



# 基于 BIM+GIS 技术的河床演变分析

金 瑞, 肖春红, 朱 明, 高 超

(四川省交通勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610017)

**摘要:** 传统河床演变分析存在工作量大、无专业辅助工具、生产效率低下、收集历年河床地形资料困难、实测地图成本高、动床演变资料稀少等问题。针对以上问题, 采用 Civil 3D 二次开发技术, 研究出一套适用于河道分析的专业方法, 成功实现了河床演变智能化出图、智能化计算冲淤量等功能。通过 BIM+GIS 河演分析技术, 总结河演规律, 协助布设整治方案, 验证设计方案的合理性, 初步解决了动床航道整治方案布设困难的问题。这种分析技术极大提高了生产力, 可为类似工程提供参考。

**关键词:** BIM+GIS(建筑信息模型+地理信息系统); 河床演变; 冲淤分析; 二次开发; 动床

中图分类号: TV 147; U 65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)06-0206-06

## Analysis of riverbed evolution based on BIM+GIS technology

JIN Rui, XIAO Chun-hong, ZHU Ming, GAO Chao

(Sichuan Communication Surveying & Design Institute, Chengdu 610017, China)

**Abstract:** There are some problems in the traditional analysis of riverbed evolution, such as heavy workload, no professional auxiliary tools, low production efficiency, difficulty in collecting river bed topography data over the years, high cost of measured maps, and scarcity of moving bed evolution data. Aiming at the above problems, a set of professional methods suitable for river channel analysis is developed by using the secondary development technology of Civil 3D, which successfully realizes the functions of intelligent mapping of river bed evolution and intelligent calculation of scouring and silting amount. Through BIM + GIS river simulation analysis technology, the river performance rules are summarized, the regulation scheme layout is assisted, the rationality of design is verified, and the problem of difficulty in the layout of the movable bed waterway regulation plan is preliminarily solved. The analysis technology greatly improves productivity and provides references for similar projects.

**Keywords:** BIM+GIS( building information modeling +geographic information system); riverbed evolution; scouring and silting analysis; secondary development; movable bed

河床演变是水流、泥沙与河床三者之间相互作用关系的结果, 研究河床演变规律, 为河道综合治理、规划及开发利用提供决策支持与服务。影响河床演变的因素较多, 如地质、水流、周边环境及人为干涉等, 使得河床演变分析异常复杂。常用的分析方法是河流大量历史实测数据综合分析, 纵横对比大量的年纪及年内变化参数图表, 从中总结一般规律, 并做出趋势预测, 过程繁琐, 耗时费力。

虽然 GIS 技术在河床演变分析中已有应用, 但 BIM 结合 GIS 技术在河床演变中少有研究。彭毕帅<sup>[1]</sup>将航道整治 BIM 技术与 3D GIS 技术融合, 引入了航道 WIM 概念, 但在河床演变技术上并未涉足; 欧剑等<sup>[2]</sup>开发的河床演变分析系统侧重于管理各种格式的数据; 航道整治决策支持系统<sup>[3]</sup>、航道辅助设计平台<sup>[4]</sup>等均未有明确的 BIM+GIS 技术在河床演变中应用的痕迹。

收稿日期: 2020-08-25

作者简介: 金瑞(1984—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事港口与航道工程设计及水力学研究。

### 1 河床演变分析技术现状之痛点

1)分析效率低下。传统的河床演变分析技术没有专业辅助工具, 需要根据高程点手动剖切断面, 根据等高线变化估算冲淤量。分析长河段多年份地形资料的时候, 需要投入大量的时间及人力, 且冲淤量的估算和实际偏差大, 容易对河演趋势做出错误的判断。

2)资料匮乏。自然冲刷情况下或受人为干扰后, 在河道水流与河床边界相互作用下, 河床在纵向和横向上会产生变形, 发生冲淤演变。纵向变形是河床纵剖面和横断面的冲淤变化, 横向变形是河流在平面上的摆动, 各种形式的河床变形错综复杂地交织在一起。河床演变分析是航道整治方案布置及桥梁墩台布设工作中的重要环节, 需要大量的历史年份资料来分析和预测河道演变趋势, 优化墩台及整治方案的配布。现实中, 历年河道地形实测资料很难收集到, 资料不齐全且成本高昂。

