

结合 BIM 与 GIS 的城市工程项目智慧管理研究

张芙蓉 杨雅钧 齐明珠 许 镇

(北京科技大学 土木与资源工程学院, 北京 100083)

【摘要】随着城市建设的发展,工程项目规模的增大也带来管理难度上升的问题。本文综合 Revit、ArcGIS、CityGML、数据库及 Web 等技术,将 BIM 与 GIS 数据融合形成城市地理标记语言(City Geography Markup Language, CityGML)数据,完成工程多源数据的数据库设计,设计并开发了结合 BIM 与 GIS 的城市工程项目智慧管理系统。该系统实现了工程进度管理、质量管理、工程计量、安全管理,大大简化管理流程,有效提高管理效率和质量,节约管理成本,可解决工程项目在使用传统管理方式时存在的信息沟通不畅、耗时长、效率低下等问题。

【关键词】BIM; GIS; CityGML; 数据库; 智慧管理

【中图分类号】TU17 **【文献标识码】**A

【版权声明】本文被《土木建筑工程信息技术》、中国知网重要会议论文全文数据库(CPCD)收录上网,未经授权严禁登载。

1 引言

建筑信息模型(BIM)和地理信息系统(GIS)都是工程建设领域广泛应用的信息技术。BIM 以三维数字技术为基础,集成了建筑工程项目各种相关信息的数据模型,是对工程项目设施实体与功能特性的数字化表达。其空间分析能力较为微观,并且 BIM 模型设计软件支持的空间范围小,无法承载海量大范围的地形数据,也不具备对地理信息进行分析 and 建筑周边环境整体展示的功能。

GIS 是一种具有空间专业形式的数据管理系统,且三维 GIS 技术突破了传统二维平面中空间信息可视化能力的局限,使得建筑物和地形环境的空间结构与相互关系得到展示,并且可面向从微观到宏观的海量三维地理空间数据进行存储。但是对于微观模型的展示则是其短板,它无法创建精细化的建筑模型、模型信息粗略。

因此,将 BIM 和 GIS 的进行优势互补有效的结合,可以同时展示微观与宏观数据,将为工程可视化及管理提供更丰富、全面的信息。

国内外的专家、学者针对 BIM 与 GIS 技术的结合已经做了一些研究^[1-12],主要分为:基于软件平台

的结合、基于 IFC 与 CityGML 标准^[6-7]的结合。Sam Amirebrahimi^[1]等人提出一种新的数据模型地理标记语言(GML)用于对 BIM 与 GIS 集成的支持;中国铁路总公司研究人员运用组件式 GIS 开发技术和 BIM 的概念,通过 ArcGIS 平台开发了基于 GIS 和 BIM 的铁路信号设备数据管理及维护系统^[2];国外学者 Zhu 等人提出了一个基于工程基础类 IFC 的 BIM 与 GIS 整合框架,实现了几何信息的集成^[3]。

本研究基于 CityGML 平台,整合了 BIM 模型和 GIS 数据,实现了微观模型与宏观场景、数据的结合;通过软件二次开发、Web 和数据库技术,设计并开发了基于 BIM 与 GIS 的工程项目的智慧管理系统,实现了 BIM 模型信息查看、GIS 模型进度显示、工程进度展示等功能。

2 关键技术

本研究的技术路线图如图 1 所示,主要关键技术包括数据融合、数据库设计、网络平台的开发设计。

2.1 数据融合

2.1.1 BIM 建模

BIM 模型使用 Revit 软件建模,该软件支持建

【基金项目】 国家重点研发计划项目(项目编号:2018YFC0809900);中央高校基本科研业务费专项资金资助(项目编号:FRF-BD-18-007A)

