

# 钉螺静水沉降试验及其沉速公式的建立<sup>\*</sup>

徐兴建 杨先祥 刘建兵 李小平

(湖北省血吸虫病防治研究所 武汉 430070)

潘庆荣 张 威 熊正安

(水利部长江科学院河流研究所 武汉 430010)

**摘要** 为了掌握钉螺静水沉降规律,本研究根据钉螺壳形的几何特征进行了钉螺静水沉降观测试验。同时,运用流体力学理论,推导并建立了钉螺静水沉速公式,并对其中反映钉螺壳形的三个主要物理变量作了较详细的阐述。各变量的物理意义明确,理论基础可靠,经  $t$  检验结果显示公式计算值与钉螺沉降实测值无显著性差异,具有实用价值。

**关键词** 钉螺 静水沉降 沉速公式

国内外学者以钉螺外壳的形态学探讨钉螺种属分类曾做过大量研究工作<sup>[1-4]</sup>。但根据观测钉螺的静水沉降状态的沉速,推导钉螺静水沉速公式的研究以往未见报道。本研究是“江河水系灌溉系统防止钉螺扩散技术研究”项目的子课题,结果报告如下:

## 1 钉螺静水沉降试验

**1.1 钉螺样本** 4.5旋以上的钉螺采集于潜江市;4.5旋以下钉螺为实验室所饲养的钉螺。测试前,先将钉螺按螺旋数,以小于4.5旋、4.5-7.5旋和大于7.5旋分为三组,每组随意选择200只活螺供测试用。采用普遍规格不锈钢卡尺(精度0.02mm),对钉螺逐只测量其壳长(h)和壳宽(D)。壳长的测量是将卡尺轻轻卡住钉螺壳尖及基底(以mm为单位)。壳宽的测量是将卡尺卡住螺体旋最宽部位(以mm为单位)。螺壳的长宽比(h/D)以 $\varphi$ 表示,作为钉螺分级的特征值。钉螺由幼螺发育成长过程中,表现在螺旋的增多,同时螺长要比壳宽增加得快,彼此之间有一定关系,因此,可采用 $\varphi$ 值和螺旋数将钉螺进行分级(见表1)。

**1.2 钉螺静水沉降测试** 将三个级别的钉螺螺口朝上、螺口朝下和螺体平放三种方式逐只投入注满蒸馏水的特制玻璃沉降管(管长160cm),内径4.5cm,有效观测长度长130cm)。

表1 钉螺分级

级别	$\varphi$ 值	螺旋数(旋)	备注
I	<2.0	<4.5	幼螺
II	2.0-2.5	4.5-7.5	中螺
III	>2.5	>7.5	大螺

观测钉螺的沉降状态,发现无论哪种投放方式,一旦钉螺被投入沉降管水中便会自动调整呈水平状态而垂直平稳地下沉,只有个别钉螺沉降时略有摆动的姿势,钉螺静水沉降速度实测的平均值范围在2.29-13.93cm/s之间(见表2)。

表2 钉螺沉降速度实测值

钉螺 级别	钉螺 数量(只)	沉降速度(cm/s)		
		最小值	最大值	平均值
I	200	0.94	3.65	2.29
II	200	7.22	13.00	10.11
III	200	11.61	16.25	13.93

## 2 结果分析

**2.1 钉螺静水沉速基本公式的推导** 钉螺在水中的沉降速度受两方面的作用力,其一是受地心引力作用产生的重力,使钉螺产生向下沉降的加速运动;其二是水对下沉钉螺的阻力。由泥沙运动理论可得钉螺在水中所产生的重力

<sup>\*</sup> 湖北省科委重点项目和卫生部 JRM C 项目;

第一作者介绍:徐兴建,男,44岁,副教授;

