

· “十四五”水运发展规划与政策(6) ·



基于 FME 软件的港口总体规划 数据转换方法研究*

姚海元^{1,2}, 李 徐³, 王达川¹, 倪瑞鸿¹, 齐 越¹

(1. 交通运输部规划研究院, 北京 100028; 2. 天津大学, 天津 300072; 3. 大连理工大学, 辽宁 大连 116024)

摘要: 原交通部于 2006 年印发《港口总体规划编制内容及文本格式》, 明确了规划图纸的相关要求。港口总体规划图集是直观表现港口规划内容的手段, 为满足港口总体规划图件绘制在“多规合一”新阶段下的要求, 解决图集绘制中遇到的港口水域基础数据缺失、软件间数据转换等问题, 提出基于 FME 软件的港口总体规划数据转换方法, 利用 FME 将传统以 AutoCAD 为载体的港口规划数据准确无损地转换为 GIS 格式, 以及将电子海图地理数据提取转化出来, 使其弥补缺失的港口水域基础数据。经实际案例证明, 基于 FME 的港口总体规划数据转换方法能满足港口总体规划图集绘制的新要求。

关键词: FME; 港口总体规划; 数据转换; 电子海图

中图分类号: TK 448. 21; U 651

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)04-0001-08

Research on data conversion method for port master plans based on FME

YAO Haiyuan^{1,2}, LI Xu³, WANG Dachuan¹, NI Ruihong¹, QI Yue¹

(1. Transport Planning and Research Institute, Ministry of Transport, Beijing 100028, China;

2. Tianjin University, Tianjin 300072, China; 3. Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: In 2006, the former Ministry of Communications issued *The Content and Text Format of Port Master Plan*, which clarified the relevant requirements for planning drawings. The port master plan atlas is a means of visually expressing the content of port planning. Under the requirements of the new stage of “integration of multiple plans”, the atlas drawing of port master plans encounters the problems such as the lack of basic data on port waters and data conversion between software. To solve these problems, this paper proposes a data conversion method for port master plans based on the software FME. This method uses FME to accurately and non-destructively convert the port planning data traditionally carried by the software AutoCAD into the GIS format and extracts and converts the geographic data of electronic charts to make up for the missing basic data on port waters. Practical applications prove that the proposed method can meet the new requirements for the atlas drawing of port master plans.

Keywords: FME; port master plan; data conversion; electronic chart

当前, 我国已经进入高质量发展的新阶段, 生态文明建设持续推进, 国土空间治理体系和治理能力现代化水平不断提升^[1]。中共中央、国务院发布一系列指导意见和政策, 部署建立主体功能区规划、土地利用规划、城乡规划等空间规划融合为统一的国土空间规划, 推动实现“多规合

一”, 强化国土空间规划对各专项规划的指导约束作用^[2-3]。港口总体规划作为国土空间规划体系中的专项规划, 在编制和审查过程中须与有关国土空间规划的衔接及“一张图”的核对, 实现港口资源的合理利用。港口总体规划图集是直观表现港口规划内容的手段, 图集一般包括港口岸线利

收稿日期: 2022-03-16

*基金项目: 国家重点研发计划项目 (2021YFB2600700)

作者简介: 姚海元 (1988—), 男, 硕士, 工程师, 从事港口规划与战略政策、港航大数据研究。

用规划、港区划分和分工、水陆域布置方案、港口界限以及集疏运等配套设施规划方案。传统港口总体规划图集主要采用 AutoCAD 软件绘制,借助于空间及图形语言更直观、生动和全面地展现港口总体规划的成果。

近年来, ArcGIS 软件凭借能够支持超大数据量的存储和规划人员对响应效率的需求等技术优势,已在港口总体规划图集绘制中得到应用。但在港口规划工作中,常会面临港口水域基础数据缺失、AutoCAD 和 ArcGIS 软件之间数据转换存在的不完整、不准确和不一致等问题。本文提出借助 FME 软件绘制港口总体规划图集,以解决港口总体规划常用软件间数据转换、电子海图数据转换编辑等关键问题,弥补港口水域基础数据缺失,为港口规划人员提供更准确方便的数据转换方法。

