

文章编号: 1674-2869(2016)04-0410-05

三氯甲烷废水处理中试装置的仿真软件设计

金焰¹, 汪志², 张莉^{2*}, 武建芳²

1. 黄石市环境保护监测站, 湖北 黄石 435000;

2. 武汉工程大学化学与环境工程学院, 湖北 武汉 430074

摘要: 针对三氯甲烷废水处理中试装置, 应用C++集成环境(Qt 5.2.1)对其进行仿真计算软件开发设计。从图形界面和逻辑代码两个方面, 研究了装置中主要设备、操作参数、结构尺寸、处理效率等模块的关联性; 并将所开发的仿真计算软件在三氯甲烷废水处理实验中进行了应用。结果表明: 所开发的三氯甲烷废水处理软件计算准确, 计算偏差在0.005 mg/L以下; 所开发的仿真软件在界面操作方面具有简明、方便的特点, 可通过下拉菜单进行设备操作参数的选择和输入, 并能灵活地运用文本框进行参数的调整。

关键词: 三氯甲烷废水; 中试装置; C++集成环境(Qt 5.2.1); 仿真软件

中图分类号: X703.3 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1674-2869.2016.04.018

Exploration of Simulation Software Design of Pilot-Plant of Chloroform Wastewater Treatment

JIN Yan¹, WANG Zhi², ZHANG Li^{2*}, WU Jianfang²

1. Environmental Monitoring Station in Huangshi, Huangshi 435000, China;

2. School of Chemistry and Environmental Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China

Abstract: The simulation software of the pilot-plant of chloroform wastewater treatment was designed by using C++ integration platform (Qt 5.2.1). The relevance of the pilot-plant's modules such as main devices, operating parameters, structure size, and treatment efficiency was studied from aspects of graphic interface and logic codes. And the simulation software was applied in the pilot-plant experiment of chloroform wastewater treatment. The results show that the calculation results of the software is accurate, and the deviation is less than 0.005 mg/L. This simulation software is concise and convenient in interface operation, by which the parameters of the pilot-plant can be selected and input in the pull-down menu, and adjusted flexibly using the textbox of the interface.

Keywords: chloroform wastewater; the pilot-plant; C++ integration platform (Qt 5.2.1); simulation software

1 引言

三氯甲烷废水的来源主要是机械制造、电子元件清洗、皮革和干洗行业及化工企业(如农药、油漆)等^[1]的废水。三氯甲烷作为“三致”(致癌、致畸、致突变)物质^[2], 严重威胁到人类健康, 被各国列为优先控制的污染物。

氯代烃废水其易挥发性、难降解性以及危害

性^[3], 使得国内外学者对环境中氯代有机污染的控制和治理开展了广泛的研究。其治理方法大致可归纳为^[4-7]: 化学法(化学氧化、化学还原)、物理法(气提、吸附、萃取等)和生物法(好氧降解、厌氧转化、共代谢)。

本文根据吴鹏^[8]的小试基础研究, 以三氯甲烷废水为研究对象, 采用“萃取+生物”组合装置, 对其进行处理与研究。针对中试装置开发设计了仿

收稿日期: 2016-05-17

作者简介: 金焰, 硕士, 高级工程师。E-mail: 2661352993@qq.com

*通讯作者: 张莉, 硕士, 教授。E-mail: dygzhangli@163.com

真软件,分析了各单元的处理流程,将软件计算结果与实验测定结果进行对比,计算偏差在0.005 mg/L以下,说明仿真软件计算的准确性高。将实验装置及其仿真计算软件成功地应用于三氯甲烷废水的处理中,将为国内三氯甲烷废水的处理提供中试参考的依据。

2 中试装置工艺流程

中试装置采用“萃取-生物”一体化协同净化的处理工艺,主体包括立式撞击流反应器、油水分离装置、萃取剂再生分离装置、冷凝装置、生化处理装置、各连接管路等,如图1所示。

工艺中的关键技术在于萃取工段,对应于装置中的立式撞击流反应器。撞击流是在过撞击点平分线垂线正、反方向上具有一定动量通量的两股包含或不包含分散相的连续流体相向流动撞击的流动结构。两股高速两相流撞击结果,形成了一个高度湍动、颗粒度最高的撞击区,为强化热、质传递提供了极好的条件。

