

# Design of Experimental Equipment for Water Jet Cleaning of Aquatic Raw Materials

Renjie Li<sup>1</sup>, Xiaochen Li<sup>1</sup>, Xu Zhang<sup>1\*</sup>, Jixin Yang<sup>1</sup>, Jinshi Lu<sup>1</sup>, Huihui Wang<sup>1,2</sup>, Shasha Cheng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Mechanical Engineering and Automation, Dalian Polytechnic University, Dalian Liaoning

<sup>2</sup>National Engineering Research Center of Seafood, Dalian Polytechnic University, Dalian Liaoning

Email: \*zhangxu\_dlut@163.com

Received: Sep. 20<sup>th</sup>, 2019; accepted: Oct. 8<sup>th</sup>, 2019; published: Oct. 15<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

The machine used to clean and refine the aquatic materials by water jet is fast and efficient, but the effect of the machine is significantly related to the operation parameters. Aiming at the unclear mechanism of water jet flow in the cleaning and decontamination equipment of aquatic products, the lack of basis for the optimization of operating parameters makes it difficult to achieve high quality and low loss cleaning and remove impurities processing problems. Hence, the machine to test the mechanical properties of cleaning and processing of water jet was developed, which consisted of mechanical body, water supply system, jet system, transportation system, detection system and protective device. The parameters such as jet pressure, target distance, incident angle, raw material transportation direction and velocity could be adjusted randomly in a large range. The distribution and variation of mechanical properties during the cleaning and refining process of aquatic materials were obtained by measuring the hitting strain value of sample surface caused by jet. The effectiveness of the measurement has been verified by experiments. In a word, the machine can provide experimental basis and data support for cleaning mechanism, design of the structure and parameter optimization of water jet cleaning machine.

## Keywords

Aquatic Raw Materials, Water Jet, Cleaning Mechanism, Mechanical Properties

---

# 水产类原料清洗去杂的水射流实验装置设计

李仁杰<sup>1</sup>, 李小辰<sup>1</sup>, 张旭<sup>1\*</sup>, 杨继新<sup>1</sup>, 芦金石<sup>1</sup>, 王慧慧<sup>1,2</sup>, 程沙沙<sup>2</sup>

<sup>1</sup>大连工业大学机械工程与自动化学院, 辽宁 大连

<sup>2</sup>大连工业大学国家海洋食品工程技术研究中心, 辽宁 大连

Email: \*zhangxu\_dlut@163.com

---

\*通讯作者。

## 摘要

基于水射流的水产类原料清洗去杂设备具有快速高效作业特点，但清洗效果与设备运行参数密切相关。针对水产类原料清洗去杂设备水射流作业机理不清、运行参数优化缺乏依据导致难以实现高质低损清洗去杂加工问题，本文研发了一种水产类原料水射流清洗加工力学性能检测实验装置，装置包括机械主体、供水系统、射流系统、输送系统、检测系统以及防护装置6部分组成，可根据实验需求在较大范围内调整水射流清洗过程中的射流压力、靶距、入射角以及原料输送方向和速度等参数，通过受射流打击的被测物料表面多点应变值测量，获得水产类原料清洗去杂过程的力学特性分布和变化规律，测量有效性通过实验进行了验证。该实验装置可为水产类原料清洗机理分析、水射流清洗设备结构设计和参数优化提供实验基础和数据支持。

## 关键词

水产类原料，水射流，清洗机理，力学特性

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

我国是世界上重要的水产品生产、消费大国，近年来，我国在渔业方面取得了令世界瞩目的成就和发展，水产品加工业是水产业发展的支柱产业，也是我国重要的食品出口行业之一[1]。水产类原料(鱼类、贝类、海参、虾类)清洗去杂是水产品原料预处理的必需环节，其加工水平直接影响成品的表观品质和食用安全[2]。目前水产类原料清洗去杂的方式主要有摩擦、刷洗、水射流、微波以及化学去除等[3][4][5]。其中，水射流方式具有快速高效、效果稳定、参数可控等特点在水产类原料预处理加工领域应用越来越广泛[6]。