1 港口总体规划图集编制的特点与要求

1.1 图集包含要素繁多且获取形式多样化

《中华人民共和国港口法》明确规定:“港口总体规划,是指一个港口在一定时期的具体规划,包括港口的海域和陆域范围、港区划分、吞吐量、到港船型、港口的性质和功能、海域和陆域使用、港口设施建设岸线使用、建设用地配置以及分期建设序列等内容。”现代港口作为交通运输网络的枢纽,是货物集散、暂存、换装并转换运输方式的中心,是水上运输和陆上运输的连接点。港口主要由港口水域、码头岸线和港口陆域组成,这就导致港口总体规划图集所包含的要素繁多,见表 1。

表 1 港口总体规划图集的构成要素

分项	图件名称	组成要素
港口水域	水域规划图	锚地、航道、回旋水域和码头前水域等水域规划方案;水深点、等深线等自然条件
码头岸线	岸线利用规划图	码头前沿线
港口陆域	利用现状图	作业区现状、基础地理要素(行政区划等)
	方案规划图	作业区规划方案(堆场、码头、泊位)
	集疏运方案图	铁路、道路、站场、通道等集疏运要素

另一方面,港口规划编制单位进行港口总体规划工作的前期阶段往往会到港口所在省份交通厅和港口集团等单位开展实地调研,以获取规划所需基础数据,一般包括(但不限于):上一版港口总体规划图件成果、地理测绘数据、已有码头航道研究成果、已有及在研集疏运方案等数据。在获得多样数据后,需要进行分析 and 整合,例如数据格式、坐标系统转换、图形编辑与拓扑建立等处理操作。因此,在港口总体规划图集编制过程中涉及的构图要素数据繁多,且构图数据需要经过复杂繁多的编辑处理过程。

1.2 港口总体规划须与其他相关规划衔接

《中华人民共和国港口法》指出:“港口规划应当根据国民经济和社会发展的要求以及国防建设的需要编制,体现合理利用岸线资源的原则,符合城镇体系规划,并与土地利用总体规划、城市总体规划、江河流域规划、防洪规划、海洋功能区划、水路运输发展规划和其他运输方式发展规划以及法律、行政法规规定的其他有关规划相衔接、协调。”其中,在港口总体规划的编制和决策过程中,应从生态影响、污染物排放、资源利用、环境风险等角度,筛选规划港口在建设和运营阶段的长期、累积或重大的环境影响^[4],重点关注 3 个方面:1) 港口空间布置的合法性,即港口的海域布置与自然保护区等法定禁止建设区的位置关系,以及与城市总体规划、生态或环境功能区划等重要规划的协调性;2) 岸线利用规划对区域生态格局的影响、新增岸线的生态环境合理性;3) 港区和海域布置规划重点评价对区域生态功能的累积影响、是否符合区域资源环境的承载力、对环境敏感区的影响等。所以,港口总体规划在编辑过程中须时常与环评等相关单位进行交流对接,需要使用一致的数据格式,这就使得 AutoCAD 和 ArcGIS 软件对应的数据格式须进行多次转换编辑,且需要保证数据转换前后的可读性、可编辑性和准确性。

2 FME 软件

FME 软件是加拿大 Safe Software 公司开发的空
间数据转换处理系统,它是完整的空间数据仓库技术
(ETL)解决方案。FME 产品主要包括 FME desktop、
FME server、FME cloud,其中 FME desktop 用于创
建数据处理模板,即工作空间(workspace),它有
workbench 和 data inspector 两个重要组件,前者用
于制作转换模板,后者用于在转换前、中、后查
看数据^[5-7]。在 FME workbench 中创建模板有 3 个
重要环节:加载源数据→转换数据→导出为目标
数据,这 3 个环节落实到 FME 中分别是:读模块
(reader)导入源数据,然后用转换器(transformer)
进行处理,最后通过写模块(writer)导出。

FME 是空间与非空间数据交换、集成与互操
作的流程定制软件,并可通过服务器和网络共享
FME 方案和处理结果。FME 能支持 300 余种格式
的数据,包括 GIS、CAD、栅格、数据库、网络、
BIM、云等类型,包含 400 种不同功能的转换工
具,能够实现不同类型的数据交换。FME 产品的主
要有以下功能:1) 数据格式转换:335+种数据
格式间相互转换,打破数据壁垒。2) 数据变换:
500+种数据变换处理工具,对数据内容和结构进
行重构,得到需要的数据。3) 多源数据集成:将
分布在不同软件或平台中的数据整合为同一数据
格式或整合到同一平台中。4) 数据共享和分发:
将多源数据共享到用户的其他格式或平台中,消
除数据孤岛,实现数据的流动。5) 数据检查:验
证数据存在的问题,对数据的组织结构、空间、
属性等方面进行检查,对错误要素做精确的定位
和描述。6) 空间 ETL: FME 作为领先的空间 ETL
平台,利用它对空间数据格式的支持能力、数据
变换工具以及自动化处理能力,可以在不同应用
之间转换和传递空间数据。7) 企业级自动化:完
成系统与应用间的连接和自动化,让不同层级的
用户能够随时、随地获取需要的数据。8) 实时数
据转换:实时接收数据、处理数据并完成数据结