【作者简介】 许镇(1986-),男,副教授,主要研究方向:数字综合防灾。

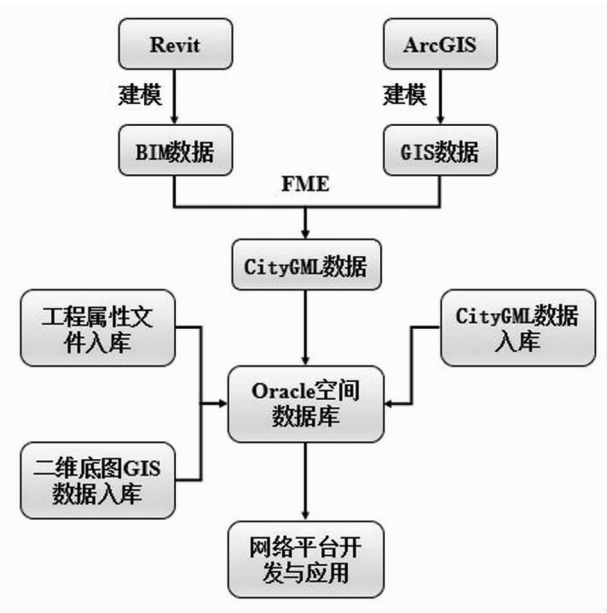


图 1 技术路线图

筑、结构、MEP 的设计与建模,提供了一个开放的图形系统,族是其所有建模操作的基础,可以通过使用具有几何、材质、运维等信息的族文件实现快速、准确地参数化建模。

本研究针对房建工程中存在一些异形幕墙、特殊的门窗构件等情况,分别采用了内建体量、新建构件族等方式进行建模,图 2 所示为其中一个房建工程的 BIM 模型截图。

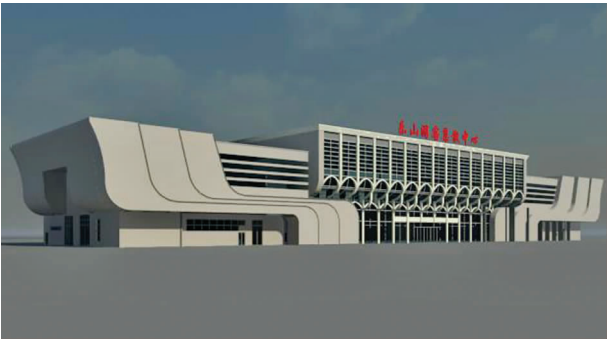


图 2 建筑局部模型

2.1.2 GIS 建模

GIS 模型主要是一些道路的 shp 文件,用于展现道路的具体形状、长度、路宽等信息。本研究采用 ArcGIS 软件进行 GIS 模型的建模,该软件可以用于创建、编辑、浏览和分析地理数据,并且可以进行空间数据库内容的管理。

使用 ArcGIS 软件建模,首先需要将 dwg 格式的

道路设计文件导入 ArcGIS 软件,并设置相应的坐标系以及精确的坐标信息;然后提取 dwg 文件里的线数据,将其转化为 shp 线数据,再使用线生成面工具生成 shp 面数据;最后根据一定规则对 shp 文件进行分割和编号。图 3 是关于道路标记后显示的道路网络图。

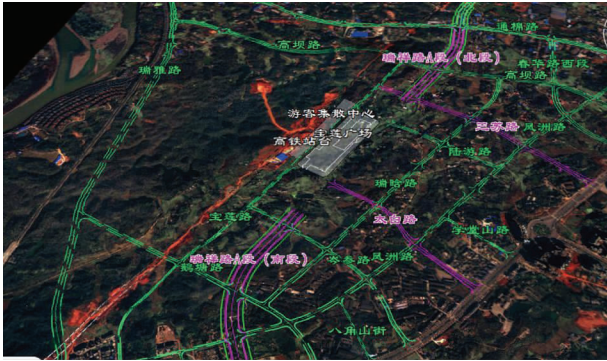


图 3 标记后的道路网络进度 GIS 模型

2.1.3 数据融合

图 4 所示是实现 BIM 与 GIS 融合的算法路线。

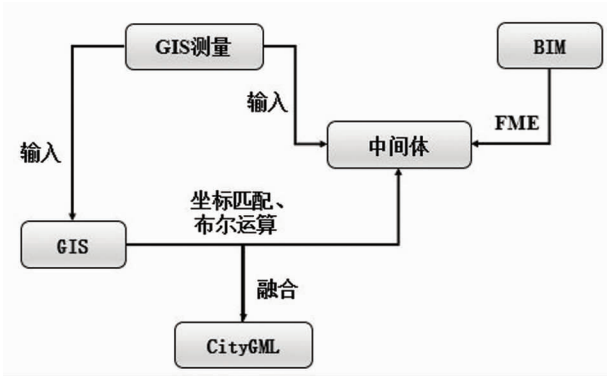


图 4 算法路线

(1)通过 FME 实现几何重构算法:

