

文章编号: 1004 - 7271(2007)01 - 0054 - 06

排水辅助减压型真空式鱼泵研究

袁军亭¹, 汤威¹, 刘忠斌², 孙满昌¹

(1. 上海水产大学海洋学院, 上海 200090;
2. 上海市地矿建设有限责任公司, 上海 200072)

摘要:在分析国内真空式鱼泵样机现有不足的基础上,运用增大真空容积制造负压的原理,试制了抽气、排水相结合减压的改进型鱼泵样机。程序计算及鱼泵样机抽吸活鱼试验结果均表明,虽然真空泵抽气效率不稳定,导致真空罐内压强的实际曲线出现一定波动,但实测曲线与理论曲线趋势基本一致。水泵开启前后罐满时间增加约10 s,吸鱼管流速有显著提高,水泵排水对辅助真空泵减压、延长抽吸时间和减小设备体积等均有积极作用。预抽压强为2mH₂O时能获得较4mH₂O时更短的罐满时间和更高的吸入流速。以150 - 180 mm的鲫鱼为抽吸对象,罐内初压为4mH₂O时,20 s内可抽上13 kg鱼,预计样机1 hr内可抽吸约2 t的成品鱼。

关键词:海水网箱;排水减压;真空式鱼泵;压强

中图分类号:S 954.1 文献标识码:A

The study on the water-discharging pressure reducer vacuum fish pump

YUAN Jun-ting¹, TANG Wei¹, LIU Zhong-bin², SUN Man-chang¹

(1. Ocean College, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;
2. Shanghai Geological Construction CO., LTD, Shanghai 200072, China)

Abstract: Based on analysis of the defects of home-made vacuum fish pump, an improved new machine with dual-vacuumizing method of discharging both air and water was designed and made, for the principle of creating vacuum by increasing vacuum space was widely applied at home and abroad. According to the program processing results and technical parameters of vacuum pump and water pump, fish pump was assembled and tests of pumping live fish were carried out in a pool. It was indicated that the curve of pressure variation in the tank fluctuated a little due to unstable discharging efficiency of the vacuum pump. However, the trends of both experimental and theoretical curves were almost same. Suction time with water pump ON was about 10s longer than that with pump OFF, which showed that the flow velocity in the suction pipe increased markedly. Therefore, the method using water pump to discharge water was effective to cooperate the vacuum pump to reduce the tank pressure, prolong the suction time and reduce the machine size. Shorter suction time and higher suction velocity could be obtained when initial tank pressure was set at 2mH₂O compared with 4mH₂O. 13 kg live fish (body length 150 - 180 mm) was pumped within 20 s by this pump and 2 t fish might be caught within 1 hr.

收稿日期:2006-10-09

基金项目:上海水产大学校长专项基金项目(66903-04-96)

作者简介:袁军亭(1973-),女,河南洛阳人,在职博士,讲师,主要从事网箱系统工程方面的研究。E-mail: jtyuan@shfu.edu.cn

通讯作者:孙满昌, E-mail: mcsun@shfu.edu.cn

Key words: offshore fish cage; water - discharging pressure reducer; vacuum fish pump; pressure

我国抗风浪网箱养殖业发展很快^[1],但在发展中还存在许多问题,尤其是活鱼起捕还没有根本解决。国内外诸多学者研究开发的真空式鱼泵样机^[2-4],虽然相比其它类鱼泵^[5]具有吸捕高度大^[6]、鱼损小等优点,但在使用中大多存在罐体尺寸大、实际罐满时间短、罐满时罐内鱼水密度小等问题,这些几乎都与水的突入速度高且不能被及时排出有关。日本曾于 1988 年提出了“液体加减压式鱼泵”的设计方案来改善上述现象^[7]。同时国内诸多矿山机械和水利部门利用真空罐罐满后排水对引水装置实现无底阀吸水^[8-9],也充分证明排出真空容器中的液体是减压的一个有效手段。对于真空式鱼泵来说,如果能在真空泵持续运转过程中同时利用排水来增大真空容积,达到辅助真空泵减压的效果,从而提高真空式鱼泵在吸上高度和真空要求高的环境下的适用能力。同时,水的不断排出显然对提高排放时的鱼水浓度、减小设备体积和延长抽吸时间等有积极作用。

