

# 潮间带潜堤网栏养虾设施的设计

常济民 曲广平 张庆文 庄丽禾

(中国水产科学研究院渔业工程研究所,青岛)

**提 要** 在近岸潮间带建设潜堤,并在堤顶设置拦网是一种新型的对虾人工养殖设施。这种潜堤网栏养殖设施,在涨潮时,海水越堤而过,注入池内;退潮时,利用拦网防逃,潜堤贮水,实现自行换水。该设施投资小,节省能源,管理方便,产量高。本文通过两个已建工程的设计,说明这种养殖设施的可行性,并提出潜堤和拦网设计中的各项参数的确定方法。

**关键词** 潜堤,拦网,工程设计,对虾养殖

## 前 言

传统的中国对虾养殖设施是在沿海潮间带修建拦潮大坝,然后修池建闸。涨潮时,利用闸门纳水或水泵提水,通过引水渠道,送到各个养殖池。退潮时,污水由排水渠道和排水闸排出。

一种新的养殖设施,潜堤网栏式养虾设施 1985年在山东省崂山县西女姑口山村试用成功。2公顷水面生产对虾4500公斤。这个设施是在潮间带建设高0.8米的泥坝,在堤坝顶部设置拦网。涨潮时,海水越堤而过,将海水注入池内;退潮时,利用潜堤贮水,拦网防逃,实行自然换水。该设施位于胶州湾内西北角,具有良好的避风浪条件;底质条件优良,粘土含量达31%,属于粘土质粉砂。而这对于那些少有掩护的较为开敞的海区,底质为粉砂质的广阔滩涂能否适用?什么样的结构形式,采取那些工程措施就可以使这样一种养殖设施更容易地在更广泛的地区进行推广?为此,我们于1986年开始,经过两年的研究取得了初步成果。所建的两处生产性试验工程,都安全地渡过了87年4号和7号台

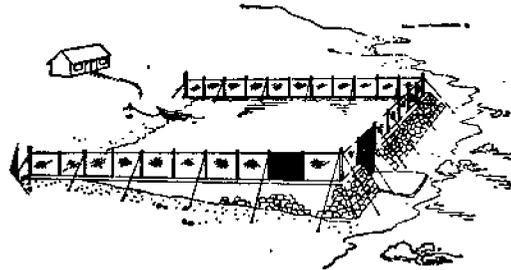


图1 潜堤网栏养虾设施工程示意图(退潮时情景)

Fig. 1 Engineering schematic diagram of submerged dike with net-screen for the prawn culture (tidal fall)

风,成功地运行了一年。说明这种养殖设施的结构设计是适用于较为开敞的海区和粉砂质底质的。

## 自然 环境

### 一、两个养殖场的概况

央子养殖场位于寒亭北,渤海区莱州湾白浪河口。该处地势平坦,池南面是已建成的600公顷虾池的防潮大堤,西面为新建的商港,养虾试验池建在一横沟内。北面为一沙丘,可直接插杆布网。沟叉两端建设两座潜堤,围成一座2.3公顷水面的养殖池,底质为粉砂砂质。

埠西养殖试验池位于开口朝南的黄海区崂山湾东岸,没有岛屿掩护,滩涂平坦,底质为粉砂质砂。这里原有一条大坝,拟向北建一条长320米的潜堤与北面自建的新大坝相连,形成一个66公顷水面的潜堤网拦养虾池。

### 二、潮汐和海浪

潮汐和海浪对海岸工程至关重要。它们直接决定了工程的各项力学指标的确定。

潮汐本应有一个月以上的验潮资料进行推算,但由于工程要求当年投产,只得参考了附近港口的资料初步确定<sup>(1)</sup>。以埠西场为例,设计高水位确定为+2.10米(黄海高程,以下同)。工程建设后,在养殖池外西北角处设置了水尺,对高潮位进行验证。这项观测包括了七、八两个月的大潮和小潮及4号、7号台风的高水位,水尺零点高程为0.445米,实测结果最高潮位为2.23米。

因潮间带滩涂比较宽阔,黄、渤海区潮差不大,水深较小,波浪多在破碎带内,故波浪的波高采用极限波高<sup>(2)</sup>。

$$H = 0.78d \quad (1)$$

式中,  $H$ ——极限波高(米),  $d$ ——水深(米)

