

葛洲坝下中华鲟自然繁殖流速场的初步观测

张辉^{1,2}, 危起伟^{1,2,3}, 杨德国^{1,3}, 杜浩^{1,3}, 张慧杰^{1,2}, 陈细华^{1,3}

(1. 农业部淡水鱼类种质资源与生物技术重点开放实验室, 中国水产科学研究院 长江水产研究所, 湖北 荆州 434000; 2. 华中农业大学 水产学院, 湖北 武汉 430070; 3. 中国水产科学研究院 淡水渔业研究中心, 江苏 无锡 214081)

摘要:2004和2005年10~11月间,在中华鲟产卵区葛洲坝至庙咀江段利用声学多普勒流速剖面仪(ADCP)对中华鲟(*Acipenser sinensis*)自然繁殖期间的流速进行了测量。在该江段沿水流方向设置监测断面共20个,其中2004年设12个(编号1~12),2005新增8个(编号A~H)。监测结果表明,产卵区内所有断面平均流速变化范围为72.99~175.23 cm/s,平均值为(128.89±26.28) cm/s;产卵区内1、2和4号断面的垂向平均流速值较其他断面约高2.10 cm/s;从A至12号断面,各断面的平均流向大约从225.91°下降至164.39°,并且产卵区内1、2和4号断面的流向变幅较大,变异系数比其他断面约高18.4%;下产卵区内脉动流速测量结果表明平均流速变化较大,而平均流向变化相对较小,变异系数分别为7.1%和2.9%;葛洲坝下所进行的河势调整工程使中华鲟产卵场内的流速发生了较大程度的改变,主要表现为在导流堤两侧形成了一个流速较缓的区域。导流堤的建设可能会导致上产卵区的位置改变甚至消失,下产卵区改变其具体位置。[中国水产科学,2007,14(2):183-191]

关键词:中华鲟;长江;葛洲坝;自然繁殖;流速

中图分类号:Q178.1

文献标识码:A

文章编号:1005-8737-(2007)02-0183-09

中华鲟(*Acipenser sinensis* Gray)是一种典型的溯河产卵洄游性鱼类,主要分布于中国的长江干流和东海、黄海大陆架海域^[1]。20世纪后期,由于水利工程建设、过度捕捞、航运、水体污染等诸多因素,其野生种群资源量不断下降。虽然在1988年中华鲟被列为国家一级保护动物,并实行了人工增殖放流^[2]、建立自然保护区、严格限制科研捕捞用鱼等一系列措施,但从1981年至1999年的19年间,中华鲟幼鲟补充群体和亲鲟补充群体仍然分别减少了80%和90%左右^[3-4]。据标志-重捕法估算,中华鲟产卵场所在的宜昌30 km江段,1996~2001年中华鲟繁殖群体数量年波动仅在292~473尾之间,而对长江口幼鱼的资源评估还表明,中华鲟幼鲟补充群体仍然主要来源于自然繁殖^[2,5-6]。在此形势之下,保证中华鲟繁殖群体顺利进行自然繁殖,对于中华鲟自然种群的延续显得尤为重要。

中华鲟繁殖季节为每年的10~11月,多数年份分两批集中繁殖,少数年份为一批繁殖^[1,6]。水流对中华鲟产卵的作用主要表现在3个方面:1. 刺激中华鲟亲鲟的性腺发育和产卵排精行为的发生;

2. 受精卵的散播和清理产卵场环境从而有利于受精卵的黏附;3. 维持水体较高的溶氧水平和较好的孵化环境。四川省长江水产资源调查组认为^[1],水位、流态和流速是影响中华鲟自然繁殖的决定性条件。该组对中华鲟历史产卵场三块石大沱上下主流区的流速也进行了测定。危起伟也认为,各种水文条件只有在其阈值范围之内,中华鲟的自然繁殖才能顺利进行,并提出中华鲟产卵的适宜流速值范围为1.07~1.65 m/s^[6-7]。然而由于流速观测仪器的限制,对中华鲟自然繁殖流速场的研究始终停留在较有限的水平上^[1,6,8-10]。本研究采用新一代流速测量仪器——声学多普勒流速剖面仪(Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP)^[11],对葛洲坝水利枢纽工程截流以后目前已知唯一的中华鲟产卵场的流速进行了观测,以期为现有中华鲟自然产卵场的改良和以后人工建设中华鲟产卵场提供科学依据^[12-14]。

1 材料与方法

1.1 数据采集

中华鲟产卵时间是根据超声波跟踪、江底采卵

收稿日期:2006-07-25; 修订日期:2006-12-02.

基金项目:国家自然科学基金重大项目(30490231); 国家社会公益研究专项(2000DIB50177, 2004DIB3J099); 国家基础性工作重点专项(2002DEA1004); 湖北省水产管理办公室项目(20060102).

作者简介:张辉(1982-),男,博士研究生,从事生态GIS研究. E-mail: dingo-zh@163.com

通讯作者:危起伟. E-mail: weiqw@yfi.ac.cn

和铜鱼 (*Coreius heterodon*) 解剖观察所得^[6,15-16], 其中 2004 年产卵起始时间为 11 月 12 日 7 时, 2005 年为 11 月 10 日凌晨 5 时 (未发表数据)。

2004 年在中华鲟产卵场所在江段 (葛洲坝—庙咀)^[6,17] 沿水流方向布置测流断面 12 个 (图 1 中数字编号的断面), 每个断面水平方向采样间隔约 3.5 m, 垂直方向间隔为 0.5 m。流速数据由长江水利委员会水文局代为测量, 主要采用仪器有: RD Instruments (RDI) 公司 WHM 300 型 ADCP、Trimble 5700 型 GPS (Global Positioning System)、AutoComp 1000 型罗经仪 (Heading Sensor)。2004 年度中华鲟自然繁殖期间共测量 3 次, 测量日期分别为 11 月 12 日、11 月 16 日和 11 月 23 日。并在 5~9 号断面左岸、中间、右岸各选取一点 (图 1 相应断面上标点的位置) 分别进行脉动流速测量, 历时约 100 s。

