



基于 BIM 的巢湖口门航道养护措施分析

张红星, 黄涛, 沈超

(安徽省交通勘察设计院有限公司, 安徽合肥 230011)

摘要: 针对巢湖某支流口门航道的拦门沙碍航问题, 开展 BIM 技术在口门航道冲淤计算及养护分析的应用研究。对 BIM 技术在口门航道养护分析中的应用思路和流程进行梳理总结的基础上, 根据实测水文地形资料, 采用 Civil 3D 曲面分析技术, 对航道口门区的冲淤变化进行定量分析, 应用部件编辑器创建参数化航道模型, 结合水位条件进行航道尺度分析并提出养护措施。结果表明, BIM 技术能够准确、高效地完成口门航道的养护分析工作, 可为今后的航道养护 BIM 深化应用提供借鉴。

关键词: 口门航道; 养护分析; Civil 3D; BIM

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)09-0156-05

Maintenance measures of entrance channel in Chaohu Lake based on BIM

ZHANG Hong-xing, HUANG Tao, SHEN Chao

(Anhui Transport Survey & Design Institute Co., Ltd., Hefei 230011, China)

Abstract: Regarding the problem of sand blocking in the entrance channel of a tributary of Chaohu Lake, the research of BIM technology application in the calculation and maintenance analysis of the erosion and sedimentation of the entrance channel is carried out. On the basis of summarizing the application ideas and processes of BIM technology in the maintenance analysis of the entrance channel, the Civil 3D surface analysis technology is used according to the measured hydrological terrain data, and the quantitative analysis of the erosion and sedimentation changes in the entrance area of the channel is carried out. The parametric channel model is created by the subassembly composer, meanwhile the channel scale is analyzed in combination with the water level conditions to propose maintenance measures. The results show that BIM technology can accurately and efficiently complete the maintenance analysis of the waterway at the entrance, which can provide references for the deepening application of BIM for waterway maintenance in future.

Keywords: entrance channel; maintenance analysis; Civil 3D; BIM

内河航道维护是保护内河航道畅通, 提高航道等级和服务水平, 为船舶提供良好、安全航行条件的必要环节^[1]。为确保航行安全, 《航道养护技术规范》^[2]规定必须对口门区等重点航段进行定期的水下地形监测与跟踪分析, 以期全面掌握水深变化趋势、河床变化趋势及航道现状指标, 为口门区养护措施提供参考依据。

建筑信息模型 (building information modeling, BIM) 技术是一种应用于工程设计、建造、管理的

数据化工具, 近年来在工程建设领域的应用日渐成熟。随着 BIM 技术在水运工程领域应用的广度和深度不断增加, 极大提高了航道勘察设计工作的效率和产品质量, 但由于水运工程类型繁多且工程特性各不相同, 当前 BIM 技术应用研究大多局限在 BIM 软件自身提供的工程设计功能^[3]。航道养护阶段作为水运工程全生命周期的重要环节, 当前该阶段的 BIM 技术应用研究较少。总体上, 国内内河航道维护工程管理中信息化应用水平还

比较落后, 内河航道维护水平难以适应航运发展的实际需求^[4]。

巢湖作为典型的浅水湖泊, 入湖口门处通常存在拦门沙淤积体^[5]。本文以巢湖某航道口门区重点航段为研究对象, 采用 BIM 软件 (Autodesk Civil 3D) 对口门区水下地形观测成果进行三维建模, 对口门水下地形冲淤变化进行定量计算, 结合参数化标准等级航道模型分析特征水位下的航道尺度, 为维护性疏浚方案提供初步参考, 以期为 BIM 技术在航道养护方面的进一步应用提供借鉴。

1 研究区域

1.1 口门航段概况

巢湖接纳杭埠河、南淝河、兆河、白石天河等河流来水, 各支流呈放射状注入巢湖。本文研究重点航段位于巢湖东北部某支流航道入湖口门区, 航道建设等级为Ⅱ级。其中河道部分为限制性航道, 设计尺度为 $60\text{ m} \times 4.0\text{ m} \times 550\text{ m}$ (底宽 \times 水深 \times 最小弯曲半径), 湖区部分按天然及渠化河流航道标准, 设计尺度为 $100\text{ m} \times 3.7\text{ m} \times 550\text{ m}$ 。