果的传递^[8-11]。

正因为 FME 软件所具有的易用、高效、零编
码、安全、可扩展以及容错性等特点,将 FME 软
件应用在港口总体规划中可很好地发挥其各方面
优势,从而解决港口规划人员遇到的数据转换
问题。

3 FME 软件在港口总体规划中的数据转换应用

3.1 实现 CAD 要素准确无损导入 GIS

港口总体规划图集一般采用 AutoCAD 编制,
成果格式是 dwg,该格式的规划成果以图面表达为
主,要素间没有拓扑关系,且属性信息以扩展属
性表达,不具备地理意义上的信息查询、统计、
分析,难以满足目前港口总体规划信息化管理的
需求^[12-13]。GIS 软件在港口总体规划图集绘制中具
有以下特点:1) 强大的综合、储存功能,将零散
的数据和图像资料加以结合并存储在一起,便于
有效使用;将各类地图(空间资料)和图中内容的
文字和数字记录(特征资料),通过计算模块完善
地融为一体。2) 为经常不断地、长期地存储和更
新空间资料及其相关信息提供了一个有效的工具。
GIS 与 AutoCAD 软件对比见表 2。

表 2 GIS 与 AutoCAD 软件对比

分项	GIS 软件	AutoCAD 软件
图形和属性	图形和属性的结合体	单纯的图形,很难和 大数据量的属性信息 关联
拓扑关系	有拓扑信息,可以进行各 种复杂的空间分析	图形要素之间关系松 散,没有空间的概念
数据量	存储高达 10 GB 以上的 海量数据,也能读写存储 于数据库中的空间图形	不能存储处理大数 据量

正因为具有这样的优势和特点, GIS 成为港口
总体规划图集的绘制软件,如何准确无损地将 dwg
格式数据导入 ArcGIS 十分重要。一般的操作方
法是利用 ArcGIS 软件直接添加 dwg 格式数据,导入
结果见图 1。

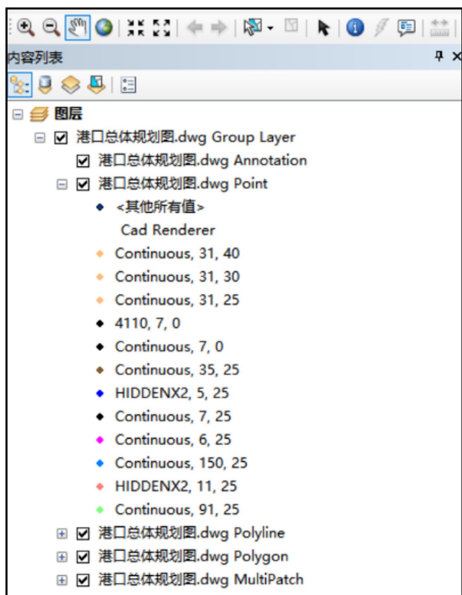


图 1 ARCGIS 软件直接添加 dwg 格式数据结果

可以看到，由于 AutoCAD 和 ArcGIS 之间要素类型的区别，利用 ArcGIS 软件直接添加 dwg 格式数据的结果是数据显示仅按要素区分（即点线面等），没有体现 AutoCAD 要素分图层的形式，见表 3。

表 3 AutoCAD 和 ArcGIS 之间要素类型的区别

分项	AutoCAD 软件	ArcGIS 软件
文件类型	dwg 文件	分为 shp、gdb、mdb 以及 ArcSDE
实体类型	直线、多段线、圆弧、圆、椭圆、面域、块、属性块、单行文字、多行文字	点 (point)、多点 (multipoint)、线段 (line)、圆弧 (circulararc)、椭圆弧 (ellipticarc)、多段线 (polyline)、多边形 (polygon)