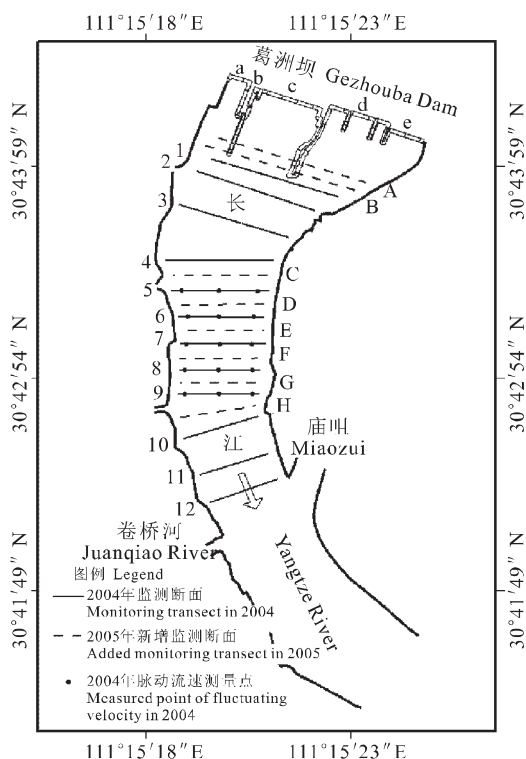


图 1 2004 和 2005 年 ADCP 测流断面在中华鲟产卵场的分布
注: a—冲沙闸; b—1 号船闸; c—大江电厂; d—二江泄水闸; e—二江电厂; 图中数字 1~12、字母 A~H 皆为监测断面编号; 箭头表示水流方向。

Fig.1 Distribution of transects for ADCP determination in spawning ground of *Acipenser sinensis* in 2004 and 2005

Note: a—Flushing sluice; b—No.1 ship lock; c—Dajiang power plant; d—Erjiang water relief sluice; e—Erjiang power plant; numerals (1—12) and letters (A—H) are serial numbers of transects; arrow means direction of current.

2005 年为了获得更加详细的流速数据, 新增加 8 个断面 (图 1 中字母编号的断面), 即在 4 至 10 号断面之间各增加一个断面, 最靠近葛洲坝的 1 号断面之上再增加 2 个断面, 此时总共 20 个断面的间距为 150~200 m。流速数据系自行测得, 主要采用的仪器有 RDI 600 型 ADCP、南方 9700—NGD80 型 DGPS (Differential GPS)。该年度中华鲟自然繁殖期间共测量 5 次, 测量日期分别为 10 月 28 日、11 月 4 日、11 月 10 日、11 月 12 日和 11 月 21 日。测量时的导航软件为南方测绘公司的“水上测量导航 2004”。

在这两个年份的数据采集过程中, 冲沙闸处于关闭状态。2005 年采集数据时, 1 号船闸由于维修也处于关闭状态。大江电厂和二江电厂在数据采集过程中均处于正常运行状态, 二江泄水闸则处于关闭状态。河道左岸由于电厂尾水的下泻流速较大, 右岸流速较小, 下泻水量主要集中于河道左侧。

1.2 数据处理与统计方法

首先利用 WinRiver 或 BBConv 软件将原始测流数据转换为 ASCII 数据文件, 然后利用 Microsoft Excel 的 VBA (Visual Basic for Applications) 编程方法依次从每一个数据集 (Ensemble) 中提取需要进行分析的信息 (如水深、流速大小、流向等), 最后利用 Surfer 软件根据水深信息建立河床 DEM (Digital Elevation Model)^[18-19], 利用 Tecplot、Excel 等软件进行流速相关信息的统计和分析。

2 结果与分析

2.1 水平向流速大小分布

从图 2~4 可以看出, 沿着水流的方向 (图 2 中箭头所示方向和图 3 中横坐标逐渐减小的方向), 整个江段的流速分布呈现出一定的规律性。从 A 至 4 号断面, 各断面平均流速逐渐减小, 至 4 号断面时平均流速达到最小, 约为 100 cm/s。而从图 3 可以看出, 4 号断面的过水面积是最大的, 主要与二江泄水闸下冲刷形成的深潭有关。从 4 号至 9 号断面, 由于受负坡地形的影响, 断面平均流速又逐渐升高, 至 9 号断面时平均流速约为 200 cm/s。从 9 号至 12 号断面, 过水断面逐渐增大, 平均流速又逐渐下降至 100 cm/s。

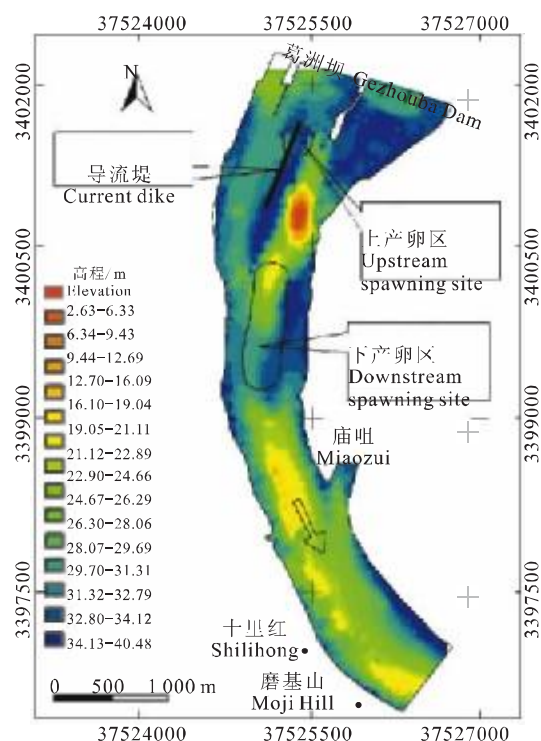


图2 中华鲟产卵场所在江段(葛洲坝至磨基山)河床(数字高程模型 DEM)