BIM 数据通过 FME 进行数据转换成中间体,将其转化成 CityGML 中间体模型数据。首先创建两个独立的 BIM 读取器。移除不必要的中间要素,第一个读取器读取所有的 BIM 要素和填充要素查找表,第二个读取器用于数据转化。FME 依次运行读取器,在运行第二个读取器之前,第一个读取器要先完成运行,并完全填充查找表,其 BIM 读取器读取所有信息并填充查找表。在对房间进行数据转化过程中,读取器读入数据,将几何转换成简单的面对象,写出器写出为 CityGML 格式的 Window。

由于将复杂的 BIM 体几何对象转换成多面对

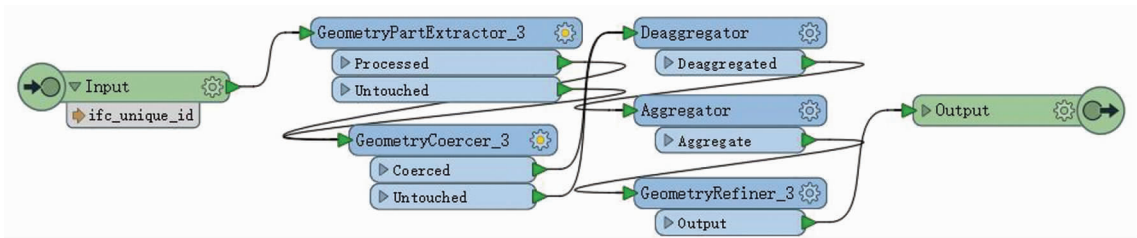


图5 扁平化处理

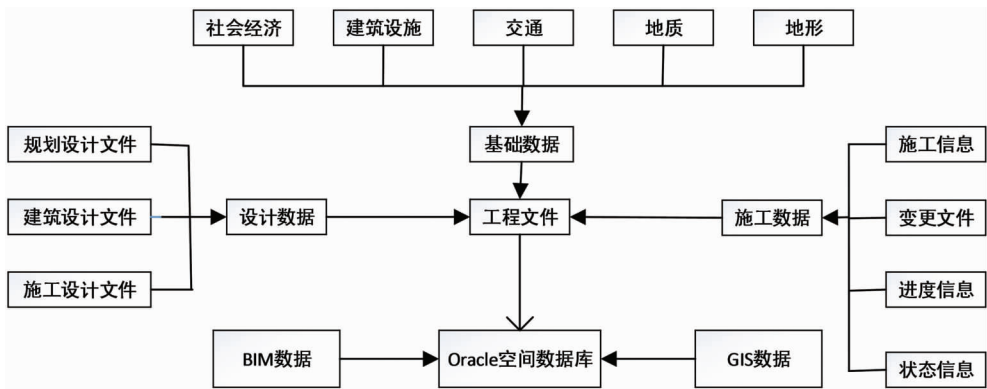


图6 基于 CityGML 的数据库设计图

象对所有要素来说具有共性,所以将其放在自定义的变换器中。BIM 实体几何通过 Geometry Part Extractor 从属性集分离,然后使用 GeometryCoercer 转换为曲面。为了扁平化多级几何对象,我们需要用扁平化全部对象来解聚集,然后重新聚合成多面,如图5所示。

(2)坐标匹配、布尔运算等算法:

通过 GPS 获取施工现场的具体三维坐标(X,Y,Z)值,将坐标值输入到 FME 处理的 BIM 模型中,获取中间体。同时,将坐标值输入到 GIS 数据文件中。将获取到的 GIS 数据进行 FME 转化后和中间体进行坐标匹配、布尔运算等,最后融合成 CityGML 模型。

2.2 数据库设计

图6所示为本研究所设计的多源数据的数据库总览图。

工程多源数据的数据库建库设计涉及到很多方面:多种格式,多种信息,多种类型,其中基础数据包含地形、地质、交通、建筑设施、社会经济等方面。施工数据包括施工信息、变更文件、进度信息、状态信息等方面。设计数据包含规划设计、建筑设计、施工设计等方面。这三方面的数据是构成基本的属性数据部分。二维底层数据是通过 ArcGIS 进

行处理获取到的。除了前面设计的几种重要数据外,其它的工程属性数据是管理工程进度功能不可或缺的数据。他们和 BIM 三维模型数据存储于 oracle 数据库中,组成了一个完整的空间数据库。如下为 CityGML 数据入库方法。

(1)将对象映射到表

一般来说,一个或多个类的 UML 图映射到一个表;表的名称与类的名称相对应(可以添加一个表示一个抽象类的下划线)。按照 UML 图和下表所示关系进行数据映射处理,即建表。类的标量属性成为具有相应名称的相应表的列名。

