



研究简报

# 振动式鱼类分级机振动因素 $n_r$ 和功率 $N_s$ 的探讨

## DISCUSSION ON THE VALUE OF VIBRATING FACTOR $n_r$ AND THE POWER $N_s$ FOR FISH GRADER OF THE VIBRATION TYPE

胡文伟

(上海水产大学渔业工程系, 200090)

Hu Wen-wei

(Fishery Engineering Department, SFU, 200090)

关键词 鱼类分级机, 振动式

KEYWORDS fish grader, vibration type

鱼类分级机是一种鱼类预处理机械, 经分级后的鱼货既利于销售, 也便于利用机械加工。此类机械, 德、日等国均有多种产品, 船上、陆地均有应用。我国北方的某些地区也在着手作机械分级的尝试。

鱼类分级机大多采用振动原理, 如图1所示, 即利用若干根金属管(圆管或三角形管或阶梯管)组成管间距渐增的倾斜形筛架, 由曲柄(或偏心轮)连杆机构驱动, 使筛架产生往复振动, 鱼货则先小后大地由管间落入料斗(最大鱼体滑出筛架), 完成分级。

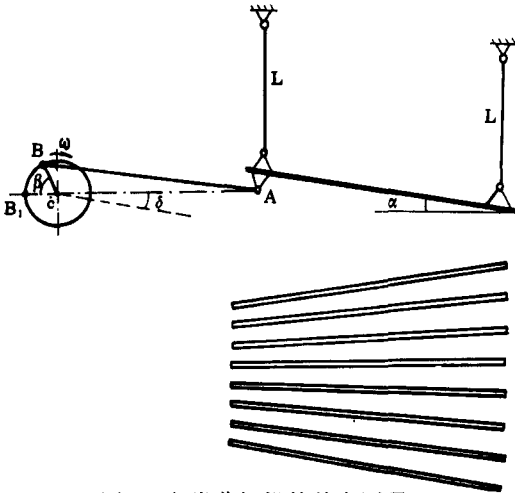


图1 鱼类分级机的基本原理

Fig. 1 The basic principle of fish grader

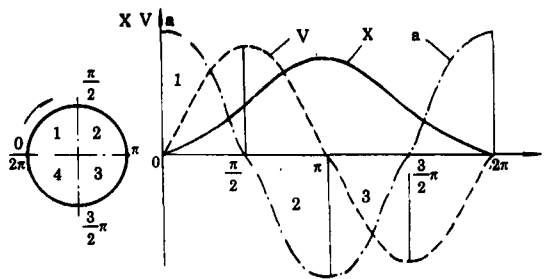


图2 筛架振动时的  $x, v, a$  变化

Fig. 2 The changes of  $x, v$  and  $a$  of the vibrated sifter

V. Chupakhin 和 V. Dormenko<sup>(1)</sup>在其著作中也介绍了该类分级机并提出了两个基本计算式:

$$nr = 3000(mm/min) \quad N_s = f \frac{n^3 r^2 G}{5.45 \times 10^6} (kw).$$

式中, n——曲柄转速(r/min);

r——曲柄旋转半径;

G——筛架及鱼货的总质量(kg);

f——据作者说明, 为鱼货与筛架的摩擦系数, 并取  $f=5$ 。

书中对  $nr=3000$  的来源未加说明, 而在功率计算中视 f 为摩擦系数恐是一种概念上的失误。笔者现就上述两个问题分别作一探讨。

### 1 关于振动因素 nr 值

如图 1 所示, 筛架对水平面下倾  $\alpha$  角。若筛架由吊杆悬挂, 则当吊杆长度  $l \gg r$ , 且连杆长与曲柄旋转半径 r 成一定比例时, 可视筛架沿 CA 线作简谐振动。一般情况下, CA 与筛面成  $\delta$  角。当取曲柄 B 的起始位置在曲柄回转圆的左边极限位置  $B_1$  时, 则筛架沿 CA 线的位移、速度和加速度分别为:

$$\begin{aligned} x &= r(1 - \cos\beta) = r(1 - \cos\omega t); \\ v &= \frac{dx}{dt} = r\sin\beta = r\omega\sin\omega t; \\ a &= \frac{dv}{dt} = r\cos\beta = r\omega^2\cos\omega t. \end{aligned}$$

