



# BIM技术在鸡冠滩航道整治设计中的应用

曾 涛，彭毕帅

(长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147)

**摘要:** 将BIM技术引入鸡冠滩航道治理方案研究中, 以传统分析工作BIM化作为切入点, 首先阐述河道地形模型建模思路; 其次基于修正后的河道地形曲面分析滩段的演变规律和碍航特性、建立整治方案BIM模型, 并通过模型整合形成便于传递的DWG设计成果和航道工程三维可视化沙盘。本套技术体系可以较好地运用于一般航道整治工程的河演分析、碍航及水流分析、整治工程方案建模等, 相应的模型处理方法可为类似工程提供借鉴。

**关键词:** BIM技术; 航道整治; 河床演变; 碍航特性; 数据分类

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)11-0171-07

## Application of BIM technology in waterway regulation design of Jiguantan

ZENG Tao, PENG Bi-shuai

(Chongqing Shipping Engineering Survey and Design Institute of the Yangtze River, Chongqing 401147, China)

**Abstract:** The BIM technology is introduced into the waterway regulation design of Jiguantan. Firstly, taking the data classification as the starting point, we describe the modeling idea of the river terrain model; secondly, based on the modified river terrain surface, we construction the beach characteristic analysis and regulation scheme BIM model, through the integration of which, the DWG design results and three-dimensional visualization sand table of waterway engineering are formed. The conclusion is that this set of technical system can be well applied to the river evolution analysis, navigation hindrance and flow analysis, regulation engineering scheme modeling, etc. Corresponding model treatment method may serve as reference for similar projects.

**Keywords:** BIM technology; waterway regulation; riverbed evolution; navigation obstruction characteristics; data classification

鸡冠滩位于四川省合江县境内的长江上游羊石盘—上白沙水道, 滩段长约2.0 km, 系枯水浅滩。鸡冠滩段内航道微弯, 进口段倒鬃滩和鸡冠滩石梁伸出江中较开, 河道有所束窄; 主流通过卡口段后倾泻而下, 河面骤然放宽导致主流急剧分散, 在凸岸侧淤积形成饭蔸袋边滩, 边滩暗礁部分伸入江中伸开, 占据了70%以上河道, 将主槽撇向凹岸侧; 过渡段河面宽阔, 上、下深槽断开形成浅区, 因航槽水浅而碍航。针对本滩段滩险的碍航特性、河床演变特点与趋势, 对滩段进行整治。鸡冠滩河势见图1。

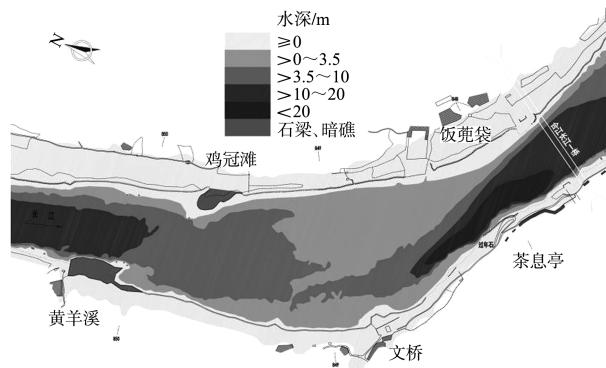


图1 鸡冠滩河势

BIM技术运用于工程中可显著提高建设效率,

降低工程风险。2016 年,交通运输部将 BIM 技术在交通建设行业的应用规划为“十三五”十大重大技术方向和技术政策之首,但 BIM 技术在航道整治中的应用尚处于初级阶段。何洋等<sup>[1]</sup>依托黑沙洲航道整治二期工程,利用 BIM 技术解决施工及管理的几个关键问题,提出 BIM 应用实施方案;江小寒<sup>[2]</sup>在欧特克 BIM 平台、CityMaker 三维 GIS 平台上,实现了航道整治工程全生命期全覆盖应用;长江航道规划设计研究院运用 Civil 3D 开发出航道整治工程 BIM 设计工具箱,优化了设计流程,提高设计精度。