属性的类型是根据相应数据库(Oracle)的数据类型(见表1)。特别说明是,日期数据类型的某些属性映射到时区的时间戳,这主要是允许存储更精确的时间值。

(2)对象的从属声明

在(元数据)表类 OBJECTCLASS,该表管理模式下的所有类的名称(CLASSNAME 属性)。子类和父类的关系是通过主外键关系来维持的,即子类中属性 SUPERCLASS_ID 作为父类 ID 的外键等其它形式的主外键维持关系(见表2)。

这个表 OBJECTCLASS 是用来有效地确定归属于父类表中的类。此外,表 CITYOBJECT 包含属性

表 1 数据类型映射

UML	Oracle
String, anyURI	VARCHAR2, CLOB
Integer	NUMBER
Double, gml:LengthType	BINARY_DOUBLE
Boolean	NUMBER(1,0)
Date	DATE, TIMESTAMP WITH TIME ZONE
PrimitiveType(Color, Transformation Matrix, CodeType etc.)	VARCHAR2
Enumeration	VARCHAR2
GML Geometry, textureCoordinates	SDO_GEOMETRY
GML RectifiedGridCoverage	SDO_GEORASTER & SDO_RASTER
Texture(only reference of type any URI in CityGML)	BLOB

OBJECTCLASS _ ID, 这个属性键指相应的表 OBJECTCLASS。这种机制也被其他表采用,用于存储不同的 CityGML 要素,比如 THEMATIC _ SURFACE(如建筑物的特征不同的边界曲面)或者 BUILDING_INSTALLATION(外部或内部)等。

(3)由于 CityGML 数据模型是几何拓扑模型、外观模型、专题模型的十一组模型等数据模型组成的复杂数据模型,在此仅列出建筑模型数据,如图 7~9 所示。

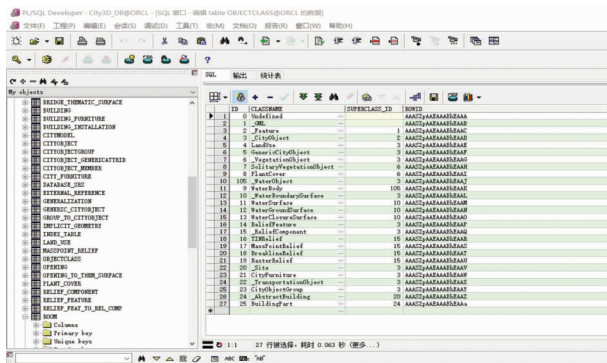


图 7 数据库建表

gml_id	gml_parent_id	citygml_feature_role	Globalid	Name	ObjectType	Tag
1 fme-gen-e3d5...	fme-gen-50b3cd...	cityObjectMember	3UoNliewXr6V...	基本建筑力墙...	基本建筑力墙...	311606
2 fme-gen-bb0...	fme-gen-50b3cd...	cityObjectMember	3UoNliewXr6V...	基本建筑力墙...	基本建筑力墙...	311740
3 fme-gen-95ba...	fme-gen-50b3cd...	cityObjectMember	3UoNliewXr6V...	基本建筑力墙...	基本建筑力墙...	311827
4 fme-gen-6490...	fme-gen-50b3cd...	cityObjectMember	3UoNliewXr6V...	基本建筑力墙...	基本建筑力墙...	311858
5 fme-gen-e3ad...	fme-gen-50b3cd...	cityObjectMember	3UoNliewXr6V...	基本建筑力墙...	基本建筑力墙...	311975
6 fme-gen-867e...	fme-gen-50b3cd...	cityObjectMember	3UoNliewXr6V...	基本建筑力墙...	基本建筑力墙...	312004
7 fme-gen-407a...	fme-gen-50b3cd...	cityObjectMember	3UoNliewXr6V...	基本建筑力墙...	基本建筑力墙...	312121
8 fme-gen-2560...	fme-gen-50b3cd...	cityObjectMember	3UoNliewXr6V...	基本建筑力墙...	基本建筑力墙...	312223
9 fme-gen-65e5...	fme-gen-50b3cd...	cityObjectMember	3UoNliewXr6V...	基本建筑力墙...	基本建筑力墙...	312358
10 fme-gen-aaa...	fme-gen-50b3cd...	cityObjectMember	3UoNliewXr6V...	基本建筑力墙...	基本建筑力墙...	312657
11 fme-gen-47e9...	fme-gen-50b3cd...	cityObjectMember	3UoNliewXr6V...	基本建筑力墙...	基本建筑力墙...	312737
12 fme-gen-84c...	fme-gen-50b3cd...	cityObjectMember	3UoNliewXr6V...	基本建筑力墙...	基本建筑力墙...	312813
13 fme-gen-5f1t...	fme-gen-50b3cd...	cityObjectMember	3UoNliewXr6V...	基本建筑力墙...	基本建筑力墙...	312916
14 fme-gen-7172...	fme-gen-50b3cd...	cityObjectMember	3UoNliewXr6V...	基本建筑力墙...	基本建筑力墙...	312983