注:1954年北京坐标系,1985国家高程基准;箭头表示水流方向。

Fig.2 Digital Elevation Model (DEM) of river bed where the spawning ground of *A. sinensis* locates (Gezhouba Dam to Moji Hill)

Note: Beijing Geodetic Coordinate System 1954, National Elevation Datum 1985; arrow means the current direction.

断面各水层的平均流速与水层深度密切相关,从表层至底层,一般流速逐渐减小,但随着河床深度的不同,下降趋势略有差异(图5)。当河床深度约为10 m时,从表层至底层的流速呈抛物线急剧下降,如G、H断面,从表层约220 cm/s急速下降至底层约50 cm/s;当河床深度约为20 m时,从表层至底层流速下降趋势大为减缓,并且表层流速相对较低而底层流速相对较高,如6、11号断面,表层流速约为150 cm/s,而底层流速约为110 cm/s;当河床深度约为30 m或更深时,从表层至底层各水层的平均流速相对都较小,虽然随着水深的变化各水层的平均流速呈现一定程度的波动,但差异并不明显,如3、4号断面,整个断面各水层的平均流速约为100 cm/s。

从各断面纵向上来看,各测流垂线的流速大小与离岸距离和河道形状密切相关(图3)。一般越靠近河道两岸,流速越小,但受河道转向的影响也较为明显,如3~C号断面和11~12号断面的左侧由于受河道向东转向的影响,流速值较小,约为40 cm/s。A~2断面由于受大江电厂和二江泄水闸的影响,断面中部出现了两个流速值较大的区域。

根据对中华鲟产卵亲鱼的遥测追踪和江底直接捞卵结果^[16-17,20],A~2断面处于上产卵区内,4~F断面处于下产卵区内(图2)。而根据2004~2005年中华鲟自然繁殖期间3次流速测量结果(图4),这些断面平均流速变化范围为72.99~175.23 cm/s,平均值为 (128.89 ± 26.28) cm/s,这与危起伟的研究结果十分相近^[6]。

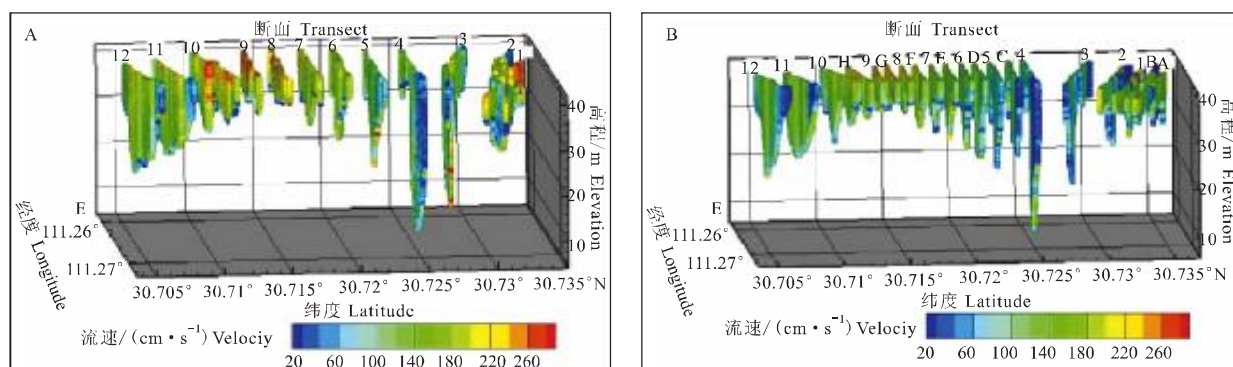


图3 中华鲟自然繁殖期间产卵场流速大小分布

注:A-2004年11月12日,距产卵后约8 h,流量11 941.55 m³/s;B-2005年11月12日,距产卵后约55 h,流量8 550.42 m³/s;图中数字1~12、字母A~H皆为监测断面编号。

Fig.3 Distribution of velocity magnitude during natural reproduction period of *A. sinensis*

Note: A - Nov.12, 2004, around 8 h after spawning, flow-rate 11 941.55 m³/s; B - Nov.12, 2005, around 55 h after spawning, flow-rate 8 550.42 m³/s; numerals (1-12) and letters (A-H) are serial numbers of transects.

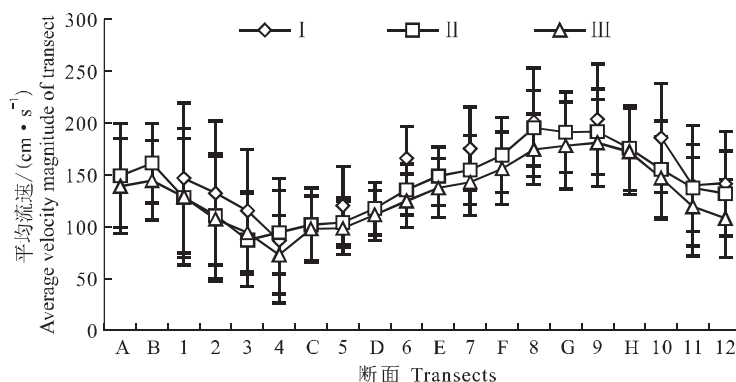


图4 中华鲟自然繁殖期间产卵场各断面水平向流速大小 ($n=160\sim446$)

注: I - 2004年11月12日; II - 2005年11月10日,距产卵后约7h,流量 $9\,368.59\text{ m}^3/\text{s}$; III - 2005年11月12日.