而 FME 软件的 FME universal translator 转换 dwg 格式数据可以很好地解决这个问题，见图 2。

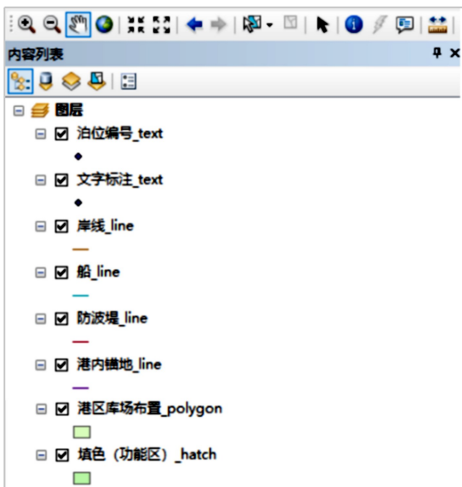


图 2 dwg 格式数据转换后在 ArcGIS 中的结果

3.2 实现电子海图要素导入 CAD

3.2.1 电子海图

电子海图包含内容丰富，可详细表示海底地形（水深）、航行障碍物、助航标志、港口设施、潮流、海流等海域要素^[14-16]。S-57 是 IHO（国际海道测量组织）规定的官方电子海图数据传输标准，且 S-57 海图数据具有很好的封装性，采用的封装结构是一种高压压缩的数据交换格式，是用户不可见的 .000 数据格式，命名为：CCXXXXX.000，CC 为生产机构代码，XXXXX 为文件唯一标识（采用大写字母和数字），数据结构较为复杂，数据按 ISO/IEC8211 封装，提供了独立于机器构造的文件格式，这种数据交换结构有助于数据规范化传输，但不利于数据操纵，直接读取难度较大，转换比较复杂^[17-18]。

S-57 矢量电子海图具有信息丰富、可无限放大及存储占用空间小等优点，常作为更新海部地理信息数据的重要数据源。而港口规划人员在规划图件绘制中常会面临港口水域水深点和等深线等海部地理信息数据获取转换困难的情况，S-57 海图数据则可以很好地解决图件中数据更新、校对、补全的问题。

3.2.2 FME 读取转换电子海图的方法

FME 采用先进的数据转换技术，内置数十个转换器，能够满足绝大部分用户的空间数据格式转换功能^[19-20]。根据图 3，港口规划人员可以在没有学习 FME 操作技能的情况下，轻松、准确地完成 S-57 海图数据的快速转换。

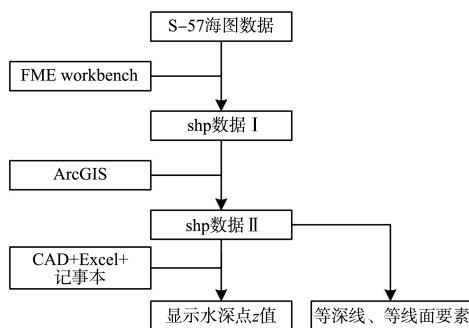


图 3 海图数据提取转换方法流程

1) S-57 海图数据转化为 shp 数据。准备好海图数据后，开始利用 FME workbench 将 S-57 海图数据转化为 shp 数据。首先指定输入与输出的数据格式和路径，见图 4、5。