由此算得埠西的极限波高 $H$ 为1.6米。

由于底摩擦等因素影响,实际波高不会达到1.6米。我们取1.5米做为设计波高。由 $d/L_0 = 0.021$   $d/L = 0.05912$  得到波长为 $L \approx 35.5$ 米。该波浪与埠西的潜堤轴线以 $40^\circ$ 角相迁。由87年7月29日7号台风时现场观测到的最大波高为1.25米,最小波高为0.78米,周期8~9秒。基本与推算结果相符。

## 潜 堤 设 计

这里要求的潜堤不同于港口工程中常用的消波潜堤和围垦工程用的促淤潜堤,它们可以抛石建筑,允许透水。而这里的潜堤在退潮之后,要做为养殖池的池壁贮水之用。所以不允许大量透水;这种潜堤也不同于水利工程中的土坝,虽然不透水,但不允许越顶

(1) 山东海洋学院,1976。女岛潮汐(该院海洋系提供给当地港口的资料)。

(2) 山东海洋学院,1976。女岛海浪观测及有关计算(该院海洋系提供给当地港口的资料)。

溢流。而这里的潜堤在涨潮时允许海水漫顶而过, 最终淹没它。国内外这方面的资料甚少, 且无规范可循。根据实际需要和当地材料来源, 设计了两种形式: 一种是在夹子场采用的浆砌石墙式, 由稳定计算进行验算。一种是在埠西采用的, 干插块石护面式, 并对这种形式进行了模型试验, 不仅验证了该断面的稳定, 而且确定了这种断面形式护面块石稳定重量计算公式中的有关系数。

### 一、断面形式的选择

(1) 夹子场由于地处滩北平原, 石块、碎石都很少。选择了建两座浆砌石墙, 中间原地取土填充, 然后用素石混凝土封顶的形式。池内壁的直立墙以防渗为主, 池外侧以排水为主。因此, 外墙基下设置反滤层, 将渗入堤中的水有计划地排出(见图 2)。

(2) 埠西场由于海边周围有大量石头可供开采使用。因此, 采用斜坡式潜堤形式。堤心为就地取土筑成, 外面敷以反滤层保护, 然后采用干插块石护坡。底宽 8.5 米, 顶宽 3 米, 外坡 1:2, 内坡 1:1.5(见图 3)。

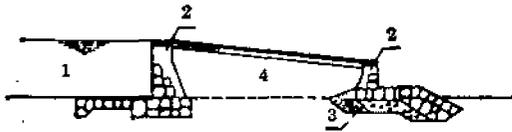


图 2 浆砌石墙式潜堤断面

Fig. 2 Section of the submerged dike of masonry-stone wall

1. 虾池, 2. 浆砌石块, 3. 反滤层, 4. 回填土

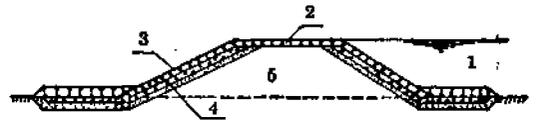


图 3 斜坡式潜堤断面

Fig. 3 Section of sloping submerged dike

1. 虾池, 2. 浆砌石护面, 3. 干插块石护面, 4. 反滤层, 5. 回填土

护面块石原则上不得小于 40 公斤。每块块石的纵轴不得小于 30 厘米。关于护面块石的稳定重量, 通过模型试验给出下面公式中的  $K$  值<sup>(9)</sup>。

$$W = \frac{H^3 \gamma_r}{K (S_r - 1) m} \quad (2)$$

式中,  $W$ ——护面块石的稳定重量(公斤);

$H$ ——波高(米);

$\gamma_r$ ——块石的容重;

$S_r$ —— $S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma}$  ( $\gamma$ ——海水的容重);

$m$ ——护坡坡比;

$K$ ——系数。

该式形式上和赫德逊(S. Y. Hudson)公式相同, 但赫氏公式表述的是波浪不越顶的出水堤, 这里指的是潜水堤。其中  $K$  值是堤顶水深  $a$  和波高  $H$  之比( $a/H$ ) 的函数。图 4 给出了  $m = 2$ , 失稳率为 0~1% 时  $K \sim a/H$  的关系曲线。通过查图和式(2), 可算得所需块石的稳定重量。