鸡冠滩段的治理方案研究结合 BIM 技术对数据处理的新理念、新方法,将 BIM 技术运用于河床演变、碍航分析、方案设计(整治建筑物、护岸、疏浚)中,从数据整合建模、三维可视化分析等角度,以数据处理的技术手段为传统设计方法赋能。

## 1 滩段特性分析 BIM 模型创建

### 1.1 地形模型

地形模型主要分为河道地形与陆域地形模型。在航道整治 BIM 设计中,地形是 BIM 模型建模的底层基础,其精确度直接影响分析成果、工程量计算等一系列重要结论,所以地形处理是航道整治 BIM 模型建模过程的重中之重。目前河道地形主要为单波束测量成果,可以较好地运用于河床演变分析、疏浚与筑坝工程设计等;陆域地形模型主要用于护岸类结构的设计,高程点可通过传统地形测量或水上无人机机载倾斜摄影等方法获得,从而进行岸坡稳定分析、工程设计等工作。

机载倾斜摄影测量技术是获取三维空间数据

的有效手段,目前在建筑业、路桥勘察设计中运用较为广泛。李红梅等<sup>[3]</sup>在公路勘察设计路线附近进行倾斜航拍并处理城市三维模型;余加勇等<sup>[4]</sup>提出基于无人机倾斜摄影的公路边坡三维重建和灾害识别方法。陆域地形模型采用传统地形测量高程进行建模,本文主要进行水下河道地形 BIM 技术建模研究。

#### 1.1.1 信息归类

测图中的信息种类繁杂,需要对其进行数据提取与分类操作。长江上游航道整治设计中,主要分为绝对高程与相对高程测图。绝对高程测图主要用于工程设计,高程基准为常见的吴淞高程、黄海高程等;相对高程测图主要用于航道和水流条件分析等,其高程基准为各航道里程航行基面,所以相对测点考虑了滩段的水面比降等因素,便于分析航槽及周边的等深线贯通情况、深泓线摆动情况等。由于 2 种测图的用途不同,在建立河道地形模型与水流分析模型时,须将测图内的所有信息拆分并归类,如图 2 所示。信息提取内容如表 1 所示,拆分方法运用 Civil 3D 的数据提取 (DATAEXTRACTION) 功能,能够对应提取所需的数据类型。

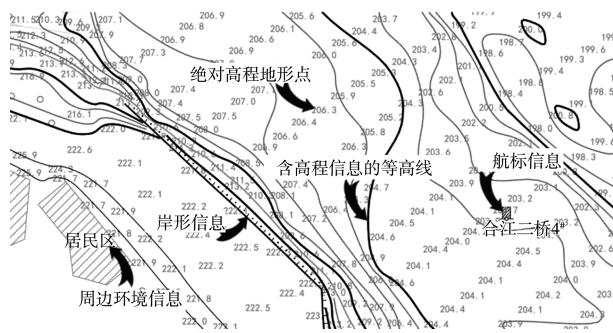


图 2 测图内信息类型

表 1 测图数据提取内容及用途

类型	提取对象	数据类型	提取内容	用途
绝对高程	高程点	块	空间坐标	建立河道地形
	等高线	二维多段线	高程	
	航标	块	空间坐标	航线分析
	岸线类型(礁石、已建护岸等)	直线	空间坐标	方案分析
	环境关注点	文字	空间坐标、文字内容	

续表1

类型	提取对象	数据类型	提取内容	用途
相对高程	水深点	块	空间坐标	碍航分析
	等深线	二维多段线	高程	碍航分析
	水文测线	文字	空间坐标、文字内容	水流条件分析