### 2 河床演变与分析技术改进方法

针对以上情况, 在 Autodesk Civil 3D 的基础上, 结合 C#程序<sup>[5-6]</sup> 后台开发, 研发出一套适用于河床演变分析的专业版块, 一键点击即可批量创建河演横断面, 成功实现了深泓线平纵面图自动绘制、等深线推移变化、冲淤平面图生成、冲淤量表一键生成等功能, 极大地提高了生产效率。此外, BIM+GIS 完美结合, 把墩台或整治方案加载进 GIS 地理系统, 有大量年份的卫星影像可供免费下载, 实现工程与 GIS 的交互, 验证工程的可行性, 优化设计方案。

对河演分析技术的改进与开发主要包括多年份河演断面分析、自动深泓线平纵面的绘制、冲淤分析平面及冲淤量的计算等; 对资料的收集与扩充开发主要表现在坐标系的自动转换与 GIS 平台建筑物的加载上。河床演变设计版块见图 1。



图 1 河床演变设计版块

### 2.1 河演断面分析

在 Civil 3D 未做开发前, 河床演变断面分析需要先在河道中布置好河床演变横断面位置, 按照位置逐个剖切河道地形横断面, 整理成出图样式, 排列并装框出图。

通过本次研究开发, 工程师只需要制作好符合出图要求的 Civil 3D 模板, 并按照施工图出图要求在模板中设定平纵横所有图纸的图层、颜色、字体、线型线宽、标签标注、图表、图例等样式, 这个一劳永逸的过程将解决后续出图中所有需要手动修改的麻烦; 然后沿河床中心线绘制一条连续的多段线, 设置横断面间距及宽度, 把多年份河床地形曲面原坐标粘贴到一起, 一键点击, 即可批量生成河演横断面。

### 2.2 冲淤分析

在 Civil 3D 未做开发前, 制作冲淤分析范围彩图首先要创建体积曲面, 然后给体积曲面赋样式, 再创建冲淤范围, 并给范围赋高程变化值以及颜色, 这就要求工程师先找出以往出图习惯的冲淤色卡和色阶分布表, 以此为参照来做不同冲淤深度的量表。

经过二次开发后, 这一系列机械且而繁琐的过程在程序后台完成, 工程师只需要选择要分析的地形曲面, 即可生成冲淤平面分布图及量表, 操作简单、方便快捷。冲淤梯级表展示见图 2。

编号	最小高程/m	最大高程/m	颜色	面积/m <sup>2</sup>	体积/m <sup>3</sup>
1	-15.0	-10.0		344	151
2	-15.0	-5.0		13 327	20 111
3	-5.0	-2.0		147 106	170 660
4	-2.0	-0.5		440 843	502 410
5	-0.5	-0.1		298 547	293 407
6	-0.1	0.1		454 414	141 386
7	0.1	0.5		219 175	141 181
8	0.5	2.0		202 905	190 595
9	2.0	5.0		50 622	68 916
10	5.0	10.0		6 756	11 339
11	10.0	15.0		459	416

图 2 冲淤梯级表

2.3 深泓线分析

深泓线平面及纵面绘制一直为全手动，浪费大量时间。为了解决这个问题，二次开发技术在后台沿河床每 20 m 布置一个断面，自动搜索每个断面的高程最小值，并把这些值串连起来，绘制成连续的河道深泓线，由于地形测点间距为 20 m

左右，所以断面间距精度满足要求，既节约了时间，又摆脱了长河段地形人工搜索最低点缩放时频繁的卡机现象，同时，将曲折的深泓线投影到平顺的航道里程上，解决了深泓线里程和航道里程精确匹配的棘手问题。多年份深泓线平、纵断面自动绘制见图 3。

