

# 弧形筛在工厂化水产养殖系统中的应用及其净化效果

梁 友<sup>1</sup> 王印庚<sup>1</sup> 倪 琦<sup>2</sup> 刘志伟<sup>1,3</sup> 曲江波<sup>4</sup> 王秉心<sup>5</sup>

(<sup>1</sup> 农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

(<sup>2</sup> 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092)

(<sup>3</sup> 大连海洋大学, 116023)

(<sup>4</sup> 烟台开发区天源水产有限公司, 264006)

(<sup>5</sup> 山东莱州明波水产有限公司, 261418)

**摘 要** 通过对养殖池排出污水经过弧形筛前后几个重要水质指标(溶解氧、pH、盐度、氨氮、亚硝酸氮、硝酸氮、化学需氧量、生化需氧量、悬浮物)的变化, 评价了弧形筛对废水中固体废物的净化作用。结果表明, 弧形筛有效去除了废水中的固体颗粒, 筛除率高达 90%, 起到了很好的阻截固体污染物的作用, 同时增加了水体的含氧量, 提高了 pH 值, 降低了化学需氧量(COD), 为后续的水处理减轻了负荷。

**关键词** 弧形筛 工厂化养殖 水处理系统 净化

**中图分类号** S969.11 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2011)03-0116-05

## The application and purification effect of the arc screen in the factorized aquaculture systems

LIANG You<sup>1</sup> WANG Yin-geng<sup>1</sup> NI Qi<sup>2</sup> LIU Zhi-wei<sup>1,3</sup>  
QU Jiang-bo<sup>4</sup> WANG Bing-xin<sup>5</sup>

(<sup>1</sup> Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resources, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

(<sup>2</sup> Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200092)

(<sup>3</sup> Dalian Ocean University, 116023)

(<sup>4</sup> Yantai Tianyuan Fisheries Corporation, 264006)

(<sup>5</sup> Laizhou Mingbo Fisheries Corporation, 261418)

**ABSTRACT** With the rapid development of aquaculture industry, the pattern of mariculture is transferring gradually from the traditional methods to the intensive farming culture in China. All of that, one of the key issues is water treatment. This paper illustrates that the solid wastes from the waste water can be effectively removed by the arc screen. The conclusion is drawn on the comparison of several key parameters of water before and after filtering through the arc screen. The results showed that the arc screen played an important role in the removal of the

suspended substances at a removal rate of 90%. At the same time, the arc screen filtration process also increased pH and the concentration of the dissolved oxygen, and reduced the chemical oxygen demand, which would relieve the load of water treatment.

**KEY WORDS** Arc screen Intensive aquaculture Water treatment system Purify

随着水产养殖业的飞速发展,优质水资源被大量消耗,水资源匮乏已经成为影响未来我国水产养殖业的主要限制因素。一个优良的工厂化养殖系统,从养殖系统设计到生产运行与管理,直至产品上市,需要满足3个原则,即适用性、可靠性和经济性(Applicability, Reliability, Economy, ARE)(刘鹰 2007)。在先进科技的支撑下,我国的水产养殖业已由传统养殖逐步走向工厂集约化养殖模式(雷霖霖 2002)。海水工厂化养殖(尤其是全封闭高密度工厂化养殖方式)以现代高科技设备及先进的工艺技术为依托,运用生态学原理及环境监控技术为养殖生物创造良好的生态环境,即依靠各种设施装备及其相关技术,人为地模拟自然生态环境,甚至创建优于养殖生物原栖息地的超自然生态水环境的养殖技术(张明华等 2003;杜守恩等 2007)。海水封闭式养殖系统的关键技术是养殖废水的处理与循环利用,尤其是固体污染物的去除(雷霖霖 1999;刘鹰等 2004)。

工厂化高密度养殖单位水体的生物量多,产生的固体废弃物量很大,主要是养殖对象的粪便和残饵。其颗粒大小分布范围较广,大部分颗粒粒径为0.1~1.0 mm之间,密度为1.06~1.19 g/cm<sup>3</sup>,有机物含量占80%左右(张明华等 2003;马德林等 2007),是养殖水体的主要污染源。水处理系统首先要将它们及时清除,才能减轻后续工艺环节的负荷,防止堵塞,提高水处理系统的效率,降低成本。所以系统过滤性能的高低直接关系到后续工艺环节的负荷和整体净水效果。经过对多种类型的机械过滤设施装备进行性能和实用效果的综合对比、分析和研究,设计采用了弧形筛排污装置。