水射流清洗去杂设备的工作原理通常是，在原料线性输送过程中以带压水为介质对原料面进行定向作业，依靠水射流的冲击力或垂直(水平)向剪切力以达到去除原料表面附着物、表层组织(粘膜、表皮、鳞片等)等的清洗去杂工艺要求[7]。在此过程中，即要求达到原料表面加工质量要求，且不能损伤原料本身，因此对水射流作业的参数控制提出了较高的要求。其难度主要为：1) 水产类原料物性差别较大，即使同一批原料，其个体具有差异性，同一射流方案针对不同原料个体的作业效果不同；2) 水射流作业参数包括射流压力、射流靶距、入射角度以及物料输送速度等，面向作业效果的射流方案寻优困难。目前无论是水射流清洗去杂设备的制造方还是使用者都是通过反复调试试验或者人工经验确定射流方案。这导致设备设计周期长、成本高以及使用效果不理想等工程问题难以解决[8]。

针对上述水产类原料清洗去杂设备水射流作业机理不清、运行参数优化缺乏依据导致难以实现高质低损清洗去杂的加工问题，本文设计一种水产类原料水射流清洗去杂实验装置，并提出通用的水射流力学特性检测分析方法。基于该装置可开展水产类原料加工过程射流方案对作业效果影响分析和射流参数对原料力学特性的研究，为新型水产类原料水射流清洗去杂设备研发以及现有设备作业方案优化提供了实验基础。

## 2. 水射流实验装置总体方案设计

### 2.1. 总体方案设计

水射流清洗实验装置的整体总布局如图 1 所示。实验装置包括测试平台、供水系统和 PC 端组成。由供水系统提供压力水,在测试平台开展水射流相关实验,实验数据(射流压力、输送速度等)经实时采集到 PC 端进行处理。测试平台(如图 2)由机械主体、射流调整装置、物料输送装置和防护装置 4 部分组成。

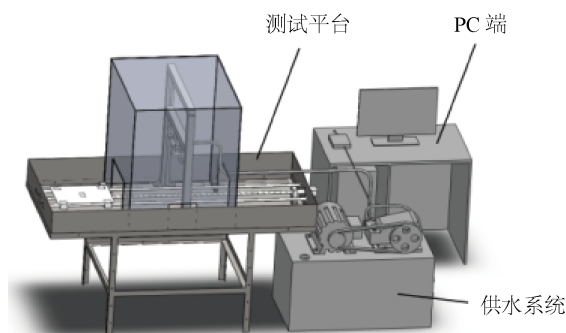


Figure 1. General plan of the water jet experimental device

图 1. 水射流实验装置总体方案

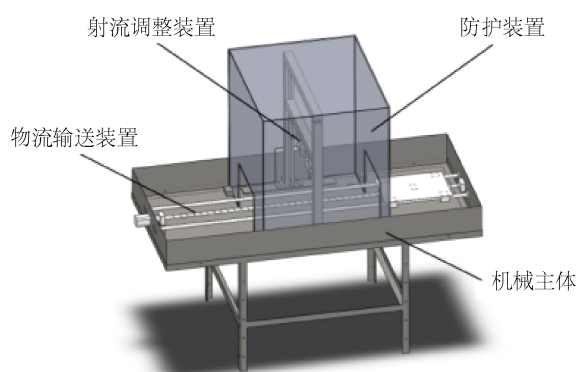


Figure 2. Design scheme of test platform

图 2. 测试平台设计方案

### 2.2. 工作原理

水射流清洗根据不同的清洗对象和要求,需建立合理的射流方案,其原理为:水箱内的水由水泵加压形成压力水,经管路到达喷嘴后,应由不同的喷嘴可形成不同形制在射流区域,当物料经过该射流区域时,物料受到冲击力和剪切力,对其表面产生冲击、动压力、磨削作用,使物料表面冲蚀、渗透、剪切、破碎,最终从清洗面上剥离下来[9],从而达到去除物料表面垢层、附着物、粘膜、表皮和鳞片等,其原理图如图 3 所示;当喷嘴的高度、角度、位置,以及物料的传输速度等参数改变时,射流对污垢产生的剪切力的大小和清洗时间将发生变化,从而可以很大程度影响水射流对物料的作业效果[10]。因此该实验装置的主要功能为,对上述射流参数的调整和对物料受力状态的检测,从而为射流方案与作业效果的关联性研究提供实验基础。具体实验过程为:1) 将被清洗的物料用夹具固定在物料板上,通过电机带动丝杠旋转,实现物料的水平匀速传输;2) 采用特殊设计的喷嘴夹持装置将实验喷嘴固定在龙门架上,喷嘴类型、高度、角度均可调;3) 物料表面可加装力学测试元器件(如应变片),测试数据实时采集到 PC 端,

