



BIM 与 GIS 融合技术 在航道整治工程中的应用

童 钟, 王 刚, 李国杰, 牛作鹏

(中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430071)

摘要: 针对航道整治工程中 BIM 技术无法管理条带状工程、难以表达工程周边地理信息等难点, 通过梳理 BIM 与 GIS 数据特点, 研究探索 BIM 与 GIS 融合技术, 提出了通过格式转换、坐标转换和数据关联实现 BIM 与 GIS 融合的方法。将研究成果应用在蕲春水道航道整治工程, 验证了 BIM 与 GIS 融合方法的可行性, 实现了 BIM 与 GIS 数据一体化浏览、显示、管理、分析等功能, 解决了 BIM 无法管理大范围工程、无法反映工程周边环境的不足, 为 BIM 与 GIS 技术在航道整治工程中的应用提供了技术支撑。

关键词: BIM(建筑信息模型); GIS(地理信息系统); 格式转换; 坐标转换; 数据关联; 航道整治

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)04-0163-06

Application of BIM and GIS integration technology for channel regulation project

TONG Zhong, WANG Gang, LI Guo-jie, NIU Zuo-peng

(CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., Wuhan 430071, China)

Abstract: For the difficulties that BIM technology could not manage ribbon projects and present surrounding spatial informations of projects, BIM and GIS data characteristics are analyzed and the method of BIM and GIS integration by format conversion, coordinate transformation, and data correlation is proposed in this paper. The method is applied in the Qichun waterway & channel regulation project. The results show that the BIM and GIS integration method is feasible and implements the functions including integrated view, display, management, and analysis of BIM and GIS data. The research results solve the difficulties that BIM could not manage the wide ranges of projects and reflect the surrounding environments, so they are important technical supports for the application of BIM and GIS technology in channel regulation project.

Keywords: BIM(Building Information Modeling); GIS(Geographic Information System); format conversion; coordinate transformation; data correlation; channel regulation

BIM 技术以信息模型为载体, 将工程不同阶段的各类信息集中存储管理。利用三维数字化仿真技术, 真实地模拟工程建构筑物的空间位置、外观形态、几何尺寸、材质等信息。由于 BIM 技术具备可视化、模拟性、信息完备性等特点, BIM 技术在水运工程领域应用的广度和深度不断增加,

涌现了一大批研究成果, 包括标准指南、平台软件、关键技术和技术管理体系等方面内容^[1]。在航道整治工程中, BIM 技术已经被应用在长江南京以下 12.5 m 深水航道二期工程, 并尝试在长江下游黑沙洲水道航道整治二期工程、长江下游安庆河段航道整治二期工程中对 BIM 技术应用开展

收稿日期: 2020-07-28

作者简介: 童钟(1988—), 男, 博士, 高级工程师, 信息系统项目管理师, 从事港口与航道工程 BIM、GIS 与信息化技术研发。

更为深入的探索^[2]。

由于航道整治工程的特点，工程区域常常呈条带状分布，覆盖的空间范围较大。工程与周边的地形地貌、水文等信息紧密相关。而 BIM 技术主要专注于实现小区域范围的工程项目管理，不能完全满足航道整治工程管理对信息化技术的需求。

GIS (Geographic Information System, 地理信息系统) 起源于 20 世纪 60 年代，是对空间有关地理分布数据进行采集、存储、管理、显示和统计、分析、建模的技术系统，已在国土、规划、环境、交通运输等领域进行了深入的应用^[3-4]。

本文研究 BIM 与 GIS 技术融合技术与方法，利用 BIM 和 GIS 技术各自优势，实现微观场景和宏观环境相结合、工程内部结构和周边信息相结合。以蕲春水道航道整治工程为例，应用 BIM 与 GIS 融合技术，解决了 BIM 无法管理大范围工程、无法反映工程周边环境的不足，为航道工程 BIM 与 GIS 应用提供借鉴，有助于提升航道整治工程管理水平。

1 BIM 与 GIS 融合的技术路线

BIM 与 GIS 融合的目的是 BIM 数据与 GIS 数据的互融互通，实现集中管理、无缝浏览、相互操作、统一分析。要实现上述目标，关键在于多源异构的 BIM 数据和 GIS 数据的深度融合。

