

# 交叉航段通航安全评估方法及应用

## ——以秦淮河航道与溧水河、句容河交叉的三岔口航段为例

许力源, 张高峰, 应翰海

(华设设计集团股份有限公司, 江苏南京 210014)

**摘要:** 交叉航段由于多条航道交织, 交叉水域水流条件较为紊乱, 船舶在区段内通航时飘移量增大, 导致船舶操纵难度增大, 加大了水上交通事故的风险。本文以秦淮河航道与溧水河、句容河交叉的三岔口航段为例, 提出交叉航段通航安全关键因素, 通过数学模型分析了交叉航道水流流态对船舶安全通航的影响, 为类似工程提供借鉴。

**关键词:** 通航安全; 航道; 横流

中图分类号: U698

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2021) 10—0039—03

江苏省境内水网发达、航道密集, 各条航道的自然状况及通航状况均各有差异, 同时随着航道网的不断完善、通航船舶数量的不断增加, 不同类型航道的自然条件对于通航安全的影响将逐步显现<sup>[1]</sup>。航道、海事部门通过大力建设 VTS、AIS 等监管系统<sup>[2]</sup>来保证船舶通航安全。根据内河航道现状情况分析, 内河航道中对存在通航安全隐患的航段主要包括交叉航段、急弯航段、桥

区航段、船闸航段等<sup>[3]</sup>。其中, 交叉航道因航段由于多条航道交织, 交叉水域水流条件较为紊乱, 船舶在区段内通航时飘移量增大, 导致船舶操纵难度增大, 同时, 相邻各航道内船舶进出频繁, 进一步加大了水上交通事故的风险。另一个方面, 由于交叉航段水流为多方汇集, 航段底部水流在冲向航道两壁的过程中, 将大量的泥沙也带到航段区域淤积, 泥沙淤积的地方往往形成水下潜

### 4 结论

通过调研对当前船厂的安全事故进行分类, 找到造船事故的原因, 从而从人员安全管理和设备安全管理两个方面提出消除当前事故原因的方法, 进一步提出采用系统化的安全监控方案从人员、设备、环境、高危作业现场、危险源五个方面进行管理。最后以 W 船厂为例, 通过调查问卷的方式对系统化监控系统进行评价, 发现其可以将 W 船厂的安全水平由当前的合格提升至良好的水平。当前该方法效果只是进行了理论计算, 下一步须创造条件进行典型试验进行效果验证, 为进一步推广做技术和管理准备。

### 参考文献:

- [1] 柯军, 赵彦文. 中小型船厂现场管理探讨 [J]. 航海工程, 2013, 42(01): 85-87.
- [2] 葛永达. 面向造船企业责任成本管理研究 [C]. 江苏科技大学, 2012.
- [3] 王哲迥. 船舶制造企业机械设备安全生产管理的重要性和强化措施 [J]. 中国设备工程, 2020, (13): 93-94.

[4] 徐平. 新船厂设备管理的探索 [J]. 中国设备工程, 2006, (05): 10-12.

[5] Caprace JD, Petcu C, Velarde MG. Optimization of shipyard space allocation and scheduling using a heuristic algorithm [J]. Journal of Marine Science and Technology, 2013, 18: 404-417.

[6] 彭懿, 朱琦, 赵晶等. 物联网技术在船厂安全生产中的应用 [J]. 船舶工程, 2019, 41(05): 112-116.

[7] BAI XP, NIE W, LIU CM. A Comparison of Chinese, Japanese, and Korean shipyard production technology [J]. Journal of Marine Science and Application, 2007, 6(2): 25-29.

[8] 毛久昌. 浅析造船企业设备监控技术发展趋势 [J]. 江苏船舶, 2017, 34(02): 28-30.

[9] Doce AM, Casas VD, Trueba P. Industrial Internet of things in the production environment of a shipyard 4.0 [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020, 108: 47-49.

[10] 黄帅金, 洪文, 刘浩然. 模糊综合评价在某造船厂安全管理中的应用研究 [J]. 造船技术, 2012, 307(3): 8-13.