根据航道养护相关规定要求及巢湖口门航道工程建设及泥沙回淤特性, 在该重点航段区域横向范围 150 m 内布设 E 级平面控制网和四等高程控制网, 于 2021 年 6 和 9 月分别对该航段 K15+500—K17+500 范围(河道 1 km 、湖区 1 km)进行汛前汛后水下地形测量作业(图 1), 并形成 $1:1\,000$ 水下地形内业成果。

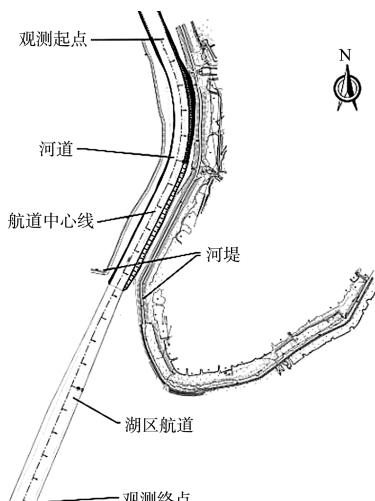


图 1 口门观测航段

1.2 水文泥沙条件

巢湖原与长江自然连通, 自 1962 年巢湖闸建成后, 转为水位受巢湖闸控制的半封闭湖泊。巢湖闸上控制水位 6—8 月为 6.1 m , 5—9 月为 6.6 m , 非汛期为 $6.6\sim7.1\text{ m}$ 。根据巢湖多年来实际运行情况, 按巢湖中庙站实测逐月平均水位(图 2)成果分析, 汛期(6—9 月)该站 2008—2016 年月平均水位为 $6.7\sim10.3\text{ m}$, 非汛期(10 月—次年 5 月)平均水位为 $6.5\sim7.5\text{ m}$ 。除洪水年份外, 巢湖水位较稳定, 全年水位变动幅度较小, 一般在 $6.5\sim8.5\text{ m}$ 区间内变化。

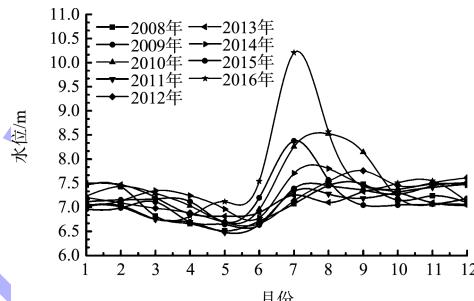


图 2 巢湖中庙站 2008—2016 年实测逐月平均水位变化

巢湖淤积来源主要是各入湖支流挟带的泥沙, 其次是岸坡崩塌物沿湖堆积形成淤积。且汛期受长江江水托顶影响, 径流所挟泥沙无法外排, 最终沉降在湖区。近年来, 支流河道经过治理, 崩岸大幅减少。除洪水年份外, 单条支流的径流量和输沙量均较小, 湖床演变以波浪、风生潮流等造成的泥沙输移为主, 支流口门区由于回流及风浪引起的泥沙运动而呈缓慢淤积的态势。

2 BIM 应用思路

2.1 正向设计流程

与道路工程类似, 内河航道工程为带状, 传统设计过程一般为: ①设计软件导入工程区域水下及岸线测图; ②设计航道平面走向; ③设计航道底高程及边坡; ④使用设计软件进行计算并出图。由于上述流程平纵设计之间缺乏信息传递, 导致设计、变更过程步骤繁琐且容易出错。

Civil 3D 利用软件的航道设计功能可以将平面路线、竖向设计高程与定制的横截面组件相结合, 为航道创建参数化的动态三维模型, 通过修改航

道各平纵设计要素的参数即可轻松修改整个航道模型。利用 Civil 3D 的参数化部件装配特性,结合航道设计流程,总结航道工程的 BIM 正向设计流程如图 3 所示^[6]。

