

# 引江济太工程水源地河床稳定性分析

高 菲<sup>1,2</sup>, 崔广柏<sup>2</sup>, 张文胜<sup>3</sup>, 吴挺峰<sup>2</sup>

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 3. 水利部水文局, 北京 100053)

**摘要** :引江济太工程水源地位于长江澄通段的福山倒套内,其河床稳定性是影响引江济太工程成败的关键。因此,根据大量实测水下地形资料,对福山倒套的河势演变进行分析,研究倒套河床形态特征对自身水动力结构的影响。同时,结合二维水量模型对福山倒套淤积的形势进行数值模拟和预测。结果表明:①倒套内部水位降低,但变化不明显;②倒套内部流场流速整体下降,尤其是倒套口门处流速值减小较大;③倒套虽然处于淤积阶段,但倒套口门段较为稳定。因此,适时疏浚上部串沟是维持倒套稳定之关键。

**关键词** :水源地;河床稳定性;水沙特性;岸线变化预测;引江济太工程

**中图分类号** :TV698 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2009)02-0018-05

## Stability analysis of riverbed in water source areas of water diversion project from Yangtze River to Taihu Lake

GAO Fei<sup>1,2</sup>, CUI Guang-bai<sup>2</sup>, ZHANG Wen-sheng, WU Ting-feng<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract** :The water source area of the water diversion project from the Yangtze River to Taihu Lake lies in the Fushan water course of the Yangtze River section between Jiangyin and Taicang. The bed stability of the water source area is a key factor of the project. Therefore, using measured underwater topography data, this paper analyzes the river regime evolution of the Fushan water course and examines the influence of riverbed morphology on hydrodynamic structure. A 2D hydraulic and water quality model was used to simulate the alluvial situation of the Fushan water course. The results show that: (1) the water level in the Fushan water course decreases slightly during the water diversion; (2) the velocity over the whole water course decreases, especially in the outlet; and (3) the water course is in a state of deposition, while the section near the outlet is stable. The key method for maintaining riverbed stability is to dredge the chutes in the upper section.

**Key words** :water source area; riverbed stability; characteristics of water and sediment; coastline change prediction; water diversion project from Yangtze River to Taihu Lake

引江济太工程自实施以来发挥了巨大的经济效益、社会效益以及生态环境效益,但有关引江济太工程水源地的研究鲜有报道。引江济太工程水源地位于长江澄通段的福山倒套内,附近有铁黄沙、狼山沙、通洲沙及新开沙等沙洲,水流及地形极为复杂,岸边排污较重,因此有必要对该水源地进行研究。

目前国内外对水源地的关注大多集中在水质方面,但相对于长江水源地而言,正常情况下,其水量及其水质是可以满足水源地要求的。本文根据澄通段大量实测水下地形资料,分析福山倒套的河势,并定性研究倒套河床形态特征对自身水动力结构的影响,认为该段河床稳定性是影响引江济太水源地安全的



固护岸 2265 m, 工程量(石方)103.84 万 m<sup>3</sup>。长江河口段:常熟市金泾口至 2# 丁坝抛石护滩 2300 m, 2# 丁坝至 1# 丁坝挡土墙护坎 2500 m 等。该段在建或规划的工程还包括常熟在福山塘和望虞河之间长江福山倒套内围垦滩地,使其成为一块人工湿地,缩小了福山倒套的面积,加速其淤积。徐六泾节点整治工程(简称节点工程)包括新通海沙围垦、小白茆沙围垦和白茆沙鱼咀工程<sup>[6]</sup>。

## 2 福山倒套演变分析

### 2.1 福山倒套上部串沟演变

福山倒套在 20 世纪 20 年代常阴沙并入南岸后形成,目前福山倒套全长约 12 km,大致分成 3 段,上段为福山港至望虞河口,长约 3.4 km,中段为望虞河口至海洋泾,长约 5.5 km,下段为海洋泾至深槽口门,长约 3.5 km。福山倒套左侧为上游宽、下游窄的三角形浅滩,浅滩中部为铁黄沙,低潮时露出水面,并已生长芦苇。铁黄沙上部(即浅滩根部)有一横向串沟(称为上横向串沟)与通洲沙西水道相通,铁黄沙沙尾也有一横向串沟(称为下横向串沟)与大江相互沟通。1998 年福山倒套上部串沟水深较 2003 年深。铁黄沙头部 1998 年 0 m 等高线包括的范围远小于 2003 年 0 m 等高线包括的范围。可见 1998~2003 年期间,福山倒套上部串沟的淤积是非常明显的,淤积速度较快,而福山倒套上部串沟对维持它的水力结构有特殊作用。上部串沟是倒套与长江主槽狼山沙西水道唯一的水力联系通道,一旦该水流通道淤至洪季高水位之上,必然对倒套内部流速、水质等水源地要素构成不利的影 响。因此,应该适时地对上部串沟进行清淤,保证串沟通畅。此外,2003 年倒套 -1 m 等高线向后退的幅度也很大,这也与上部串沟的淤积有关。上部串沟的淤积,必然导致长江涨落潮时进入倒套的流量及流速减少,加速倒套的淤积,见图 2。其中,取水口位置见图 1。倒套形成