本研究通过计算机程序的试算来分析增加排水减压环节后产生的效果,并依据理论运算制作鱼泵样机进行测试和实抽试验。

1 抽吸变化过程的程序试算

等温变化下的波义耳定律为:

$$P_a \cdot V_0 + P_1 \cdot V = P'_1 \cdot (V_0 + V) \quad (1)$$

式中: P_a ——当地大气压(Pa); V_0 ——吸鱼管内空气容积,即水面至吸入侧阀门的管段容积(m^3); P_1 ——真空罐预抽完毕后的压强(Pa); V ——真空罐容积(m^3); P'_1 ——阀门打开瞬间真空罐与吸鱼管完成空气交换后的罐内压强(Pa)。

由(1)式知,当减小 V_0 或增大 P_1 时罐内压强的增大幅度 $\frac{P'_1 - P_1}{P_1}$ 变小。为缩小 V_0 ,现将吸鱼管连接口设置在真空罐下方(图1)。

吸鱼管内流速是影响抽吸效果的最直接因素。罐内初压、抽吸高度的不同必然对流速有很大影响。为了衡量不同操作环境下管内水流实时变化的大致信息,利用 C 语言编写瞬时流速计算程序,将其结果作为优化设计和样机制作的参考。

1.1 能量方程

由于管道进口导致的损失影响,水从吸鱼管突入真空罐前后的能量方程有一定区别,因此需分两个阶段即水流进入真空罐前(图2)和水流进入真空罐后(图3)分别列各个断面的能量方程进行计算。那么,水流进入真空罐前,有

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_f + h_m \quad (2)$$

式中: z_1, z_2 ——1-1、2-2 断面的高度,即位置水头(m); P_1, P_2 ——两断面处压强(Pa); v_1, v_2 ——两断面的平均水流速度(m/s); γ ——水的重度(N/m^3), h_f ——沿程水头损失(m); h_m ——局部水头损失(m)。最初打开阀门时, z_2 与管道计算长度均很小,因此假设暂先忽略 h_f 和 h_m 的影响。

水流进入真空罐后, $h_m = \frac{v_3^2}{2g}$,其中 v_3 为吸鱼管水平断面的平均水流速度(m/s),式(2)成为:

$$\frac{P_a}{\gamma} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + 1 \right) \frac{v_3^2}{2g} \quad (3)$$

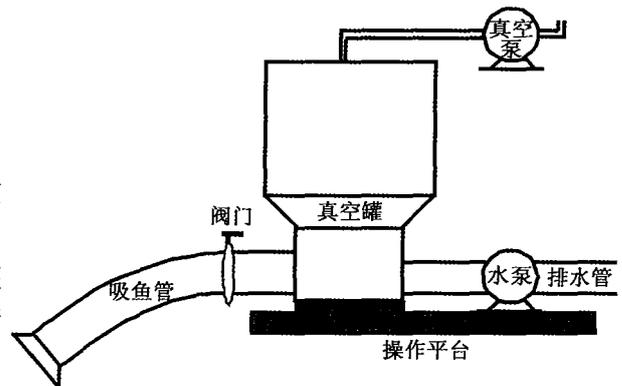


图1 鱼泵的基本结构示意图

Fig. 1 Structure of vacuum fish pump

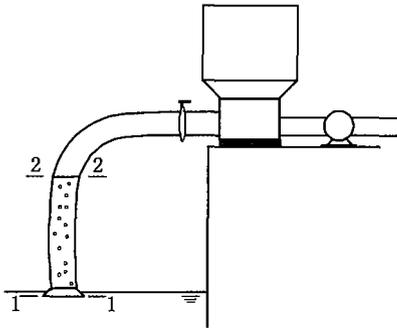


图2 水流进入真空罐前
Fig. 2 The status before water entered the tank

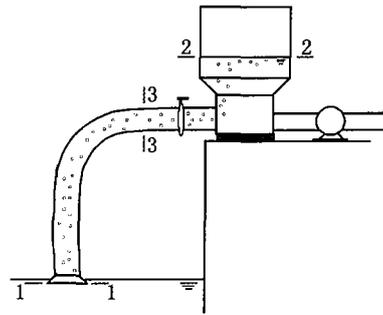


图3 水流进入真空罐后
Fig. 3 The status after water entered the tank

λ 值与管道流速有关,对 2-2、3-3 断面,根据流体的连续性方程,应有

$$v_2 \cdot A_2 = v_3 \cdot A_3 \quad (4)$$

式中: A_2 、 A_3 ——真空罐 2-2、吸鱼管 3-3 断面面积(m^2)。

联立式(3)、(4)后, v_3 仍为未知量。要解得该值,可先进行管道流速的试算,确定雷诺数并通过莫迪图^[10]初定 λ ,解得 v_2 、 v_3 后再来验证 λ 取值的准确性。