收稿日期:1996-06-26,修回日期:1997-05-13

是它在水中的有效重率<sup>[5]</sup>,即

$$G = V(r_s - r_o) \quad (1)$$

水对钉螺的阻力为:

$$F = \varphi C_a r_o S \frac{W^2}{2g} \quad (2)$$

根据牛顿的惯性定律,在  $G - F = 0$  条件下,钉螺下沉的加速度为零,以等速运动形式下沉。故推导得钉螺沉降的基本公式为:

$$W = \sqrt{\frac{V}{S} \left( \frac{r_s - r_o}{r_o} \right) \frac{2g}{C_a \varphi}} \quad (3)$$

上述(1)(2)(3)式中各种符号所代表的物理量为:

$G$ :钉螺在水中的重力。

$W$ :钉螺在静水中的沉速。

$r_s$ :钉螺的重率(经测试为  $1.80\text{g/cm}^3$ )<sup>[6]</sup>。

$r_o$ :水的重率。

$S$ :钉螺承受阻力面面积。

$C_a$ :无因次阻力系数。

$F$ :水体对钉螺的阻力。

$V$ :钉螺的体积。

$\varphi$ :钉螺形状校正系数  $\varphi = h/D$ 。

$g$ :重力加速度。

## 2.2 基本公式中反映钉螺壳形特征变量 $\varphi$ 、 $V$ 、 $S$ 的表达形式

**2.2.1 钉螺形状校正系数  $\varphi$**  钉螺壳形的几何形状大小对钉螺沉降的阻力是有影响的。钉螺在幼螺期其壳形呈 2-3 旋的圆锥形,到成螺期其壳形呈 7-8 旋的圆锥形。钉螺不同时期壳型大小和形状变化可用螺旋数和钉螺形状校正系数( $\varphi$ )这两个特征值来反映。

**2.2.2 钉螺的体积  $V$**  成螺期的钉螺外壳形体呈上尖下圆近似圆锥体的壳形特征,故钉螺的体积可采用立体几何圆锥体体积公式表达:

$$V = \frac{\pi}{12} D^2 h \quad (4)$$

**2.2.3 钉螺沉降承受阻力面面积  $S$**  钉螺在沉降过程中所承受的阻力面,由钉螺下沉的方向和状态所决定。根据大量钉螺在沉降管中以水平状态垂直下沉的观测结果,可得钉螺下沉所承受的阻力面面积就是钉螺下沉状态投影面

面积,其表达式为:

$$S = \frac{1}{2} Dh \quad (5)$$

将  $\varphi$ 、 $V$ 、 $S$  三个反映钉螺壳形特征的变量表达式代入(3)式,整理后得到钉螺静水沉速公式的一般形式:

$$W = \sqrt{\frac{\pi}{3C_a} \cdot \frac{D^2}{h} \left( \frac{r_s - r_o}{r_o} \right) g} \quad (6)$$

**2.3 各级钉螺静水沉速实用公式的建立** 利用公式(6)计算钉螺静水沉速,首先要确定公式中阻力系数  $C_a$  值。根据流体力学理论,物理沉降的阻力系数与该物体的形状大小和物体的绕流雷诺数  $R_d$  有关,可以通过实验数据建立  $C_a - R_d$  关系。计算钉螺阻力系数的公式为:

$$C_a = \left( \frac{\lambda}{W} \right)^2 \quad (7)$$

计算钉螺绕流雷诺数的公式为:

$$R_d = W \sqrt{Dh} / \nu \quad (8)$$

将钉螺静水沉速实测值代入(7)(8)两式中计算出各个钉螺的  $C_a$  和  $R_d$  值,然后将这些值全部点绘在双对数坐标纸上,便可看到钉螺沉降阻力系数与雷诺数关系如图 1。