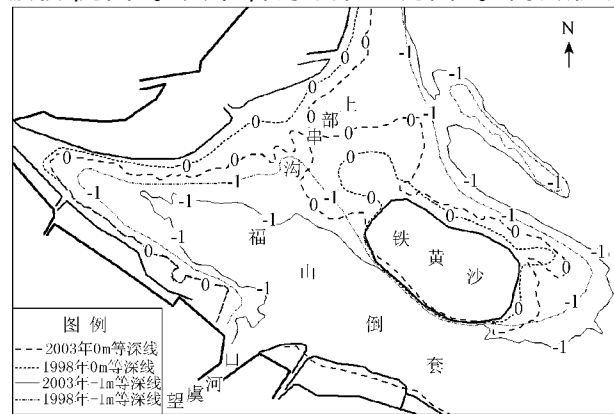


图 2 福山倒套 0 m 及 -1 m 等高线变化

至今已经有 80 余年,1958 年倒套 -5 m 等高线头部位于福山港以上 1~2 km,随着通洲沙西水道的萎缩,狼山沙西水道由主道变为支汊,以及福山倒套内部电厂灰场等的建设,倒套底部淤积,1958 年以来 -5 m 等高线头部下退 6 km。

综上所述,福山倒套上部串沟的快速淤积,导致福山倒套淤积速度较快。伴随着倒套上部串沟的快速淤积,福山倒套 -1 m 等高线向倒套口门方向推进的幅度较大。同时,由常熟市对倒套滩地的围垦及岸线的规划利用可知,福山倒套淤积速度将会有增无减。因此,从长远看,倒套的淤积将会对望虞河水源地构成威胁。

### 2.2 福山倒套下段深槽平面位置演变分析

根据 1958 年、1987 年、1992 年、1998 年、2001 年和 2003 年的水下地形资料,对福山倒套下段深槽平面位置变化进行分析。-5 m 等高线的变化情况见图 3,-10 m 等高线的变化情况见图 4。

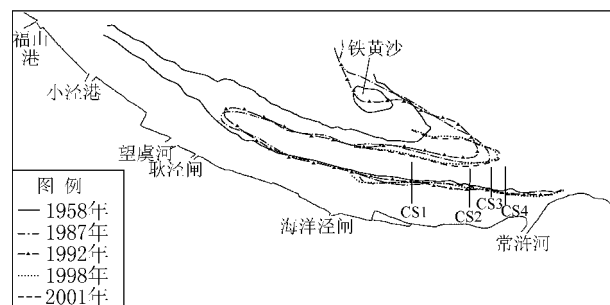


图 3 福山倒套 -5 m 等高线变化

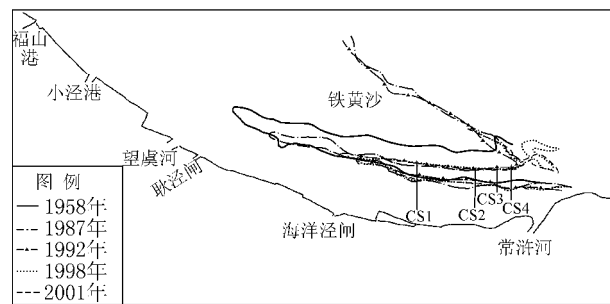


图 4 福山倒套 -10 m 等高线变化

由图 3 和图 4 可知,深槽位置基本稳定,变化幅度在 220 m 之内。-5 m 和 -10 m 等高线变化分析如下:

a. 1958 年测图上,-5 m 等高线头部在福山港的上游,1987 年下退至望虞河下游侧,下退 6 km;但 1987~2003 年 16 年内不再下退,稳定于望虞河口附近;-10 m 等高线头部基本由望虞河口下游侧缓慢移向海洋泾下游侧,1992~2001 年的 10 年中,向下移动了约 500 m,年均向下移动约为 50 m。