Fig.4 Velocity magnitude of transects during natural reproduction period of *A. sinensis* ($n=160-446$)

Note: I - Nov. 12, 2004; II - Nov. 10, 2005, around 7 h after spawning, flow-rate $9\,368.59\text{ m}^3/\text{s}$; III - Nov. 12, 2005.

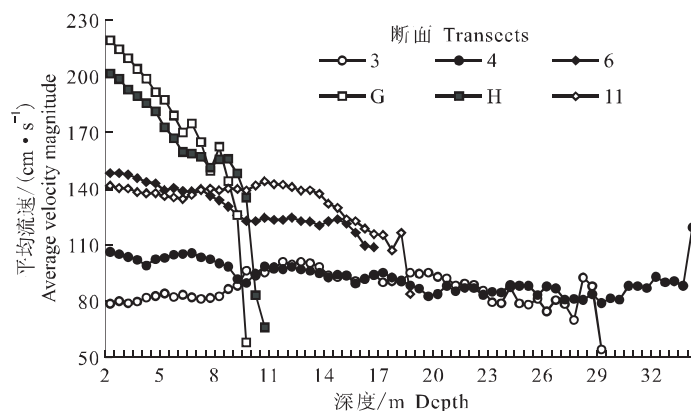


图5 部分测流断面平均流速随深度的变化 (2005年11月10日)

Fig.5 Vertical profile of water current in some transects (Nov.10,2005)

2.2 垂向流速分布

从图6和图7可以看出,由于受河道比降的影响,大多数测流断面的垂向平均流速都在0以下,2004~2005年3次测量所有断面垂向平均流速分别为 -2.12 cm/s 、 -3.93 cm/s 、 -4.06 cm/s ,由此可见,流量越大,垂向平均流速的绝对值越小。一般各测流断面底部和两侧的垂向流速值较大,这主要是受到了河床底部障碍物和两侧不规则河道形状的影响。由于受负坡地形的影响,1、2和4号断面的垂向平均流速和变异系数均较大,3个断面3次测量的垂向平均流速为 -1.86 cm/s ,比其他断面约高 2.10 cm/s ,而结合图1和图2可以看出,这3个断面正好分别处于上产卵区和下产卵区内,这是否是中华鲟自然繁殖对流

速场的一种选择,值得进一步研究。

2.3 流向分布

从图8和图9可以看出,由于受河道向东转向的影响,从A至12号断面,各断面的平均流向逐渐减小,大约从 225.91° 下降至 164.39° 。河道转弯处和河床底部的流向一般比较复杂,如3、4、11断面的左侧由于受到河道转向的影响,流向非常复杂。从整体上看,1~4号断面流向的标准差显著比其他断面的要大,变异系数比其他断面约高18.4%,说明这些断面流向变幅较大且不一致程度较高,而1、2和4号断面正好分别处于上产卵区和下产卵区内,这是否是中华鲟自然繁殖对流向的一种选择,值得深入研究。

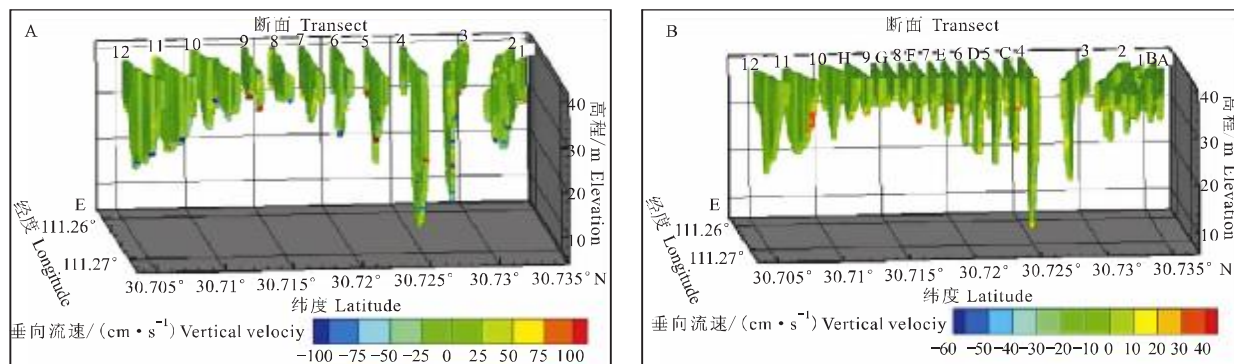


图6 中华鲟自然繁殖期间垂向流速分布

注:A:2004年11月12日;B:2005年11月12日.

Fig.6 Distribution of vertical velocity component during natural reproduction period of *A. sinensis*

Note: A: Nov. 12, 2004; B: Nov. 12, 2005.

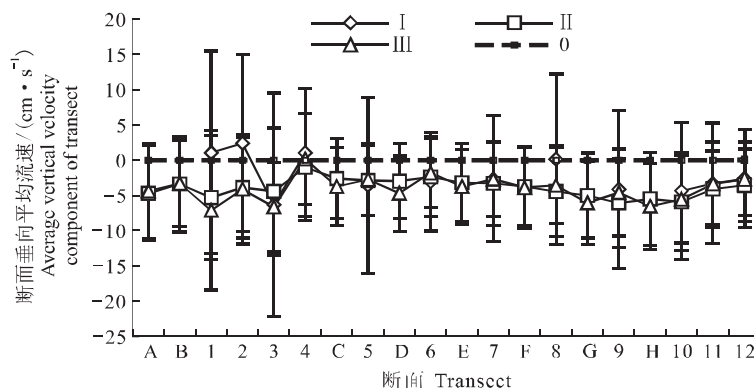


图7 中华鲟自然繁殖期间各断面垂向平均流速

注: I - 2004年11月12日; II - 2005年11月10日; III - 2005年11月12日.

