同样表明,普通湿式氧化尽管在近似反应条件下,但对NH₃-N及PAH分解效率极低,故催化剂似有必要。

2.4 应用

催化湿式氧化工艺经一次反应后不仅可彻底去除污水中酚、氰,而且对NH₃-N及PAH也取得理想分解效果。试验表明它对其他煤转化污水如古马隆、煤气化及中温干馏污水等均具有较好分解效率。同样,它对染料、高浓度印染污水等也具有较好的净化效果。

由于反应是在较高温度、压力下进行的,要求设备耐高温、耐腐蚀,所采用催化剂也较昂贵,故基建投资较高。至于操作费用,虽较高,但由于其直接对原料污水进行一次净化即可,省去了大量工艺预处理费用,如蒸氨、溶剂脱酚等,故与目前处理全过程的总费用相比,其处理费用相当或仅稍高于普通处理工艺(全过程)。但较污水焚烧处理成本要低得多,且其出水水质要比生化处理好得多。

虽然湿式氧化过程要在高温下进行、需加热,但反应过程却是氧化放热反应,当原污水COD_{Cr}大于10 000 mg/L,则热量可自身平衡。其操作费用主要由基建折旧及催化剂消耗形成。

综上分析,该工艺对于低浓度污水虽不合适,但对高浓度且难生化降解的有机污水、废液,不失为较理想的处理工艺。

3 焦化污水中BaP的分布及治理对策

BaP(3,4-苯并芘)系国际癌病研究机构(IARC)确定为对人类有致癌性(2A)的有害物质。

焦化污水中含有较多BaP,虽经生化、混凝处理可去除其大部分,但目前污水处理工艺排水仍然严重超标,估计每年仅机械化炼焦厂排入水体的BaP约2 500 kg/a,给水体造成严重污染。尤其对于饮用水源构成严重威胁(饮用水标准中BaP小于10 ng/L)。

3.1 BaP的分布

(1) BaP在工艺污水中的分布

煤在高温干馏过程中产生的BaP,其大部分存在于占装煤量4%左右的高温煤焦油中,少量分布于煤气中。因此,从焦油氨水混合液中分离出来的剩余氨水中含有高浓度BaP,是焦化污水中BaP的主要来源。煤气净化过程中也产生少量BaP。焦化

污水中BaP的分布情况见表5。

表5 试验运行结果

污水排放源	BaP含量分布	
	范围	平均值
剩余氨水	1250 ~ 6327	3768
蒸氨废水(未经溶剂脱酚)	198 ~ 696	365
蒸氨废水(经溶剂脱酚)	72 ~ 240	189
洗氨富氨水	61 ~ 95	80
粗苯分离水	0.43 ~ 4.59	1.38
粗苯终冷水(脱硫脱氧工艺)	1.74 ~ 9.10	4.25
粗苯终冷水(未有脱硫脱氧工艺)	2.0 ~ 8.1	4.22

从BaP的特征看,由于其在水中溶解度极低,常温下仅0.05 μg/L,它虽难溶于水却可溶于焦油中。分析其在水中存在形态有3种:①以固态存在,可以其本身形成悬浮物存在,或被吸附于水中的污泥之上;②溶于油中,以悬浮油滴存在于水中或与油一起转溶于水;③以极小溶解度溶于水。

分析表明,焦化污水中的BaP以固态与液态存在于水中比例如表6所示。

表6 焦化污水中BaP质量分数

	%	
	分布于液相中	分布于固相中
剩余氨水	0.4	99.6
蒸氨废水	1.7	98.3

由此可见,焦化污水中BaP大部分以固态存在于水中。

(2) 焦化污水处理过程中BaP的分布

采用气相色谱和液相色谱法对焦化污水处理过程中多段水质分析表明:普通生化法及A/O生物脱氮法虽然对两环以下芳烃,尤其是两环以下杂环化合物如吡啶等有机物具有一定降解能力外,对两环以上,尤其对稠环芳烃(PAH)基本上无降解性及开环现象。这表明:不能指望通过上述条件下的生物化学反应过程有效地去除水中BaP。

但是,污水生化处理,尤其是混凝处理过程,可使污水中BaP含量大幅度降低。例如通过生化过程可去除57%~77%,再以混凝可去除到90%~94%。分析其原因是由于生化过程中的活性污泥可大量吸附以固态存在的BaP以及溶于油滴中BaP随同油滴被附于污泥中,故在沉淀去除污泥过程中BaP也随即除去。通过分析污水处理各阶段的出水,以固态存在的BaP占污水中总BaP量的质量分数分别为调整池,98.3%;气浮,98.8%;生化,98.4%;混凝,81.0%;砂滤,65%。

可见通过去除污水中固相悬浮物就可有效去除水中 BaP,使其转入污泥中。这是致使污泥中大量含 BaP 的主要原因。

3.2 污水中 BaP 的治理对策

尽管生化及混凝过程可大量去除 BaP,但一般生化出水 BaP 的质量浓度仍有 6 ~ 30 $\mu\text{g}/\text{L}$,混凝后也还有 2 $\mu\text{g}/\text{L}$ 左右,还超标几十倍,故寻求经济、有效的去除污水中 BaP 仍是当前亟待解决的课题。