## 1 材料与方法

### 1.1 工作原理

弧形筛是一种能够分离固体颗粒物的金属网状结构设备,它具有很高的强度、刚度和承载能力。其工作原理如图1所示。养殖池排出水进入弧形筛后,在自重力的作用下,以一定的速度沿切线方向进入弧形筛网筛面,其流动方向与筛缝垂直。由于离心力的作用,使液流紧贴筛面做圆周运动(Johnson *et al.* 2006)。当液流从一根筛条流向另一根筛条的过程中,每根筛条的边棱都对液流产生切割作用(杨红卫 2007)。被切割后的残饵、粪便等,由于离心力的作用,透过缝隙,并在重力作用下,粒度小于筛缝

的部分从筛缝中排出,成为筛下物与清水进入生物滤池,而颗粒直径稍大于或接近于筛孔宽度尺寸的另一部分固体废物则留在筛面上成为筛上物,最终汇入集污槽。由于弧形筛的特殊结构,养殖池排水流经弧形筛面运动的方向与筛条垂直,每越过1根筛条时,液流与筛条侧面发生撞击,便有一部分水和细粒被分割到筛下去,这样液流逐渐变薄,最后大部分水和细颗粒物成为筛下物(杨忠高 1981;株洲化工厂技术科 1976;刘军 2008)。

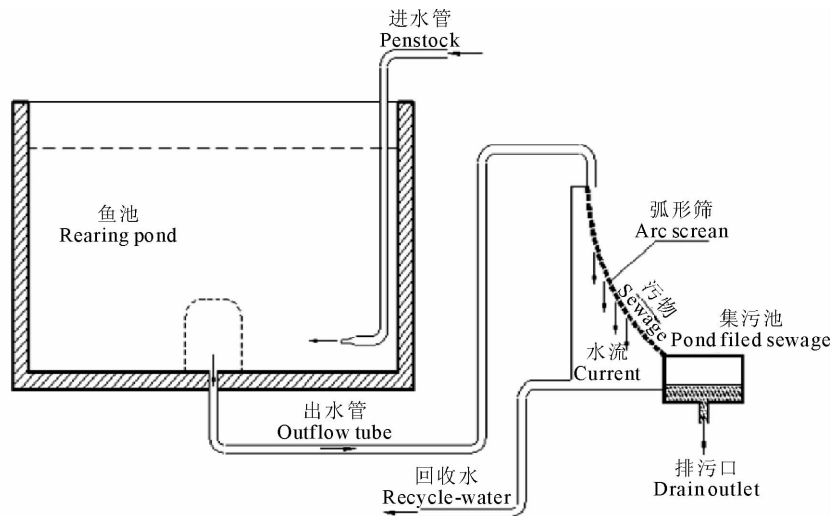


图1 弧形筛过滤装置

Fig.1 The schematic diagram of the arc screen

### 1.2 弧形筛的安装方式

试验在山东莱州明波水产有限公司的工厂化循环水养殖水处理车间进行,每个养殖池排水口处均安装了一个弧形筛,筛的弧度、筛条间隙等数据可根据生产的实际需要调整。

表 1 弧形筛单池安装尺寸

Table 1 The parameters of the arc screen installed at each tank

| 弧度直径<br>Diameter of radian<br>(m) | 高<br>Height<br>(m) | 弧长<br>Length of arc<br>(m) | 横长<br>Horizontal length<br>(m) | 宽幅<br>Breadth<br>(m) | 筛条间隙<br>Space of grizzly<br>( $\mu\text{m}$ ) | 过滤面积<br>Filter area<br>( $\text{m}^2$ ) | 过水量<br>Volume of water<br>( $\text{m}^3/\text{h}$ ) |
|-----------------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------|---|---|---|
| 2.66                              | 0.6                | 1.1                        | 0.9                            | 1.35                 | 225   | 1.48                                    | 50  |

### 1.3 水质测定

#### 1.3.1 仪器及设备

美国 YSI556 多功能便携式水质分析仪,用于测定水中溶解氧 DO、pH 值、温度 T、盐度 S;SpectroFlex6600 紫外可见分光光度计用于测定水质的氨氮  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ;Oxi-Top IS6WTW BOD 分析仪测定水质的生物耗氧量 BOD;亚硝酸盐氮  $\text{NO}_2-\text{N}$ 、硝酸盐氮  $\text{NO}_3-\text{N}$ 、固体悬浮 SS、化学需氧量 COD 分别用萘乙二胺分光光度法、锌-镉还原法、重量法、高锰酸钾氧化法来测定。