### 1.1.2 河道地形生成

河道地形模型的质量直接决定了河演分析、碍航分析及方案设计的精确度, 是整个 BIM 设计中的基础及重点关注对象。在 Civil 3D 中主要以曲

面方式进行河道地形模型的构建。曲面中含有栅格网格、三角网格、体积曲面网格, 网格的疏密程度代表了测点的密集程度。网格含义与用途如表 2 所示。

表 2 Civil 3D 中各网格类型说明

网格类型	含义	优势及用途	图例
栅格	等间距顶点由周围地形点距离权重运算得到	可以较好的平滑突变地形, 适用于出河势图、分析图等彩图	
三角网格	测点即为顶点, 并连接成相互连续的三角面,	准确反应礁石等具有突变特征的地 形, 适用于礁石河床河道地形建模	
体积曲面网格	网格叠加计算结果	快速计算两曲面的变化情况, 主要用于河道历年冲淤分析	

### 1.1.3 河道地形修正

在鸡冠滩河道地形模型建立中, 由于测图原因部分测点为空值, 需要在 Civil 3D 中剔除异常高程点, 采用曲面定义高程法筛选(取高程值在 100~300 区间范围内的值); 三角网格生成时, 可能会出现较远顶点网格连接情况, 根据此网格特

征, 使用最大网格角度来进行限制生成。曲面修正参数定义如图 3 所示。各不同比例的测图分别进行建模、修正, 粘贴在一起可以实现不同比例的网格加密地形, 整合处理后的鸡冠滩河道地形模型如图 4 所示。

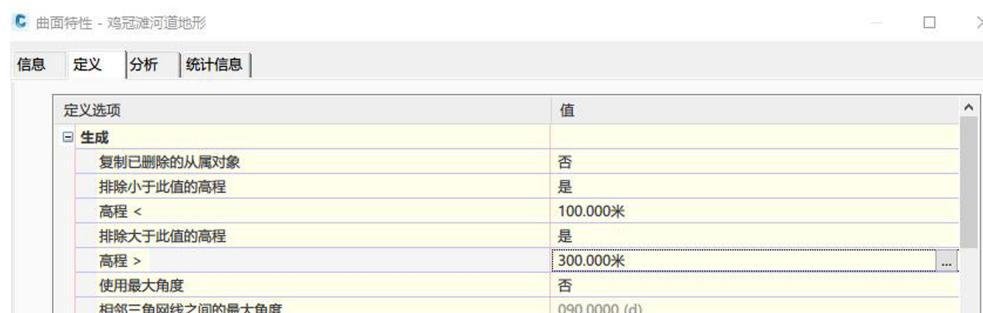


图 3 河道地形曲面修正定义

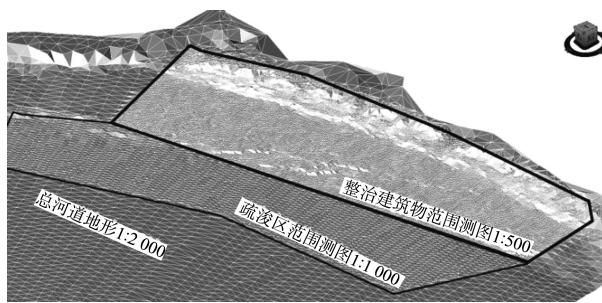


图 4 整合处理后的各比例测图鸡冠滩河道地形模型

## 1.2 河床演变分析模型

河床演变是在河道水流与河床边界相互作用下，河床在垂直和水平方向上的变形<sup>[5]</sup>。在航道整治中主要是分析水流与河床不断相互作用的过程，评估滩段历年、年内河床演变趋势、冲淤程度等。