图 8 宝莲广场数据 1(部分节选)

gml_id	gml_parent_id	citygml_feature_role	citygml_is_front	citygml_diffuse_color	citygml_specular_color
1 fme-gen-ab98...	fme-gen-63f150...	surfaceDataMember	true	0.84705882352941197 0...	0.42352941176470599
2 fme-gen-c26f...	fme-gen-63f150...	surfaceDataMember	false	0.84705882352941197 0...	0.42352941176470599
3 fme-gen-a403...	fme-gen-63f150...	surfaceDataMember	true	0.84705882352941197 0...	0.42352941176470599
4 fme-gen-272f...	fme-gen-63f150...	surfaceDataMember	false	0.84705882352941197 0...	0.42352941176470599
5 fme-gen-246e...	fme-gen-63f150...	surfaceDataMember	true	0.85490196078431402 0...	0.42745080839215701
6 fme-gen-c2f7...	fme-gen-63f150...	surfaceDataMember	false	0.85490196078431402 0...	0.42745080839215701
7 fme-gen-13d2...	fme-gen-63f150...	surfaceDataMember	true	0.266666666666667 0.2...	0.133333333333333 0
8 fme-gen-49d2...	fme-gen-63f150...	surfaceDataMember	false	0.266666666666667 0.2...	0.133333333333333 0
9 fme-gen-602d...	fme-gen-63f150...	surfaceDataMember	true	0.752941176470588 0.7...	0.376470588235294 0.3
10 fme-gen-a02d...	fme-gen-63f150...	surfaceDataMember	false	0.752941176470588 0.7...	0.376470588235294 0.3
11 fme-gen-ef15...	fme-gen-63f150...	surfaceDataMember	true	0.599999999999999 0...	0.299999999999999
12 fme-gen-6a92...	fme-gen-63f150...	surfaceDataMember	false	0.599999999999999 0...	0.299999999999999

图 9 宝莲广场数据 2(部分节选)

表 2 父类和子类的主外键关系对应表(节选)

ID	CLASSNAME	SUPERCLASS_ID
0	Undefined	
1	_GML	
2	_Feature	1
3	_CityObject	2
4	LandUse	3
5	GenericCityObject	3
10	_WaterBoundarySurface	3
11	WaterSurface	10
12	WaterGroundSurface	10
13	WaterClosureSurface	10
14	ReliefFeature	3
15	_ReliefComponent	3
16	TINRelief	15
17	MassPointRelief	15
18	BreaklineRelief	15
19	RasterRelief	15
20	_Site	3
21	CityFurniture	3
22	_TransportationObject	3
23	CityObjectGroup	3
24	_AbstractBuilding	20
25	BuildingPart	24
26	Building	24
27	BuildingInstallation	3
28	IntBuildingInstallation	3
29	_BuildingBoundarySurface	3
30	BuildingCeilingSurface	29
31	InteriorBuildingWallSurface	29
32	BuildingFloorSurface	29
33	BuildingRoofSurface	29
34	BuildingWallSurface	29
35	BuildingGroundSurface	29
36	BuildingClosureSurface	29
37	_BuildingOpening	3

2.3 网络平台开发与应用

本研究采用基于 B/S 架构的网络设计,采用三层 MVC 架构,View 层采用的 JavaScript 进行数据的

动态操作,HTML 用于静态页面展示,CSS 用于样式控制;平台展示层使用的是 TerraExplorer 浏览器框架,这是可以按照需要使用 API 进行二次开发的浏览器,可以多样化满足客户需要。Controller 控制层使用 asp. net 和 C# 进行操作,可以将视图层和模型层进行数据交换和视图展示。Model 模型层是连接数据库的重要通道,可以对数据库进行操作。除了基本的网络框架技术外,还需要 ArcEngine 和空间数据库等技术。

