

三维 GIS 可视化系统在地铁监测中的应用^{*}

甄红锋¹, 赵耀强², 成波³

(1. 山东水利职业学院, 山东 日照 276800; 2. 天津市地下铁道集团有限公司, 天津 30051;
3. 山东水利工程总公司, 济南 250014)

摘 要: 针对当前地铁施工监测信息管理三维可视化程度不高, 二、三维 GIS 地理信息可视化交替运作以及三维 GIS 地理信息查询分析研究不足的问题, 在制作监测信息三维 GIS 电子地图的基础上, 创建了基于三维 GIS 的地铁施工监测信息管理系统, 成功的将三维 GIS 地图应用到了地铁施工管理中, 实现了三维测点与属性数据库的相互查询以及监测信息二、三维两种方式联合管理, 提高了地铁工程的可视化效果和信息化施工技术水平。

关键词: 三维 GIS; 地铁施工; 施工监测; 信息化施工

中图分类号: U455.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-0836(2016)01-0138-05

Application of Three-dimensional Visualization GIS in Subway Construction Monitoring and Management

Zhen Hongfeng¹, Zhao Yaoqiang², Cheng Bo³

(1. Department of Water Conservancy Engineering, Shandong Water Conservancy Vocational College, Rizhao, Shandong 276800, P. R. China; 2. Tianjin Metro Group Co., Ltd., Tianjin 300051, P. R. China; 3. Shandong Water Engineering Corporation, Jinan 250014, P. R. China)

Abstract: Since the level of 3D visualization for current subway construction monitoring system is not so high, together with the insufficient research in terms of alternating operation of 2D & 3D GIS geographic information visualization and query, a 3D GIS-based subway construction monitoring system is created based on the electronic 3D GIS map, and it is applied successfully on the subway construction management with the correlated queries of 3D measuring point and attribute database realized and the management of 2D & 3D monitoring information combined, as a result, the visual effect and the information management level for subway projects have been improved dramatically.

Keywords: 3D GIS; subway construction; construction monitoring; informationized construction

1 引言

随着我国经济实力的不断提升及城市化进程的快速推进, 各地政府对基础设施建设的投入日益增多, 地铁及隧道等各类地下工程也越来越多, 地下工程的施工安全也引起了各方的重视^[1-4]。然而, 当前地铁工程施工的安全形势依然严峻, 如, 2003年7月上海地铁4号线浦西路联络通道发生特大涌水事故, 造成周围地面严重沉降, 直接造成经济损失1.5亿元人民币^[5]; 2008年11月杭州地

铁1号线湘湖站基坑坍塌事故, 造成21名施工人员被埋身亡等。虽然发生上述事故的原因众多, 但施工管理水平不高、地铁施工监测信息管理可视化程度不高、二、三维 GIS 地理信息可视化交替运作以及三维 GIS 地理信息查询分析研究不足, 造成工程现场的监管不到位, 也是引发恶性安全事故的重要因素。

因此, 为实现地铁工程施工监测信息管理从二维 GIS 平台到三维 GIS 平台的跨越, 实现三维 GIS 地理信息空间查询与分析, 针对地铁施工监测信息

^{*} 收稿日期: 2015-05-13(修改稿)

作者简介: 甄红锋(1975-), 男, 山东巨野人, 硕士生, 主要从事水利工程领域的研究工作。E-mail: 395724720@qq.com

管理多方参与、信息处理量大等特点,创建基于三维GIS的地铁施工监测信息管理系统显得尤为重要。

1 系统总体设计

1.1 需求分析

地铁工程建设作为一项复杂的系统工程,具有线路长、地质与环境情况复杂、变形监测要求高、施工监测测点众多、信息处理量大等特点,同时相对于三维GIS、二维GIS数据模型、数据结构理论和技术基本成熟,但二维GIS作为抽象的符号系统,只能以图形和符号的方式来呈现一张地图,这种方式往往不能直观清晰地表示出地图所在位置的地理环境,很难给人以立体逼真的环境感受。随着GIS技术的深入研究和不断发展,三维GIS正成为电子地图发展的一个重要方向,采用三维电子地图的方式,建立场景的仿真模型,把现实场景进行虚拟再现,给人以真实、互动、情节化的感觉。虽然三维电子地图能够很好地描述三维客观世界,但在查询分析以及宏观表达等方面尚有不足之处^[6-11],目前,不同的应用目的往往需要二维GIS与三维电子地图两种方式交替运作。