1.2 程序设计

由于实际操作中每一时刻的吸入速度、真空泵的抽气速率、罐内真空度都不一样,为力求程序试算的模拟效果更好,有以下几点假设和要求:

- (1) 取流速、压强的瞬间变化和运算以 0.1s 为步进时间,顺序计算;
- (2) 真空泵在任何大于 4 mH₂O 压强下的抽气速率均相同,水泵在不同进口端压力下抽吸稳定;
- (3) 吸鱼管有一 90° 转角,垂直段为操作平台至水面的高度,选定弯管的过弯半径与管径的比值为 2,则局部阻力系数为 0.15。水平段直接接至进口端阀门,长度为 1 m。
- (4) $\Phi 100$ 、 $\Phi 150$ 、 $\Phi 200$ mm 管道的系数分别为 0.022 0、0.020 0、0.018 5。

程序的流程和编写以阻力损失出现的两个主要位置即吸鱼管转角和吸鱼管接口为界,共分为三个子段。主流程如图 4 所示。

2 程序运算结果与分析

确定真空鱼泵的基本结构参数,即真空罐当量半径 r_{tank} 、真空罐当量高度 h_{tank} 、吸鱼管长度 l_{pipe} 分别为 0.5 m、1.5 m、10 m,根据表 1 的运算组合,通过程序运算的结果(图 5)可以从理论上分析增加排水减压环节后所产生的效果。

由图 5,若不使用排水减压,从抽气速率 se 为 0.06 m^3/s 和 0.08 m^3/s 的曲线中可以看出,抽气速率越小,流速和高真空度越难以维持。当选定 se 为 0.08 m^3/s 时,加入排水减压,则吸鱼管内流速大大提高,可见抽水与抽气相结合的减压效果十分明显。然而,在运行效率上看,增加一台水泵,相当于输入功率的增加,这必然会引起抽吸性能的提高。因此,为了使增加水泵后的输入功率与只使用真空泵时尽量相近,现降低真空泵的输入功率,将其替换成 se 为 0.04 m^3/s 的动力器件。从曲线中可以得出,其产生的流速与所能保持的罐压基本与只使用大功率真空泵抽气时相同(图 5 虚线所示的 2.3 m/s),但操作时间则延长了近 1 倍。