BIM 数据主要包含模型数据、空间数据、属性数据。其中，BIM 模型数据表达建构物的几何形状、材质信息，通过顶点、贴图数据来实现；BIM 空间数据表达模型的空间定位信息，通过 (x, y, z) 坐标来实现；BIM 属性数据表达模型对应的建筑全生命周期信息，包括材料、型号、工程量、进度计划、巡查记录等。

GIS 数据主要包含空间数据、属性数据。其中，GIS 空间数据表达空间点、线、面的顶点空间位置，通过 (x, y, z) 坐标和对应的坐标系来实现；GIS 属性数据表达空间点、线、面所表征的几何、人文、经济等属性，例如面积、GDP、人口信息。

根据 BIM 与 GIS 数据的特点，BIM 与 GIS 融合的技术路线可分以下步骤(图 1)：

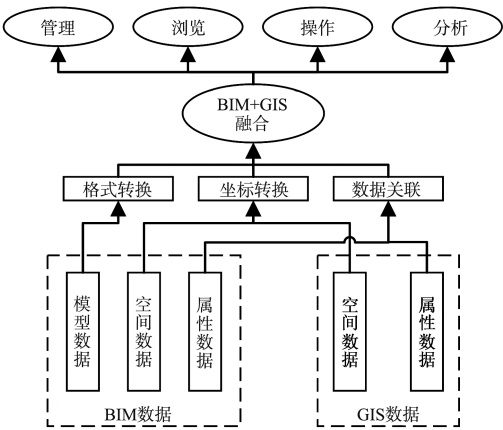


图 1 BIM 与 GIS 融合的技术路线

- 1) 将待融合的 BIM 数据和 GIS 数据按照上述的数据分类方法分类组织，BIM 数据按照模型数据、空间数据和属性数据组织；GIS 数据按照空间数据和属性数据组织。
- 2) 针对不同类型的数据经过数据格式转换、坐标转换和数据关联等操作步骤，实现数据层面的融合。格式转换目的在于将 BIM 数据转换为 GIS 系统可以兼容的数据格式；坐标转换是将 BIM 数据与 GIS 数据统一到相同坐标系，实现数据的统一管理与集成展示；数据关联是将 BIM 模型的数据与经过格式转换的 BIM 模型进行关联，确保模型信息完整、准确地存储在融合成果之中。
- 3) 基于融合后的 BIM 数据和 GIS 数据，实现一体化无缝的管理、浏览、操作、分析功能。

2 BIM 与 GIS 融合技术原理及实现方法

2.1 格式转换

由于 BIM 软件种类较多，数据格式多种多样，文件结构不公开，因此三维模型信息无法直接与 GIS 软件相互交换，需要进行模型格式转换。目前常用的 BIM 软件，如 Autodesk Revit、Bentley MicroStation 软件都没有公开其文件结构，无法从底层解析模型信息。通过深入研究 BIM 软件，其二次开发 API 中有获取三维模型信息的接口。

本研究使用 BIM 软件二次开发 API 作为获取模型信息的通道，将 BIM 模型信息重新组织成自定义格式的三维模型文件，以便于模型信息的传

递, 实现 BIM 和 GIS 之间的信息互通。

表达一个三维模型通常需要顶点、面片、贴图、法向量等信息。顶点是三维空间中的一个点, 用以定位三维模型的轮廓; 面片由多个顶点(3 个及以上)以及任意两个顶点之间的线所组成; 贴图起到修饰作用, 使模型看起来更加真实; 法向量定义面片的朝向, 是计算模型阴影光照的必需信息^[5]。

图 2 所示三维模型是一个四面体, 四面体包含 4 个顶点 v_1 、 v_2 、 v_3 、 v_4 , 每个顶点用三维坐标表示(表 1)。任意 3 个顶点组成一个面片, 四面体包含 f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 共 4 个面片, 每个面片和顶点的关系见表 2。