#### 1.3.2 测定方法

主要选择进水管口水、养殖池出水管处(经弧形筛之前)污水、通过弧形筛处理后的清水等几个点测定上述指标。

## 2 试验结果

本试验于 2009 年 4 月 23 日在莱州明波公司养殖车间进行,水泥池  $6\text{ m}\times 6\text{ m}$ ,池深 1 m,最高水位 0.7 m,有对角两个进水口,中央滤鼓排水,每天流量 10~12 个循环。试验车间采用在每个养殖池排水口处安装一个弧形筛处理水的方式。试验用鱼为健康的半滑舌鳎,平均体长 28 cm、平均体重 0.6 kg,养殖密度为  $20\text{ kg}/\text{m}^2$ 。

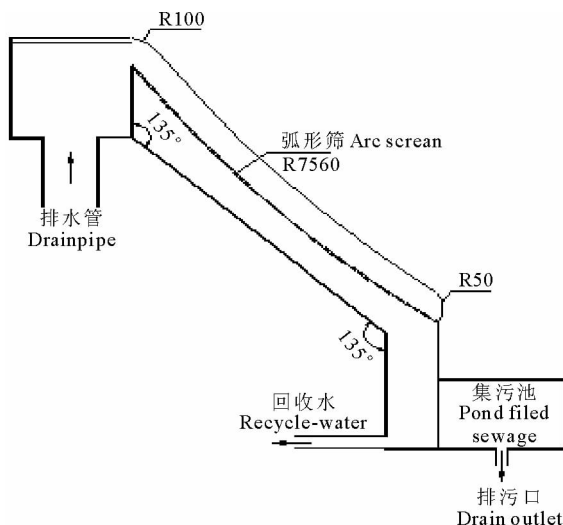


图 2 弧形筛单池

Fig. 2 Design of the arc screen installed at each tank

表 2 养殖池入水管水质各指标

Table 2 The quality parameters of the water in inlet

| 参数<br>Parameter | 溶解氧<br>DO( $\text{mg}/\text{L}$ ) | 酸碱度<br>pH | 温度<br>T( $^{\circ}\text{C}$ ) | 盐度<br>S | 氨氮<br>$\text{NH}_4-\text{N}$ ( $\text{mg}/\text{L}$ ) | 亚硝酸盐氮<br>$\text{NO}_2-\text{N}$ ( $\text{mg}/\text{L}$ ) | 硝酸盐氮<br>$\text{NO}_3-\text{N}$ ( $\text{mg}/\text{L}$ ) | 化学需氧量<br>COD( $\text{mg}/\text{L}$ ) | 生物需氧量<br>BOD( $\text{mg}/\text{L}$ ) | 悬浮物质<br>SS( $\text{mg}/\text{L}$ ) |
|-----------------|-----------------------------------|-----------|-------------------------------|---------|---|--|---|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 数据 Data         | 5.0                               | 8.0       | 14.7                          | 31      | 0.1   | 0.2  | —   | 15.0                                 | 2.0                                  | 0.2                                |

注:—,未测 Note:—,Not determined

表 3 养殖池出水管处(经弧形筛之前)水质各指标

Table 3 The quality parameters of the waste water in outlet before going through the arc screen

| 参数<br>Parameter | 溶解氧<br>DO( $\text{mg}/\text{L}$ ) | 酸碱度<br>pH | 温度<br>T( $^{\circ}\text{C}$ ) | 盐度<br>S | 氨氮<br>$\text{NH}_4-\text{N}$ ( $\text{mg}/\text{L}$ ) | 亚硝酸盐氮<br>$\text{NO}_2-\text{N}$ ( $\text{mg}/\text{L}$ ) | 硝酸盐氮<br>$\text{NO}_3-\text{N}$ ( $\text{mg}/\text{L}$ ) | 化学需氧量<br>COD( $\text{mg}/\text{L}$ ) | 生物需氧量<br>BOD( $\text{mg}/\text{L}$ ) | 悬浮物质<br>SS( $\text{mg}/\text{L}$ ) |
|-----------------|-----------------------------------|-----------|-------------------------------|---------|---|--|---|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 数据 Data         | 3.0                               | 6.5       | 14.8                          | 30.0    | 10.0  | 0.2  | —   | 200.0                                | 40.0                                 | 2.0                                |

