

磁絮凝污水处理装置的设计及实验验证

吕凤明¹ 朱武¹ 余增亮² 张发宇³ 叶瑞³ 杜海明⁴

(1. 合肥工业大学机械与汽车工程学院,合肥 230009; 2. 中国科学院离子束生物工程国家重点实验室,合肥 230031;
3. 合肥工业大学资源与环境工程学院,合肥 230009; 4. 安徽大学物理与材料科学学院,合肥 230039)

摘要 为了优化设计装置内部的结构,分别使用 Fe_3O_4 磁块和 NdFeB 磁块制作了 2 台简易装置进行实验。在实验中由于装置的结构和磁系会影响絮凝的过程,因此将磁盘厚度减到了 33 mm,提高了单位时间内流体通过磁盘的流量。在实用可行方面,设计了高效率的絮体助卸装置;2 块外磁盘只受单边磁力作用因而对其结构做了加强设计;并且设计了独特的磁盘位置调整机构,以便在实验中调整磁盘间距;装置使用变频调速控制能够及时调整磁盘的转速,从而保证分离的效果。在实际实验中验证了该装置的处理效果,经过处理的水体能达到国家三类水质标准。

关键词 磁絮凝体 分离装置 磁系 设计 试验验证

中图分类号 X703 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2010)02-0319-04

Design and test validate of a magnetic flocculation sewage treatment device

Lv Fengming¹ Zhu Wu¹ Yu Zengliang² Zhang Fayu³ Ye Rui³ Du Haiming⁴

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;
2. Key Laboratory of Ion Beam Bioengineering, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China;
3. School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;
4. School of Physics and Material Science, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract In order to optimally design internal structure of the magnetic disc, Fe_3O_4 magnet and NdFeB magnet were used respectively to manufacture two set of facility device for experiments. Because the device structure and the magnetic system influenced the flocculating process during the experiment, the disc thickness was reduced to 33 mm which improved the unit time flow while pass magnetic disc. In practicality and feasibility aspect, a more efficient removal set was designed. The outer disc only bore single magnetic force so the outer disc structure needed to be strengthened. The unique disc position adjusting sector was designed. Frequency conversion timing control was used to regulate disc rotate speed in time, thereby ensuring the separation effect. The experimentation practice validated the device function, the sewage treated by this device met the national third level water quality criterion.

Key words magnetic flocculation; separation device; magnetic system; design; test validation

磁分离技术是一门新兴的环境保护技术,国外从 20 世纪 70 年代开始进行研究以来,磁分离技术作为物理处理技术已在高岭土的脱色增白、煤的脱硫、矿石的精选、生物工程和酶反应工程等领域得到了广泛的应用,并成功地应用于城市工业废水和生活污水、废料、污染的河水、湖水以及饮用水的处理。自 20 世纪 80 年代我国开始了这一领域的研究^[1]。磁分离法按原理可分为磁凝聚分离、磁盘分离和高梯度磁分离法 3 种。按产生磁场的方法可分为永磁分离和电磁分离(包括超导电磁分离)^[2]。本文从节能、环保和实用可行等方面考虑,以稀土永磁型磁盘分离技术为基础,研制了一台磁絮凝体分离装置。

1 磁分离技术及设计

1.1 磁分离技术

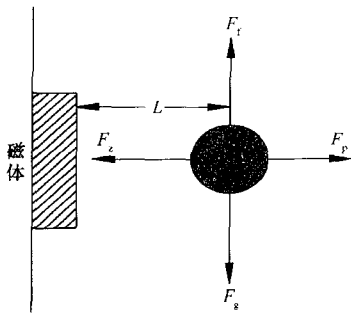
磁分离技术的物理作用基本原理就是通过外加磁场产生磁力,把污水中的磁絮凝体吸出,使之与污水分离^[3]。为了分析方便,我们把污水中微小的磁

基金项目:中国科学院合肥物质科学研究院院长基金项目
(200710190366)