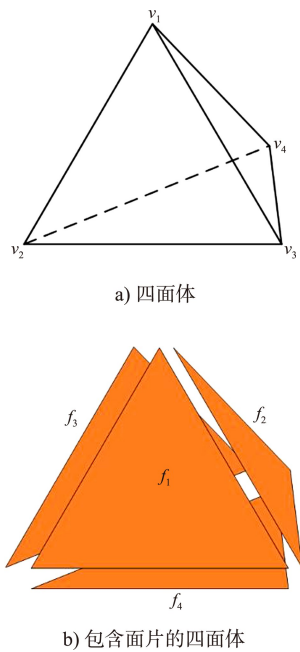


图 2 三维模型

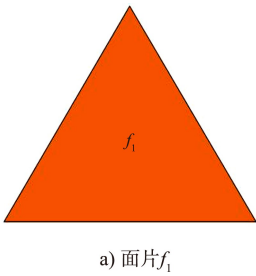
表 1 顶点坐标信息	
顶点编号	顶点坐标
v_1	(x_1, y_1, z_1)
v_2	(x_2, y_2, z_2)
v_3	(x_3, y_3, z_3)
v_4	(x_4, y_4, z_4)

表 2 面片与顶点的关系	
面片编号	顶点编号
f_1	(v_1, v_2, v_3)
f_2	(v_1, v_3, v_4)
f_3	(v_1, v_2, v_4)
f_4	(v_2, v_3, v_4)

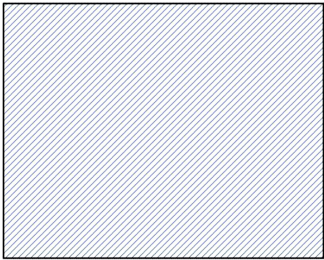
由顶点和面片构成的模型不包含任何材质纹理信息, 缺乏真实感, 需要对模型进行贴图处理, 使模型更加逼真。以面片 f_1 贴图为例, 要指定贴图文件的路径, 面片每个顶点对应图片文件上坐标 (u, v) , 面片 f_1 的贴图文件路径和坐标信息见表 3。坐标系 uov 是以贴图图片的左下角为原点建立的坐标系, 坐标点 (u_1, v_1) 指图片上距离图片左下角在 u 轴上距离为 u_1 、在 v 轴上距离为 v_1 的点。类似面片 f_1 , 对面片 f_2 、 f_3 、 f_4 执行同样的操作, 完成模型贴图(图 3)。

表 3 面片 f_1 的贴图信息

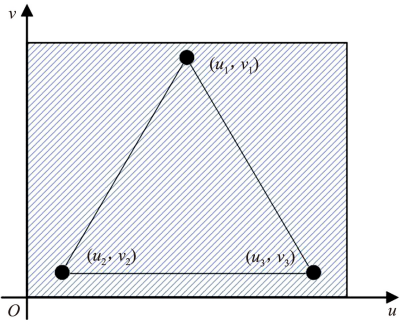
面片编号	贴图路径	顶点编号	贴图坐标
f_1	E:\mat.png (或以二进制字符串表达贴图)	v_1	(u_1, v_1)
		v_2	(u_2, v_2)
		v_3	(u_3, v_3)



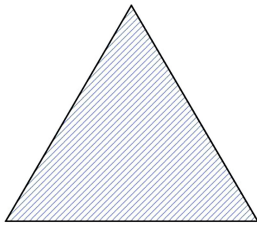
a) 面片 f_1



b) 面片 f_1 的贴图



c) 按照表3中的对应关系, 将面片 f_1 对应到贴图的指定位置上



d) 贴图完成后的面片 f_i

图 3 面片 f_i 贴图过程

遍历 BIM 模型文件中的每一个构件，将模型信息通过上述方法导出，并存储为自定义三维模型文件格式，完成模型格式的转换。

2.2 坐标转换

在空间中确定一个点的位置，需要点的坐标值及与坐标值对应的坐标系信息。在 GIS 中，常采用大地坐标 (B, L, H) 来表示地球上一个点的空间位置，而在 BIM 中，模型往往以地形图为基础图建立，大比例尺地形图一般使用高斯平面直角坐标 (x, y, z) (北京 54、西安 80、CGS2000、地方坐标系)。因此必须通过坐标转换，才能将 BIM 模型在 GIS 中正确定位。

如某工程 BIM 模型依据采用地方坐标系(基于北京 54 坐标系建立)的地形图建立，为了将 BIM 模型定位到采用 WGS84 坐标系的地球上，需要将 BIM 模型的地方坐标系转为 WGS84 坐标系。转换步骤如下^[6]：