(9) 杨正已等, 1981. 波浪作用下抛石堤的稳定性及消浪特征。南京水利科学研究所研究报告。

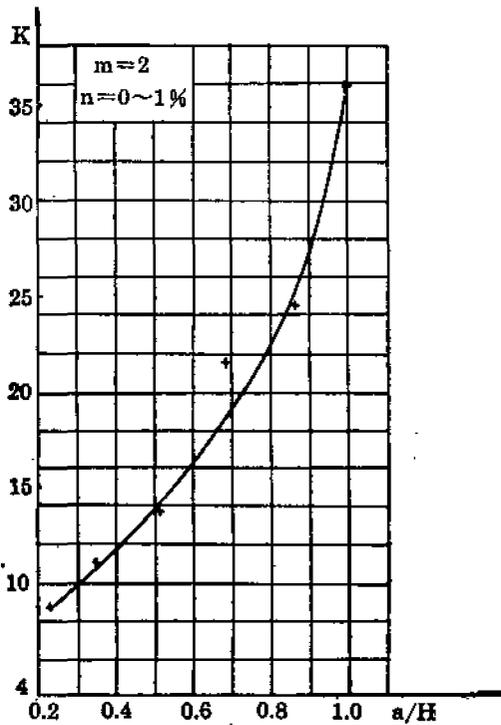


图4 K和a/H的关系曲线  
Fig. 4 The curve of relation  
between K and a/H

## 二、堤顶高程

堤顶高程的确定要权衡各方面因素, 全面考虑。堤顶定得过高, 池内水深, 养殖面积可大些, 投苗量亦可增加。但水交换量小, 在小潮汛期间会出现连续几天不进水。由于无提水设备和增氧机械, 容易出事故。反之, 则影响养殖水面, 直接影响经济效益。央子场堤顶高程为+1.2米, 每月三天不进水; 埠西场堤顶高程为+1.5米, 也是三天不进水, 基本满足了养殖对虾的需要。

## 三、堤底宽度的确定

粉砂底质的承载力一般为6.5吨/米<sup>2</sup>到10吨/米<sup>2</sup>。因此, 对建1—2米高的潜堤是完全可行的。但是在震动载荷下, 粉砂极易液化, 发生渗透变形。所以, 一米水头的坝底宽不应小于6米。

埠西场, 水深为1.5米, 堤身底宽为8.25米, 加之堤外底脚防渗设施2米, 故底宽为10.25米; 央子场, 由于工程建设范围内地势变化较大, 故潜堤采用变截面形式。现仍以水深为1.5米处为例, 堤身宽5.9米, 池内设

2米宽防渗铺盖, 加之池外排水设施1.1米, 故底宽为9米。

两个工程虽然结构不同, 但底宽基本一致, 以保证设施的安全运行。

## 拦网设计

为防止池中的虾在涨、落潮时越堤逃走, 在堤顶安放一至二道拦网。拦网敷在堤顶的木杆或铁杆上。网的下缘用木条压在堤顶预留的槽内。央子场设置了一道拦网, 埠西场设置了二道。

### 一、网顶高程的确定

网顶高程应该用最高潮位加半波高加防跳高。可用下式表示,

$$H_s = H_s + \frac{1}{2}H + 0.5 \quad (3)$$

式中,  $H_s$ ——最高潮位(米);  $H$ ——波高(米)。

以埠西为例, 设计高水位为+2.10米, 设计波高为1.50米, 则网顶高程为3.35米。

实际施工时, 由于购置的网片幅度较宽, 不宜剪裁, 结果网顶高程已达+4.0米。在1987年4号、7号台风情况下, 也不需如此高的网。实践证明计算值是适用的。

### 二、网目确定

通过试验, 对于阻拦 4—5 厘米的虾可选用  $2a = 1.5$  厘米。对于阻拦 3 厘米的虾苗可选用  $2a = 1$  厘米网目的聚乙烯无结经编网。

### 三、网衣受力计算

采用捻合网线的网片阻力公式将更利于安全。关于网具在波浪作用下的受力, 国内外有关文献很少。这里引用苏联 A. N. 库兹涅佐夫采用斯托克斯列里近似理论得到的极限波陡情况下的网片阻力公式<sup>(4)</sup>。在浅水中, 波浪与流同时作用于网片时, 网的水阻力可表示为:

$$R = K \int_0^H (V_1 \pm V_2)^2 dy \quad (4)$$

式中,  $R$ ——网片的阻力(牛顿/米);  $K$ ——阻力系数;

$V_1$ ——流速(米/秒);  $V_2$ ——波浪水质点的水平分速度(米/秒)则单位米上网片的水阻力为式(4)对  $y$  积分到波峰。在极限波陡情况下, 库兹涅佐夫给出下式:

$$R = K(HV_1^2 \pm 1.40\tau_0 V_1 \sqrt{\lambda} + 20\tau_0^2) \quad (5)$$

式中,  $H$ ——网高(米);  $\lambda$ ——波长(米);  $\tau_0$ —— $\frac{1}{2}$ 波高(米);