b. 深槽左岸 -5 m 等高线 40 年多来位置稳定;深槽左侧的 -10 m 等高线变化稍大,表现在:1958~

---1978年 ---1984年 →1993年 .....1998年 —2001年

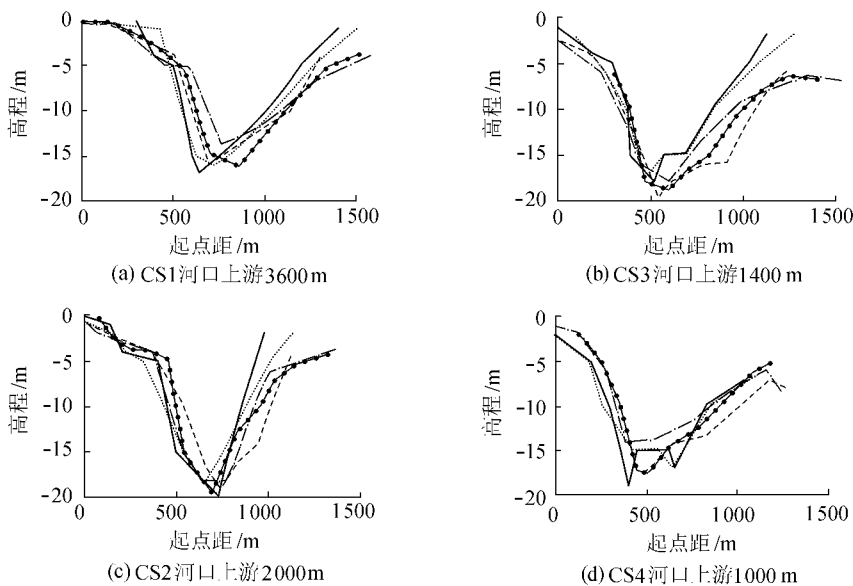


图5 福山倒套4个典型断面变化情况

1987年下延800m左右,年均下延25m,1987~2003年基本停止下延,变化不大。

c. 深槽右岸-5m等高线变化为:在福山倒套的下段,-5m等高线宽度,在1958年约为1km左右,1987年约为800m左右,1998~2001年约为600m,1958~1987年下延2km,年均下延60~70m,1987~2001年下延300m,年均约为20m,说明左岸沙滩向福山倒套深槽缓慢侵蚀,下延趋势放缓,深槽右岸-10m等高线位置40多年来基本稳定,变化幅度在200m之内。

d. 尽管铁黄沙之外的通洲沙、狼山沙水道河势发生了较大的变化,但福山倒套中下段深槽-10m等高线的右岸位置稳定,深槽长度变化较小,轴线稳定,深槽底高程变化不大。福山倒套达到一个相对平衡时期及浒浦海塘工程和徐六泾节点工程对该段岸线的加固,使得福山倒套正处于相对缓慢的淤积时期。

### 2.3 典型断面变化分析

在福山倒套中,下段取4个典型断面,位置见图3及图4,CS1、CS2、CS3、CS4分别位于常浒河口上游3600m、2000m、1400m和1000m处。1978~2003年之间福山倒套深槽各个横断面特性变化无明显差异(以断面面积和河床最深点高程为例)。1984年较1978年呈稍有萎缩趋势,1993年又有所扩大,与1978年大致等同,1978~1993年福山倒套深槽河床总体上变化不大。由图5可知,1978~1993年的15年间,各断面形态变化不大,呈现基本稳定趋势。

从图5发现,1998~2003年期间虽然断面形状和深槽位置变化不大,但断面有所缩小,其原因如下:

a. 1998年、2001年资料图比例尺为1/10000,而1978年、1984年和1993年3年资料测图比例尺为1/25000,精度不一致,造成了某些对比差异;

b. 1993年后经历了1995年、1996年、1998年、1999年诸年大洪水,在汛期洪水期间,涨潮流受顶托,导致断面面积发生了某些萎缩;

c. 20世纪90年代福山倒套原福山塘被围做电厂灰场,大量电厂燃烧形成的煤灰填埋入福山倒套,使倒套萎缩,导致涨潮流对福山倒套的冲击力减弱。此外常熟市对倒套滩地的围垦加速了倒套的淤积。

### 3 不利边界条件下数值计算结果

假设铁黄沙上部串沟底高程淤积至洪季高潮位以上,即倒套与外部水域截断。模拟取实测潮流过程,即2003年9月27日10:00至2003年9月28日17:00的江阴、天生港、营船港、徐六泾、杨林塘及水山码头实测潮流过程。水流数值模拟结果见表1,图6为福山倒套现状涨急流场图,图7为模拟计算所得流场。模拟结果取自福山倒套底部到口门A、B、C断面。

水流数值模拟计算结果表明:福山倒套上部串沟淤积时比现状情况下流速减小,但由于上部串沟本身河床高程已经较高,因此流速减小不明显,减少值在0.1m/s之内。当倒套淤积断流时(模拟时状态)倒套内流速减少,将最终加速泥沙的沉降,增加福山倒套的淤积速度。同时假设常熟市福山倒套促淤工程实施,此举将会重蹈20世纪90年代福山倒套底部原福山塘被围做电厂灰场导致福山倒套快速淤积的覆辙,严重影响望虞河福山倒套水源地的安全。