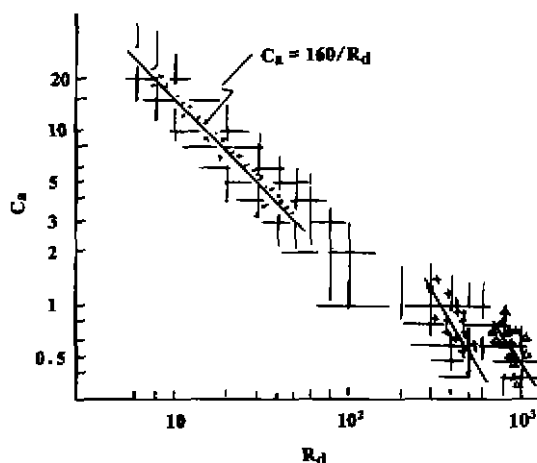


图 1  $C_a - R_d$  关系图

从图中结果看,钉螺点群明显为三组点群分布。表明由于钉螺壳形大小不同,其三个级别钉螺的阻力系数和绕流雷诺数亦不一致。故大、中、小三级钉螺不能统一在一个沉速公式

内,由此分别建立三个级别钉螺的沉速公式:大钉螺  $C_a = 0.5$ ;  $R_d > 600$ ;  $\varphi > 2.5$ ; 螺旋数  $> 7.5$

$$W = \sqrt{\frac{2\pi D^2}{3h} \left( \frac{r_s - r_o}{r_o} \right)} g \quad (9)$$

中螺:  $C_a = 0.8$ ;  $300 < R_d < 600$ ;  $2.0 < \varphi < 2.5$ ; 螺旋数 4.5 - 7.5 旋

$$W = \sqrt{\frac{1.25\pi D^2}{3h} \left( \frac{r_s - r_o}{r_o} \right)} g \quad (10)$$

幼螺:  $C_a = 160/R_d$ ;  $R_d < 50$ ;  $\varphi < 2.0$ ; 螺旋数  $< 4.5$

$$W = \frac{\pi D^{2.5}}{480 V h^{0.5}} \left( \frac{r_s - r_o}{r_o} \right) g \quad (11)$$

**2.4 检验钉螺静水沉速实用公式** 将钉螺静水沉速实测值与(9)(10)(11)三式计算值进行比较,以实测沉速为一样本,公式计算沉速为另一样本,采用  $t$  检验方法进行显著性检验。结果  $t = 0.4$ ,  $P > 0.6$ ,表明公式计算值与实测值之间无显著性差异。

### 3 小结

结果表明:根据钉螺壳形呈圆锥形的特征,采用了三种方式将钉螺投入水中,各级钉螺均

呈水平状态平稳下沉,由此可得钉螺沉降的阻力面面积( $S$ )。本文对钉螺的体积( $V$ )和钉螺的形状校正系数( $\varphi$ )等方面进行了较详细的阐述。从推导并建立的钉螺静水沉速基本公式的组成成份来看,代表钉螺壳形几何特征的三个变量( $V$ 、 $S$ 、 $\varphi$ )与公式的形成和建立具有密切的关系。这些公式,理论基础可靠,物理意义明确,结构简单,便于应用。经统计学检验,公式计算值与实测值无显著性差异,具有实用价值。钉螺静水沉速公式的建立,为深入研究防止钉螺扩散打下了基础。

### 参 考 文 献

- 1 毛守白主编。血吸虫生物学与血吸虫病的防治。第1版,北京:人民卫生出版社,1990。260。
- 2 Davis, G. M. Snail hosts of Asian Schistosoma Infecting Man, Evolution and Coevolution, *Malac. Rev. Suppl.* 2. 1980. 195.
- 3 郭源华,毛守白。日本血吸虫螺蛭宿主钉螺的分类:中国不同流行区的钉螺形态学的研究。中华医学杂志(外文版),1957,73(10):824。
- 4 钟读敏,胡长明。芦滩、草滩及圩内钉螺壳型指数观察。中国血吸虫病防治杂志,1994,6(3):179。
- 5 钱宁,万兆国合著。泥沙运动力学。北京:科学出版社,1983。5。
- 6 徐兴建,杨先祥,宇传华。钉螺和螺卵的重率测定。中国血吸虫病防治杂志,1993,5(5):303。