注:—,未测 Note:—,Not determined

表4 经过弧形筛处理后养殖用水的水质参数

Table 4 The quality parameters of the waste water after going through the arc screen

| 参数<br>Parameter | 溶解氧<br>DO(mg/L) | 酸碱度<br>pH | 温度<br>T(°C) | 盐度<br>S | 氨氮<br>NH <sub>4</sub> -N(mg/L) | 亚硝酸盐氮<br>NO <sub>2</sub> -N(mg/L) | 硝酸盐氮<br>NO <sub>3</sub> -N(mg/L) | 化学需氧量<br>COD(mg/L) | 生物需氧量<br>BOD(mg/L) | 悬浮物质<br>SS(mg/L) |
|-----------------|-----------------|-----------|-------------|---------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| 数据 Data         | 4.0             | 7.0       | 14.9        | 32.0    | 7.0                            | 0.2                               | 50.0                             | 120.0              | 20.0               | 0.22             |

表5 《海水养殖水排放要求》(SC/T9103-2007)

Table 5 The required standard of the mariculture drainage(SC/T9103-2007)

| 序号<br>Sequence<br>number | 项目<br>Item                      | 海水养殖 Mariculture   |                     |
|--------------------------|---------------------------------|--------------------|---------------------|
|                          |                                 | 一级标准<br>Standard I | 二级标准<br>Standard II |
| 1                        | 悬浮物质 SS (mg/L)                  | ≤40                | ≤100                |
| 2                        | 酸碱度 pH                          | 7.0~8.5            | 6.5~9.0             |
| 3                        | 化学需氧量(COD <sub>Mn</sub> )(mg/L) | ≤10                | ≤20                 |
| 4                        | 生化需氧量(BOD <sub>5</sub> )(mg/L)  | ≤6                 | ≤10                 |
| 5                        | 无机氮 Inorganic nitrogen (mg/L)   | ≤0.50              | ≤1.00               |

### 3 讨论

由表2所列出的数据可以看出,养殖池进水口处的主要水质指标符合渔业水质标准(GB11607-89)要求:SS≤10 mg/L,DO值16 h以上大于5 mg/L,BOD≤5 mg/L。而由表3和表4对比可得出,出水口处未经处理的水不仅不适合养殖,并且有许多指标超出了我国水产用水排放标准,必须经过处理后才能排到海中或者再次循环利用。有机物是海洋中的重要营养物质,过量有机物的富集可引发赤潮等富营养化反应,严重破坏水域生态环境,制约渔业的健康可持续发展。为此我国《海水水质标准》(SC/T9103-2007)规定海洋水产养殖区排水不能低于二级标准要求(具体指标见表5),渔业用水必须经处理才能排入海中。从表3和表4的对比可以看出,弧形筛有效地净化了废水中的固体颗粒,筛除率高达90%,起到了很好的阻截固体污染物的作用。除此之外,还增加了水的含氧量,提高了pH值,降低了COD值,为后续的水处理减轻了负荷。表3显示,养殖池排放废水在未经弧形筛处理前悬浮物含量为2.0 mg/L,即每吨水中约含悬浮物2.0 g。据统计,我国现有工厂化养殖面积为700万m<sup>2</sup>,按照养殖平均水深0.5 m,每天供给5个水交换量计算:7 000 000×0.5×5×2=35 t;可见若推广使用弧形筛,每天可减少有机物排放35 t,对水域环境保护及渔业的健康可持续发展意义重大。同时,弧形筛于其工艺流程中不用电操控,完全靠排污水管道的水位差运转,极大地减轻能源的消耗,降低成本。

除上述弧形筛单池安装试验外,作者还进行了弧形筛终端安装试验,终端安装方法是将所有养殖池排水经排水沟汇集一处,流入多个弧形筛组合体进行集中过滤,从而去除水中大颗粒固体废弃物(表6和图3)。此形式更便于操作管理和及时集中清理滤出的固体废弃物,节省劳力。作者在烟台开发区的天源水产公司,根据其排水特点选择了这种安装模式,取得了良好的净化效果。

表6 弧形筛终端安装尺寸

Table 6 The parameters of the arc screen installed in the terminal outlet

| 弧度直径<br>Diameter of radian<br>(m) | 高<br>Height<br>(m) | 弧长<br>Length of arc<br>(m) | 横长<br>Horizontal length<br>(m) | 宽幅<br>Breadth<br>(m) | 筛条间隙<br>Space of grizzly<br>(μm) | 过滤面积<br>Filter area<br>(m <sup>2</sup> ) | 过水量<br>Volume of water<br>(m <sup>3</sup> /h) |
|-----------------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------|----------------------------------|--|---|
| 3.12                              | 0.6                | 2.1                        | 1.1                            | 16                   | 225                              | 192                                      | 1 670   |