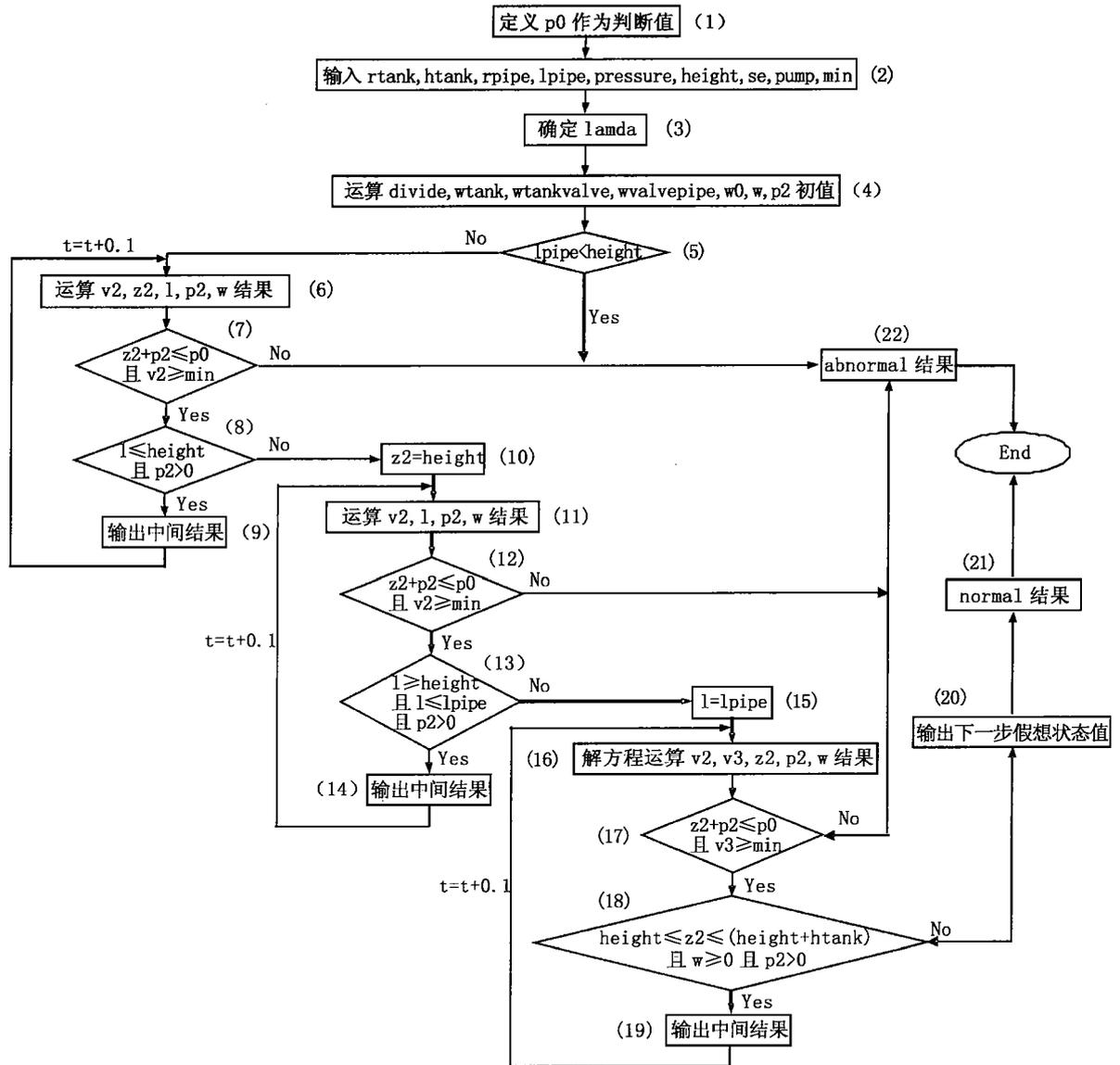


图4 程序流程图
Fig. 4 Flow chart of the program

3 样机抽吸试验

3.1 抽吸测试的试验方法

样机试验包括三个测试部分,前二项测试内容中由于无法测出吸鱼管中瞬时流速,只能根据流速与罐内压强的对应关系,以真空表示出的实时压强来反映抽吸过程中出现的变化。采用摄像机摄录真空表在抽吸操作全程中的指针变化情况,通过计算

表1 不同抽气速率和水泵开/闭时的运算组合
Tab. 1 Parameter matches with different se and pump ON/OFF

吸鱼管半径 (m)	预抽压强 (mH ₂ O)	操作平台至水面的高度 (m)	抽气速率 (m ³ /s)	抽水当量速率 (m/s)
0.1	2	3	0.08	0
			0.08	0.05
			0.06	0
			0.04	0.05

机回放捕捉各时刻的瞬时压强值以绘出罐内负压随时间的变化曲线。为力求测试的相对准确,第二项试验结果通过多次重复性试验数据取平均值来获得。

3.2 抽吸试验结果

3.2.1 抽气效率

图6表示真空泵的抽气时间和与之对应的罐内负压的变化,曲线斜率随时间变化不断变小,可见真空度越高,真空泵的抽气效率越差。

3.2.2 排水减压引起的差别

图7绘制了水泵不运转时的罐满时间和罐内压强变化(测试10次并取平均值),结果显示实际曲线与理论曲线的趋势基本一致,然而仍存在较多差异。首先,打开阀门瞬间的初始压力相差较多,这主要是由于理论计算认为空气交换是在瞬间全部完成,而从实际曲线来看,罐内压力的升高是个持续2-3s的过程。其次,实际曲线存在一定的波动,可见在水高速突入的过程中,真空泵的抽气效率并不稳定。最后,实际曲线与理论曲线在前15s差异较大,且罐满时间相比理论用时长了8s左右,这均是由于计算中使用的阻力系数等不甚理想所致。