- 1) 通过二维坐标转换(常采用四参数法)，将地方坐标系平面直角坐标 (x_0, y_0, z_0) 转换为北京 54 坐标系平面直角坐标 (x_{54}, y_{54}, z_{54}) ；通过高斯反算，将北京 54 坐标系平面直角坐标 (x_{54}, y_{54}, z_{54}) 转换为北京 54 坐标系大地坐标 (B_{54}, L_{54}, H_{54}) 。
- 2) 将北京 54 坐标系大地坐标 (B_{54}, L_{54}, H_{54}) 转换为北京 54 坐标系空间直角坐标 (X_{54}, Y_{54}, Z_{54}) 。
- 3) 通过三维坐标转换(常采用三参数或七参数法)，将北京 54 坐标系空间直角坐标 (X_{54}, Y_{54}, Z_{54}) 转换为 WGS84 坐标系空间直角坐标 (X_{84}, Y_{84}, Z_{84}) 。
- 4) 将 WGS84 坐标系空间直角坐标 (X_{84}, Y_{84}, Z_{84}) 转换为 WGS84 坐标系大地坐标 (B_{84}, L_{84}, H_{84}) 。

通过上述过程，将基于北京 54 坐标系建立的某地方坐标系中一空间点 (x_0, y_0, z_0) 转换为

WGS84 坐标系大地坐标 (B_{84}, L_{84}, H_{84}) 。将 BIM 模型中所有顶点通过以上方法进行坐标转换，实现 BIM 与 GIS 坐标层面上的融合。

2.3 数据关联

数据关联是将 BIM 属性信息与 BIM 模型信息相互关联，实现模型和数据的统一。研究通过使用关系型数据库中主键、外键方式来实现 BIM 模型数据、BIM 属性数据以及 GIS 数据的关联，实现 BIM 与 GIS 数据的集中存储管理、关联查询检索。

为了建立数据之间的关联关系，在数据库中建立 4 张数据表：数据索引表、模型信息表、空间信息表和属性信息表。数据索引表用来存储 BIM 数据的基本信息(元数据)；模型信息表存储 BIM 数据对应的三维模型文件的存储路径，便于模型文件的管理；空间信息表存储 BIM 数据的空间位置信息，包括空间分布位置三维坐标、外接矩形顶点三维坐标等，这些空间信息与 GIS 数据库相关联；属性信息表存储 BIM 数据的属性信息，如几何尺寸、材料、高程等。

对结构、楼板、设备等不同的 BIM 数据，其属性信息类型和分类方式都不相同，因此将所有的属性信息转换为 JSON(Javascript Object Notation, Javascript 对象表示法)格式(图 4)，将 JSON 字符串作为一个属性值存储。

```
{
  "尺寸标注": {
    "面积": "47.91 m²",
    "体积": "23.56 m³"
  },
  "约束": {
    "高程": "高程1",
    "偏移量": "4 m",
    "主体": "高程: 高程1",
  },
  "结构": {
    "钢筋保护层-底面": "钢筋保护层1",
    "钢筋保护层-顶面": "钢筋保护层1",
  },
  "阶段化": {
    "创建的阶段": "阶段1",
    "拆除的阶段": "阶段2"
  }
}
```

图 4 某一灌注桩属性数据的 JSON 表示

数据索引表、模型信息表、空间信息表和属性信息表中，数据索引表作为主表，其他 3 张表作为从表。“BIM_ID”是主表的主键，“BIM_ID_FK”是 3 张从表的外键，通过主外键建立关联关系，见图 5。