洲, 导致航道内局部水深变浅, 容易造成区域内通航船舶搁浅事故。综上可见, 交叉航段水流激烈碰撞, 且易产生漩涡及泥沙淤积, 同时在交叉航段船舶会让的概率增大, 是事故多发地段。本文以秦淮河航道与溧水河、句容河交叉的三岔口航段为例, 开展交叉航段通航安全评估技术研究; 梳理交叉航段通航安全关键因素; 提出交叉航段通航安全评估方法, 为类似工程提供借鉴。

## 1 评估重点分析

交叉航道的交汇区流态复杂, 水流泥沙运动规律各异, 对船舶通航的影响主要包括两个方面, 一是由于各航道水文条件不一, 当航道内水流流量差异较大时, 会产生相互顶托甚至倒灌, 对交叉段航道的水流条件产生较大的影响; 二是会在交汇滞流区泥沙落淤, 漂浮物堆积, 对航道的水深条件产生较大影响。

由于河道交汇区水流相互顶托, 交汇口处呈现明显的环流二次流, 水面坡降、交汇点位置随着汇流比的变化而改变, 浅滩相对较多, 河床变化较多, 因此, 该交叉航段通航安全评估除一般的气象条件外, 应重点针对航道横流、航道二次环流和交汇口泥沙淤积, 三个主要因素进行评估。具体评估要求见表 1

表 1 交叉航道通航安全评估体系表

航段安全影响因素	评估项	评估要求
航道横流	横流流速	1. 计算交叉航段航道内流态及流速, 确定横流分布及最大值; 2. 明确航道横流对船舶通航的影响。
航道二次环流	航道环流流速	1. 计算航道环流流态及流速, 确定环流流速最大值; 2. 明确环流对船舶通航的影响。
交汇口泥沙淤积	交汇区域冲淤量	1. 计算下游航道冲淤范围及冲淤量; 2. 计算冲淤引起的航道水深、流速及流态变化; 3. 明确冲淤变化对船舶通航的影响。

## 2 评估对象

根据上文分析, 本文以秦淮河航道与溧水河、句容河交叉的三岔口航段为例, 介绍交叉航段通航安全评估方法。秦淮河流域位于长江下游南侧, 秦淮河是长江的一条支流, 在南京市入长江, 流域北侧为宁镇山区, 南为横山和东庐山, 西南为牛首山、云台山, 东到句容市的茅山, 流域面积 2631km<sup>2</sup>。上游有南北两源, 南源出于溧水县东芦山北, 北源出于句容市宝华山西南。南北两源分别经溧水河、句容河在江宁区西北村汇合, 汇合处以上流域面积为 1942km<sup>2</sup>。

## 3 评估内容和方法

采用二维水流模型模拟交叉航段水流流态, 对航道

中横流的大小、二次环流的范围、河道交汇口泥沙淤积碍航等影响航道通航安全的关键因素进行评价。

### 3.1 模型范围

模型范围: 北边界距拟建秦淮河大桥约 870m, 东边界距拟建秦淮河大桥址处约 1400m, 南边界距拟建秦淮河大桥约 1270m。模型范围见图 1。

计算网格: 采用三角形网格, 为精确模拟桥墩附近水流, 网格尺度取为 2~20m。计算模型共有网格节点 16414 个, 三角形单元 31995 个。



图 1 模型范围

### 3.2 计算参数

河道糙率取 0.02~0.025, 时间步长取为 30s。

### 3.3 计算工况

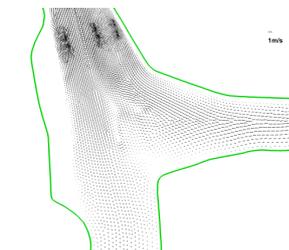
根据在江宁区航道站的调研及相关资料分析, 工程河段上下游均受闸门控制, 非汛期河道内水流流态平缓, 因此, 本次研究主要分析计算最高通航水位、50 年一遇洪水水位及 100 年一遇洪水水位下的水流流态, 计算组次见表 2。

表 2 计算组次一览表

计算工况		秦淮河水位 (m)	句容河流量 (m <sup>3</sup> /s)	溧水河流量 (m <sup>3</sup> /s)
工况 1	最高通航水位	9.5	366	234
工况 2	50 年一遇洪水 (推算)	12.09	866	555
工况 3	100 年一遇洪水 (推算)	12.21	743	467

### 3.4 计算结果

(1) 交叉航段水流流态: 图 2 为秦淮河交叉航段水流流态图, 由图可以看出, 不同工况下, 由于河道交汇区水流相互顶托, 交汇点位置随着汇流比的变化而改变; 工况 1 交汇口处呈现两个明显的环流二次流。



最高通航水位 (工况 1)

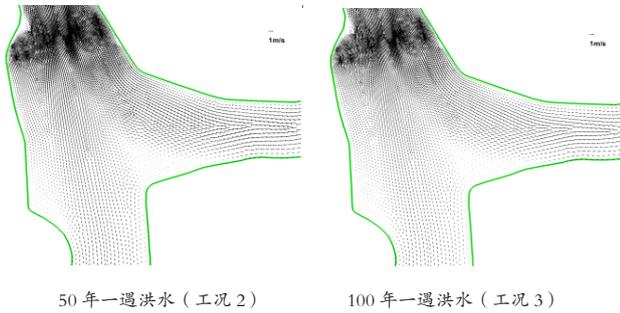


图2 各工况条件下流场图

(2)横流:为分析秦淮河航道交叉航段横流情况,沿航道中心线处布置了17个采样点,见图3。表3给出3种工况下横流值,可以看出,不同工况下横流最大值出现在汇流口(9#),最高通航水位下相应的各采样点航道横流值均较小,最大不超过10cm/s,50年一遇及100年一遇洪水工况下航道横流值也较小,最大为12cm/s,航道横流值均没有超过规范限定值30cm/s。