收稿日期:2009-02-10; 修订日期:2009-04-17

作者简介:吕凤明(1982~),男,硕士研究生,研究方向:环保技术与设备制造。E-mail:deven622@163.com

性悬浮颗粒看作球形物体,磁性颗粒在静止流体中和磁场中受力分析如图1所示。



F_g —重力; F_f —浮力; F_p —流体阻力; F_z —磁力

图1 磁性颗粒的受力

Fig. 1 Magnetic particle force

由于磁场强度在垂直磁体表面方向的衰减作用会导致对磁性颗粒的作用力 F_z 随着距离 L 的增加而逐渐降低,我们结合实验比较和综合分析了 F_g 重力, F_f 浮力, F_p 流体阻力, F_z 磁力以及其他不确定的影响因素,最后得出了设计永磁磁系的2个关键因素:磁场强度和磁场梯度。

1.2 磁系设计

对于开放式非均匀磁系常见磁体布置有N、S极交替方式和同向聚磁方式排列。由于N、S极交替排列时,其缝隙边缘处磁场很强,磁场梯度大,磁场力强,能有效吸附磁絮凝体,絮体不易滑落,因此磁体采用了N、S极交替排列方式。磁路布置有双向阵列和“对头挤”阵列结构^[4],从“对头挤”阵列结构的磁力线分布、磁场强度等高线模拟图(图2(a))可以看出,磁力线被挤出磁盘间隙,磁盘间隙内有效磁场强度和梯度很弱,这种结构容易使絮体

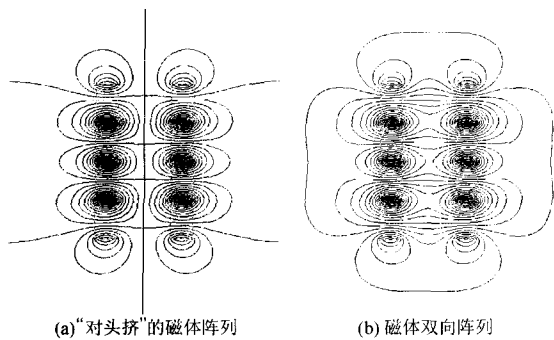


图2 “对头挤”的磁体阵列和磁体双向阵列磁力线分布

Fig. 2 Magnetic line distribution of extrusion head magnets array and two-way array of magnets

在磁盘外磁聚沉降。采用双向阵列结构的磁盘间隙内磁场强度和磁场梯度很强且等间距周期分布(图2(b)),有利于在磁场分布区吸引和捕获磁絮凝体。因此采用磁铁双向阵列结构磁路。

磁性材料的选择,通过分析和调研,确定有2种磁块基本符合实验要求即 Fe_3O_4 磁块和 NdFeB 磁块,我们首先选取2块 Fe_3O_4 磁盘在实际水槽中进行实验,结果发现其所产生的磁场不能完全提取水中的磁絮凝体,在提取过程中絮体滑落较多,经过理论计算铁氧体与钕铁硼(尺寸 $50\text{ mm} \times 50\text{ mm} \times 25\text{ mm}$)的性能^[5],比较结果如图3和图4所示。

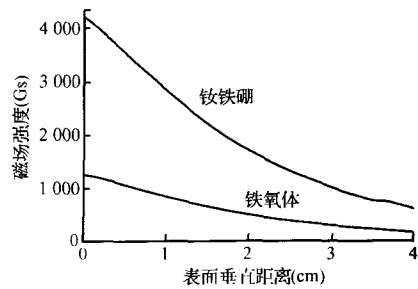


图3 Y30BH 铁氧体与 N38 钕铁硼磁场曲线比较

Fig. 3 Comparison of magnetic curves between Y30BH ferrite and N38 NdFeB

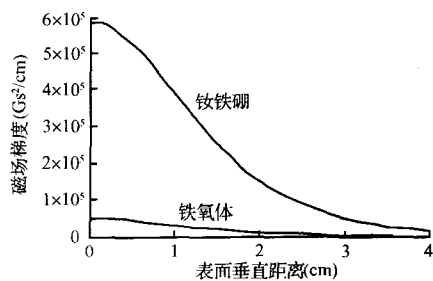


图4 Y30BH 铁氧体与 N38 钕铁硼磁场作用力曲线比较

Fig. 4 Comparison of magnetic force curves between Y30BH ferrite and N38 NdFeB

从图3和图4中的比较可以看出,N38 钕铁硼性能明显高于 Y30BH 铁氧体的性能,而且也制作了同样尺寸的磁盘在相同的水槽中实验,实际观察和检测处理后的水质远高于前期实验的水质。因此实验中选择了 N38 钕铁硼磁块。