因此,为解决当前在地铁施工安全管理中,监测信息管理存在监测数据分散、多单位协同困难、数据发布不及时等问题,有必要对城市地铁工程项目施工期的监测信息进行系统、规范研究,使其更贴合于实际工程,并在构建二维GIS应用系统的基础上集成开发具有地层结构和周围环境的三维电子地图功能的地铁工程施工安全监测信息管理系统,为地铁工程施工的安全管理提供有力支持。使工程施工管理手段得到加强,工程管理人员能够清晰、直观地发现工程风险所在,及时反馈给勘察、设计和业主等单位,优化设计和施工方案,及时采取相应措施来避免风险的发生,从而将地铁施工中的安全事故降至最低,进而保证工程的安全顺利进行。

1.2 架构设计

在基于三维GIS的地铁施工监测信息管理系统开发中,为实现地铁施工监测信息管理二、三维GIS电子地图两种方式交替运作,提高三维GIS地图查询分析以及宏观表达等方面的不足,作者在开发应用系统基础管理功能的基础上,将重点放在三维GIS电子地图制作、二、三维GIS集成管理以及三维地图测点与属性数据库互动功能上,系统具体结构和功能设计如图1所示。

(1) 用户权限管理功能。为了保证该桌面系统的安全性,为系统用户设置了不同的等级和管理

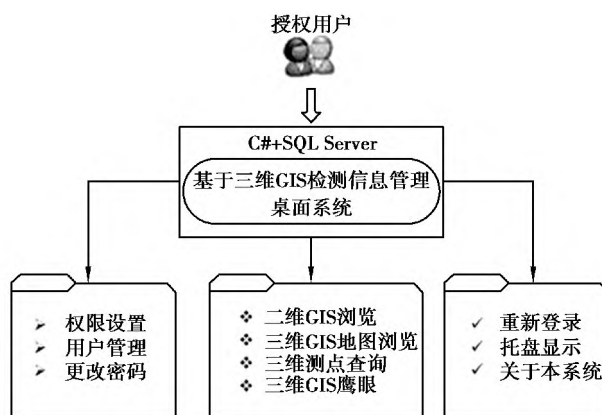


图1 基于三维GIS地铁施工监测信息管理系统功能设计

Fig. 1 Functional design of 3D GIS-based monitoring information management system

权限,便于以后系统功能扩展与维护;

(2) 二、三维GIS集成管理功能。在系统页面点击平面按钮即可实现对二维电子地图的浏览查看,点击三维按钮即可打开三维电子地图页面;

(3) 鹰眼功能。该功能主要是针对二维电子地图开发的,在鹰眼地图上点击某一区域,二维电子地图将会把与鹰眼中对应的区域放大,并显示在页面的中心位置;

(4) 三维测点查询功能。在三维页面可以对三维地图进行放大、缩小、飞行漫游等操作,同时还可以实现点击某一测点,查询该测点的监测数据的功能,三维GIS系统的监测精度与现场监测设备的精度一致。

2 三维GIS监测地图构建

三维GIS图形平台是利用ArcGIS系列软件、Google SketchUp和SketchUp6ESRI插件相结合制作的,本文应用系统是依托杭州地铁武良区间隧道工程开发实现,在三维GIS地图制作过程中,首先将工程中应用带有监测点布置的CAD地图转化为shp格式,然后用ArcMap软件进行加载,通过SketchUp6ESRI插件将选中的图形导入SketchUp中进行三维模型创建,将创建好的三维模型导出保存到mdb文件中,最后通过ArcScene软件将mdb文件进行加载,保存为sxd格式的三维GIS地图,具体制作流程如图2所示。