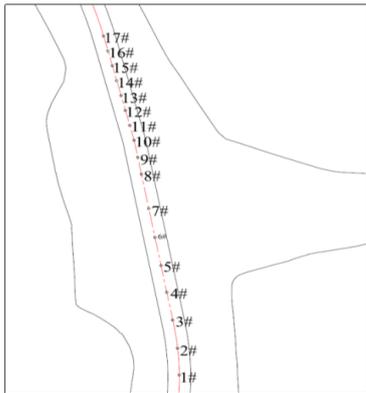


图3 横流采样点布置图

表3 不同工况下航道横流值

序号	工况1 航道横流值			工况2 航道横流值			工况3 航道横流值		
	流速 (m/s)	流向与航 道夹角(°)	横流 (m/s)	流速 (m/s)	流向与航 道夹角(°)	横流 (m/s)	流速 (m/s)	流向与航 道 夹角(°)	横流 (m/s)
1#	0.31	1	0.01	0.5	0	0	0.41	0	0
2#	0.32	1	0.01	0.51	1	0.01	0.42	1	0.01
3#	0.32	3	0.02	0.5	5	0.04	0.42	5	0.04
4#	0.34	2	0.01	0.52	1	0.01	0.43	1	0.01
5#	0.35	7	0.04	0.49	2	0.02	0.41	1	0.01
6#	0.5	12	0.1	0.53	3	0.03	0.44	3	0.03
7#	0.53	4	0.04	0.56	1	0.01	0.47	1	0.01
8#	0.54	1	0.01	0.65	6	0.07	0.54	6	0.06
9#	0.56	7	0.07	0.69	10	0.12	0.58	11	0.11
10#	0.62	5	0.05	0.78	8	0.11	0.65	8	0.09
11#	0.72	6	0.07	0.95	7	0.12	0.8	7	0.1
12#	0.87	5	0.07	1.12	5	0.1	0.94	5	0.08
13#	0.95	2	0.04	1.22	2	0.04	1.02	3	0.04
14#	0.96	2	0.03	1.27	2	0.04	1.07	2	0.04
15#	0.98	3	0.05	1.36	4	0.09	1.14	4	0.07
16#	0.99	4	0.07	1.39	5	0.12	1.17	5	0.11
17#	1	5	0.08	1.4	6	0.15	1.18	6	0.13

#### 4 评估结果及建议

(1)由于河道交汇区水流相互顶托,交汇点位置随着汇流比的变化而改变;工况1 交汇口处呈现两个明显的环流二次流,在这一段区域范围内流向不稳,对船舶操纵产生一定的影响。

(2)不同工况下横流最大值出现在汇流口,流致漂移量问题是船舶安全通航应该注意的一个重要问题。

(3)两航道的水流交汇后,在江心洲的末端,由于两股水流碰撞后流速抵消,大量水流在此附近旋转形成驻点。由于水流中含有大量的泥砂,水流在江心洲末端旋转停留的过程中,也将泥砂带到此地淤积而形成浅水。如果淤积程度导致此地的水深小于船舶的吃水,船舶就会搁浅。

(4)由于交叉航道“面流向心、底流朝岸”的特性,导致交叉航道附近存在航道底部到水面的环流分量。当船舶在经过交叉航道时,受这一环流分量的影响,船体水线以下的各个部位受到水流的侧向力不一致,船体倾斜比较严重。同时交叉航道船舶流量较大,两分道的船舶都汇集于此,船舶交织、穿梭情况较多。船舶运动在交叉航道产生兴波,这种兴波会对他船产生冲击,引起他船倾斜加剧,为了减少船舶的倾斜量,建议航段内船舶合理配载。

#### 参考文献:

- [1] 谢小强,关于复杂通航环境下通航安全的思考[J].中国水运,2021,21(4):9-10
- [2] 赵显峰,孔晨,牟学东.内河通航水域安全监管手段研究[J].中国水运,2021(1):55-57.
- [3] 孔宪卫,张庆河,杨宗默,等.河床演变影响下桥区水域通航安全研究[J].中国安全科学学报,2021,31(3):128-134.