而当抽吸开始后,打开水泵并维持其流量不变时,又生成了图8所示的压强曲线(测试10次并取平均值)。对比图7中实际曲线在前8s出现的压强缓升现象,在加入排水减压环节后,2s至7s的时间区间里出现了压强维持在6mH₂O的状况,可见初开水泵时产生的效果还是较为明显的。最终的罐满时间约为42s,比理论时间长了约12s。

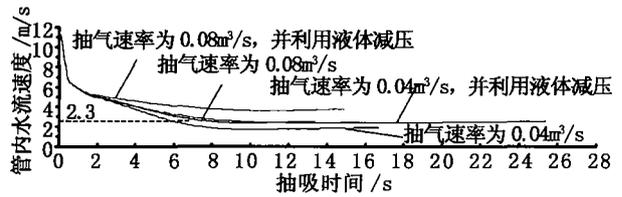


图5 不同抽气速率和水泵开/闭的理论运算结果
Fig. 5 Theoretic results with different se and pump ON/OFF

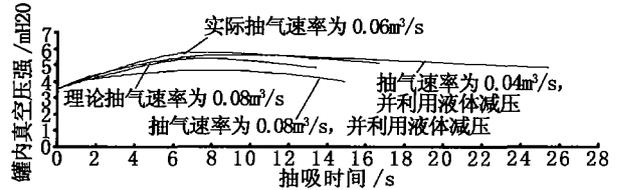


图6 真空泵的抽气效率试验
Fig. 6 Experiment on efficiency of vacuum pump

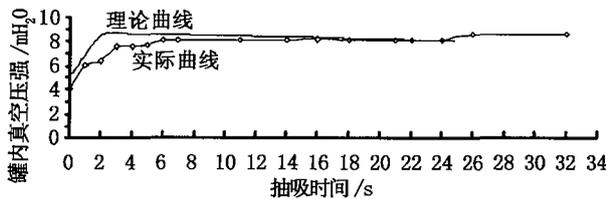
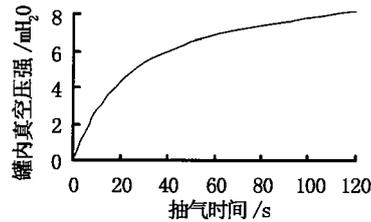


图7 水泵不运转时的实测数据与理论数据的比较 (pressure = 4mH₂O)

Fig. 7 Comparison of experimental and theoretic data when pump OFF (pressure = 4mH₂O)

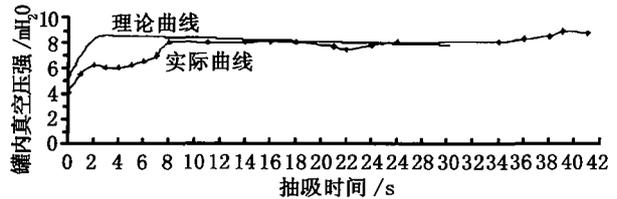


图8 水泵运转时的实测数据与理论数据的比较 (pressure = 4mH₂O)

Fig. 8 Comparison of experimental and theoretic data when pump ON (pressure = 4mH₂O)

另外,理论上加入排水减压环节后罐满时间增加约5s,而大多数时间里流速则高出近1m/s。实际测试中,水泵打开后罐满时间增加约10s,那么吸鱼管的流速应是有显著提高的,这也达到了实验的最初设想。

3.2.3 抽吸活鱼

样机(包含动力原件)总重达600公斤,不便移动,因此试验地点选在游泳池内(水深1.2-2.0m)进行。通过手工编织的网囊形网具模拟集鱼网,选定体长约150-180mm的鲫鱼作为试验鱼,初始鱼水密度处于1:1至1:2之间。试验结果表明,当罐内初压为4mH₂O时,真空式鱼泵已经能够取得良好

的抽吸效果,20 s 左右的时间里基本抽完网具中的鱼,抽吸总重约 13 kg,抽吸三次的结果见表 2。但由于鱼的数量有限,抽吸操作并未进行到罐满时刻。若以 40 s 为一次完整的抽吸时间,预计可抽吸鱼 18-20 kg。如果实际应用中采用双罐交替抽吸的设计,那么 1 h 时间里样机可以抽吸至少 2 t 的成品鱼。