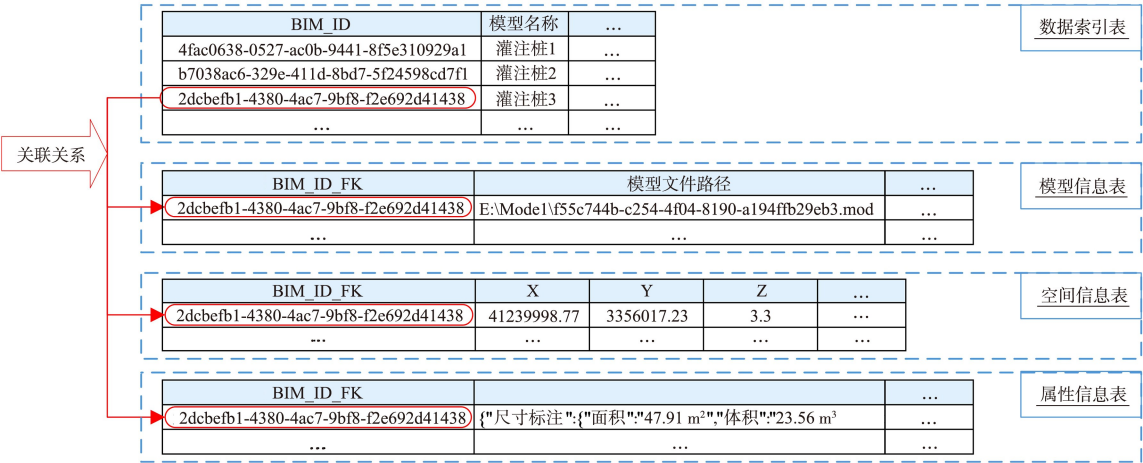


图 5 BIM 数据关联关系

3 工程应用

蕲春水道于武汉—安庆航段内，上起下棋盘洲，下迄黄颡口，全长约 16 km，是长江中游重点水道之一。蕲春水道航道整治工程主要建设 3 道护滩带、1 道潜坝、1 处边滩护岸工程、1 处护岸加固工程，按照 I 级航道标准建设，设计航道尺度为航深 6 m、航宽 200 m、弯曲半径 1 050 m，通航保证率为 98%^[7]。

3.1 准备蕲春水道航道整治工程 BIM 数据与工程项目周边 GIS 数据

BIM 数据包括使用 Autodesk Civil 3D 建立的项目 BIM 模型(图 6)；GIS 数据包括项目所在地周边地区 DOM(Digital Orthophoto Map, 数字正射影像图)与 DEM(Digital Elevation Model, 数字高程模型)数据，将 DOM 与 DEM 集成构建三维地形(图 7)。

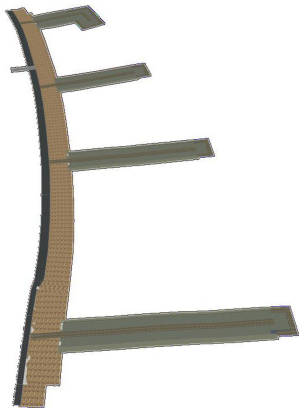


图 6 蕲春水道航道整治工程 BIM 模型 (部分)



图 7 蕲春水道航道整治工程项目所在地区周边 GIS 数据构建三维地形模型

3.2 蕲春水道航道整治工程 BIM 与 GIS 数据融合 通过格式转换、坐标转换、数据关联方法，实现 BIM 与 GIS 数据的深度融合。图 8 是融合后成果，将项目周边环境和 BIM 模型集成在一起显示；图 9 对融合成果进行剖切，便于展示模型内部。



图 8 蕲春水道航道整治工程 BIM 与 GIS 融合成果

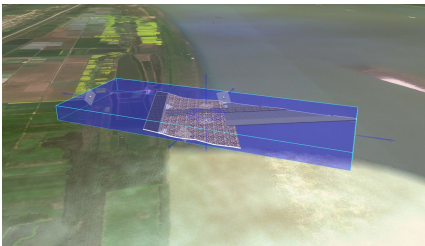


图 9 BIM 与 GIS 融合成果剖切浏览

3.3 蕲春水道航道整治工程 BIM 与 GIS 融合成果应用

基于 BIM 与 GIS 融合成果，设计开发了长江中游水道航道工程整治工程施工管理系统，通过程序开发实现模型信息的查询检索(图 10)、水深图生成及水深查询(图 11)、4D/5D 模拟(图 12)等功能。