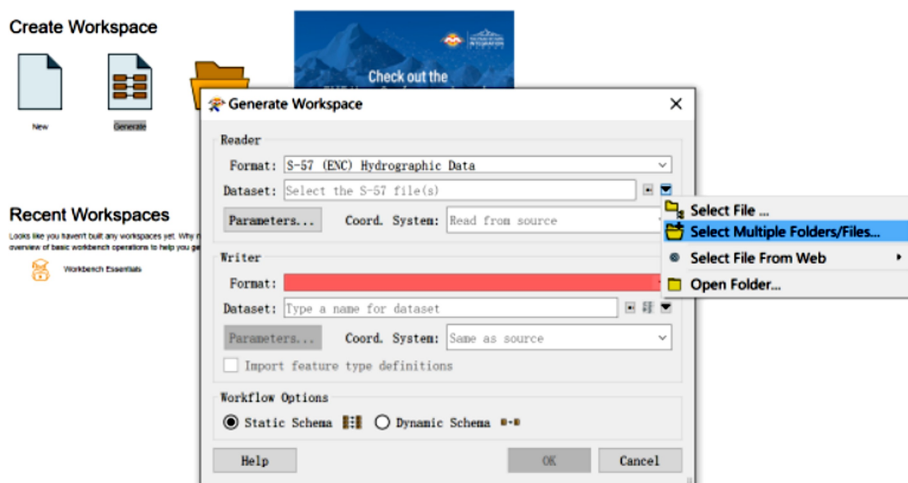


图4 指定 FME workbench 输入与输出的数据格式和路径

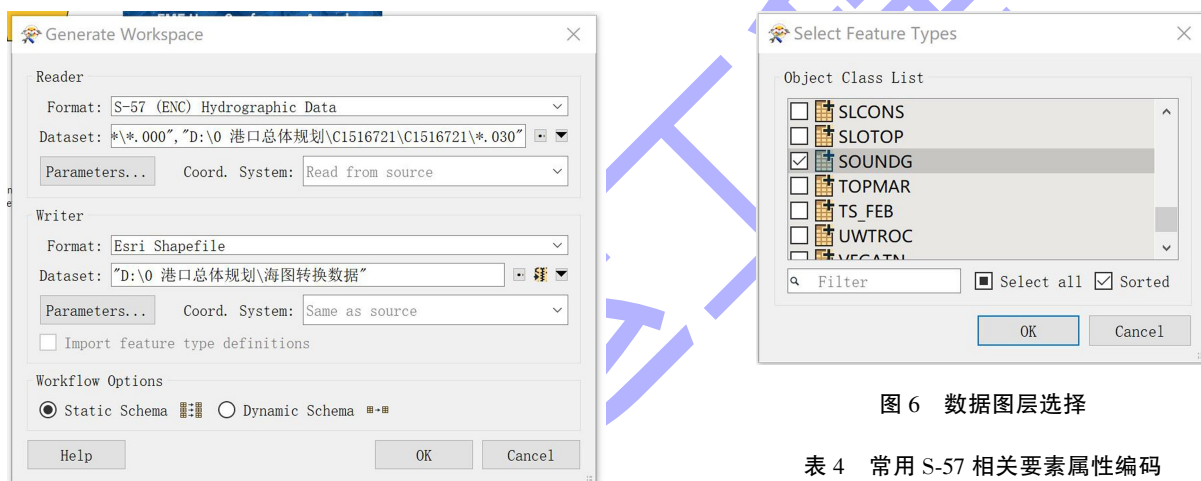


图6 数据图层选择

图5 海图数据提取转换设置

选择输出格式和路径后,加载所选择的海图数据。数据转换输出格式可以选择 shp、dwg、txt 等常用格式,考虑到 S-57 海图采用的坐标系为 WGS84,新阶段港口总体规划图集大多采用 2000 国家大地坐标系(简称 CGCS2000),为了方便下一步坐标转换,推荐输出格式为 shp。以水深点数据图层为例,选择 SOUNDG,见图 6。常用要素属性的对应信息见表 4。

表4 常用 S-57 相关要素属性编码

英文全称	中文全称	缩写
Anchorage area	锚泊区	ACHARE
Cable submarine	海底电缆	CBLSUB
Depth contour	等深线	DEPCNT
Fairway	航道	FAIRWY
Precautionary area	警戒区	-
Sounding	水深	-

接下来,在左侧“transformer gallery”目录树下选择 categorized→coordinates→添加坐标提取插件 coordinate extractor,见图 7。