4 讨论

4.1 改进方案的优劣评价

尽管前述的程序计算结果与实测数据存在一定差异,但是其反应的曲线趋势和总体变化规律基本与实际结果一致,因此该程序能够被用来作为设计过程中进行真空泵、水泵选型和吸入流速估算的主要手段,其结果也是令人信服的。

那么,通过对消耗功率相近的新旧机型的计算发现(图 9),当同样选用半径为 0.3 m、高度为 1.1 m 的样机罐体时,使用 7.5 kW 真空泵的传统机型仅 5s 左右就将罐体注满,这在实际操作中是不可能实现的,这也是传统机型通常罐体很大的原因。相比而言,使用 2.2 kW 真空泵和 4 kW 水泵的改进机型在使用小罐体的前提下,用了约 30 s 的时间才完成一次抽吸操作,大大延长了单次的工作时间。试算还得出,若需 7.5 kW 真空泵的传统机型也延长操作时间至 30 s,那么罐体需达到改进后罐体体积的 8 倍。由此可见,加入排水减压环节进行辅助减压的技术对于减小设备体积和延长罐满时间有着明显的作用。

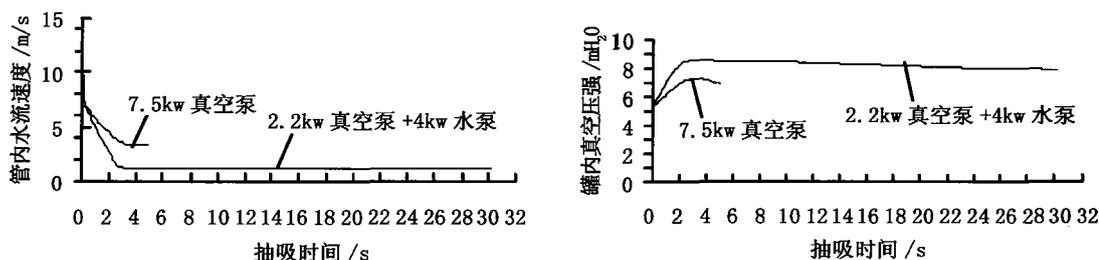


图 9 新旧方案的性能对比

Fig. 9 Performance comparisons of traditional and improved fish pumps

4.2 需要进行的改进

本次试验由于动力元件可选性的限制,真空泵与水泵的功率搭配不够理想,导致加入排水减压环节后罐满时间长了约 5 s,在实际应用中希望真空泵功率稍大,水泵再稍小些。由于样机使用了抽气效率和排水流量相对不高的动力元件,因此吸鱼管的设计流速并不高。实际生产中,当成品鱼达到养殖场要求的 270 mm 体长时,真空泵和水泵的输入功率均应提高才能满足要求,单位时间抽吸量也会随着消耗功率的增加而大大提高,抽吸效果会更理想。

参考文献:

- [1] 袁军亭,周应祺. 深水网箱的分类及性能[J]. 上海水产大学学报,2006,15(3):350-358.
- [2] 郭建平,潘联芳,徐文辉. 大型深水网箱间歇式真空吸鱼泵设计探讨[J]. 渔业现代化,2003,(2):9-10.
- [3] 黄滨,关长涛,林德芳,等. 网箱真空活鱼起捕机的研究[J]. 海洋水产研究,2004,25(3):54-60.
- [4] 韩世成,曹广斌,蒋树义. 静压活鱼提升设备实用性能参数测试[J]. 水产学杂志,2000,13(1):60-63.
- [5] 袁军亭,汤威,孙满昌. 气力提升泵性能影响因子的初步试验[J]. 上海水产大学学报,2006,15(1):71-77.
- [6] Gorrie W. Grading and handling around the hatchery[J]. Hatchery International, 2001,(3):36-37.
- [7] 林武. フィッシュポンプ(2)[J]. 漁船機関,1988,64(8):31-38.
- [8] 刘莉,曹昕歌,李春玲. 真空罐在抽水泵站中的应用[J]. 黑龙江水利科技,1997(2):51-53.
- [9] 冯林豹,高友好. 真空罐引水装置设计选用及设置要点[J]. 青岛建筑工程学院学报,1999,20(1):70-73.