经分析软件进行处理。

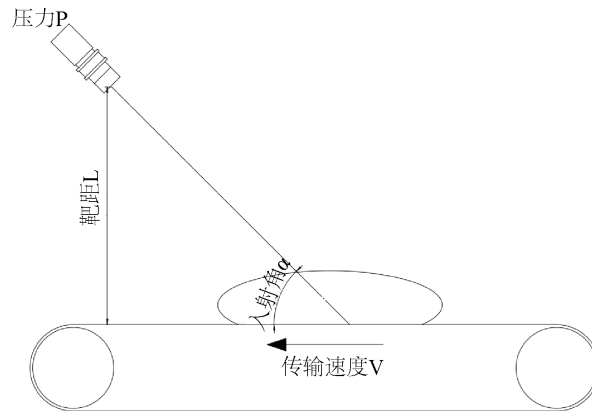
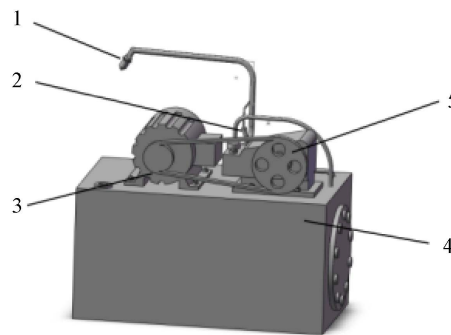


Figure 3. Schematic diagram of water jet cleaning  
图 3. 水射流清洗原理图

### 3. 水射流实验装置机械结构设计

#### 3.1. 水射流喷射系统设计

供水系统如图 4 所示。选用 Y2-132M-4 型的三相异步电动机，额定功率为 7.5 kw，额定转速 1440 r/min；电动机与柱塞泵通过皮带相连，选用 LS-750 三缸单作用柱塞泵，额定转速范围 500~800 r/min，工作压力为 0~7 MPa 可调；在泵头处装有测量范围 0~20 Mpa 的压力传感器，并通过数据线与 PC 端屏蔽接线盒相连，并通过数据采集板传输给电脑用来提供实时的可视化数据；泵的入水口通过软管接有过滤器，过滤器装在水箱底部，用来为系统供水；喷嘴由通用接口与管路连接，根据喷嘴类型及型号不同，实验时将产生不同形式的射流区域[11]。

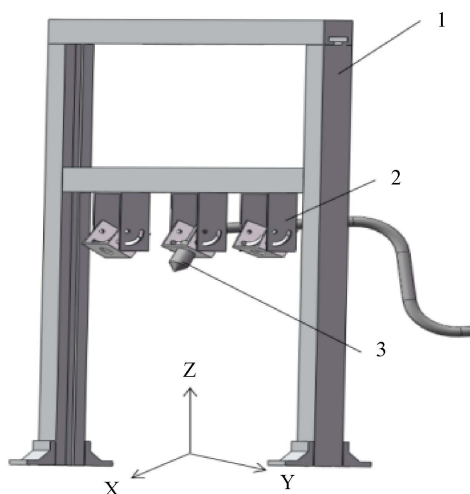


1. 喷嘴；2. 压力传感器；3. 电动机；  
4. 水箱；5. 柱塞泵

Figure 4. Design scheme of water jet system  
图 4. 喷射系统设计方案

#### 3.2. 射流调整装置设计

射流调整装置如图 5 所示。由三组喷嘴特定夹持装置和龙门架组成，可以同时安装多个喷嘴，喷嘴固定的角度和高度均可调。其中，高度调整范围为 300~500 mm，角度调整范围为，绕 z 方向 360°可调，绕 y 方向 0~90°可调，即可实现对被清洗物料的空间多角度的喷射。