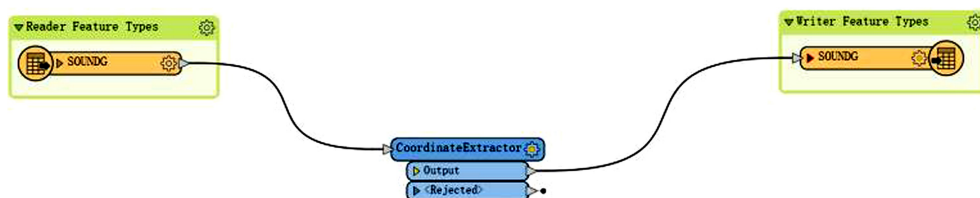


图7 坐标提取插件链接

设置输出端输出数据的属性字段为 automatic，点击运行，等待转换完成。可以看到，有一定数

量的各类型要素转换成功，见图 8。

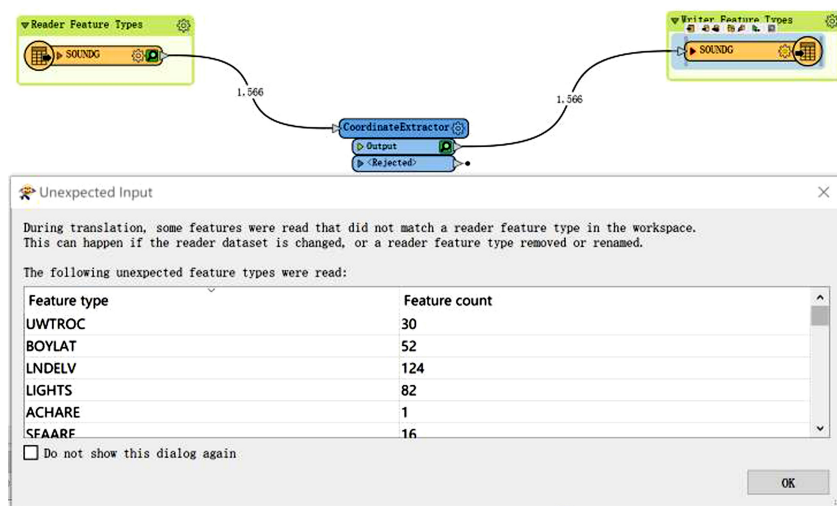


图 8 坐标提取插件提取数据结果

2) 数据坐标系转换：地理坐标→投影坐标。从 FME 转出的水深数据默认为 WGS_84 坐标(地理坐标系)，在 ArcGIS 中“添加数据”，将从 FME 转出的 shp 水深数据导入 ArcGIS 中。修改 GIS 模型数据框坐标系为目标坐标系，选择对应水深点图层(如 SOUNDG)，右键，点击“数据→导出数据”，在弹出的对话框中选择使用与数据框相同的坐标系，并选择输出要素类的位置，点击“确认”，导出数据并在工程中加载，见图 9。

据”，将 x 、 y 、 z 坐标导出为 xls 格式数据，关键步骤见图 10、11。

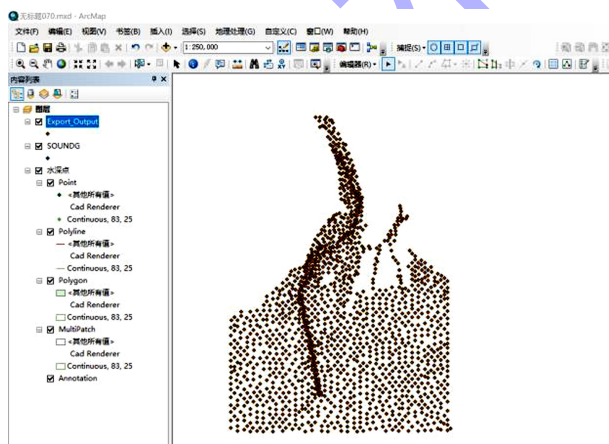


图 9 shp 水深数据导入 ArcGIS

接着选择新加载的数据，右键点击“数据→导出至 CAD”，将水深点数据导出为 dwg 文件。

3) 在 CAD 中显示水深点 z 值。①提取水深点坐标。在 CAD 菜单栏中选择“插入→提取数



图 10 CAD 提取数据操作

A	B	C	D	E
计数	名称	位置 x	位置 y	位置 z
1	点	657952.4323	2374240.7713	0.9000
1	点	657605.1943	2374516.8495	0.4000
1	点	658306.4993	2374403.3859	1.2000
1	点	658315.2528	2372984.3825	2.6000
1	点	657259.9860	2374049.5192	0.1000
1	点	657959.9386	2373820.9443	1.4000
1	点	659034.8001	2374996.4410	2.0000
1	点	659352.8851	2374850.5848	1.6000
1	点	659361.7559	2374464.5517	1.6000
1	点	658993.3866	2373952.8701	0.9000
1	点	659013.1444	2374180.0167	1.1000
1	点	658660.4798	2374743.8930	2.0000
1	点	654793.2775	2371987.4851	0.1000
1	点	654399.4060	2371312.0877	0.5000
1	点	653768.1401	2371499.6017	0.6000
1	点	656226.5387	2372699.5504	0.2000
1	点	656914.2818	2372643.9307	0.7000