式中  $\beta$  为曲柄的角位移,  $\omega$  为曲柄角速度, t 为时间。曲柄每旋转一周, x, v, a 的变化如图 2 所示。

筛架上的鱼货受到的是沿 CA 线的振动惯性力和筛面摩擦力。根据理论力学的动静法原理, 质量为  $m(kg)$  的鱼货的惯性力为

$$P = -ma = -mr\omega^2\cos\omega t$$

由于此力有方向变化, 所以在曲柄每旋转一周时, 鱼货间隔地有沿筛面的下移运动和上移运动, 且有离开筛面上抛的可能, 其量值均与 nr 值有关。

#### 1.1 鱼货沿筛面下移的 $n_{a,min}$ 值

此时鱼货所受振动惯性力应沿 CA 线向右, 为正值; 而曲柄则必须在图 2 所示的 2, 3 区间, 因为在此区间内有  $90^\circ < \beta < 180^\circ$ , 筛架的加速度为负值, 从而使  $P = -ma$  得正值。

鱼货在此时的全部受力情况如图 3(a)所示, 鱼货沿筛面下移的条件为  $P\cos\delta + G_y\sin\alpha \geq (G_y\cos\alpha - P\sin\delta)\mu$  (1)

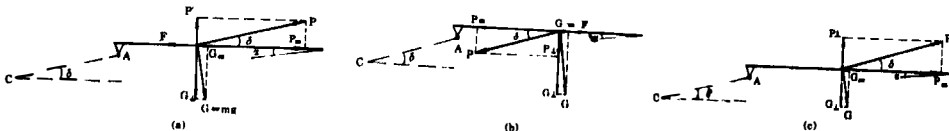


图 3 在振动筛架上鱼货所受的力

Fig. 3 The forces acting on fishes on the vibrated sifter

(1) Chupakhin, V.和 V. Dornenko, *Fish-processing equipment*, 421.

式中,  $P$ —振动惯性力,  $P = mr\omega^2 \cos\omega t$ ;

$G_y$ —鱼货重力,  $G_y = mg$ ;

$\mu$ —鱼货与筛面的摩擦系数, 而摩擦力为  $F = (G_y \cos\alpha - P \sin\delta)\mu$ .

其余如同一图所示。

将  $P$ 、 $G_y$  代入(1)式整理后得

$$\frac{r\omega^2}{g} \cos\omega t \geq \frac{\mu \cos\alpha - \sin\delta}{\cos\delta + \mu \sin\delta} \quad (2)$$

取鱼货与筛面的摩擦角为  $\rho$ , 并以  $\mu = \text{tg}\rho$  及  $\omega = \frac{n\pi}{30}$  代入(2)式, 化简后得

$$\frac{r\pi^2 n^2}{900g} \cos\omega t \geq \frac{\sin(\rho - \alpha)}{\cos(\rho - \delta)} \quad (3)$$

对不等式左端而言, 在  $r$  不变的条件下  $\cos\omega t = 1$  时,  $n = n_{a, \min}$ , 所以将(3)式稍加整理后得

$$n_{a, \min} r \geq \sqrt{\frac{900gr \cdot \sin(\rho - \alpha)}{\pi^2 \cos(\rho - \delta)}} \quad (4)$$

## 1.2 鱼货沿筛面上移的 $n_{b, \min}$ 值

当曲柄位于图 2 所示的 1、4 区间时, 筛架的振动加速度为正值, 故鱼货所受惯性力为负值, 向左。其受力情况如图 3(b)所示, 鱼货有沿筛面上移的可能, 条件为

$$P \cos\delta > (P \sin\delta + mg \cos\alpha)\mu + mgs \sin\alpha$$

将  $P = mr\omega^2 \cos\omega t$  代入, 整理、化简后得  $\frac{r\omega^2}{g} \cos\omega t \geq \frac{\sin(\rho + \alpha)}{\cos(\rho + \delta)}$

同前理, 整理后得

$$n_{b, \min} r \geq \sqrt{\frac{900gr \cdot \sin(\rho + \alpha)}{\pi^2 \cos(\rho + \delta)}} \quad (5)$$