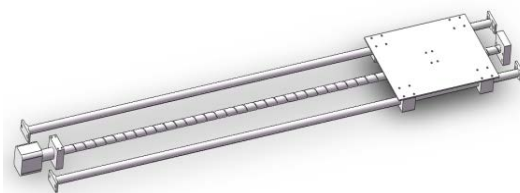
1. 龙门架; 2. 夹持装置; 3. 喷嘴

**Figure 5.** Design scheme of water jet parameter adjustment device

**图 5.** 射流调整装置设计方案

### 3.3. 物料输送装置设计

物料输送装置如图 6 所示。该装置采用丝杠传动，物料板上设有通孔，通过螺栓连接固定在丝杠副上方，丝杠两侧各配有一根光杆，每根光杆穿有两个滑块，同样通过螺栓与物料板相连，起到支撑物料板的作用；丝杠与步进电机通过联轴器相连，丝杠的导程选为 10 mm，有效行程为 1700 mm，选用的步进电机型号为 DM542，负载最大转速为 600 r/min，即可以通过 PC 端为 PLC 控制系统编程，并根据需要在 0~10 cm/s 的范围内任意改变物料板的输送速度，来满足不同水产类原料的清洗要求[12]。



**Figure 6.** Design scheme of material conveying device

**图 6.** 物料输送装置设计方案

## 4. 水射流实验装置检测系统设计

### 4.1. 检测系统方案设计

检测系统主要由压力传感器、屏蔽式接线盒、数据采集板、DH5981 应变采集仪和 PC 端几部分组成，可以对射流压力、射流力学打击参数进行实时监测；在泵头处装有测量范围 0~20 Mpa 的压力传感器，并通过数据线与 PC 端屏蔽接线盒相连，之后经过数据采集板将电信号传输给 PC 端用来提供实时的可视化数据，当柱塞泵工作产生一定压力的水射流时，利用 MATLAB 软件中的 simulink 模块读出水射流的工作压力，压力采集界面如图 7 所示；DH5981 应变采集仪用来采集水射流打击到物料表面时所产生的应变值，通过在 DHDAS 动态信号采集分析系统中得到的数据可以对该水射流清洗装置多项参数进行指导性调整，应变采集界面如图 8 所示。