图 11 CAD 提取数据结果

在 Excel 中加入两列“,” (英文状态), 使用 CONCATENATE 函数, 将坐标组合如图 12 所示的形式。

A	B	C	D	E	F	G	H	I
计数	名称	位置 x	位置 y	位置 z				
1	点	657952.4323	2374240.7713	0.9000	point	657952.4323,2374240.7713,0.9000		
1	点	657605.1943	2374516.8495	0.4000	point	657605.1943,2374516.8495,0.4000		
1	点	658306.4993	2374403.3859	1.2000	point	658306.4993,2374403.3859,1.2000		
1	点	658315.2528	2372984.3825	2.6000	point	658315.2528,2372984.3825,2.6000		
1	点	657259.9860	2374049.5192	0.1000	point	657259.9860,2374049.5192,0.1000		
1	点	657959.9386	2373820.9443	1.4000	point	657959.9386,2373820.9443,1.4000		
1	点	659034.8001	2374996.4410	2.0000	point	659034.8001,2374996.4410,2.0000		
1	点	659352.8851	2374850.5848	1.6000	point	659352.8851,2374850.5848,1.6000		
1	点	659361.7559	2374464.5517	1.6000	point	659361.7559,2374464.5517,1.6000		
1	点	658993.3866	2373952.8701	0.9000	point	658993.3866,2373952.8701,0.9000		
1	点	659013.1444	2374180.0167	1.1000	point	659013.1444,2374180.0167,1.1000		
1	点	658660.4798	2374743.8930	2.0000	point	658660.4798,2374743.8930,2.0000		
1	点	654793.2775	2371987.4851	0.1000	point	654793.2775,2371987.4851,0.1000		
1	点	654399.4060	2371312.0877	0.5000	point	654399.4060,2371312.0877,0.5000		
1	点	653768.1401	2371499.6017	0.6000	point	653768.1401,2371499.6017,0.6000		
1	点	656226.5387	2372699.5504	0.2000	point	656226.5387,2372699.5504,0.2000		
1	点	656914.2818	2372643.9307	0.7000	point	656914.2818,2372643.9307,0.7000		

图 12 CAD 提取数据编辑

新打开 CAD 软件, 使用“点命令”工具(在命令栏直接输入“point”后回车), 在命令栏粘贴记事本数据(点坐标), 自动生成多个点。此时显示投影坐标系下的各点位置, 但还没有水深点的数字, 见图 13。

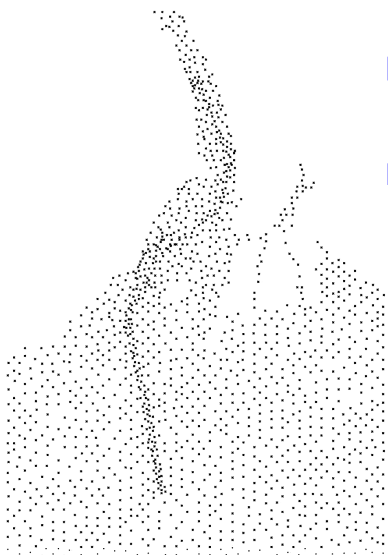


图 13 无 z 值水深点位置

②显示水深点数据。打开 CAD, 在英文输入状态下, 命令栏输入“appload”加载“展点-数字”插件。将上一步中 CAD 导出 xls 文件中的数据复制至新的记事本文档, 注意此时格式与之前不同。

在 CAD 中, 英文状态下, 命令栏输入“uu”加载记事本 II 文档即可显示水深点的数字, 见图 14。

复制后 2 列数据, 粘贴至新建的记事本文档中, 方便一次性向 CAD 中导入点坐标。

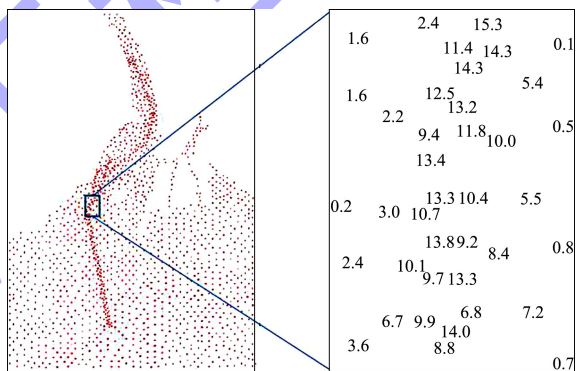


图 14 有 z 值水深点位置 (单位: m)

4 案例分析

以《北部湾港总体规划》中石步岭港区规划为例, 应用 FME 软件并按照上述转换流程, 实现了 CAD 数据到 GIS 数据无损转换, 同时将电子海图的水域地理信息数据转换到 CAD 中, 弥补了水深点、等深线等要素的缺失问题, 见图 15。