### 1.2.1 冲淤分析

河床演变分析主要为量测 2 个对比年份的河床高程变化，评估河床的冲淤变化和发展趋势。

据此，可以从体积曲面的方法入手，通过两两绝对高程曲面做体积曲面计算差值，对应得到冲淤地形(差值)曲面。但在实际运用过程中，会出现部分测图测点缺失导致冲淤地形失真从而误导评估。例如在河中心石盘、河边礁石位置，其特点为地形形态突出，但不会发生严重的冲淤变化。若某年份地形测点未充分反映其形态，而与其对比分析的地形却较为精确，便会出现非常强烈的冲淤关系。为避免该问题出现，须对冲淤曲面进行修正。首先应找出测图中标明的礁石位置，先将曲面局部平滑处理后再使用；其次是结合卫星图片、实际踏勘成果校验岸坡类型，确认地形性质后，再将其局部平滑，减弱强烈的冲淤关系。修正后的冲淤曲面具有实时冲淤断面分析、局部地形框选查询冲淤量等功能，可做到分析成果紧密联系设计思路、较快调整分析断面及计算局部冲淤量(图 5)。

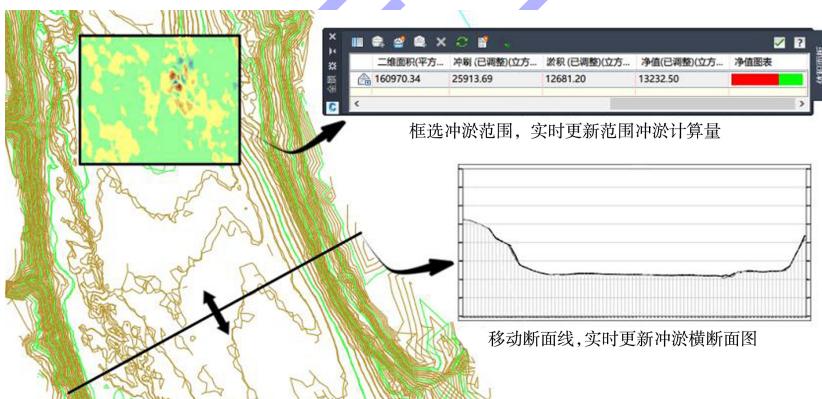


图 5 基于体积曲面的鸡冠滩滩段冲淤分析

### 1.2.2 特征线分析

特征线分析是河道演变分析的重要基础工作，主要包括深泓线、0 m 等深线、边滩特征线和深槽特征线等，本文以深泓线举例说明。深泓线即沿河流方向最大水深处的连线，需要基于相对地形图进行人工判别生成。相对地形曲面与上文中的河道地形曲面建模方法相同。传统深泓线做法为人工读点，记录 2 点间距与水深 2 个数据，然后通过平差的方法，以每一定距离(航道里程)为单

位换算，生成深泓纵断面。该方法受人为因素影响较大，制作复杂且容易出错。在 BIM 模型中，可以采用坡度分析法对河道深泓平面摆动进行评估。由深泓线的定义可知，深泓线必定为水深最深处的连线，在水深曲面中可分析得到坡度的拐点，再将其连接、提取即可得到深泓线；为坡度斜率大小进行色彩赋值，可以直观看到槽内的水深梯度和范围(图 6)。结合历年的相对地形测图可得到深槽在纵向、横向上的变化情况。

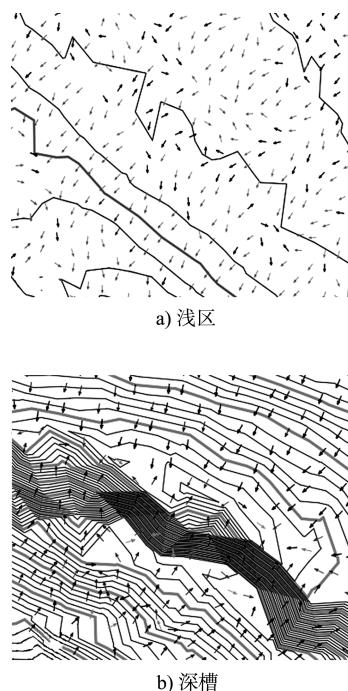


图 6 基于水深曲面的鸡冠滩滩段浅区与深槽内坡面分析

### 1.3 碍航及水流分析模型

滩险碍航主要从实测水流流速、比降、等深线贯通情况等要素分析河段的水流特性、航道条件等, 为方案提供支撑。由于相对测图为航行基面换算得到的水深图, 故通过水深点生成的曲面等高线, 即为等深线。在鸡冠滩整治设计中, 代表船型设计吃水 3.1 m, 考虑卵石与岩石质河床富余水深取 0.4 m, 航道标准水深综合取值 3.5 m。分别以 0、3.5 m 等深线作为判别依据研究年际与年内之间的岸坡变化、航槽内的水深情况。