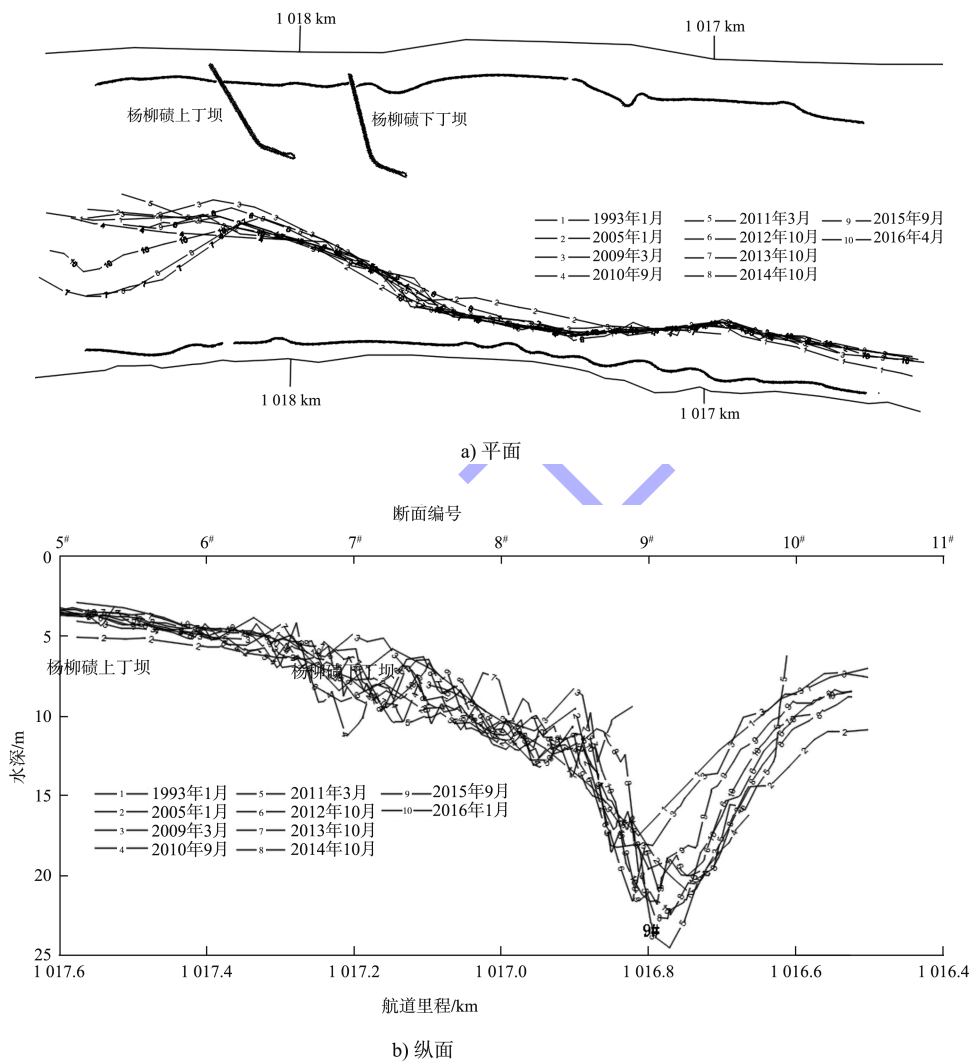


图 3 自动绘制的深泓线

2.4 等深线平面变化分析

当不同年份测绘水深图掺杂高程图时，不能用复制粘贴的方式得到等深线平面变化图，要在 Civil 3D 中转换成同一种格式的地形图，特别是有比降的水深图转换成高程图时，困难

重重。经过二次开发，后台把测绘图转换成统一高程格式，不仅成功地解决了有比降的水深图到高程图的转换，还能得到任意非整数等高线的平面变化。等深线年际变化自动绘图见图 4。