根据 BaP 在水中的难溶性以及化学稳定性,并在试验研究的基础上提出以下初步治理对策:

(1) 鉴于 BaP 的难溶性,其在水中主要以固态悬浮状存在,故可从工艺源到污水处理各阶段加强沉淀分离过程,使其尽可能转入沉渣中。如生化后增设混凝及过滤过程,可去除 90% ~ 94% 的 BaP。再者,由于有效地去污泥中也可相应进一步降低出水 COD_{Cr} 值。需要注意的是由于 BaP 转入各段污泥中,使泥中含有大量 BaP(50 ~ 180 mg/kg)故应严禁污泥外排或作农肥,应返回炼焦煤中。

(2) 试验表明,污水混凝过滤后,再经活性炭吸附,可使 BaP 降至 0.05 ~ 0.10 $\mu\text{g}/\text{L}$,接近于排放标准。

(3) 催化湿式氧化可有效分解污水中 BaP,其去除率 > 98%,有望达到排放标准。

(4) 鉴于目前常用的污水处理工艺尚难使 BaP 达到排放标准,再者,焦化污水中不仅含 BaP,而且还含其他致癌性 PAH,具有潜在危害性。较为现实的处理途径是:改革煤气净化工艺,设置脱硫、脱氰措施,大幅度减少工艺排水量。另者,处理后污水通过送熄焦、锅炉冲渣或送冶金厂冲渣等渠道,消化、回用污水,争取焦化污水零排放。

4 结论

(1) 焦化厂污水的氨氮及以 BaP 为代表的 PAH 对水体污染已成为亟待解决的环保课题,必须进行从工艺源头到全过程的治理。

(2) 改进型 A/O 生物脱氮技术具有工艺简单、先进、可靠、效率高、适应性强等特点,已具备在工业上推广应用的条件。

(3) 进一步降低生物脱氮操作费用及提高总氮去除率应从改进工艺着手,增设脱固定氮等措施以减少氨氮排放提高污水中碳氮比。采用 NO₂⁻ 型进行硝化反硝化也是解决上述问题的重要途径。

(4) 催化湿式氧化工艺具有一次性彻底净化,出水全面达标(包括 BaP)的特点,对高浓度及能于生物降解污水具有实用价值。

(5) 焦化污水中 BaP 的分布主要以固体悬浮物形态存在。改进沉淀操作,采用混凝、吸附工艺可有效地去除 BaP,催化湿式氧化能对 BaP 等 PAH 进行彻底氧化分解。

(6) 改进工艺减少污水排放以及处理后污水的消化、回用,争取焦化污水的零排放具有深远意义。

参考文献

- [1] 陈凤冈,潘桂珉,计中坚,等.内循环 A/O 生物脱氮处理煤气废水影响因素的探讨[J].中国给水排水,1995(1):10 ~ 12
- [2] Stewen W, Dequierrecourt B, Wotrubert H, et al. The Challenge of meeting stringent demands for renolval[C]. Ind Internation Coke-making Congress. Esser, Germany, 1992
- [3] 钱易,米祥友,等.现代废水处理新技术[M].北京:科技出版社,1993
- [4] 木本实美,原田吉明,上田僚则,等.催化湿式氧化法的各种产业废水的应用[J].芳香族化学会刊,1984,36(7/8):161 ~ 172

科技期刊方阵双奖期刊名单

- | | | | |
|-------------------|------------------|---------------|-----------|
| 1 力学学报 | 15 中医杂志 | 29 中国人口、资源与环境 | 44 电工技术杂志 |
| 2 林业科学 | 16 汽车与驾驶维修 | 30 环境导报 | 45 电子世界 |
| 3 中华外科杂志 | 17 无线电 | 31 科学学与科学技术管理 | 46 金属热处理 |
| 4 煤炭学报 | 18 农村百事通 | 32 中国科技论坛 | 47 图书情报工作 |
| 5 生理学报 | 19 大众医学 | 33 天然气工业 | 48 中草药 |
| 6 华中理工大学学报(自然科学版) | 20 航空知识 | 34 油气储运 | 49 地理学报 |
| 7 红外与毫米波学报 | 21 少年科学画报 | 35 计算机应用 | 50 地质学报 |
| 8 现代化工 | 22 地震学报 | 36 电子技术应用 | 51 环境科学 |
| 9 中国兽医科技 | 23 大连理工大学学报 | 37 国际航空 | 52 工程机械 |
| 10 新建筑 | 24 中华肿瘤杂志 | 38 中国水利 | 53 化学通报 |
| 11 机电电传动 | 25 生物化学与生物物理进展 | 39 中国骨伤 | 54 计算数学 |
| 12 特种铸造及有色合金 | 26 湖南师大学报(自然科学版) | 40 纺织导报 | 55 科技导报 |
| 13 稀有金属材料与工程 | 27 生物化学与生物物理学报 | 41 兵器知识 | 56 农业机械 |
| 14 中国新药与临床 | 28 自然科学进展 | 42 中国石油文摘 | 57 橡胶工业 |
| | | 43 石油勘探与开发 | 58 数学学报 |