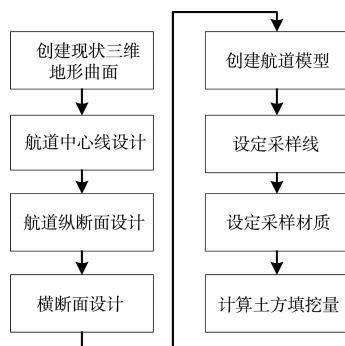


图 3 Civil 3D 航道正向设计流程

此外,航道设计参数沿程发生变化时,传统设计方法只能分区段设计,影响设计方案的整体性;不同分区设计的重复劳动、尤其是方案的变更也大幅降低了设计效率。在 Civil 3D 中,可通过提前绘制航道底边线再设置为航道模型边界的方法,直观、高效地解决航道参数沿程变化问题^[7]。

2.2 养护分析思路

内河航道中的口门区、弯曲狭窄段是重点维护的对象,为保证船舶航行安全,必须在重点航段观测成果的基础上,研究航段的冲淤特性及河势变化规律,分析枯水期浅滩碍航区段,并采取疏浚、清障等措施进行维护,以满足航道维护通航尺度要求。

通过上述对航段养护措施分析过程和成果的总结,对比 2.1 节的航道 BIM 正向设计流程,可知航道养护分析是对已建工程现状进行评估,在一定意义上是设计过程的逆向过程,但在 BIM 技术的应用手段上两者相似。上述过程中 BIM 应用都需要利用地形模型和航道参数模型进行合成,以达到统计、分析目标成果;而在航道养护中,由于同一水文年度内水情变化的复杂性,需要在不同水位条件下对航道现状通航尺度进行分析,

应用 Civil 3D 软件更可体现 BIM 模块化、参数化的优势,达到一次建模、参数控制和自动修正的效果。

通过对航道回淤计算和养护分析过程进行梳理,结合 Civil 3D 中部件编辑器、体积曲面等技术对数据处理的方法,总结航道冲淤计算及养护分析 BIM 应用路线如图 4 所示。

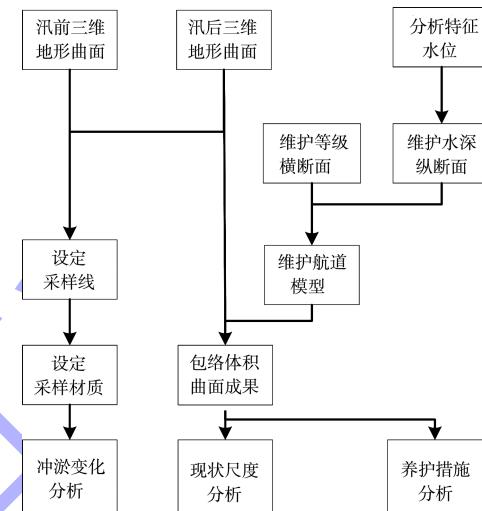


图 4 Civil 3D 航道养护分析应用路线

3 BIM 应用过程

3.1 冲淤变化分析

利用口门航段汛前汛后水下地形测量作业成果,通过 Civil 3D 软件建立口门航道的三维汛前汛后地形曲面模型,并将地形曲面模型叠加,生成包络地形差异的体积曲面,软件可自动计算出体积曲面的淤积量(填方)和冲刷量(挖方)指标。在体积曲面上作高程分析,显示出的航段淤积和冲刷区域如图 5 所示。

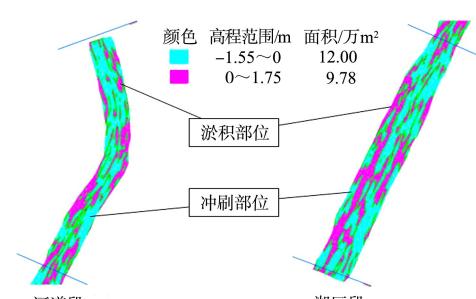


图 5 航段淤积和冲刷区域

同时, 为了分析汛期口门航道回淤强度和分布规律, 沿航道走向设置采样线进行航道横断面分析。为与体积曲面计算结果比较, 设置采样目标为汛前汛后原始地形曲面模型, 在不同采样线间距控制下使用平均断面面积法计算沿程冲淤量。上述冲淤量两种计算方法所得结果对比见表 1。