$n_{b, \min}$  为使鱼货沿筛面上移时曲柄的最小转速, 其余符号意义同前。

## 1.3 鱼货离筛面上抛的 $n_{c, \min}$ 值

当曲柄位于图 2 中的 2、3 区间, 即惯性力向右时, 鱼货有可能离筛面上抛, 其条件如图 3(c), 为

$$P \cdot \sin\delta > mg \cdot \cos\alpha$$

将  $P = mr\omega^2 \cos\omega t$ ,  $\omega = \frac{n\pi}{30}$  代入并整理之, 则

$$n_{c, \min} r \geq \sqrt{\frac{900gr \cdot \cos\alpha}{\pi^2 \sin\delta}} \quad (6)$$

$n_{c, \min}$  为使鱼货离筛面上抛时曲柄的最小转速。

为了使鱼货按个体大小分级均匀, 振动因素的选取应在确保鱼货的绝对速度向下的前提下, 还应使其具有间断的上移运动(上移速度小于下移速度), 以使鱼货在筛面上有足够的滞留时间, 确保其在与其个体尺寸相应的间隙中落下。但鱼货离开筛面的上抛运动应该避免, 以防跌落碰撞。

根据 V. Chupakhin 在其著作中的推荐, 取

曲柄旋转半径  $r = 5.5(\text{mm})$ (一般为 4~6mm)

筛架倾斜度  $\alpha = 8^\circ$

现若取鱼货与筛架的摩擦系数  $\mu = 0.6$ , 即  $\rho = \text{tg}^{-1}\mu = 31^\circ$ , 并取  $\delta = \alpha = 8^\circ$ , (即筛架在水平线上振动)代入(4)、(5)、(6)式得

$$n_{a, \min} r = \frac{30}{\pi} \sqrt{rg \cdot \text{tg}(\rho - \alpha)} = \frac{30}{\pi} \sqrt{5.5 \times 9.81 \times 10^3 \times \text{tg}(31 - 8)} = 1445$$

$$n_{b, \min} r = \frac{30}{\pi} \sqrt{rg \cdot \text{tg}(\rho + \alpha)} = \frac{30}{\pi} \sqrt{5.5 \times 9.81 \times 10^3 \times \text{tg}(31 + 8)} = 1996$$

$$n_{c, \min} r = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{rg}{tg\alpha}} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{5.5 \times 9810}{tg8^\circ}} = 5917$$

根据上述对分级时鱼货运动的要求, 分级机正常工作时的 nr 值应在下列范围:

$$n_{b, \min} r < nr < n_{c, \min}$$

所以取  $nr \approx 3000$ , 在上列范围之内, 是可行的。

应该看到  $\delta$ ,  $\alpha$  角的取值变化所具有的影响。

由(4)、(5)、(6)式知,  $\delta$  角减小, 则  $n_{a, \min} r$  和  $n_{c, \min} r$  增大, 而  $n_{b, \min} r$  减小。对于一定的 nr 值而言, 这表示鱼货上抛的可能性小了,  $n_{a, \min} r$  和  $n_{b, \min} r$  的差值(即鱼货下移速度和上移速度的差值)也减小了, 后者将使分级机处理鱼货的速度降低。 $\delta$  角增大, 则情况相反。 $\delta$  角的最大值可由  $n_{c, \min} = nr$  决定, 当取  $nr = 3000$  时, 由(6)式得  $\delta_{\max} = 32.8^\circ$ 。由于此值已可使鱼货上抛, 所以一般只能取  $\delta < 10^\circ$ 。

$\alpha$  角的变化具有与上述类似的影响。由(4)式知应使  $\alpha < \rho$ ; 当  $\alpha = \rho$  时,  $n_{a, \min} = 0$ , 表示即使机器静止, 鱼货也可能运自下移, 这显然达不到均匀分级的要求。 $\alpha = 0$ , 则  $n_{a, \min} r \approx n_{b, \min} r$ , 将使鱼货下移的绝对速度降低。

## 2 关于功率 $N_s$

$$\text{不考虑效率, } N_s = \frac{Pv}{1000} \text{ (kW)} \quad (7)$$

式中, P—沿振动方向推动筛架和鱼货的外力(N);

v—筛架的振动速度(m/s)。

显然  $N_s$  将随 P、v 的变化而变化。将

$$P = Mr\omega^2 \cos\omega t = \frac{G}{g} r\omega^2 \cos\omega t$$

$$v = r\omega \sin\omega t$$

代入(7)式, 则

$$N_s = \frac{Gr^2 \omega^3 \cdot \cos\omega t \cdot \sin\omega t}{1000g}$$

再将  $\cos\omega t \cdot \sin\omega t = \frac{1}{2} \sin 2\omega t$  和  $\omega = \frac{n\pi}{30}$  代入上式, 整理之得

$$N_s = \frac{Gr^2 n^3}{54 \times 10^6} \times \frac{\pi^3}{g} \times \sin 2\omega t \quad (8)$$