Fig.7 Average vertical velocity component of transects during natural reproduction period of *A. sinensis*

Note: I - Nov. 12, 2004; II - Nov. 10, 2005; III - Nov. 12, 2005.

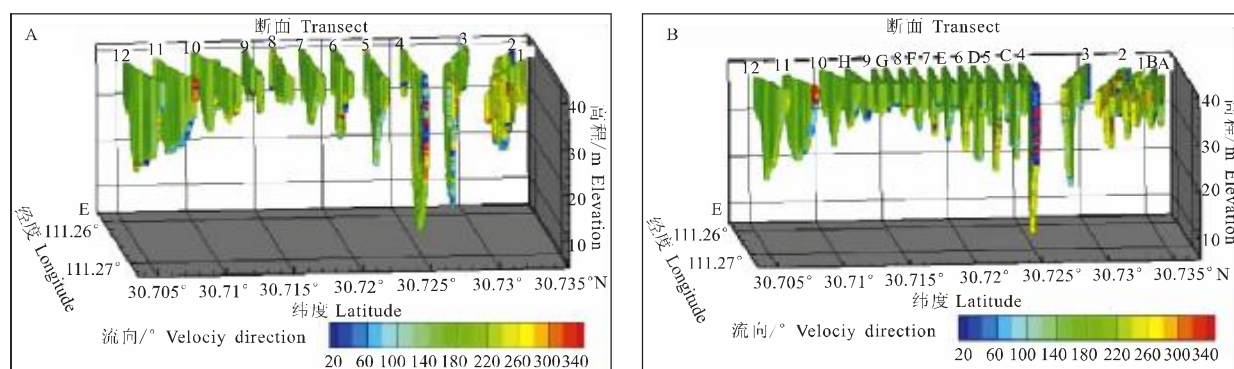


图8 中华鲟自然繁殖期间产卵江段流向分布

注:以正北方向为0°;A-2004年11月12日;B-2005年11月12日.

Fig.8 Distribution of current direction during natural reproduction period of *A. sinensis*

Note: taking the north direction as 0°; A - Nov. 12, 2004; B - Nov. 12, 2005.

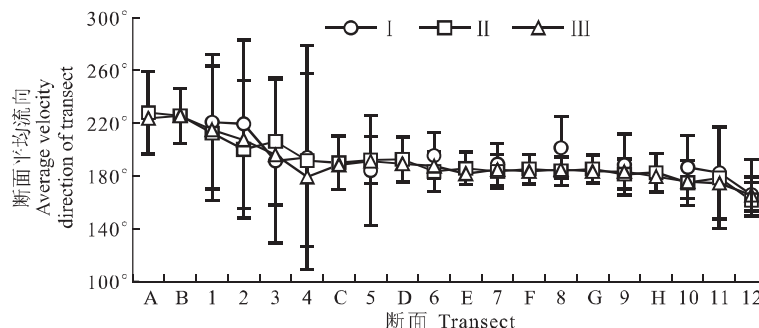


图9 中华鲟自然繁殖期间各断面平均流向

注:以正北方向为0°; I - 2004年11月12日; II - 2005年11月10日; III - 2005年11月12日;断面位置见图1.

Fig.9 Average velocity direction of transects during natural reproduction of *A. sinensis*

Note: taking the north direction as 0°; I - Nov. 12, 2004; II - Nov. 10, 2005; III - Nov. 12, 2005; position of each transect shown at Fig. 1.

2.4 脉动流速分析

从图10和表1可以看出,下产卵区内3个测量点的连续66次流速测量,测流垂线平均流速大小和平均流向变化范围平均值分别为52.38 cm/s和

24.52°,平均流速大小相对变化较大,而平均流向相对变化较小。变异系数分别为7.1%和2.9%,可见在如此大流量和受电厂尾水影响等众多的情况下,流速场相对还是比较稳定的。

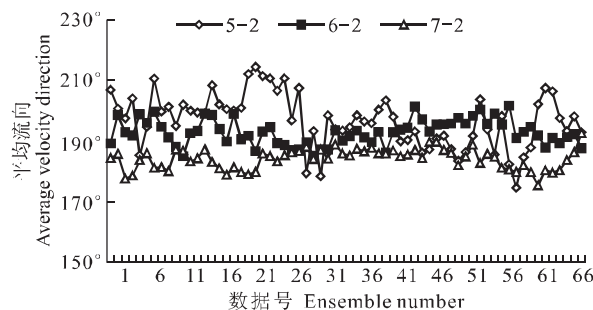
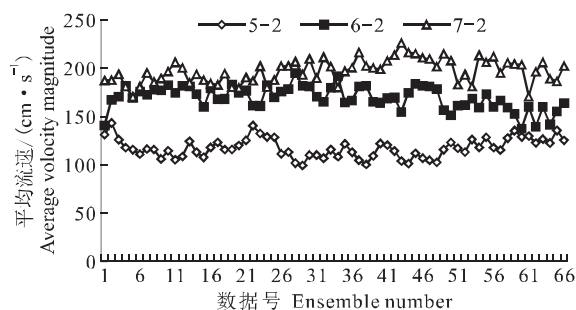


图10 脉动流速测量时平均流速大小和平均流向的变化

注:5-2、6-2、7-2分别为5、6和7号断面中部的脉动流速测量点,详见图1.