2.3.1 遥感影像处理和 DEM 数据建模

基础数据处理是实现网络化平台的基础工作,对于实现 BIM 与 GIS 的数据融合的验证以及市政工程网络化进度管理都很重要。

数据处理主要分成三个部分:

(1)遥感数据处理。遥感影像数据的多波段融合和校准处理后,才可以是作为底图应用的,加载的是遥感影像图,可以清晰的显示各个工程项目的大概样貌,进行后期处理后,可以进行三维漫游、施工进度可视化等。使用 Photoshop 或者 ArcGIS 来进行影像色彩处理,通过 ERDAS IMAGINE 或者 ENVI 等处理工具来进行波段组合、数据融合、数据格式转换、数据拼接、正射纠正等。

(2)DEM 数据建模。通过 CAD 等施工数据等转化而来的 DEM 数据是作为三维遥感影像数据的又一重要要素。在原始 DWG 图中补充绘制等高线,利用 CASS 对等高线或高程点数据属性对照进行修改,完成 DWG 到 Shp 的转化工作,使用 ArcMap 生成 tif 格式的 DEM 数据。

(3)遥感影像与 DEM 融合。将多源数据融合提高数据的利用率,并作为工程进度管理的底图使用,便于工程空间分布大致位置确定,用于 CityGML 数据,GIS 数据等在影像图上的定位等。

最后将其与遥感数据进行处理具有三维效果的遥感影像数据如图 10 所示。

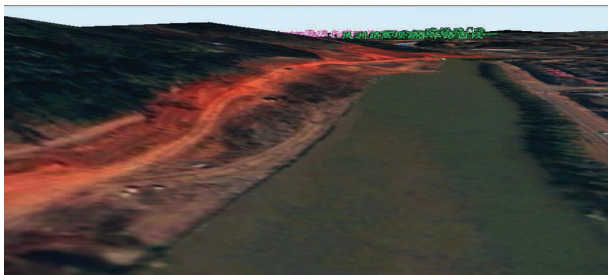


图 10 三维遥感影像图

2.3.2 基于 CityGML 模型的三维场景漫游

对于道路工程和房建工程可以预设漫游路径进行自动导航;也可以手动导航进行预览施工现场,对进度进行管理。以下是实现部分代码:

```
function FlyToObject( ItemName ) {
    var obj = document. getElementById( "TE" );
    var IInformationTree = obj. interface ( " IInformationTree5" );
    var ItemID = IInformationTree. FindItem( " wgs84\\房建工程\\" + ItemName + "\\" + ItemName );
    var IPlane = obj. interface( " IPlane5" );
    IPlane. FlyToObject( IInformationTree. GetTerraObjectID ( ItemID ), 18 );
}
```

2.3.3 基于 BIM 与 GIS 的道路进度模型控制

二维道路的进度控制是通过离散化线状道路进行分段标记显示,来实现进度控制管理的。以下是部分实现代码:

```
cmd. CommandText = @ " select Color from
qjProcedureType where ProcedureID = " + i. ToString( ); //
根据状态 ID 获取颜色编码
string ProName = cmd. ExecuteScalar( ). ToString( ).
Trim( );
string value = ID. ToString( ) + " - " + ProName;
ClientScript. RegisterArrayDeclaration ( "
arrayColor", " '" + value + " '" );
for( var i = 0; i < arrayColor. length; i + +
{
    var allpart = arrayColor[ i ]. toString( );
    var index = allpart. indexOf( " - " );
    var center = allpart. substring( 0, index );
    var Procedure = allpart. substring( index + 1 );
    var ItemID = IInformationTree. FindItem( " 路面\\" 路面\\" + center );
    var objID = IInformationTree. GetTerraObjectID ( ItemID );
    var ITerraExplorerObject5 = IObjectManager51.
GetObject( objID );
    ITerraExplorerObject5. BgColor = Procedure; //设置
Polygon 的背景颜色
}
```