当取 r 单位为米时,  $\pi^2 \approx g$ , 又取  $\sin 2\omega t = 1$ , 得最大功率

$$N_{s, \max} = \pi \times \left( \frac{Gr^2 n^3}{54 \times 10^6} \right) \text{ (kW)} \quad (9)$$

以上各式中 G(M) 为筛架和鱼货的重力(质量)之和。

若对(8)式取算术平均值, 则由于在  $0 \sim \pi$  区间内有

$$\frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2\omega} \sin 2\omega t dt = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2\omega} \sin 2\omega t d(2\omega t) = \frac{2}{\pi} [-\cos 2\omega t]_0^{\pi/2\omega} = \frac{4}{\pi}$$

所以代入(8)式后得

$$N_{sm} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{Gr^2 n^3}{54 \times 10^6} \text{ (kW)} \quad (10)$$

若对(8)式取均方根值, 则  $\sin 2\omega t$  的均方根值为

$$\sqrt{\frac{\omega}{\pi} \int_0^{\pi/\omega} \sin^2 2\omega t dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi/\omega} \sin^2 2\omega t d(2\omega t)}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{1}{2}(1 - \cos 4\omega t) d(2\omega t)} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

代入(8)式得

$$N_v = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \frac{Gr^2 n^3}{54 \times 10^6} \quad (kW) \quad (11)$$

如将本文开始所列举的功率计算式

$$N_s = f \left( \frac{Gr^2 n^3}{5.45 \times 10^6} \right)$$

中之 G 的单位由(kg)改为(N), 即分母乘以  $g=9.81$ , 则变换为

$$N_s \approx f \left( \frac{Gr^2 n^3}{54 \times 10^6} \right) (kW)$$

与式(9)之最大功率相比有  $\pi$  与  $f$  之差。从意义上说, 振动功率与摩擦系数  $f$  无关, 且摩擦系数也不可能大到 5; 从数值上看,  $\pi$  与 5 差值不大, 所以若将  $f=5$  看作是一种经验上的功率储备系数则是可以理解的。

在食品行业某些颗粒状货物的分级机中, 也有利用最大动能原理以推算振动功率的。曲柄每转中, 筛架有前后两次振动, 因此其最大动能是

$$E = 2 \times \frac{1}{2} MV_{max}^2 = MV_{max}^2 \quad (12)$$

以  $V_{max} = \frac{\pi nr}{30} (m/s)$  和  $M = \frac{G}{g} (kg)$  代入(12)式, 有

$$E = \frac{G\pi^2 n^2 r^2}{900g} (J)$$

而功率  $N_s = \frac{En}{60} = \frac{G\pi^2 n^3 r^2}{54 \times 10^3 g} (W) = \frac{Gn^3 r^2}{54 \times 10^6} (kW)$

式中视  $\pi^2 = g$ , 约去, 取  $r$  单位为米。

与前述诸式比较, 此处  $N_s$  值最小, 原因在于这里没有计及加速度所引起的动载荷(因为当  $V = V_{max}$  时, 加速度  $a=0$ )。

### 3 小结

(1) 不计机械效率, 振动分级机的最大功率应为

$$N_{smax} = \pi \frac{Gn^3 r^2}{54 \times 10^6} (kW)$$

(2) 如按本文第 107 页脚注(1)中作者所提的  $N_s = f \frac{Gn^3 r^2}{54 \times 10^6} (kW)$  中, 视  $f$  是摩擦系数是一种概念错误, 而视  $f=5$  为功率储备系数是可以的。

(3) 按最大动能原理推算分级机的功率是偏小的。

### 参 考 文 献

- [1] 无锡轻工业学院和天津轻工业学院, 1981年, 食品工厂机械与设备, 50, 轻工业出版社(京).  
 [2] 李翰如编译, 1960年, 农业机械学(下册), 25-28, 机械工业出版社(京).