### 4 展望

弧形筛的构想是于1906年由库克(Cook)最早提出的。目前国内海水鱼工厂化养殖已经开始使用弧形筛装置取代传统的滚筒式过滤器。弧形筛装置结构简单、轻便、占地面积小,弧形筛采用不锈钢条缝筛板,具有以下一些优点:耐腐蚀、抗磨损,而且无需动力,造价低、损耗小,使用寿命达2 000h以上,基本上不需要维护;本

身无运动部件及传动机构;规格型号可根据厂房空间尺寸和工艺要求灵活选取;处理能力大、分离精度高、物料不易堵塞、产品均匀;不需要额外动力即可进行固体颗粒的过滤,只需要人工定期清洗筛网。实际应用表明,滚筒式过滤器虽然占地小、水头损失少、安装操作简易,但存在处理效率低、筛绢易破损、运行成本高、维修成本高等弊端。弧形筛与转鼓式机械过滤器相比,具有过滤效果好、投资低、没有运行成本(无电能损耗)、冲洗方便、免维护等优点。此外,弧形筛还可以根据实际生产应用情况,采用不同孔径的筛网分离养殖系统中直径大于  $70\ \mu\text{m}$  的颗粒物,从而去除养殖水处理系统中 80% 以上的颗粒物,有效地降低了水中污染物的含量,减少了后续水处理系统的负载。目前国内在弧形筛技术的研究和应用比较晚,有必要深入研究,进一步提高其过滤效率,完善筛面清洗工艺,使弧形筛逐步取代传统的转鼓式微滤机,在水产养殖上得到广泛应用。

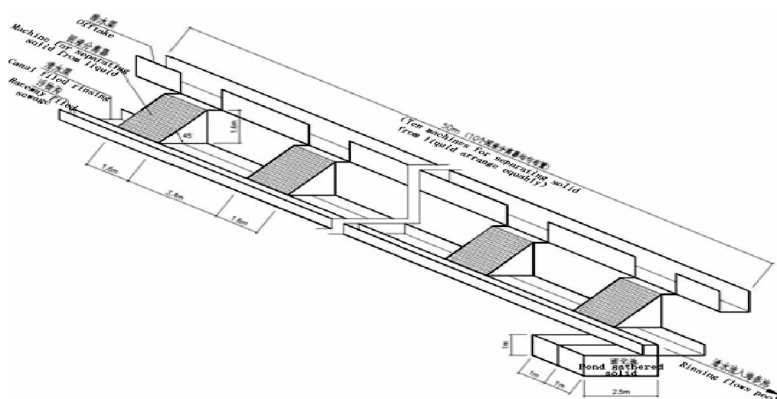


图3 弧形筛终端

Fig. 3 The plan view of the arc screen installed in the terminal outlet

## 参 考 文 献

- 马德林,曲克明,姜 辉,马绍赛. 2007. 国外工厂化循环水养殖池底排污及排水系统综述. 渔业现代化, 34(4): 19~21
- 刘 鹰. 2007. 工厂化养殖系统优化设计原则. 渔业现代化, 34(2): 8~9, 17
- 刘 鹰,杨红生,张福绥. 2004. 封闭循环水工厂化养鱼系统的基础设计. 水产科学, 23(12): 36~38
- 刘 军. 2008. 弧形筛在哈拉沟洗煤厂的作用及存在问题的研究. 中国新技术新产品, 14: 102
- 杜守恩,曲克明,桑大贺. 2007. 海水循环水养殖系统工程优化设计. 渔业现代化, 34(3): 4~7
- 张明华,杨 菁. 2003. 海水工厂化养殖水处理系统的装备技术研究. 海洋水产研究, 24(2): 30~34
- 杨忠高. 1981. 弧形筛分级理论与参数研究. 北京钢铁学院学报, 3: 9~17
- 杨红卫. 2007. 弧形筛在新兴选煤厂污水处理中的应用. 煤炭技术, 26(7): 86~87
- 株洲化工厂技术科. 1976. 见: 弧形筛在磷肥工业上的应用—弧形筛试验小结. 39~44
- 雷霖霖. 2002. 关于当前我国北方沿海工厂化养鱼的一些问题和建设. 现代渔业信息, 17(4): 5~8
- 雷霖霖. 1999. 我国海水封闭式工厂化养殖探讨. 中国渔业经济研究, 1: 20~21
- Johnson, W., and Chen, S. L. 2006. Performance evaluation of radial/vertical flow clarification applied to recirculating aquaculture systems. Aquacultural Engineering, 34: 47~45