水流分析模型整合了船舶航迹线、水尺、流速比降测点、数值模拟计算成果等与水流相关的各种测量数据, 通过 BIM 软件的模型传递来实现。通过图层分类, 可随时开关各类图层进行分析(图 7)。各水流分析模型要素在 Civil 3D 中的主要表现途径如表 3 所示。



图 7 各模型中对应图层功能结构树

表 3 水流分析模型要素在 Civil 3D 中的表现方法

碍航及水流分析模型	在 Civil 3D 中的表现方法
船舶航迹线	二维多段线
水尺	带水位数据的属性块
实测流速点	流速测点连线
实测比降	带 Z 值的三维多段线
数模计算结果	属性块, 箭头大小、方向由数模计算网格流速分量得到

### 1.4 碍航特性分析

将上文的河演分析模型、碍航与水流条件分析模型构建方法运用于鸡冠滩航道整治设计工程中, 分析 2007 年 2 月、2015 年 3 月、2020 年 9 月年际间测图及最新年份年内测图, 得到以下结论:

1) 深泓变化。深泓线在滩段进、出口段深槽内年际间摆动极小; 在过渡段浅区部位年际间呈无规律的左右摆动, 最大摆幅约 90 m。年内深泓线走向无明显变化。

2) 滩槽变化。从鸡冠滩 0 m 等深线的变化以及 BIM 模型中的坡面分析看, 滩段内 0 m 等深线年际间基本无变化, 而过渡段浅区部位 3.5 m 等深线历年均不能全线贯通, 断开的位置呈逐年上提趋势。年内 3.5 m 等深线除浅区部位变化稍大外, 其余部位较为稳定。

3) 水流特性。经过碍航与水流特性模型分析得知, 鸡冠滩在河道转弯处江面逐步放宽, 凸岸边滩碛翅部分过度淤长并侵入江心, 导致此处水深较浅。水流自鸡冠滩石盘与倒鬃滩石盘卡口后来到大肚子河道放宽段, 流速减缓; 受出口饭莞袋与过年石缩窄河道, 流速有所增大。鸡冠滩过渡段浅区正好位于河道放宽段, 流速多在 3.0 m/s 以内, 泥沙易淤积于此。

4) 冲淤变化。从 2015 年和 2007 年枯水期滩段冲淤变化看, 滩段中上段以冲刷为主; 但冲刷多发

生在两岸岸边部位，航槽内冲淤变化较小，普遍在1.0 m以内。出口段过年石外侧深槽部位冲淤相间，变幅较大；但由于该部位水深条件较好，河床的冲淤变化对通航条件的影响相对较小。2020年与2019年相比，两岸冲淤相间，过年石局部冲刷和淤积仍较大，浅区部位依旧以小幅冲刷为主。

与传统分析手段对比，分析结论基本一致。

## 2 整治方案 BIM 模型的创建

基于上述分析，提出以下整治方案：疏浚航槽内不满足水深要求的区域，为了保持挖槽区的稳定，在疏浚区右岸布置2道丁坝。鸡冠滩上丁坝长238.00 m(其中丁坝段长108.00 m，勾头段长130.00 m)，鸡冠滩下丁坝长166.00 m(其中勾头段长60.00 m)。为了与岸坡平顺衔接，增强坝根稳定性，同时防止岸线冲刷，稳定河势，鸡冠滩上下丁坝修建护岸工程，护岸形式采用长江上、中游堤防工程应用较为广泛的斜坡式平顺护岸，鸡冠滩上下丁坝结构相同，平面布置如图8所示。