通过管道射流器,向含氯代有机污染物废水按比例投加萃取剂定制油,混合后的油水混合相进入立式撞击流反应器,进一步混合萃取;萃取后的混合相进入油水分离装置进行油水分离,水相(重相)从下部流出,油相(轻相)从上部流出;分离出的油相萃取剂,进入萃取剂再生分离装置,进行加热处理,使得其中的含氯有机物从萃取剂中蒸发出来,达到萃取剂回收的目的;蒸发出的含氯有机物,经过冷凝装置,进行收集,避免其进入大气环境中;从油水分离器中分离出的水相,其中的甲烷氯化物经萃取后质量浓度降到生物耐受范围之内,因此后续废水可采用生物法,在生化处理装置中进行处理。

装置中废水走向:污水储存罐→流量计→立式撞击流反应器→油水分离装置→生化处理装

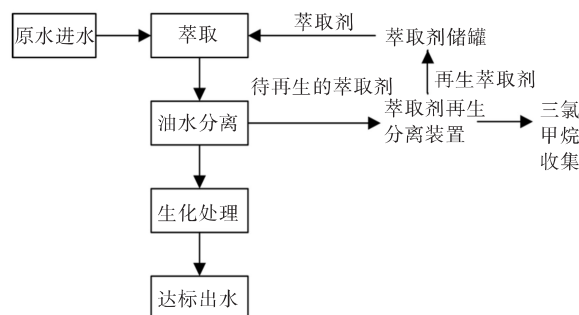


图1 三氯甲烷废水处理中试装置工艺流程

Fig. 1 Technological process of the chloroform wastewater pilot-plant

置→出水

装置中萃取剂走向:萃取剂储罐→流量计→立式撞击流反应器→油水分离装置→萃取剂再生分离装置→萃取剂储罐

3 中试装置仿真软件的设计

根据装置结构尺寸、处理效率等试验参数,应用C++集成开发环境(Qi 5.2.1),开发出了具有可视化界面的仿真计算软件。软件分为两个部分进行设计,分别是逻辑部分和图形界面。

3.1 逻辑部分

逻辑部分可分模块进行,各单元模块之间互相独立,可以分开设计,各单元模块的设计也没有严格的先后顺序。各个单元模块都设计好之后,将它们进行组合,从而完成整套装置的仿真设计。每个单元模块又分为2~3个分模块,每个分模块中都含有一组输入和一组输出。

在代码的构造上,应用C++中的类的概念可以将各个单元划分成为单独的模块,即一个模块对应着代码里的一个类^[9]。C++里的类将代码分隔成分离的部分,并且不同的类可以由不同的人分别进行编码工作,分别编译,最后再将各编译结果合在一处进行链接就可生成可以执行的EXE文件。

图2为中试装置仿真软件的结构图。

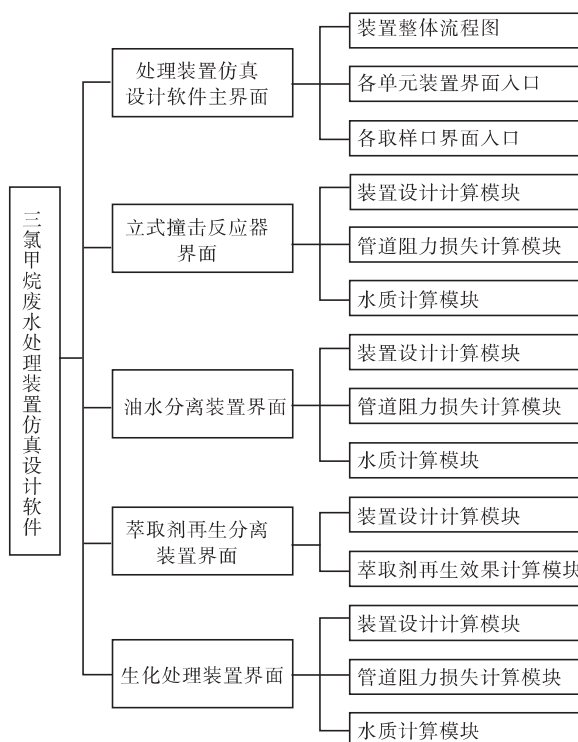


图2 中试装置仿真软件结构

Fig. 2 Structure of simulation software of the pilot-plant

3.2 图形界面

图形界面分为用户输入界面和结果输出界面。用户输入界面接受使用者设定的参数,并将其传递给逻辑模块进行运算;结果输出界面从逻辑模块接受运算结果,并将其以图形化的方式展现。中试装置仿真计算软件界面包括:主界面和子窗体界面。