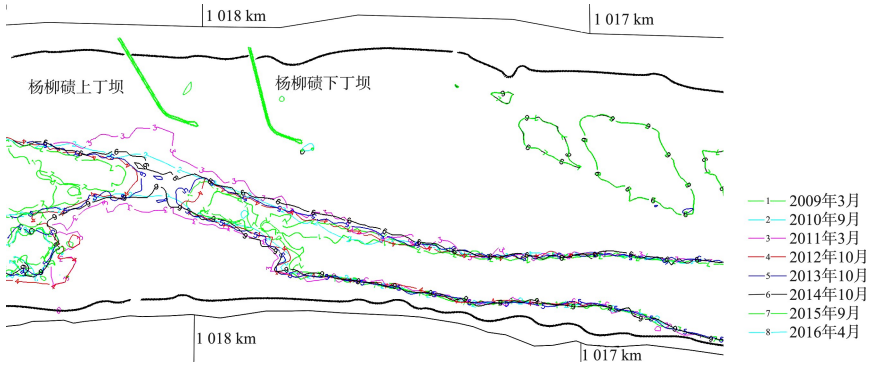


图 4 自动绘制的等深线年际变化

2.5 BIM+GIS 分析

本文以黄河银川平原段园艺场滩群近几年河床演变为例。园艺场滩段群从上游西夏影视城起至下游河滩村止, 全长 8 500 m, 河床宽在 700~1 450 m, 为沙质河床, 河道宽浅, 水流分散, 江心洲密布, 河床不稳, 滩槽易变, 水沙条件十分复杂。根据 2015 年 9 月实测地形及流速流向图可知, 该滩段规划主航槽平均水深 1.6~1.9 m, 最小水深不足 0.2 m, 最大水深 6.2 m, 水流平均比降约 0.15‰, 平均流速 0.68 m/s, 最大流速 1.07 m/s。

共收集各个年份下的地形影像图 54 份, 囊括了近 36 a 所有的谷歌卫星影像, 其中 L14 级地形图 33 份, 固定为 1984—2016 年每年 12 月 31 日卫片; L15 级地形图 4 份, 为 2015—2019 年份卫片; L16 级地形图 5 份, 为 2010—2019 年份卫片, L17 级地形图 12 份, 为 2002—2019 年份卫片, 涵盖了近 36 a 洪、中、枯各种流量情况下河床演变历程。L14~L17 级谷歌地形影像年份见表 1。

表 1 L14~L17 级谷歌地形影像年份

属性	影像拍摄时间	属性	影像拍摄时间
枯水期	2005-03-05		2010-09-10
	2008-01-06		2012-09-21
	2018-03-11		2013-09-02
	2019-02-04		2015-07-11
中水期	2002-10-15	洪水期	2015-07-30
	2009-10-31		2016-07-08
	2010-05-29		2017-09-10
	2015-04-10		2018-09-21
	2016-11-02		2019-07-11
	2018-04-26	固定日期	1984-2016
	2018-05-15		每年 12 月 31 日
	2019-11-14		

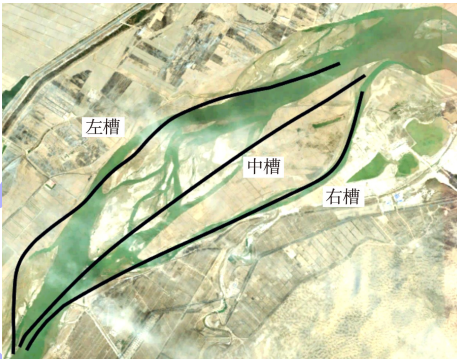


图 5 历年左、中、右 3 槽河床摆动

依托 Infraworks 作为 GIS 数据的载体, 在近期园艺场滩群实测地形图中选定 2 个特征参照点, 利用二次开发技术, 在后台完成一系列坐标系的复杂转换, 并把实测地形图及相关模型投影到卫星影像图, 完成 BIM 与 GIS 的融合。为了便于分析河床的摆动, 按照历年河床摆动趋势, 把该滩分为左、中、右共 3 槽(图 5), 并投影到 GIS 平台, 可以总结出以下规律:

1) 从 1984 年至今, 每年 12 月 31 日固定时间 L14 级低精度地形图代表了典型枯水期河床演变趋势。1984—1990 年间, 主流靠右岸, 左岸支岔微弱, 1991—1994 年, 主流从右岸向左岸过渡, 左岸支流分流增大; 1995—1998 年间, 主流居中, 左岸流量增大, 1999 年主流靠左岸, 河心支岔流量明显减小; 2000—2001 年间, 主流居中, 右岸支岔流量明显增大, 2002 年主流散布满河床, 主流居中; 2003—2010 年间, 主流散布满河床, 主流靠左岸, 2001 年主流居中偏左岸; 2012—2016 年间, 主流分为河心和左岸两汉支流。其中, 主槽走右汉占比 21.2%, 主槽走左汉占比 24.2%, 主槽居



中占比 37.3%，主流散布满河床占比 3%，主流走右汊和中汊占比 12.1%，主流走左汊和中汊占比 12.1%，综合来看，主流走中汊共占比 51.5%。

2)从 2002—2019 年间 21 张 L15~L17 级高精度地形影像来看，主槽总体呈现从左岸向河心摆动的趋势。以 2015 年为分界点，主槽由原来走左槽变为散布整个河床，河心流量明显增大，到 2018 年，主槽进一步向河心摆动，左汊呈现逐年淤积的趋势。其中，主槽走左汊占比 38.1%，主流散布满河床占比 4.8%，主槽居中占比 57.1%。