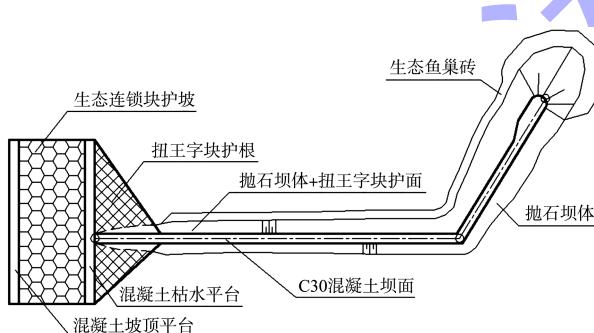


图 8 鸡冠滩下丁坝结构平面

### 2.1 鸡冠滩丁坝及护岸建模

王鹏等<sup>[6]</sup>在新九河段航道整治设计中，采用Civil 3D部件编辑器进行设计。本文通过类似的方法分别构建鸡冠滩上、下丁坝坝身、坝头模型(图9)。鸡冠滩上、下丁坝均含有0.5 m厚的混凝土坝顶，为保证模型质量，将混凝土坝顶结构加入横断面设计中，可以保证在设计断面扫掠坝轴线纵断面设计线时，坝顶结构实体与抛石结构实体交接更为平滑、精确。坝体结构断面中以“[Sur]”为曲面生成代码；以“[Solid]”为实体扫掠生成代码。扫掠建模过后分别得到与地形衔接的抛石曲面、混凝土坝顶三维实体。

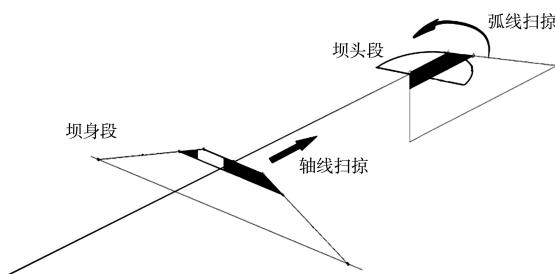


图 9 坝体建模横断面扫掠方法示意

斜坡式平顺护岸结构主要是在坡面平整的基础上依次铺设土工布、10 cm厚碎石垫层、C30混凝土生态护坡砖，上下衔接混凝土坡顶平台与枯水平台。建模方法与坝体建模方法相同，在Civil 3D部件编辑器将断面设计好后，运用扫掠方式生成。扫掠轴线为枯水平台前沿线。

### 2.2 疏浚模型

针对鸡冠滩的疏浚工程特点提出以下建模思路：1)基于相对地形图在平面上勾勒出疏浚基线，以作为疏浚模型的平面范围；2)确定疏浚区出入口的疏浚底高；3)以左侧疏浚基线做为横断面扫掠路线，将出入口的底高连接成为设计纵断面线；4)疏浚断面以设计纵断面线为高程控制，以左右基线范围为平面控制生成疏浚曲面；5)计算疏浚曲面与地形的相交线，可得到实际的疏浚范围(图10)。

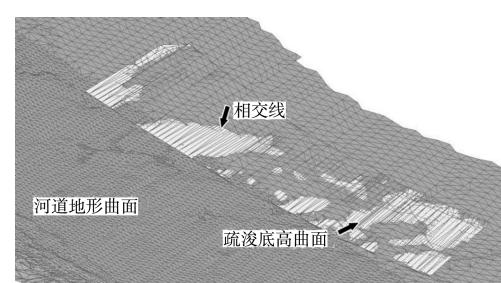


图 10 河道地形与疏浚底高曲面相交情况

### 2.3 模型整合

鸡冠滩单体模型建模完成做统一整合，形成设计成果文件。设计成果文件分为2种：1)基于Civil 3D平台将得到的设计曲面、三维实体等一系列单体设计成果进行模型属性定义，为每个特性集赋值，形成最后的DWG文件，此文件用于设计交底，传递施工模型等；2)基于Infraworks平台将