图形界面的设计采用C++集成开发环境(Qt 5.2.1)设计。Qt可以方便地设计出windows风格的图形界面,可以很容易地设计出窗口、对话框、按钮、下拉框、文本框等界面元素,并且能够灵活地响应鼠标操作和键盘输入,达到了界面友好、直观、操作简便的效果。为了展示各单元装置的工作流程,各单元图形界面中载入了单元装置模拟运行的动态图片。

4 中试装置仿真软件的应用

按照上述软件的逻辑结构将中试装置仿真软件分模块进行设计,所设计软件包含的单元有:立式撞击流反应器、油水分离装置、萃取剂再生分离装置、生化处理装置等单元。

将设计完成的仿真软件应用于中试装置。下面针对中试装置仿真软件中的3个关键单元分别进行介绍,并将仿真软件的计算结果与中试实验检测结果进行对比,以检验仿真软件计算的准确性。

4.1 撞击流反应器

通过管道射流器,向含氯代有机污染物废水按比例投加萃取剂定制油,混合后的油水混合相进入立式撞击流反应器,进行混合萃取。

图3是装置中的立式撞击流反应器的仿真计算程序中管道计算程序的流程图;图4为立式撞击流反应器的仿真计算效果图。

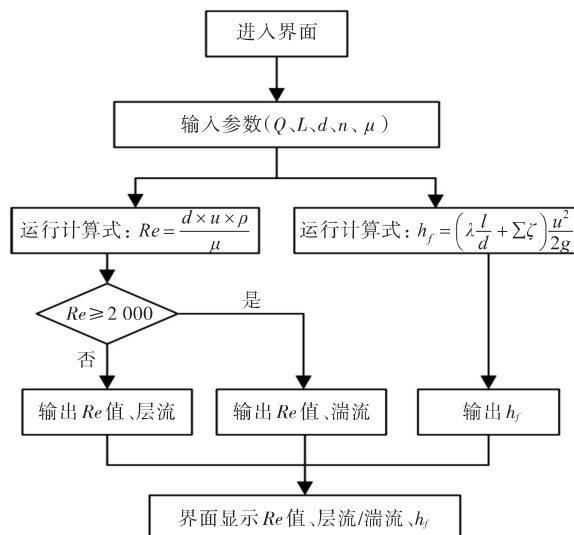


图3 立式撞击流反应器管道计算程序流程图

Fig. 3 Pipeline calculation flowchart of vertical impinging stream reactor

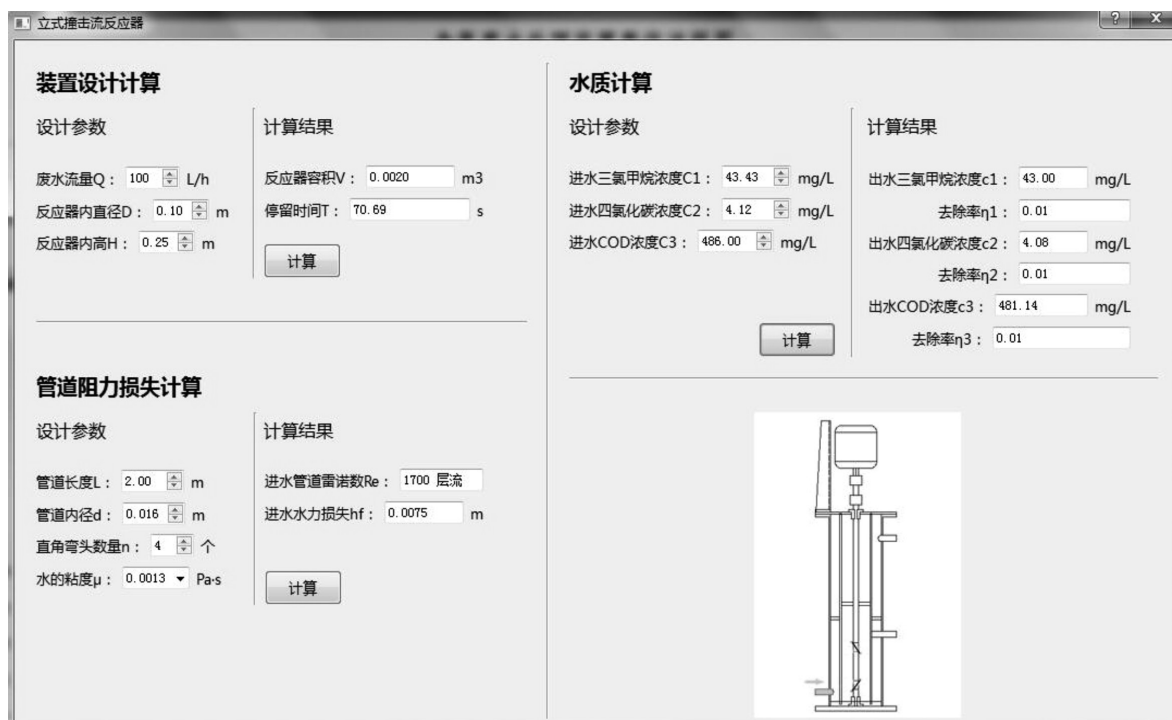


图4 仿真软件计算截图(立式撞击流反应器)