Fig.10 Variation of average velocity magnitude and velocity direction

Note: 6-2, 7-2 and 8-2 mean the measured points in the middle of transects 5, 6 and 7 respectively, detailed in Fig. 1.

表1 下产卵区内脉动流速和流向测量结果

Tab.1 Results of fluctuating velocity and direction in the downstream spawning site

测量点 Measured point	流速/(cm·s ⁻¹) Velocity magnitude				流动方向/° Velocity direction			
	最大值 Max	最小值 Min	变化范围 Range	$\bar{X} \pm SD$	最大值 Max	最小值 Min	变化范围 Range	$\bar{X} \pm SD$
5~2	143.05	99.17	43.87	117.26 ± 10.10	214.34	174.51	39.82	196.71 ± 8.80
6~2	194.96	137.26	57.70	169.16 ± 12.18	201.48	184.94	16.54	192.82 ± 4.17
7~2	225.91	170.33	55.58	196.70 ± 12.17	192.46	175.25	17.20	184.01 ± 3.39

注:5-2、6-2、7-2分别为5、6和7号断面中部的脉动流速测量点,详见图1.

Note: 5-2, 6-2 and 7-2 mean the measured points in the middle of transects 5, 6 and 7 respectively, detailed in Fig. 1.

2.5 底层流速分析

中华鲟是一种底栖性鱼类,因此水体底层的流速与其产卵的关系更为密切。将下产卵区内最底层约2 m厚水层的流速数据导出,其分析结果见图11。从图11可以看出,从4~F断面,底层流速呈现逐渐增

大的趋势,这主要是由于受到了负坡地形的影响。2004和2005两个年份中华鲟产卵当日(11月10日和11月12日)下产卵区内底层流速平均值分别为129.30 m/s和108.74 m/s,这可能就是中华鲟产卵所需要的最适流速。

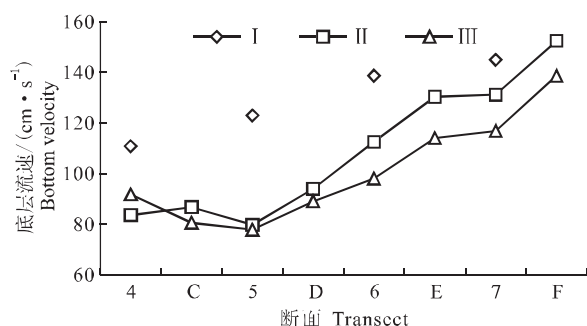


图 11 下产卵区内的底层流速

注: I: 2004 年 11 月 12 日; II: 2005 年 11 月 10 日; III: 2005 年 11 月 12 日; 断面位置见图 1.

Fig. 11 Bottom velocity in the downstream spawning site
Note: I: Nov. 12, 2004; II: Nov. 10, 2005; III: Nov. 12, 2005; position of each transect shown in Fig. 1.

2.6 河势调整工程对流速场的影响

为了改善 $2 \times 10^4 \sim 3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量时葛洲坝下游大江航道的通航条件, 相关部门于 2005 年启动了葛洲坝水利枢纽下游河势调整工程, 工程内容主要包括修建长 900 m 的导流堤 (图 2) 工程和以二江下槽开挖为主的共约 $9.7 \times 10^5 \text{ m}^3$ 的河床开挖工程^[21]。2004 年 11 月 12 日在中华鲟产卵场进行流速测量时, 工程尚未动工, 2005 年 11 月 4 日中华鲟自然繁殖前再次测量时, 拟建导流堤的位置已经建成一个长约 920 m, 宽约 60 m, 高程约 41.3 m 的堤坝 (图 12-B 箭头所指位置)。从两次测量结果的流速分布图 (图 12) 可以看出, 导流堤使流速分布发生了较大的变化, 主要表现为在导流堤两侧形成了一个流速较缓的区域。当流量减小水位下降时, 这种表现将更加明显。

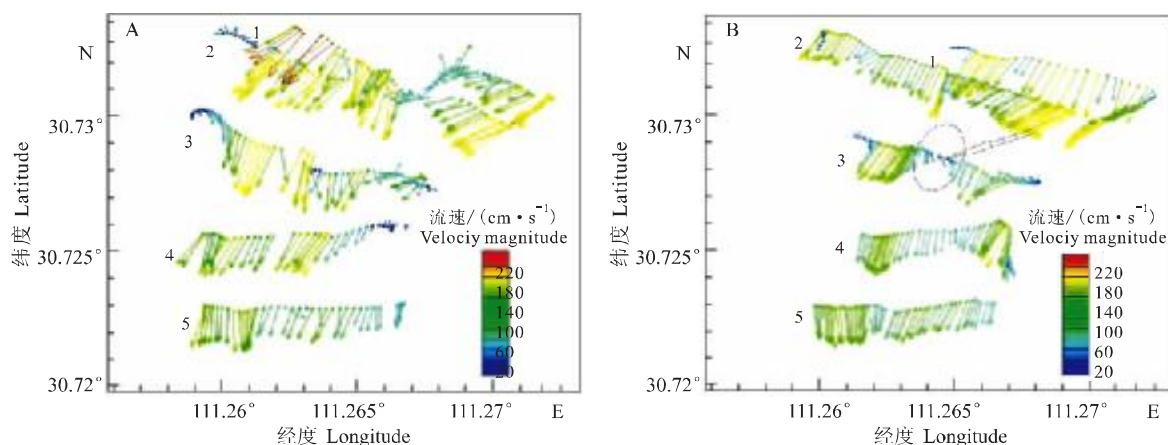


图 12 导流堤造成的流速场的变化

注: A-2004 年 11 月 12 日; B-2005 年 11 月 4 日, 流量 $11\,272.27 \text{ m}^3/\text{s}$; 图中数字 1~5 为监测断面编号; B 图中箭头所指表示流速减缓的区域。

Fig. 12 Alteration of velocity field caused by the current dike in the river

Note: A - Nov. 12, 2004; B - Nov. 4, 2005, flow-rate $11\,272.27 \text{ m}^3/\text{s}$; numerals (1 - 5) are serial numbers of transects; arrow in B means the velocity region with slow velocity.