3 研究案例

该案例是一个 BIM 与 GIS 结合的工程项目群智慧管理系统,为市政 BT 项目建设全周期提供辅助决策及增值服务。该系统探索了 BIM 与 GIS 的

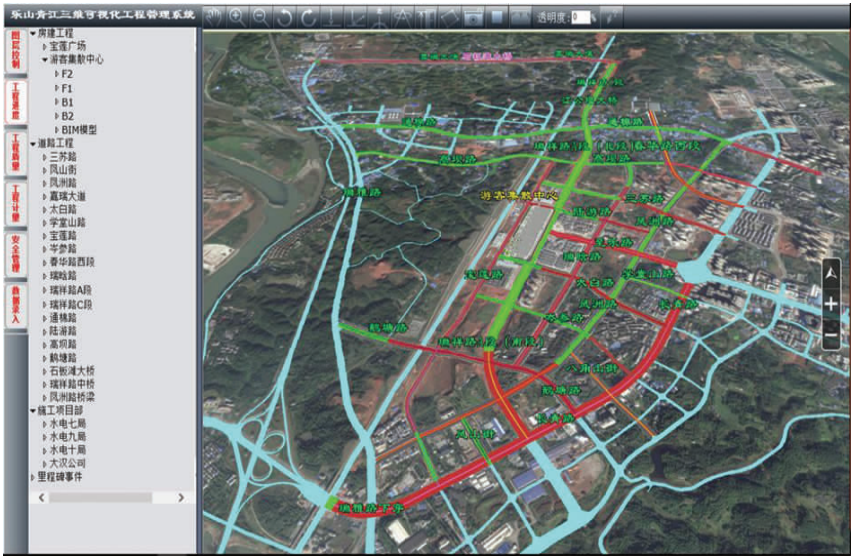


图 11 数据融合之后的整体视图

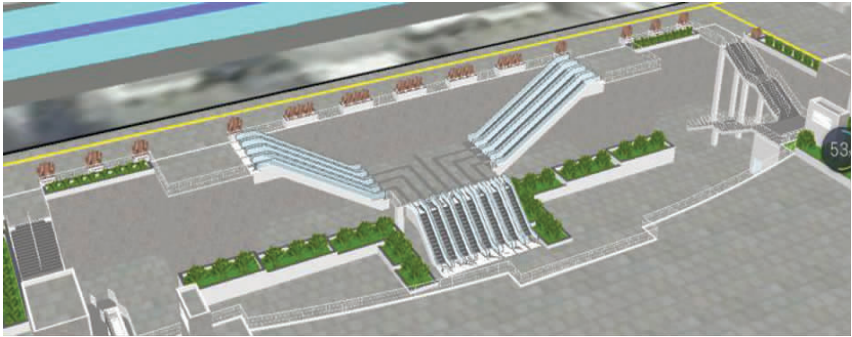


图 12 数据融合之后的局部视图

结合、三维可视化及网络技术在市政 BT 项目建设管理中的可行性及应用,以下是系统的部分关键内容。

3.1 数据融合

图 11 和图 12 显示了 BIM 与 GIS 融合成的 CityGML 模型加载显示效果,通过融合后可以与二维 GIS 数据很好的进行兼容。根据需求,加载不同的 LOD 层,其加载速度明显要比单纯使用 BIM 模型数据有优势。

3.2 GIS 模型进度显示

图 13 是整个工程的道路网络总图,标记后的道路显示了不同阶段的进度完成情况。其中红色表示未完成部分,绿色表示已完成部分。

图 14 是相关道路的完成量,未完成量以及总里程等具体数据信息和可视化的道路情况。

除了在三维视图里显示进度之外,还可以通过



图 13 道路网络模型总图



图 14 道路进度展示

曲线统计图和进度统计表来补充说明进度情况,如图 15 所示。

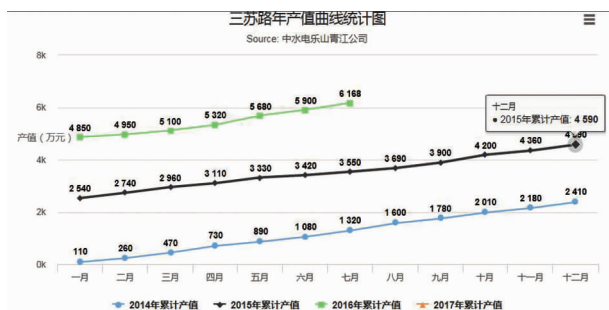


图 15 产值统计图与进度统计表

3.3 质量管理

在工程质量管理模块中,可以选择查看相应的工程
质量信息,如图 16 所示。



图 16 工程质量资料查看页面

3.4 数据录入

数据录入模块,可以对工程进度,工程质量,工程计量和安全管理 5 个模块的数据通过录入界面存进服务器数据库中,并分别显示在对应的 5 个模块当中。图 17 是对工程产值中的项目名称,日期,施工项目部和计划产量等数据录入。