2 磁絮凝体分离装置设计

2.1 磁盘结构的设计

根据实际使用要达到的效果分离装置的设计要

求为:磁盘为 5 块,直径为 1.5 m,使用尺寸为 50 mm × 50 mm × 25 mm 的磁块拼接成圆行面,磁盘各表面的平面度要求为 1 mm。在设计中磁盘采用如图 5 所示的结构。

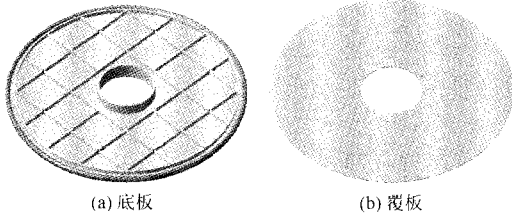


图 5 底板和覆板

Fig. 5 Motherboard and cover

底板中采用加强肋结构以保证在填充磁块后底板的强度,填充完磁块后将覆板和底板用铆钉^[6]连接然后磨平从而保证平面度符合要求。装配完的单

个磁盘表面磁场可达 4 000 ~ 4 200 Gs,磁盘间隙中间磁场可达 1 000 ~ 1 200 Gs。

2.2 磁盘装配结构及工作过程

按照上述方法制作 5 块磁盘装配在一起如图 6 所示。图 7 为制造完成的实体的照片。工作中的磁盘只需要按照实际检测得到的原水参数设置变频调速器的参数,就可以保证工作顺利进行。该装置的工作过程是:使用本实验室研制的经过改良的水处理剂,其中添加了特制的可循环利用的磁种,对污水进行磁絮凝,经过絮凝工艺产生的絮体,在流过该装置的时候由于永磁引力的作用,使得水中大量含弱磁性的絮体吸附在磁盘表面,吸附的絮体将随着磁盘一起转动脱离水体,然后通过安装的 V 形刮泥刀将絮体刮下,在助卸水流作用下流入卸料槽再进入后处理工序。

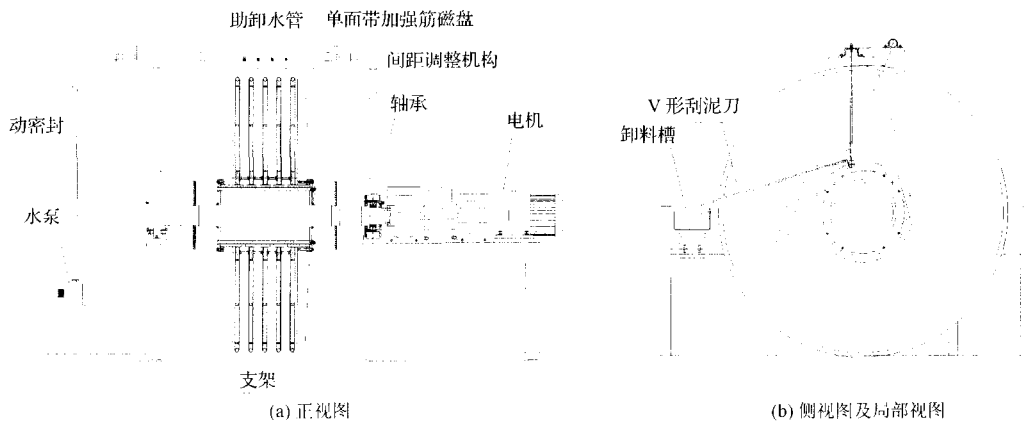


图 6 磁盘装配正视图、左视图及局部视图

Fig. 6 Disk assembly front view, left view and partial view

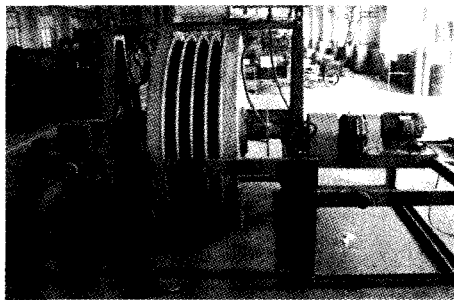


图 7 磁絮凝体分离装置照片

图 7 Entity of magnetic flocculation sewage treatment device

3 磁絮凝体分离装置实验及结果

实验工艺参数:实验槽道总长 20 m,宽 0.5 m,深 0.7 m;其中隔板水力混凝区长 5.23 m。絮凝总时间约 1 min 左右,污水在磁盘工作区仅停留 2 ~ 5 s,在磁盘分离区流速为 0.1 ~ 0.2 m/s;处理污水流量约 126 ~ 252 m³/h;磁盘转速为 1 ~ 1.5 r/min。实验的工艺^[7]流程如图 8 所示。