所有模型导出为 .FBX 格式(图 11)。借助平台强大的三维查询与实时渲染功能, 得到精美的航道

设计沙盘, 用于方案汇报、成果展示、设计思路传达等宣传功效。

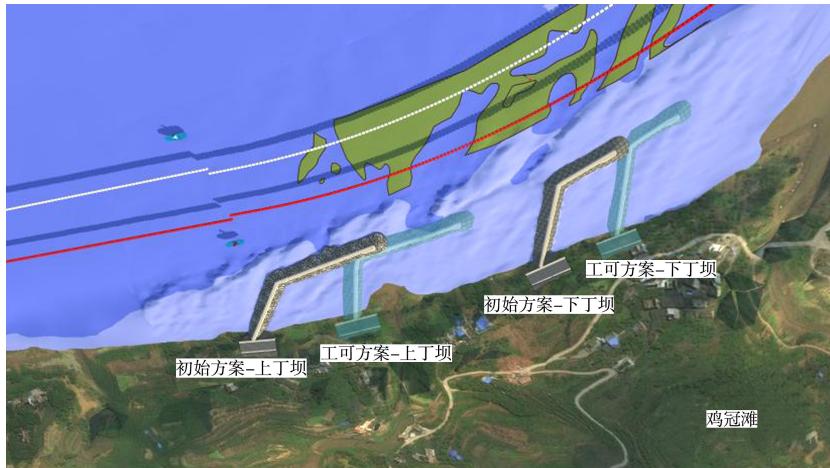


图 11 基于 Infraworks 的鸡冠滩设计成果

### 3 结论

1) 基于鸡冠滩的实测地形和水文数据, 以数据提取、分类的方法建立基本分析模型与方案设计模型。分析模型主要有河道地形模型、河演分析模型、碍航及水流分析模型。结果表明模型可较好地反映滩段碍航特性, 为整治方案提供直观、精确的支撑。

2) 分析河道地形模型的建模方法, 并论证 Civil 3D 各类网格的应用特点。结果表明, 修正、整合后的地形曲面能够直接用于整治方案模型建模; 且使用部件编辑器构件的坝体模型、护岸模型及疏浚模型, 能够精确反映设计方案。

3) 各单体模型建模完成后可整合成为用于设计、施工的 DWG 文件和方案汇报的 Infraworks 沙盘文件, 可较好地运用于设计交底及成果展示等工作。

### 参考文献:

- [1] 何洋, 唐明, 夏冬, 周麒. BIM 技术在黑沙洲航道整治二期工程中的应用[J]. 水运工程, 2017(S2): 70-74.
- [2] 江小寒. BIM 技术在航道整治工程全生命期的应用探析[J]. 中国水运, 2019(11): 99-100.
- [3] 李红梅, 孙炜, 李松. 无人机倾斜摄影技术在公路勘察设计中的应用[J]. 地理空间信息, 2021, 19(2): 30-32, 6.
- [4] 余加勇, 薛现凯, 陈昌富, 等. 基于无人机倾斜摄影的公路边坡三维重建与灾害识别方法[J]. 中国公路学报, 2021(1): 1-13.
- [5] 常福田. 中国农业百科全书 水利卷(上)[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 252-254.
- [6] 王鹏, 杨建东. BIM 技术在新九河段航道整治二期工程设计中的应用[J]. 水运工程, 2018(9): 21-24, 32.

(本文编辑 郭雪珍)

### 征订通知

2022 年《水运工程》杂志征订工作已经开始, 请登录《水运工程》杂志社官方网站 [www.sygc.com.cn](http://www.sygc.com.cn) 首页下载中心下载“2022 年《水运工程》征订通知单”, 有关要求和反馈信息一应俱全。