图 17 计划完成产值数据录入

4 结论与展望

本文基于 CityGML 完成 BIM 与 GIS 数据融合,实现微观与宏观场景结合,形成的 CityGML 模型检索加载速度快,兼容性更好,同时论述了多源数据融合方法,将多种格式,多种信息集成为数据库,设计并开发了结合 BIM 与 GIS 的城市工程项目智慧管理系统,弥补了 BIM 与 GIS 数据各自在工程管理上的不足,实现了图层控制、进度管理、质量管理、工程计量、安全管理、数据录入等功能,为工程项目提供了可视化、数字化、网络化的管理工具,为城市工程智慧管理提供参考。

本系统基本实现了城市工程网络化和可视化管理,在基于 BIM 与 GIS 技术的 CityGML 数据模型的细节层次渲染,内部精细化展示等方面有待进一步探索。城市工程智慧管理对于促进工作效率、提升工作质量、增进工作交流发挥着重大作用,其在大型工程项目群建设中的应用与推广,必将会加快我国建筑行业的全面发展,实现我国建筑业信息化、智能化。

参考文献

- [1] Sam Amirebrahimi, Abbas Rajabifard, Priyan Mendis & Tuan Ngo. A BIM-GIS integration method in support of the assessment and 3D visualisation of flood damage to a building. *Journal of Spatial Science*, 2016, <http://dx.doi.org/10.1080/14498596.2016.1189365>.
- [2] 刘延宏. 基于 BIM + GIS 技术的铁路桥梁工程管理应用研究[J]. *交通世界(运输·车辆)*, 2015, 9: 30-33.
- [3] Zhu JX, Wang XY, Wang P, Wu ZY, Kim MJ. Integration of Bim and GIS: Geometry from IFC to shapefile using open-source technology [J]. *Automation in Construction*, 2019, 102: 105-119.
- [4] Özgür Göcer, Ying Hua, Kenan Göcer. A BIM-GIS integrated pre-retrofit model for building data mapping. *BUILD SIMUL*(2016)9:513-527.
- [5] Ulf Månsson. BIM & GIS Connectivity paves the way for really Smart Cities. Project Manager, SWECO, ulf.mansson@sweco.se.
- [6] 赵霞, 汤圣君, 刘铭崑, 等. 语义约束的 RVT 模型到 CityGML 模型的转换方法[J]. *地理信息世界*, 2015, 2: 15-20.
- [7] 汤圣君, 朱庆, 赵君屹. BIM 与 GIS 数据集成: IFC 与 CityGML 建筑几何语义信息互操作技术[J]. *土木建筑*

- 工程信息技术, 2014, 6(4): 11-17.
- [8] 关颖, 童凌飞, 张旭冬. 基于 OpenGIS CityGML 的外观模型探讨[J]. 城市勘测, 2013, (01): 51-55.
- [9] Laat R D, Berlo L V. Integration of BIm and GIS: The Development of the CityGML GeoBIM Extension[M]// Advances in 3D Geo-Information Sciences. 2011, 211-225.
- [10] 陈祥葱, 苏贝. CityGML 与 IFC 三维空间构模分析与比较[J]. 交通科技与经济, 2015, 115-118.
- [11] 朱庆. 三维 GIS 及其在智慧城市中的应用[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16(2): 151-157.
- [12] 陈雷鸣. 基于 BIM 和 GIS 的智慧城市探索[J]. 土木工程信息技术, 2016, 8(6): 91-95.

Research on Smart Management of Urban Engineering Projects Based on BIM and GIS

Zhang Furong, Yang Yajun, Qi Mingzhu, Xu Zhen

(School of Civil and Resource Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: With the development of urban construction, the increase of project scale has brought about the problem of increasing management difficulty. Integrating the Revit, ArcGIS, CityGML, database and Web technology, this paper integrates BIm and GIS data to form City Geography Markup Language (CityGML) data, completes the database design of Engineering multi-source data, designs and develops an intelligent management system for urban engineering projects based on BIm and GIS. The system realizes project schedule management, quality management, engineering measurement and safety management. It can greatly simplify the management process, effectively improve the efficiency and quality of management, and save the cost of management. It can effectively solve the problems of poor information communication, time-consuming and inefficiency in the use of traditional management methods in engineering projects.

Key Words: BIM; GIS; CityGML; Database; Smart Management