Fig. 4 Screenshot of simulation software (vertical impinging stream reactor)

4.2 萃取再生分离

经过油水分离装置分离出的油相萃取剂,进入萃取剂再生分离装置,进行加热处理,使得其中的含氯有机物从萃取剂中蒸发出来,达到萃取剂回收的目的.图5为装置中的萃取剂再生分离装置的仿真计算效果图.

4.3 生化处理装置

从油水分离器中分离出的水相,其中的三氯甲烷经萃取后质量浓度降到生物耐受范围之内,

因此后续废水可采用生物法,在生化处理装置中进行处理.图6为装置中的生化处理装置的仿真计算效果图.

表1与表2分别是萃取剂的不同投加量、不同进水浓度下的装置出水 CHCl_3 质量浓度对比表.可以看出,软件计算的出水 CHCl_3 质量浓度与实际检测的 CHCl_3 质量浓度基本一致,计算偏差在 0.005 mg/L 以下,所开发的仿真软件的计算准确性高.

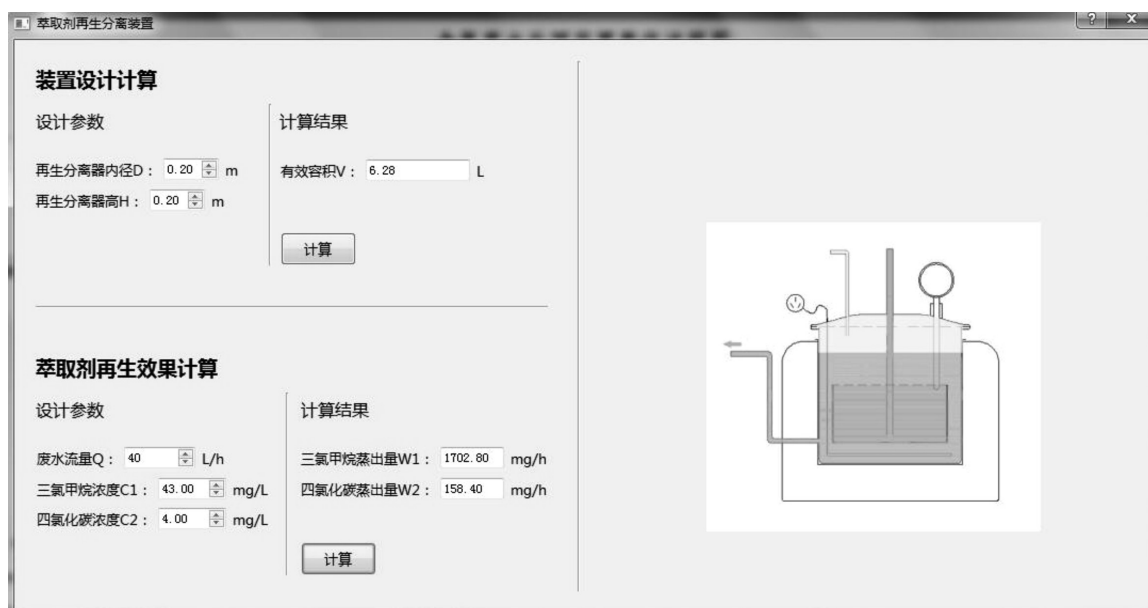


图5 仿真软件计算截图(萃取剂再生分离装置)

Fig. 5 Screenshot of simulation software (extractant regeneration and separation unit)



图6 仿真软件计算截图(生化反应器)

Fig. 6 Screenshot of simulation software (bio-reactor)

表 1 不同萃取剂投加量下的出水 CHCl₃质量浓度对比
Tab. 1 Comparison of CHCl₃ mass concentration of effluent at different dosages of extractant

dosages of the extractant/ (mL/min)	CHCl ₃ mass concentration of effluent calculated by software / (mg/L)	detected CHCl ₃ mass concentration of effluent / (mg/L)	deviation
6.0	0.051	0.054	0.003
8.0	0.071	0.073	0.002
10.0	0.069	0.066	0.003