图 10 基于 BIM 与 GIS 融合成果的信息查询检索

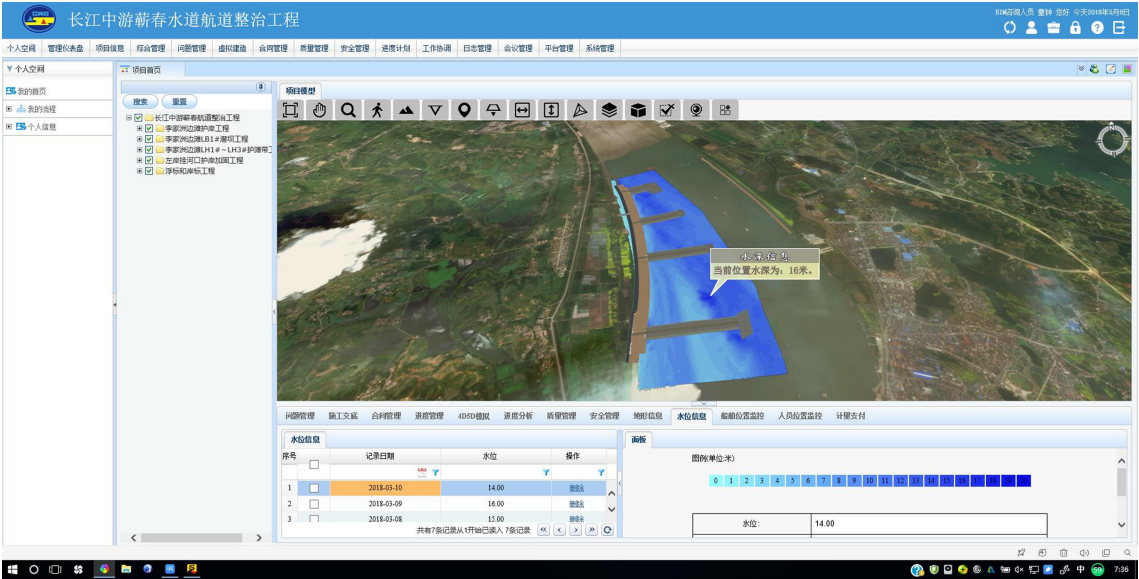


图 11 基于 BIM 与 GIS 融合成果的水深图生成和水深查询

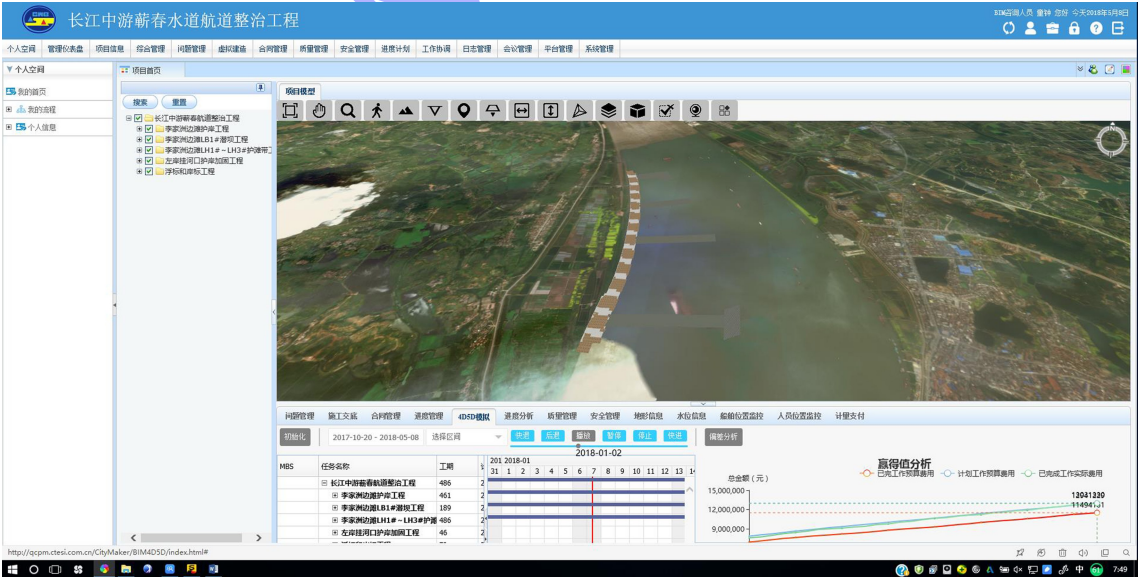


图 12 基于 BIM 与 GIS 融合成果的 4D/5D 模拟

4 结语

1)通过梳理 BIM 与 GIS 数据的特点，提出了 BIM 与 GIS 融合方法和技术路线；通过数据格式

转换、坐标转换和数据关联等步骤，可实现 BIM 与 GIS 的深度融合。

(下转第 179 页)