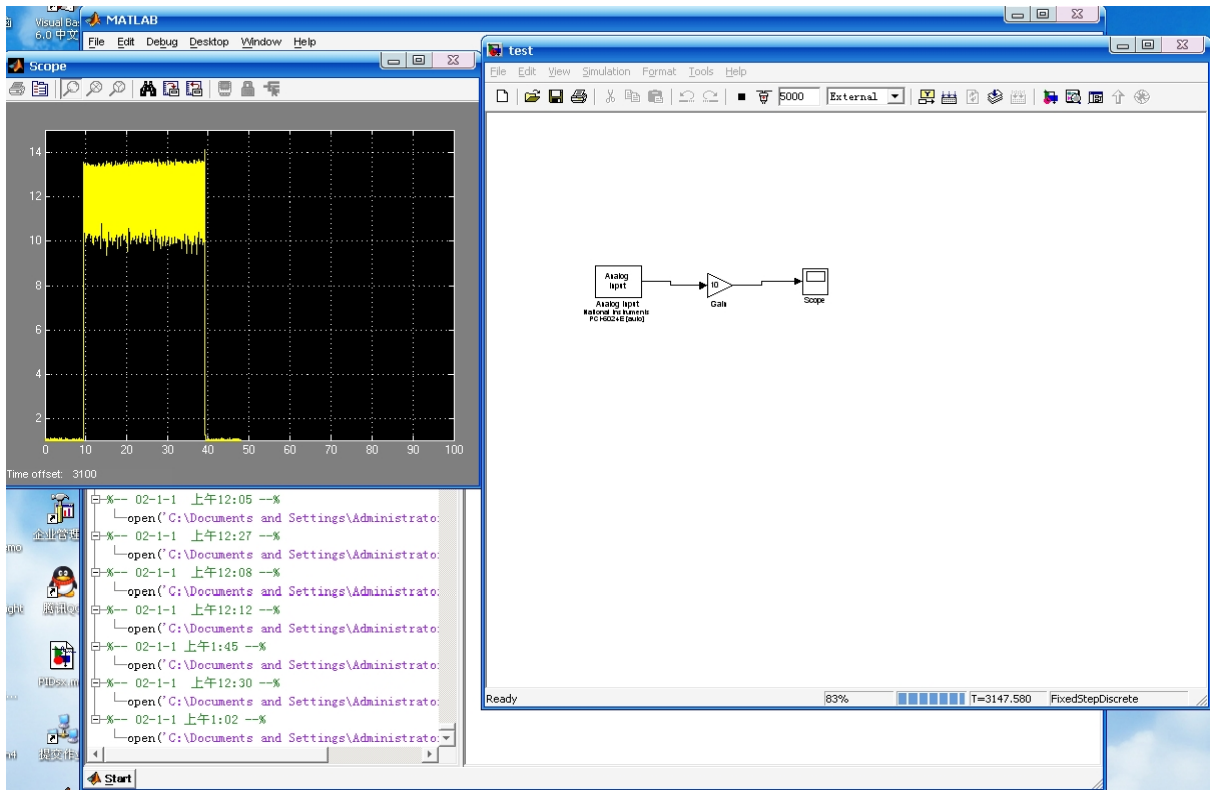


Figure 7. Pressure acquisition interface  
图 7. 压力采集界面

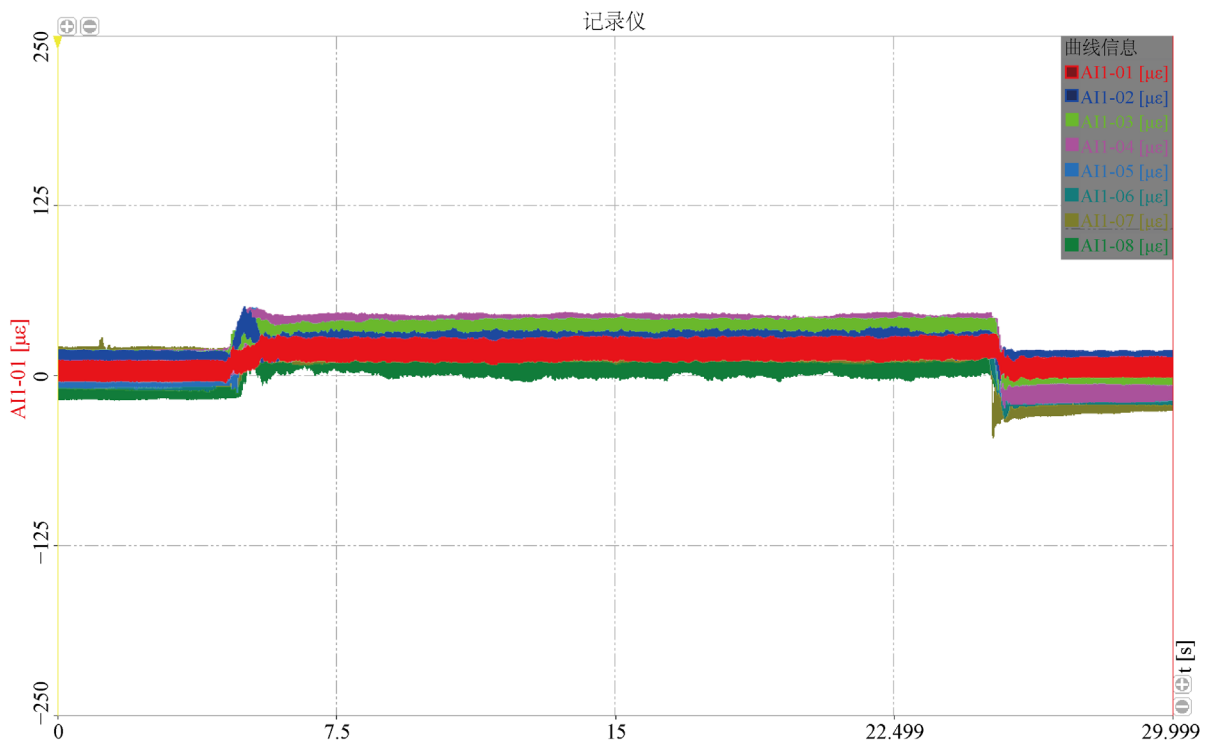


Figure 8. Strain acquisition interface  
图 8. 应变采集界面

## 4.2. 水射流实验设计

### 4.2.1. 实验原理及目的

水产类原料水射流实验的对象可为鱼类、贝类、海参、虾类等。实验可分为两个类：1) 作业效果评定实验；2) 喷射力学特性检测实验。

以鱼类去鳞力学特性检测实验为例，实验原理为描述为：在鱼模型表面粘贴应变片，将鱼模型固定在输送装置上，根据实验方案调整射流参数，开展射流实验，实时获取射流打击过程的鱼身特定部位所产生的应变值，经数据分析获得鱼模型的力学特性分布和变化规律，从而为后续实验提供具有一定意义的指导依据[13]。