图 15 北部湾港石步岭港区水陆域数据转换结果 (单位: m)

5 结语

1) 根据《港口总体规划编制内容及文本格式》，规划图纸是表现港口规划方案的重要手段。特别是港口水、陆域规划方案图，需要体现涉及水域的水深条件，通常需要开展水域测量等前期工作作为底图。但目前部分港口规划范围大，不便开展或无法及时开展水深测量工作。本文提出基于 FME 的数据转换方法，可以有效将电子海图中的要素进行无损转化，并用于港口规划方案制定，解决了港口规划中面临数据缺失的实际问题。

2) 本文提出的方法同时也可以将各项矢量数据进行坐标统一、数据整合等，在国土空间规划体系下，为港口总体规划与其他相关规划有效衔接提供了技术手段。

3) 未来，应探索 FME 等类似软件的国产化，积极发展核心的自主知识产权技术。

参考文献：

- [1] 姚海元, 薛天寒, 齐越, 等. 国土空间规划体系下 BIM 技术在港口规划中的应用[J]. 水运工程, 2021(4): 147-152.
- [2] 刘保锋, 王风, 彭翀, 等. 港口规划融入“多规合一”的探索与实践[J]. 中国水运(下半月), 2017, 17(10): 60-62.
- [3] 孙玉婷. “多规合一”背景下的“规划一张图”拼合研究[J]. 城市勘测, 2018(2): 18-20.
- [4] 相景昌, 刘军英. 港口总体规划环境影响评价要点探讨[J]. 广东化工, 2020, 47(14): 135-136.
- [5] 黄毅贤, 程源辰, 谢嘉宸. 基于 FME 的 CAD 到 GIS 数据转换方法研究[C]//中国城市规划学会城市规划新技术应用学术委员会, 广州市规划和自然资源自动化中心. 创新技术·赋能规划·慧享未来: 2021 年中国城市规划信息化年会论文集. 南宁: 广西科学技术出版社, 2021: 376-379.
- [6] 范冲, 王东亮. 基于 FME 的 CAD 数据坐标转换工具开发及实现[J]. 测绘与空间地理信息, 2014, 37(4): 10-13.
- [7] 曾传俊, 李莲芳, 褚睿涛. 基于 FME 的 DWG 图形转换[J]. 测绘通报, 2019(S2): 275-277.
- [8] 冯文娟. 基于 FME 实现 CAD 到 GIS 数据格式转换研究及实例[J]. 煤矿现代化, 2015(3): 98-100.
- [9] 周浩, 吴正鹏. 基于 FME 实现 CAD 向 GIS 数据转换的关键技术研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2019, 42(5): 119-120, 126.
- [10] 董竹, 李新双, 陈小虎. 利用 FME 提取道路中心线方法研究[J]. 城市勘测, 2019(6): 40-42, 47.
- [11] 姜玉波, 陈立. 新形势下的内河港口总体规划编制[J]. 水运管理, 2022, 44(3): 15-16, 37.
- [12] 贾鹏鹏. 基于 ArcGIS 的港口总体规划专题图编制[J]. 工程建设与设计, 2021(7): 113-115.
- [13] 贾鹏鹏, 杨琼, 徐娜. 3S 和 BIM 技术在港口规划中的应用探讨[J]. 中国水运, 2020(5): 114-116.
- [14] 叶志荣, 宋立伟, 沙宏杰, 等. 中国海事电子海图分幅标准研究[J]. 测绘地理信息, 2022, 47(1): 41-46.
- [15] 王昭, 缪锦根, 梁佳, 等. 电子海图水深质量评估和应用研究进展[J]. 海洋测绘, 2021, 41(6): 13-17, 22.
- [16] 沈建云. 一种将蓝图水深叠加到电子海图使用方法[J]. 航海技术, 2021(3): 37-42.
- [17] 张钟. 码头设计 AUTOCAD 数据向 S-57 标准数据转换的研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2014.
- [18] 余粉香, 郭丽萍, 姚诚勤, 等. S-57 海图数据在数字地图中的转换研究[J]. 矿山测量, 2021, 49(5): 60-64.
- [19] 朱典潞. FME 在 GIS 数据处理中的应用[J]. 城市勘测, 2021(4): 60-63, 67.
- [20] 于菲菲. 基于 FME 的城市规划数据格式转换应用研究[J]. 城市勘测, 2020(6): 64-67.

(本文编辑 王璁)