# 《上海水产大学学报》(季刊) 征稿简则

一、本刊为上海水产大学主办、以水产科学技术为主的综合性学术刊物。坚持党的四项基本原则,贯彻“百花齐放、百家争鸣”和“科学技术为经济建设服务”的方针,为水产教育和实现渔业现代化服务。主要反映本校各学科科研成果,促进学术与教学研究的交流与繁荣。主要刊载渔业资源、水产养殖与增殖、水产捕捞、水产品保鲜与综合利用、渔业水域环保、渔船、渔业机械与仪器、渔业经济与技术管理以及水产基础研究的论文、调查报告、研究简报、综述与评述、简讯等,并酌登学术动态与重要书刊评介。

## 二、来稿注意事项

1. 来稿为可以公开发表者,不接受在国内外已发表过的文章。作者要遵守著作权法和科研道德规范,发扬优良的文风和学风。如曾在各类专业会议上宣读或已在内部刊物上发表过,请加说明。引用他人成果时应注明出处,协作关系等亦应列明。

2. 文章要求简明扼要(包括篇名),文字精练(包括图、表、文献的运用)。着重阐述作者的新观点、新方法、新成果。材料方法、基本原理、公式推导等从简。

3. 论文和调查报告最多不超过8千字(含图、表、文献,下同);评述或综述不超过7千字;余者,最多为4千字。

4. 来稿文责自负。本刊对来稿有删改权,作者不愿时请事先说明,必要时退作者修改、精简或清稿。未刊用稿一般不退,如需退还亦请说明。本刊不接受作者提供的复印件。

5. 文章一经刊登,将酌致薄酬,并按每份稿件赠送当期本刊二册。

6. 来稿请交本校科研处或“上海军工路334号38信箱”《上海水产大学学报》编辑部。

## 三、对稿件的编辑出版要求

1. 论文和调查报告应有200字以内的文前提要和关键词。英文摘要(Abstract)需较详细,应扼要反映全文面貌和主要内容,单词在400个左右,并附有和关键词一一对应的Keywords。英文摘要一律提供宽行打字稿一式二份。

2. 作者撰稿时请按《中国高等学校自然科学学报编排规范》(试行稿)要求书写。其中:(1)作者姓名英译采用如Zheng Guo-xing(郑国兴),而不写成Zheng Guoxing;(2)参考文献采用“著者-出版年”体系。每条文献中的篇名与书名等不可省略。文献中不列入非公开发行的书刊。

3. 稿件请用常规的有格稿纸誊写,字迹端正且无杜撰的简化字。插图和照片要清晰,要符合出版的技术要求。图、表等单列时,在文稿的相应页面内要留有适当空位。

4. 文中所有图、表的题目均需汉、英对照。

5. 文中均采用国家审定的学术名词、名称或术语。

6. 度量衡及其符号,统一采用国际标准制及国家计量法规定的计量标准。地积单位采用“米<sup>2</sup>”、“公顷”或“公里<sup>2</sup>”等而不是“亩”。

# 《上海水产大学学报》编辑委员会

(1992年6月)

主任委员: 乐美龙

副主任委员: 陈 坚 王克忠 苏锦祥

委 员: (以姓氏笔划为序)

王尧耕 王克忠 乐美龙 邢华良 李思发 李雅飞 陈 坚 汪天生  
宋承方 严伯奋 苏锦祥 何苏麟 林雅年 周应祺 赵维信 桂志成  
徐文达 徐世琼 梁象秋 章可畏 谢明珠 滕永坤

上海水产大学学报

(季刊 1992年创刊)

1992年 第1卷 第1-2期

JOURNAL OF SHANGHAI FISHERIES UNIVERSITY

(Quarterly Started in 1992)

Vol. 1 Nos. 1-2 1992

主办单位 上海水产大学  
编 辑 上海水产大学学报编辑委员会  
出 版 上海水产大学  
印刷装订 上海法律印刷厂  
发行订购 上海水产大学科研处  
(上海市军工路 334 号 200090)

Sponsored by Shanghai Fisheries University  
Edited by Editorial committee of JSFU  
Published by Shanghai Fisheries University  
Printed by Shanghai Legislation Printing House  
Distribution & Subscription: Scientific  
Research Department of SFU  
(334 Jun Gong Lu, Shanghai, 200090, China)