由于SketchUp6ESRI插件是针对ArcGIS9.2定制的,当开发环境为ArcGIS9.3时,ArcGIS9.2桌面软件本身并不支持ArcGIS9.3桌面软件创建的PG-DB(PersonalGeodatabase),因此,仅通过SketchUp6ESRI插件无法正常导出PGDB。所以,在创建三维GIS模型之前,首先需要通过ArcCatalog创建

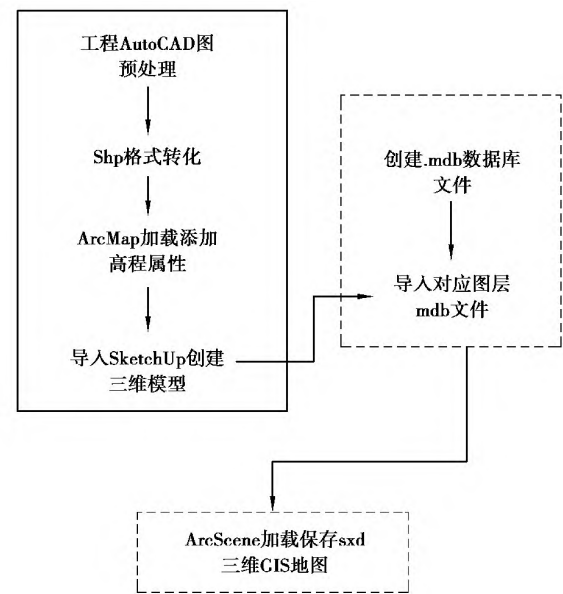


图 2 三维 GIS 模型创建流程

Fig. 2 Creation process of 3D GIS model

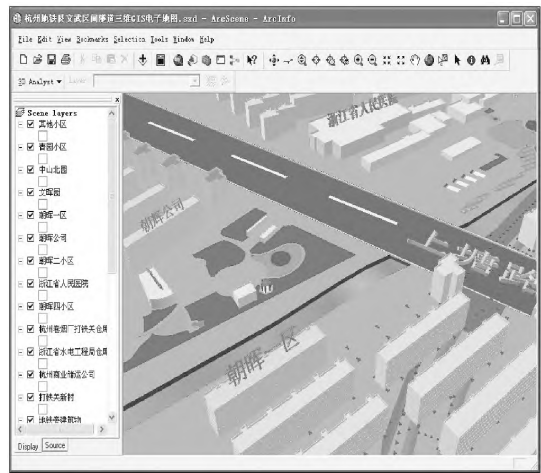


图 3 杭州地铁武良区间隧道三维 GIS 电子地图

Fig. 3 Electronic map for 3D GIS of Hangzhou metro tunnel project at Wuguan section

一个 PGDB ,同时新建一个 Multipatch 的 Feature Class。在新建 Multipatch 图层时 ,需要设置该图层的 SUSourceFeatureID、SUSourceFeatureClass、SUInstanceName 和 SketchUpData 属性字段 特别注意如果原始数据中的属性需要加载到创建的三维模型中去 ,SUSourceFeatureID 字段的建立非常有必要。具体创建过程如下:

(1) 在 ArcCatalog 建立个人 Geodatabase(以要创建三维图形图层名称命名的 mdb 文件) Personal-Geodatabase 数据库文件;

(2) 将 CAD 图形文件进行预处理 ,并将其分图层用 ArcCatalog 转换为 .shp 格式图形 ,然后将.shp 图形加载到 ArcMap 中;