表 1 福山倒套上部串沟现状及模拟淤积对比结果

淤积情况	A 断面			B 断面			C 断面		
	距右岸/m	水位/m	流速/(m·s <sup>-1</sup> )	距右岸/m	水位/m	流速/(m·s <sup>-1</sup> )	距右岸/m	水位/m	流速/(m·s <sup>-1</sup> )
淤	173	3.06	0.21	179	3.07	0.29	190	3.10	0.30
未淤		2.96	0.22		2.96	0.35		2.99	0.37
淤	1135	3.06	0.32	1141	3.07	0.44	1152	3.10	0.39
未淤		2.96	0.29		2.96	0.47		2.99	0.46
淤	1792	3.06	0.34	1798	3.07	0.48	1809	3.10	0.39
未淤		2.96	0.31		2.96	0.51		2.99	0.46
淤	2083	3.06	0.27	2305	3.07	0.41	2315	3.10	0.40
未淤		2.96	0.26		2.95	0.44		2.99	0.49
淤	2082	3.06	0.24	2666	3.07	0.37	2675	3.10	0.56
未淤		2.96	0.26		2.96	0.45		2.99	0.66
淤	平均	3.06	0.28	平均	3.07	0.40	平均	3.10	0.41
未淤		2.96	0.27		2.96	0.44		2.99	0.49

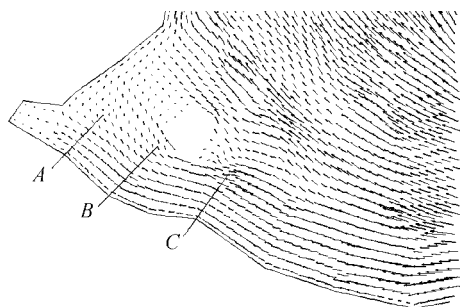


图 6 福山倒套现状涨急流场

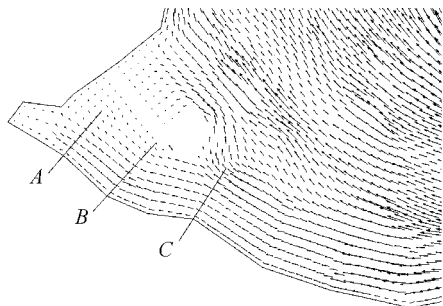


图 7 福山倒套上部串沟模拟淤积时涨急流场

## 4 结论

作为引江济太工程水源地,福山倒套对于太湖流域综合治理有着重要的作用,其河床稳定性更是影响引江济太水源地安全的关键,但倒套目前处于淤积阶段,水源地存在安全隐患。本文结合大量水下地形资料对倒套进行分析及水流数值模拟,主要结论如下:

a. 福山倒套深槽比较稳定,但倒套头部淤积仍在继续,-5 m 等高线经历了一段快速淤积期后,目前淤积速度已经变缓,-10 m 等高线向下移动速度较快,深槽右岸岸线稳定,左侧沙洲滩面有变化,致使-5 m、-10 m 等高线位置向深槽逼近;自 1958 年以来,深槽有所缩小,到 1987 年后,深槽范围变化较小,但倒套发展总趋势仍是淤积。

b. 近年来,福山倒套达到一个相对平衡时期,使得倒套的淤积速度有所减缓。表现为当前福山倒套下部串沟淤积速度较为缓慢,倒套底部及上部串沟淤积速度较快,当倒套淤积断流时(模拟时状态),倒套内流速减少,将最终加速泥沙的沉降,增加福山倒套的淤积速度。由于地方发展的需要,常熟市将加速对倒套底部的开发利用,促淤成滩,其必将对倒套现有的涨落潮平衡状态产生影响。

c. 适时疏导上部串沟,禁止在倒套内部修建任何促淤工程,是保证长江水源地安全的关键。

### 参考文献:

- [1] 黄家柱. 长江下游河道演变图谱研究[J]. 地理学与国土研究, 1999, 15(4): 92-95.
- [2] 季成康, 刘开平. 长江下游河床演变对防洪的影响探讨[J]. 水力发电, 2002(1): 9-12.
- [3] 李从先, 王靖泰, 李萍. 长江三角洲沉积相的初步研究[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 1979(2): 1-14.
- [4] 尹学良. 河型成因研究[C]/尹学良. 河床演变河道整治论文集. 北京: 中国建材工业出版社, 1996: 57.
- [5] 谢鉴衡, 丁君松, 王运辉. 河床演变及整治[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987: 41-46.
- [6] 袁文志, 高正荣, 谢瑞. 长江徐六泾河段北岸岸线整治工程探讨[J]. 水利水运科学研究, 1999(1): 41-49.

(收稿日期 2008-03-24 编辑 徐娟)