式中的减号表示在波谷的情况。

对埠西场计算结果为两个木杆间的网的水阻力  $R$  为 189 公斤。

### 四、网的装配

首先根据网高, 以  $u_1 = u_2 = 0.707$  进行缩结剪裁。以绕缝形式将上纲、下纲与网衣上、下缘进行连结。每隔 20 厘米结扎一次。横肋纲穿结在中间, 每隔 50 厘米按  $u_1 = 0.707$  结扎一次。每片网衣, 相隔 3 米装配一条竖向肋纲, 采用穿结方式, 每隔 50 厘米按  $u_2 = 0.707$  结扎一次。拦网装配见图 5、图 6。

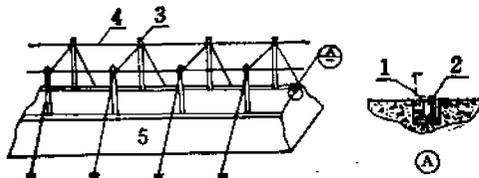


图 5 网与潜堤的连结

Fig. 5 Connection of net and dike

1. 网, 2. 压条, 3. 木杆, 4. 铁丝

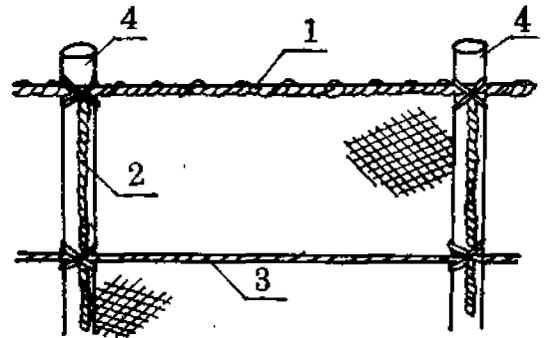


图 6 网与木杆的连结

Fig. 6 Connection of net and wooden pole

1. 上纲, 2. 竖肋纲, 3. 横肋纲, 4. 木杆

## 水 闸 设 计

潜堤网拦养虾设施中的闸门主要用来清池和收虾之用。它要求所有闸门开启之后,

(4) 吴菊生, 1984. 渔具力学(上册), 78—77. 大连水产学院。(油印本)

能在自潮位在堤顶时刻开始的退潮时间加涨潮到闸门底板前这段时间内将池中的水完全放完。否则第二潮来临又会将池注满海水。

水闸所需的底板、翼墙、铺盖、闸墩、闸门、起闭机等设施与一般水闸设计相同,只是堤比较矮、各项指标都相应变小。这里仅对开设的闸门孔数的计算加以说明。

设池底底坡很缓,认为是水平的;闸门的开启高度始终不变,则一孔闸放空一池水所需时间可由水力学上变水头出流流量计算公式进行计算。

$$T = \frac{2A\sqrt{H}}{\mu_0 e B \sqrt{2g}} \quad (6)$$

式中,  $A$ ——养殖池水面面积;  $\mu_0$ ——流量系数( $\mu_0 = 0.60 - 0.18 \frac{e}{H}$ );

$g$ ——重力加速度(9.81 米/秒<sup>2</sup>);  $H$ ——水头高(米);

$e$ ——闸门开启高度(米);  $T$ ——一孔闸放空池中水所需时间(秒)

由此算出出流时间,然后再分孔。

经过对埠西场的验证计算,结果如下:

闸门宽(米)	1.5	1.5	1.2	1.0
孔数	2	3	4	4
时间(小时)	19.00	6.00~8.00	7.96	9.50

从计算结果可以看出,建两座2孔1.2米的水闸较为合适。央子场2公顷水面设了三孔2米闸,虽然放水容易,但增加了造价。

## 水质及换水量

由于这种设施每月保证25天以上每天两次换水。因此,池内水质情况要比池养的好。图7给出了利用U-7水质检测仪对潜堤网拦养殖池池内水质及池养水质所做的同步观测结果。

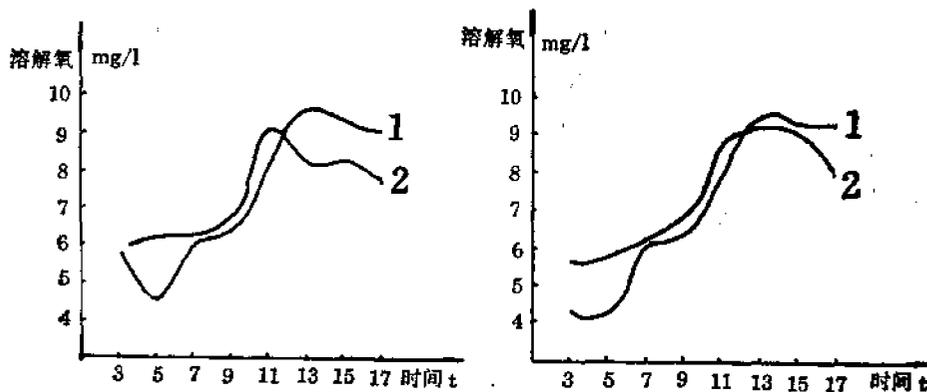


图7 1987年9月3日溶氧观测记录曲线

Fig. 7 Record curve of dissolved oxygen observed on Sept. 6, 1987

1. 池养, 2. 潜堤网拦养殖池

有关换水率的计算,我们假定在潮汐和海浪作用下,新鲜海水和池中的水是充分混合的,则每次潮汐过程,潜堤网栏养虾池的换水率可由下式表示:

$$W = 1 - \left( \frac{h}{h+d} \right)^2 \quad (7)$$

式中,  $h$ ——潜堤高度;  $d$ ——高潮时的堤顶水深;  $W$ ——换水率。

由上式可以看出换水率和堤的高度及每次潮位有关,以堤顶水深  $d$  为参数,可以得到一族曲线,通过这族曲线为我们确定堤顶高程和换水率提供了方便(见图 8)。

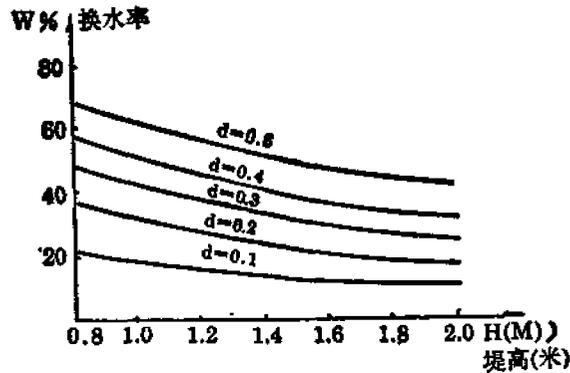


图 8 堤高和换水率的关系曲线

Fig. 8 Relation curve of dike height and water exchange rate

## 结 语

通过两年来的试验研究,我们认为在粉砂底质及没有掩护的开敞海区的潮间带滩涂上,采取一定的工程措施,建设潜堤网栏养虾设施是完全可行的。可得如下结论:

(1) 根据潮汐情况,确定设计高水位,从而确定堤顶和网顶高程。堤高应控制在每月三天不进水为宜。

(2) 潜堤底宽在一米水头作用下,不应小于 6 米;外坡比不应小于 1:2;护面块石应根据当地情况推算海浪按本文(2)式计算。

(3) 栏网的受力计算则按(5)式进行。栏网应设在堤顶,以便退潮后检查。

(4) 闸门孔数可按(6)式计算后确定。

对于这种设施尚有如下问题有待进一步研究:①网与木杆的连结处,有时出现破网;②鱼害问题;③在更大风浪情况下,栏网的设计。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 中华人民共和国交通部,1978。港口工程技术规范(第二篇第一册),海港水文,人民交通出版社(京)。
- [ 2 ] 中华人民共和国第一航务工程局勘察设计院,1982。防波堤设计手册,55。人民交通出版社。
- [ 3 ] 武汉水力电力学院水力学教研室主编,1980。水力计算手册,182—184。水利出版社(京)。
- [ 4 ] Hu, Sing-hwa, 1986. Introduction to the design of coastal aquaculture systems in Taiwan. *Aquacultural Engineering* 5: 235-241.

## THE DESIGN OF SUBMERGED DIKE WITH NET-SCREEN INSTALLATION FOR PRAWN CULTURE

Chang Jimin, Qu Guangping, Zhang Qingwen and Zhuang Lihe

*(Research Institute of Fisheries Engineering, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Qingdao)*

**ABSTRACT** A new type of installation for prawn culture is designed and a submerged dike provided with net-screen is built on the pond in intertidal zone. When the tide is coming in, sea water can overflow the dike into the pond. The dike can keep enough water in the pond and the net screen will prevent the prawn from escaping when the tide is going out. In such a way the sea water in the pond is self-exchanged. Therefore, this installation is very economical, low cost, energy-saving, easy to manage, and high in production. Two completed projects were built and the excellency of the installation has been proved.

**KEYWORDS** submerged dike, net-screen, engineeringn design, prawn culture