3)从洪、中、枯这 3 种季节流量形态来看，洪水期，主流均散布在河心及左汊，其中，只有 2015—2016 左汊主流占比多，其余年份均为河心汊流占比多；中水期，2002—2010 年主流靠左岸，2015—2016 年主流散布整个河床，2018 年主流居中，左汊流量明显减少，2019 年，主流进一步居中沿河心下泄，左汊支流流量微弱；枯水期，主槽呈明显的从左岸向河心摆动的趋势。

从以上河演规律来看，该滩段主流走河心的年份较多，达到 50% 以上，其次为主流走左岸，主流只在 1990 年之前走过右岸，1990 年至今，右岸为稳固的岸线，未有明显的冲刷痕迹。由此可知，为了维持主槽的稳固和整治效果最佳化，主航槽整治方案布置应选取走河心支汊，对水深不满足之处加大疏通，并用堵截导流等方式稳固左岸支汊，积流归顺河心航槽，养护滋长左岸边滩，保证主航槽水深充裕，控制两岸支汊发育。

为了验证 BIM+GIS 河演分析及整治方案推荐的合理性，现以 2016 年 7 月已经审批的黄河银川段航运建设一期工程园艺场滩施工图整治方案为例，验证该滩航道整治方案布置的合理性，施工图方案布置依据为 2015 年 9 月实测地形图(图 6)，从测图可知，深槽及主流皆靠左岸，故主航槽沿左岸布置。为了验证方案布置的合理性，现把施工图方案原坐标载入进各年份卫片影像，并选取其中具有代表性的年份为例，见图 7。规划航槽宽度为 35 m，整治红线宽度为 200 m，其中，河道中的长曲线分别为航槽中心线和整治线，左岸细线为护岸，左右岸粗

线为护滩带，水流方向为自下而上。

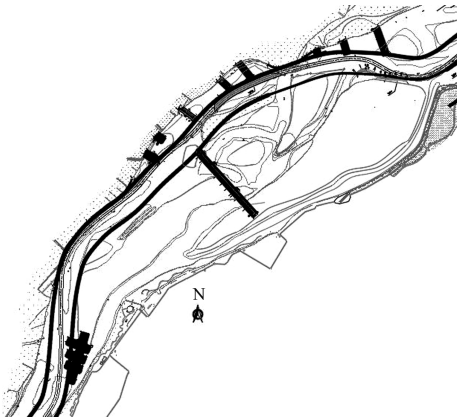


图 6 园艺场滩整治方案布置



a) 2001-10-15



b) 2010-09-10



c) 2013-09-02



d) 2014-03-21



h) 2019-11-14



e) 2015-07-30



f) 2016-07-08



g) 2018-03-11

图 7 谷歌图

由图 6 可知，施工图方案的布设只依据 2015 年 9 月的实测地形图，由于测图资料匮乏，未收集历年测图总结河床演变规律，采取封锁河心及右汊支流，稳固左岸边滩，疏通左汊，集流归左槽的方式，从 2015—2016 年河道影像来看，整治方案满足当时航道通航需求，但是，从图 7 中整治方案与近 20 年河势的贴合度来看，整治方案不可行，势必造成了人力物力财力的浪费。事实证明，该方案经过一个洪水期的冲刷后，并没有起到任何作用，从 2018—2020 年河道影像来看，主槽弃左汊走中汊河心而下，整治方案已不满足现在航道通航需求。由于地形资料的匮乏，设计人员对平原动床的整治方案布设往往束手无策，这也是设计中经常犯的错误。

### 3 结论

1) 借助 Civil 3D 平台，结合 C# 二次开发技术，成功解决了航道分析无专业软件的困扰，一键即可批量生成布局整齐的多年份河演断面图、深泓线平纵面图、冲淤量图以及等深线变化图等，极大提高了生产力。

2) 经过大量的实践检验，对比 Civil 3D 自带功能的生产效率，经过二次开发后，在剖切河演横断面方面，生产效率至少提高了 6 倍，在冲淤分析方面，生产效率至少提高了 12 倍。与此同时，一键深泓线平纵面绘制解决了深泓线投影到航道里程的难题，生产效率提高至少 100 倍。

(下转第 244 页)