表 1 口门航段冲淤计算结果对比

计算方法	淤积量/m ³	冲刷量/m ³	净冲淤量/m ³	净冲淤量相对误差绝对值/%
体积曲面法	12 114.73	18 005.36	-5 890.63	-
100 m 采样线	14 400.72	13 850.43	550.30	109
50 m 采样线	12 336.40	17 227.80	-4 891.41	17
20 m 采样线	11 853.92	17 623.96	-5 770.04	2

注: 净冲淤量负值为冲刷, 正值为淤积。

由图 5 和表 1 可以看出, 该口门航道河道段和湖区段冲刷与淤积均有发生, 冲刷略多于淤积且淤积和冲刷区域分布较为分散。河段冲淤程度轻微, 平均冲刷强度为 8.3 cm/a, 平均淤积强度为 5.6 cm/a。使用平均断面面积法计算冲淤量时, 采样线间距直到达到 20 m 时计算结果与体积曲面计算结果较为一致。由于实际工程中往往是以间隔 50 m 为一个断面进行施工图设计及算量, 在地形交错较为复杂的情况下, Civil 3D 软件提供的体积曲面方法显示出在土方计算上便捷性和准确性方面的优势。利用 Civil 3D 软件对汛前汛后原始地形曲面模型进行坡度坡面分析, 深泓线汛期摆幅很小, 且走向无明显变化。结合冲淤分析结果, 本年度汛期航槽形态基本较为稳定。

3.2 航段尺度分析

航道维护尺度是影响船舶安全航行的重要因素, 一方面关系着维护工作量和资金投入; 另一方面又影响航道的通过能力。航道养护工作的基本标准是要确保航道现状尺度达到维护尺度, 不

发生阻航、断航事故。

国内内河航道维护实行各省区分区域管理方案, 各区域内航道条件、航运要求和经济实力各不相同, 航道养护水平和标准也有所差异, 导致各区域内等级航道维护尺度标准和质量评定的不同, 总结判断航道现状尺度是否满足航道维护尺度的评价方法大致可分为以下两类:

1) 淤深约束。以航道底宽范围内不满足维护水深, 平均淤高低于临界值 h_c 等。

2) 底宽约束。以航道底宽范围内满足维护水深的底宽小于临界值 $b_c^{(x)}$, $b_c^{(x)}$ 计算公式为:

$$b_c^{(x)} = B^{(x+1)} + \lambda \Delta B \quad (1)$$

式中: $b_c^{(x)}$ 为 x 等级航道的维护底宽临界值; $B^{(x+1)}$ 为 x 等级航道的次等级航道最小底宽; ΔB 为 x 等级航道与次等级航道的最小底宽差值; λ 为等级航道间底宽尺度控制比例。

此外, 还可以附加航道长度约束 l_c 或航道比例约束 p_c , 当不满足水深约束或底宽约束的航段长度不超过航道长度约束 l_c , 或航段里程比例不超过航道比例约束 p_c 时, 判断该航段满足航道维护水平要求。

依据上述航道现状尺度分析要素, 编制航槽参数化断面如图 6 所示。因口门航段包含河道段及湖区段, 沿程断面设计参数底宽和边坡坡比发生变化, 利用部件编辑器生成参数控制部件, 与航槽组成部件进行装配, 通过装配特性配置航槽部件几何尺寸参数来源, 从而实现以输入参数来驱动断面尺寸变化的效果。与手工绘制边界方法相比, 全参数化航槽断面在沿中心线进行放样时, 与起伏不定的河床地形达到紧密契合, 模型精度与分析效率均得到提升。此外还开发了航槽底宽约束部件, 并对断面各部分点代码及连接代码进行分组设定, 以适应不同的航道尺度约束分析要求。