2008 年 06 月 29 日实验巢湖含藻水体水样主要水质指标和处理结果如表 1 所示。实验进水流速为 0.1 m/s,处理水量速度为 126 m³/h,磁盘转速为

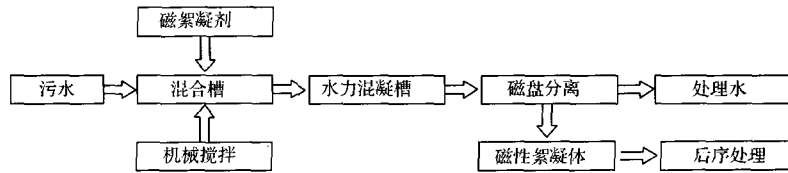


图8 磁分离法处理污水工艺流程

Fig. 8 Magnetic separation method of sewage treatment process

1.2 r/min, 经过磁絮凝体分离装置处理后, 出水水质基本达到国家三级排放标准(地表水环境质量标准 GB 3838-2002)^[8]。

表1 巢湖含藻水体主要水质指标和处理结果

Table 1 Main water quality indicators and treatment results of Chaohu algae-laden water

	叶绿素 a ($\mu\text{g/L}$)	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	COD (mg/L)	浊度 (NTU)
原水	3 876.8	4.47	2.42	1 321.5	1 288.5
处理后	25.4	1.28	0.106	42.5	5.1
去除率(%)	99.3	71.4	95.6	96.8	99.6

注:水质 pH 值为中性 7.1~7.2

2008年10月16日实验合肥市城市景观水水样主要水质指标和处理结果如表2所示。实验进水流速为0.05 m/s, 处理水量速度为63 m³/h, 磁盘转速为0.7 r/min, 经过磁絮凝体分离装置处理后, 出水水质基本达到国家三级排放标准(地表水环境质量标准 GB 3838-2002)。

表2 合肥市城市景观水主要水质指标和处理结果

Table 2 Main water quality indicators and treatment results of Hefei landscaping water

名称	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	COD (mg/L)	浊度 (NTU)	絮凝剂 (mg/L)
原水	3.61	0.114	132.67	128.5	200
处理后	0.97	0.046	31.64	4.2	-
去除率(%)	73.13	59.64	76.15	96.73	99.9

注:水质 pH 值为中性 7.1~7.2

4 结论

(1) 絮凝沉淀磁吸附方法能够迅速、快捷地从

根本上处理富营养化水体, 可将劣五类水质处理后达到地表水的三类水质甚至更好的标准。

(2) 主要创新点在于研制的磁絮凝体分离装置能够高效率地移出水体中的絮凝物, 从而使得富营养化水体中的氮磷藻含量不断减少达到了根治的目的。

(3) 在实际使用中验证了该装置的实用可行性, 并且该装置具有体积小和占地面积小, 能耗低, 处理效率高, 环保无污染等特点, 可用于湖泊富营养化藻水、城市景观水以及工业和城市生活污水等方面的处理。

参考文献

- [1] 郑必胜, 郭祀远, 李琳, 等. 磁分离技术处理食品发酵工业废水. 食品与发酵工业, 1999, 25(1): 74~76
- [2] 黄自力, 胡岳华. “磁种-高梯度磁分离”污水除磷技术的研究. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(5): 71~73
- [3] 孙巍, 李真, 吴松海, 等. 磁分离技术在污水处理中的应用. 磁性材料与器件, 2006, 37(4): 6~10
- [4] 孙绍斌, 张同昱. 磁选分离技术的设计思路. 西部探矿工程, 2003, 84(5): 46~48
- [5] 丁大正编著. Mathematica5 在大学数学课程中的应用. 北京: 电子工业出版社, 2006
- [6] 成大先主编. 机械设计手册(第三版第2卷). 北京: 化学工业出版社, 1994
- [7] 王利平, 何又庆, 范洪波, 等. 磁絮凝分离法处理含油废水的试验. 环境工程, 2007, 25(3): 12~14
- [8] 奚旦立, 孙裕生, 刘秀英, 合编. 环境监测(第3版). 北京: 高等教育出版社, 2004