表 2 不同进水浓度下的出水 CHCl₃质量浓度对比
Tab. 2 Comparison of CHCl₃ mass concentration in effluent at different mass concentrations of influent

CHCl ₃ mass concentration of influent/ (mg/L)	CHCl ₃ mass concentration of effluent calculated by software / (mg/L)	detected CHCl ₃ mass concentration of effluent / (mg/L)	deviation
22.53	0.050	0.049	0.001
43.43	0.051	0.054	0.003
51.67	0.181	0.184	0.003

注:本实验中 CHCl₃的检测根据《水质 挥发性卤代烃的测定 顶空气相色谱法》(HJ 620-2011),采用安捷伦 7890A 气相色谱仪进行测定。

Note: the detection of CHCl₃ is based on “Water quality-determination of volatile halogenated organic compounds-headspace gas” (HJ 620-2011), by using Agilent GC 7890A.

5 结 语

综上所述,经过该“萃取-生物”一体化协同净化装置的处理,出水中三氯甲烷的质量浓度可低至 0.05 mg/L,达到了《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)中一级标准 0.3 mg/L 的要求^[10];通过将软件计算结果与实验测定结果进行对比,计算偏差在 0.005 mg/L 以下,表明软件计算结果的准确性高。所开发的仿真软件在界面操作方便,通过下拉菜单进行参数选择和输入,可灵活地运用文本框进行设备、操作参数的调整,具有美观、简明、方便的特点。本文中三氯甲烷废水处理中试装置的运行结果,以及所设计的仿真软件在中试试验中的应用,将为国内三氯甲烷废水处理提供中试参考依据。

致 谢

感谢武汉工程大学化学与环境工程学院水污

染控制工程实验室对此研究的支持;感谢吴鹏对本研究的小试基础研究,对我们后续工作具有启发意义;感谢贺超对软件开发提供的技术支持!

参考文献:

[1] 吴亦霄,乔建江. 氯代烃污染控制方法研究进展[J]. 焦作大学学报,2014,6(2):87-90.
WU Y X, QIAO J J. Progress of pollution control of chlorinated hydrocarbons [J]. Journal of Jiaozuo university, 2014, 6(2): 87-90.

[2] 刘婷,刘鸣达,胡晓钧,等. 新型 TCAS 树脂吸附水中三氯甲烷研究[J]. 水处理技术,2010,4(4):67-70.
LIU T, LIU M D, HU X J, et al. Removal of aqueous chloroform by a novel TCAS-adsorbed resin [J]. Technology of water treatment, 2010, 4(4): 67-70.

[3] JAMES H. Quantifying environmental risk of groundwater contaminated with volatile chlorinated hydrocarbons [R]. Australia: Sydney digital theses, 2009 .

[4] 杨凤林,全燮,薛大明,等. 水中氯代有机化合物处理方法及研究进展[J]. 环境科学进展,1996,4(6):36-44.
YANG F L, QUAN X, XUE D M, et al. Advance of disposal of chlorinated organic compounds in water [J]. Advances in environmental science, 1996, 4 (6) : 36-44.

[5] 郑毅. 氯代烃污染地下水修复研究进展[J]. 广东化工,2012(10):142-143.
ZHENG Y. The research progress of repair of underground water contaminated by chlorinated hydrocarbons [J]. Guangdong chemical industry, 2012 (10) : 142-143.

[6] 张峰. 原位化学还原技术在氯代烃污染场地修复中的应用[J]. 上海化工,2015,10(10):16-18.
ZHANG F. Application of in-situ chemical reduction in remediation of chlorohydrocarbon contaminated site [J]. Shanghai chemical industry, 2015, 10(10): 16-18.

[7] 刘云,蒋仲安,王灿. 氯代有机物生物降解研究进展[J]. 环境科学与技术,2008,2(31):51-55.
LIU Y, JIANG Z A, WANG C. Progress on biodegradation technology of chlorinated organics [J]. Environmental science & technology, 2008, 2(31): 51-55.

[8] 吴鹏. 氯代有机污染物的物化生化协同净化作用及其机理的研究[D]. 武汉:武汉工程大学,2013.

[9] 龚静,李娟芳. C++语言程序设计[M]. 西安:西北工业大学出版社,2013.

[10] 国家环境保护局. 污水综合排放标准:GB 8978-1996[S].北京:中国环境科学出版社,1996.

本文编辑:陈小平