### 4.2.2. 实验设备

本实验所采用的实验设备如图9所示。



Figure 9. Water jet experiment device physical photo  
图9. 水射流实验装置实物图

### 4.2.3. 实验主要步骤及数据

(1) 将电阻式应变片沿假鱼鱼身径向方向两两间隔 10 mm 的距离，用应变片胶水并排贴在假鱼鱼体上，定义从鱼腹到鱼背的应变片名称分别为编号 1~8，实物图如图10所示；



Figure 10. Strain gage paste physical photo  
图10. 应变片粘贴实物图

(2) 由于实验环境较为潮湿，容易对应变片电路造成短路，为保证实验精度，故需要对其进行防水处理；采用热熔胶将裸露的铜线包裹起来并粘贴在鱼体上，并将应变片及排线用保鲜膜缠在鱼体上。做好

以上准备工作后,将假鱼模型通过特定夹具固定在物料板上方,最后通过实验台上的输送系统将假鱼模型送至喷嘴下方;

(3) 选取不同的参数(压力、靶距、角度)分别在水射流清洗实验装置上对假鱼模型进行水射流打击实验,打击位置在距应变片前方 2 cm 处的鱼身上,实验参数组合分组编号如表 1 所示;另外,本次实验采用的喷嘴均为 40°扇形喷嘴;

**Table 1.** Experimental grouping

**表 1.** 实验分组

分组编号	参数
第一组	压力: 4 MPa; 入射角: 90°; 靶距: 30 cm
第二组	压力: 4 MPa; 入射角: 90°; 靶距: 25 cm
第三组	压力: 4 MPa; 入射角: 75°; 靶距: 30 cm
第四组	压力: 5 MPa; 入射角: 90°; 靶距: 30 cm

(4) 从应变测试系统中读取射流打击鱼体时所产生的应变数值,动态信号测试系统的桥路方式采用三线制 1/4 桥连接,桥压为 2 V,应变量程为 $\pm 1000 \mu\epsilon$ ,采样频率为 1000 Hz,采用应变变化相对稳定阶段的平均值作为实验测得的应变值[14],所测得数据如表 2 所示。

**Table 2.** Fake fish model measures strain value ( $\mu\epsilon$ )

**表 2.** 假鱼模型测量应变值( $\mu\epsilon$ )

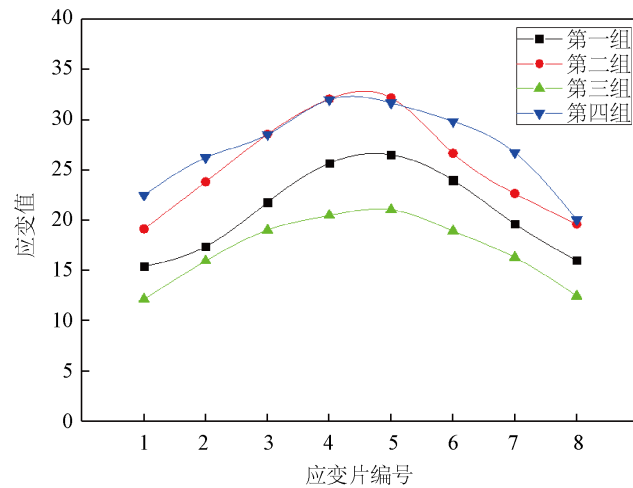
编号	分组			
	第一组	第二组	第三组	第四组
1	16.405	19.143	12.159	22.513
2	17.392	23.836	15.954	26.238
3	21.795	28.580	19.035	28.536
4	25.687	32.087	20.491	32.019
5	26.525	32.194	21.052	31.688
6	23.996	26.673	18.937	29.855
7	19.650	22.662	16.304	26.747
8	15.991	19.618	12.478	20.059