3 讨论

3.1 流速观测仪器不同对测量结果的影响

由于各种流速测量仪器精度的不同, 各种流速测量结果之间的比较可能存在一定的差异。如 20 世纪 70 年代四川省长江水产资源调查组在中华鲟三块石产卵场大沱上下主流区测定的流速结果为: 大沱上的底层流速是 0.14 m/s , 中层 0.58 m/s , 表层 1.15 m/s ; 大沱下的底层流速是 0.08 m/s , 中层 0.43 m/s , 表层

1.70 m/s ^[1]。而根据 2006 年 4 月 26 日采用 ADCP 实地测量的结果, 各层流速均比其要大。因为 10~11 月中华鲟实际产卵日的水位与此时相当或更高, 流速应该更大, 因此可以推测, 20 世纪 70 年代关于三块石产卵场的流速测定结果在一定程度上偏小。而与危起伟等^[6]采用的 Marsh-McBirney 公司生产的 2000 型便携式电子流速仪在葛洲坝下产卵场的研究结果相比, 结果较为接近, 说明流速测量仪器的精度和稳定性对结果有一定的影响。

3.2 河势调整工程对中华鲟自然繁殖的影响

历史上,黑板湾和腊子窝曾经是有名的中华鲟产卵场,但由于河滩疏理使河床结构、水位、流态和流速均发生了变化,特别是腊子窝变化更大,使其在葛洲坝工程尚未截流以前就已几乎消失^[1]。目前葛洲坝水利枢纽下游正在进行的河势调整工程较大地改变了其下游的流态,中华鲟上产卵区和下产卵区内的水力学特征都发生了较大的变化^[22],可以肯定的是,导流堤对上产卵区的破坏比较严重,有可能导致上产卵区的位置显著改变甚至消失;对下产卵区的影响则相对较小,但有可能改变其具体位置。从长远看,这项工程将会对中华鲟的自然繁殖造成何种影响,还需进一步观测和研究。

3.3 流速场对中华鲟自然繁殖的影响

对于鲟鱼类的自然繁殖,多数种类对产卵场的流速、水深、底质和水温等有特殊要求^[23],并且不同种类具有不同的限制性因素^[24]。中华鲟产卵繁殖是产卵场环境及水文条件共同作用的结果,根据目前的研究,认为流速、水位、流量、河床地形、底质、水温、含沙量等都是影响中华鲟产卵的相关因素^[1,6]。虽然目前一致认为产卵场的流速具有十分关键的作用,并且中华鲟自然繁殖期间其繁殖场的流速可能比其他鲟鱼类都要大^[23],但其自然繁殖各个阶段流速阈值是多少,最佳流速值是多少等问题,还有待于进一步的研究。

但从本研究可以看出,中华鲟适宜的产卵流速约为 $72.99 \sim 175.23 \text{ cm/s}$ 。从中华鲟每年都可以在葛洲坝下自然繁殖成功的事实可以看出,这一江段的流速还是适合中华鲟产卵需求的,这也可能是因为中华鲟对流速场的变化具有一定的适应性。今后应作长时间不间断的观测,并将流速场与中华鲟的产卵规模、自然繁殖效率等相联系,从而提出人工改良方案。

中华鲟自然繁殖活动与流速场的相互作用是一个动态的过程,仅从几个时间点的流速场分析其相互作用是不够的,如果能够建立中华鲟产卵场的流速场模型,就能分析其自然繁殖各个阶段与流速场的相互作用,还可模拟出泄洪对流速场造成的短暂变化,从而得出更加精确的结果。

无论是历史产卵场还是葛洲坝下游目前存在的产卵场,中华鲟第一批产卵日的水位一般比第二批产卵日的水位要高 $1 \sim 2 \text{ m}$ ^[1,6],水位不同必将使流速场存在一定程度的差异,中华鲟分批繁殖对这两

种流速场的选择有何生态学上的意义,也需要进行深入的研究。

参考文献:

- [1] 四川省长江水产资源调查组. 长江鲟鱼类生物学及人工繁殖研究[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1988: 32-173.
- [2] 杨德国, 危起伟, 王凯, 等. 人工标志放流中华鲟幼鱼的降河洄游[J]. 水生生物学报, 2005, 29(1): 26-30.
- [3] 柯福恩, 危起伟, 罗俊德, 等. 论长江珍稀水生野生动物的保护与补救[A]. 第一届东亚地区国家公园与自然保护区文集[C]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994: 780-785.
- [4] 柯福恩. 论中华鲟的保护与开发[J]. 淡水渔业, 1999, 29(9): 4-7.
- [5] 常剑波. 长江中华鲟产卵群体结构和资源变动[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 1999: 3-136.
- [6] 危起伟. 长江中华鲟繁殖行为生态学及资源评估[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2003: 23-105.
- [7] Wei Q W, Ke F E, Zhang J M, et al. Biology, fisheries, and conservation of sturgeons and paddlefish in China[J]. Env Bio Fishes, 1997, 48: 241-255.
- [8] 胡德高, 柯福恩, 张国良. 葛洲坝下中华鲟产卵情况初步调查及探讨[J]. 淡水渔业, 1983, 13(3): 15-18.
- [9] 胡德高, 柯福恩, 张国良, 等. 葛洲坝下中华鲟产卵场的第二次调查[J]. 淡水渔业, 1985, 15(3): 22-24, 33.
- [10] 胡德高, 柯福恩, 张国良, 等. 葛洲坝下中华鲟产卵场的调查研究[J]. 淡水渔业, 1992, 22(5): 6-10.
- [11] 田淳, 刘少华. 声学多普勒测流原理及其应用[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2003: 1-12.
- [12] 常剑波, 曹文宣. 中华鲟物种保护的历史与前景[J]. 水生生物学报, 1999, 23(6): 712-720.
- [13] 危起伟, 杨德国, 柯福恩. 长江鲟鱼类的保护对策[C]//21世纪长江大型水利工程中的生态与环境保护. 北京: 中国环境科学出版社, 1998: 208-217.
- [14] 易继舫, 常剑波, 唐大明, 等. 长江中华鲟繁殖群体资源现状的初步研究[J]. 水生生物学报, 1999, 23(6): 554-559.
- [15] 陈细华, 杨德国, 危起伟, 等. 葛洲坝下中华鲟自然产卵胚胎正常发育的证据[J]. 淡水渔业, 2004, 34(2): 3-5.
- [16] Yang D G, Wei Q W, Kynard B, et al. Distribution and movement of Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis*, in spawning ground located below the Gezhouba Dam during spawning seasons[J]. J Appl Ichthyol, 2006, 22(Supplement 1): 61-67.
- [17] Kynard B, Wei Q W, Ke F E. Use of ultrasonic telemetry to locate the spawning area of Chinese sturgeons[J]. Chin Sci Bul, 1995, 40(8): 668-671.
- [18] 白世彪, 王军见, 阎国年. Surfer 软件在水下地形三维可视化与分析中的应用[J]. 海洋测绘, 2004, 24(5): 51-53.
- [19] 李志林, 朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003: 1-11.
- [20] 危起伟, 杨德国, 柯福恩, 等. 长江中华鲟超声波遥测技术[J]. 水产学报, 1998, 22(3): 211-217.

- [21] 王改会, 马虹. 葛洲坝下游河势调整方案设计及其作用[J]. 水利水电快报, 2006, 27(2): 4-6.
- [22] 李大美. 生态水力学[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 209-210.
- [23] Billard R, Lecointre G. Biology and conservation of sturgeon and paddlefish[J]. Rev Fish Biol Fish. 2001, 10(4): 355-392.
- [24] Dettlaff T A, Ginsburg A S, Schmalhausen O I. Sturgeon fishes: developmental biology and aquaculture [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1993: 197-198.

An observation on water current profiles of spawning of *Acipenser sinensis* downward Gezhouba Dam

ZHANG Hui^{1,2}, WEI Qi-wei^{1,2,3}, YANG De-guo^{1,3}, DU Hao^{1,3}, ZHANG Hui-jie^{1,2}, CHEN Xi-hua^{1,3}

(1. The Key Laboratory of Freshwater Fish Germplasm Resources and Biotechnology, Ministry of Agriculture, Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Jingzhou 434000, China; 2. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 3. Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fisheries Science, Wuxi 214081, China)

Abstract: Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis* Gray, is an anadromous fish. Before damming of Yangtze River by Gezhouba Dam in January 1981, spawning grounds for *A. sinensis* were distributed in the section from the upper Yangtze above Huling to the lower Jinsha River below Xinshi, covering about 600 km river length. At least 16 historical spawning grounds were reported. However, only one permanent spawning ground has been found in the downstream of Gezhouba Dam. It is in a narrow area with 7 km length, just below the Gezhouba dam. The stock assessment of *A. sinensis* suggested that the major source of complementary colony is still naturally reproducing. *A. sinensis* requires certain water temperature, moderate bottom velocity, and turbidity condition to spawn successfully. Due to the restriction of experiment instruments, research on water current for natural reproduction of *A. sinensis* still remains on a primary stage.

In spawning season (Oct. and Nov.) of *A. sinensis* in 2004 and 2005, we measured water velocity profiles in the spawning reach between Gezhouba Dam and Miaozi in Yangtze River by ADCP. Twelve transects (Nos. 1-12) were set in the reach, in which permanent spawning sites of *A. sinensis* were located in 2004 and another eight transects (Nos. A-H) were added in 2005. The results showed that velocity range within transects in the spawning sites was 72.99-175.23 cm/s, averaging (128.89 ± 26.28) cm/s. Average vertical velocity component within transects (Nos. 1, 2 and 4) in the spawning sites was 2.10 cm/s higher than others. From No. A to No. 12, average velocity direction descended from 225.91° to 164.39° (taking the north direction as 0°), and range of velocity direction of transects (Nos. 1, 2 and 4) in spawning sites was greater, with coefficient of variation 18.4% higher than others. The results of fluctuating velocity in the downstream spawning sites showed that variation of average velocity magnitude was large, but average velocity direction was small relatively, and the coefficients of variation were 7.1% and 2.9%, respectively in 2004 and 2005. The average bottom velocity on spawning day in the downstream spawning site is 129.30 m/s and 108.74 m/s respectively, which maybe the most suitable velocity for *A. sinensis* to spawn. The water velocity in the spawning ground of *A. sinensis* has been changed enormously by the River Regime Regulating Work below Gezhouba Dam, and the main phenomena is shown as the formation of a slow velocity region beside the current dike in the river. The variation of hydraulic properties may make the upstream spawning sites disappear and the downstream spawning site change its location. [Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(2): 183-191]

Keys words: *Acipenser sinensis*; Yangtze River; Gezhouba Dam; natural reproduction; water current velocity

Corresponding author: WEI Qi-wei. E-mail: weiqw@yfi.ac.cn