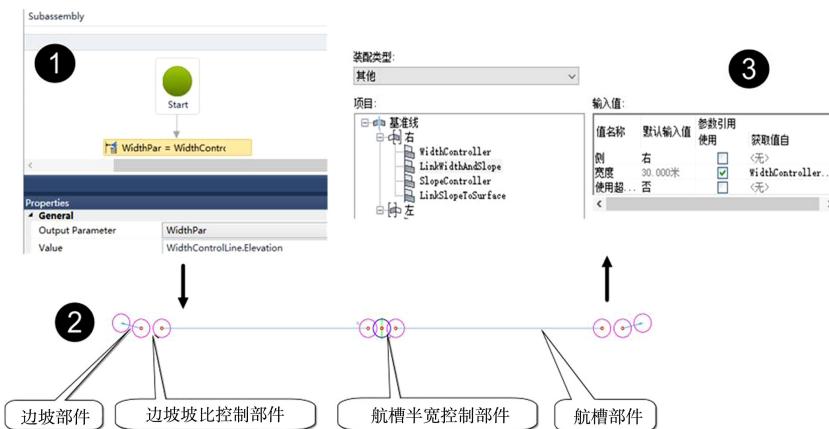


图 6 航槽参数化断面设计过程

根据巢湖当前水文条件及水位调控模式, 取非汛期控制水位范围 6.5~7.0 m 对航道尺度进行分析。绘制航槽设计纵断面, 经过航道放样拉伸横断面装配, 形成航槽维护标准曲面。航槽维护标准曲面与原始地形曲面相结合生成体积曲面, 通过断面装配上的点代码延伸, 形成航槽底边线、航宽 λ 控制线, 如图 7 所示。

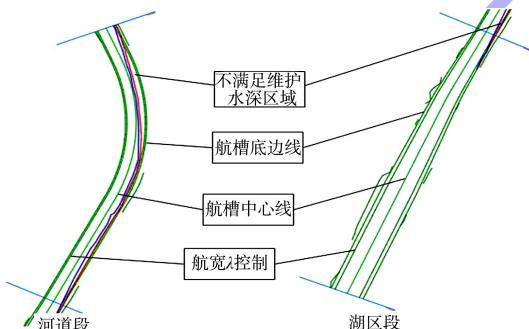


图 7 航槽尺度分析

运用航道尺度评价指标, 取淤深约束 $h_c = 10$ cm 及综合航宽约束 $b_c^{(x)} = 51$ m (河道)、76 m (湖区) (取 $\lambda = 40\%$) 及航道长度约束 $l_c = 1$ km 指标对航段现状尺度进行评价。使用体积曲面功能进行分区域计算, 航段平均冲淤深度为 -6~ -5 cm, 总体上冲刷效应大于淤积效应。虽然航段尺度满足淤深约束, 但不满足航宽约束下限的区段长度已超过 1 km, 该口门航段河道部分尺度在非汛期已达不到航道养护尺度要求。

3.3 养护措施分析

由图 6 可知, 非汛期航道湖区段航槽形态较好, 满足航道维护尺度条件。河口部分两侧轻微

淤积, 航槽向中心挤压。河道段凹岸淤积明显, 水位进一步降低时, 4 m 等深线向航道中心发展, 航宽最窄处已接近单线航道宽度。通过叠加高程点进行分析, 航槽范围内水深最浅处仅为 2 m 左右。

非汛期河道段维护水深及航宽无法兼顾, 可考虑“舍宽保深”原则, 通过局部调整或增设航标, 将碍航浅滩、水深不足的浅点置于航道边界以外, 在保证维护水深的前提下, 保证航道宽度不小于单线航道宽度。

当水位进一步降低时, 已无法通过调整标准的手段保证航道通行尺度, 可采取临时性应急疏浚措施改善航道航行条件。鉴于该处浅区在水位较高时已呈现一定的碍航特性, 且维护疏浚量(约 20 万 m^3)较大, 应根据实际养护能力和经费保障, 制定该航段年度养护计划, 开展航道维护性疏浚工作, 以保障航道安全畅通。

此外, 针对枯水期通航水位变化情况, 应加强浅区观测工作, 及时获悉浅区航道水深条件, 并及时向过往船舶发布航道维护尺度, 通告船舶谨慎、按规航行。

4 结论

1) 采用 Civil 3D 软件, 可依据测绘数据直接建立三维床底曲面, 利用体积曲面分析可快速准确地对冲淤变化、河床演变进行量化分析。