#### 4.2.4. 实验结果分析

由于应变测试系统测得的应变为微应变( $\mu\epsilon$ ),微应变也是用来表示形变的变化程度,只不过是用来描述极其微小的形变,微应变用  $\mu\epsilon$  表示,  $1 \mu\epsilon = (\Delta L/L) \times 10^6$ ,即它与应变的关系是  $e - 6$ ,最后得到实验测得的应变测试值制成的曲线关系图如图 11 所示。

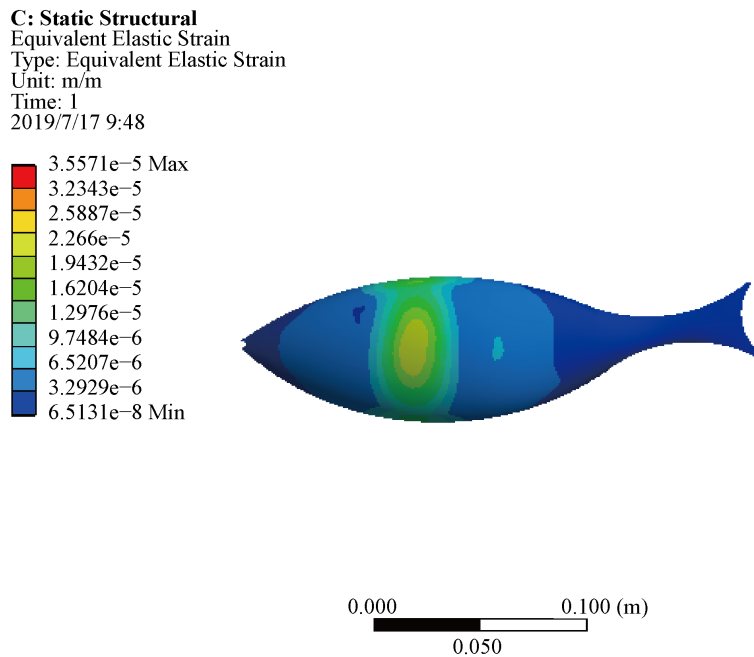
从图 11 可以看出,当只调整靶距参数时,靶距较小时所产生的应变要明显大于靶距较大时的应变;当只调整入射角参数时,垂直物料喷射时产生的应变值要略高于 75°入射角时所产生的应变值;当只调整压力参数时,压力较大时产生的应变值要明显大于压力较小时产生的应变值;实验测得的不同参数条件下的鱼身中间部分应变值都要略高于鱼背和鱼腹部位的应变值,这种现象可能是由于扇形喷嘴的射流特性引起,因为射流中心部分速度较大,携带的能量要大于周围射流,打击到鱼体后产生的应变要比两侧应变大一些[15]。





**Figure 11.** Strain measurement curve  
**图 11.** 应变测量值关系曲线图

为了验证测量有效性,本文还利用了目前国际上比较流行的商用 CFD 软件包 Fluent 对第一组实验条件下水射流对鱼体的打击情况进行仿真[16]。运用三维建模软件对假鱼模型进行 1:1 建模,利用 fluent 软件对喷嘴外流场进行仿真,实验条件保持一致(入射压力 4 MPa,靶距 30 cm, 90°入射),随后定义假鱼模型的材料属性,采用流固耦合方式仿真出射流打击到鱼身后产生的应变参数,仿真得出的等效应变云图如图 12 所示,最后在云图中按应变片粘贴位置读取该点的应变值,将仿真分析得到的应变值与实验测得的应变值进行对比,对比曲线如图 13 所示;从图 13 可以看出,实验测得的鱼身应变程度与仿真得出的应变趋势基本一致,测试值与仿真值之间的误差较小,最大误差均不超过 20%,验证了实验测量的有效性。



**Figure 12.** Simulated strain nephogram  
**图 12.** 仿真应变云图

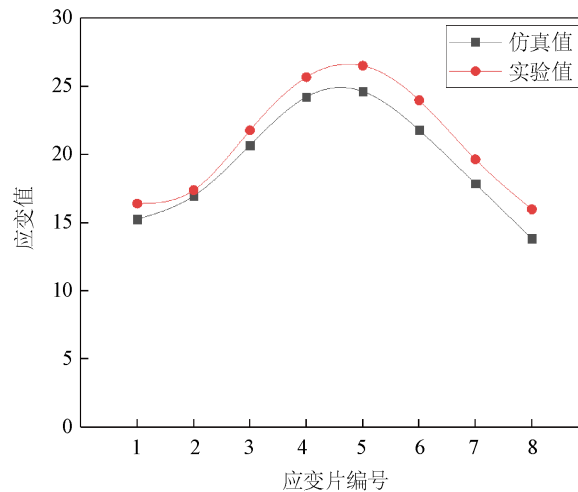


Figure 13. Simulation-Experiment strain comparison chart

图 13. 仿真 - 实验应变对比图

## 5. 结论

我国是水产品生产和消费大国，水产品加工业在农业中占据重要地位，而水产类原料的清洗技术则是加工过程中的重要环节，其加工技术的优劣直接影响后续加工的速度和品质。本研究所设计的基于水射流的水产类原料清洗去杂实验装置可以大范围的调整影响水射流清洗效果的清洗参数，包括喷嘴类型及参数、射流压力、靶距、入射角以及输送速度等。可发展水射流作业效果评定实验和喷射力学特性检测实验，为水产类原料加工过程射流方案对作业效果影响分析和射流参数对原料力学特性研究提供实验基础。通过鱼类水射流去鳞实验验证了射流力学特性检测实验的准确性和规律性。该水射流实验装置的设计及搭建，为针对不同类型的水产类原料清洗机理分析、水射流清洗设备结构设计和参数优化提供实验基础和数据支持。

## 基金项目

国家重点研发计划项目(2018YFD0400800)；辽宁省自然科学基金项目(20180551017)；大连市青年科技之星项目(2017RQ128)；国家自然科学基金项目(31972105)。

## 参考文献

- [1] 刘锐, 陈洁. 我国水产品加工业发展现状及潜力分析[J]. 农业展望, 2010, 6(4): 33-35.
- [2] 张军文, 陈庆余, 欧阳杰, 周春生. 中国淡水鱼前处理加工技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(21): 25-28+41.
- [3] 彭三河, 周思柱, 冯进, 周元华. 鱼加工前处理技术装备研制[J]. 长江大学学报(自科版), 2015, 12(27): 42-45+4.
- [4] 孙跃. 基于水射流的海参深度清洗技术及装备设计[D]. [硕士学位论文]. 大连: 大连工业大学, 2019.
- [5] 周雅文, 徐宝财, 韩富. 中国工业清洗技术应用现状与发展趋势[J]. 中国洗涤用品工业, 2010(1): 33-36.
- [6] 秦国治, 田志明. 高压水射流清洗技术及其应用[J]. 管道技术与设备, 2001(1): 38-40.
- [7] 宋加会, 刘昌林, 许胜涛, 伍广, 王从东. 高压水射流清洗技术及其在管道除垢中的应用[J]. 化工设备与管道, 2014, 51(5): 79-82.
- [8] 何世鹏. 水产加工产业的发展措施[J]. 科技风, 2016(23): 138.
- [9] 刘庭成, 范晓红. 高压水射流清洗机射流打击力的研究分析[J]. 清洗世界, 2008, 24(12): 26-29.
- [10] 郭琦, 李方义, 李硕, 聂延艳. 高压水射流清洗对基体去污效果及损伤的研究[J]. 中国机械工程, 2014, 25(6):

---

817-820.

- [11] 何枫, 谢峻石, 杨京龙. 喷嘴内部流道型线对射流流场的影响[J]. 应用力学学报, 2001(4): 114-119+160.
- [12] 杨乐, 郭选明, 赵淑娟. PLC 控制系统[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2015.
- [13] 康灿, 周亮, 王育立, 龚辰. 磨料水射流冲击材料壁面的模拟与试验[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2013, 34(3): 276-280.
- [14] 王志杰, 余丽武, 施政苏. 电阻应变测量技术[J]. 江苏建材, 2019(3): 14-15.
- [15] 林翔, 刘桓龙, 王国志, 柯坚, 于兰英. 扇形喷嘴的低压射流特性研究[J]. 机床与液压, 2015, 43(3): 164-167.
- [16] 朱红钧. FLUENT15.0 流场分析实战指南[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2015.