(3) 在 ArcMap 为每一数据集图层添加 height

高程属性字段 ,并用 SketchUP ESRI 插件将加载到 ArcMap 的图形导入 SketchUP pro6 中进行三维模型创建;

(4) 将创建好的三维模型以 Multipatch 格式 ,导入到第一步中创建的对应该数据集图层名称的 mdb 文件中;

(5) 在 ArcScene 中分图层加载导出的 Multimate 数据文件 ,在 ArcScene 中将各个图层加载完毕并美化处理后 ,将其保存为 sxd 格式的三维 GIS 图形文件 ,供系统调用进行二次开发 ,三维化后的杭州地铁武良区间隧道工程三维 GIS 地图如图 3 所示。

3 系统应用功能开发

3.1 二、三维 GIS 集成功能

二、三维 GIS 的页面集成加载利用 ArcGIS Engine 技术 tabControl 控件进行管理 ,首先 ,在 tabControl 控件中创建两个 tabPage ,将二维电子地图在 tabPage1 控件主控区域进行加载 ,然后 ,在工具栏区域添加 axToolbarControl 控件 ,将该控件与二维电子地图绑定 ,并添加能够控制二维地图放大、缩小、点选、漫游、全幅显示等操作的工具 ,如图 4 所示 ,具体功能实现代码如下所示。

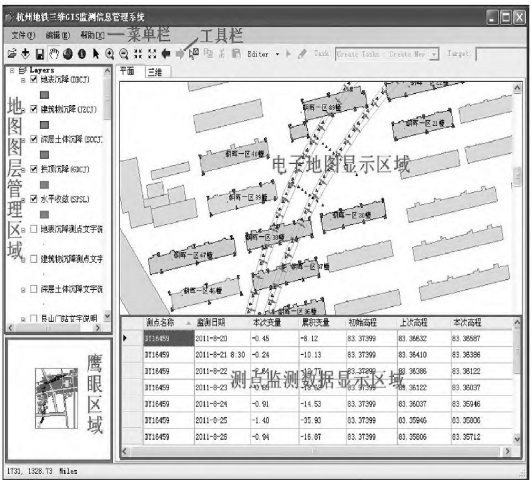


图 4 杭州武良区间隧道三维 GIS 施工监测信息管理系统主界面

Fig. 4 Main page of 3D GIS monitoring information

//二维 GIS 地图页面加载

```
axMapControl1. LoadMxFile ( strDir + " \ pingmian.mxd" );
```

//添加菜单

```
this. menuStrip1. Items. AddRange ( new System.Windows.Forms.ToolStripItem [] { this.MapMenuFile } );
```

//二维地图操作工具添加

```
axToolBarControl1.AddItem ( new Controls-
MapZoomInTool ( ) , 0 , 0 , false , 0 , esriCommand-
Styles.esriCommandStyleIconOnly ); //放大
```

```
axToolBarControl1.AddItem ( new Controls-
MapZoomOutTool ( ) , 0 , 1 , false , 0 , esriCommand-
Styles.esriCommandStyleIconOnly ); //缩小
```

3.2 地图鹰眼功能

地铁工程往往线路狭长,范围较大,在地图区域放大到某一区段后,如果想查看另外相距较远的区段需要通过地图漫游工具长时间拖动,非常不方便,因此应用系统开发了鹰眼功能,以方便用户快速查看地图。通过鹰眼图,用户可以很直观的看到主视图中地图范围在整个地图范围内的位置,犹如鸟瞰一样,如图4所示。该功能是通过两个 Ax-MapControl 控件实现的,其中 AxMapControl1 为主控件用来显示主视图, AxMapControl2 为鹰眼控件用来显示鹰眼图,同时要保持两个控件中显示的数据一致,以及在鹰眼控件的显示框中让两个控件的数据共享,具体实现代码如下所示。

//添加鹰眼图

```
axMapControl2.LoadMxFile ( strDir + " \
yingyan.mxd" );
```

//设置鹰眼中的红线

```
ILineSymbol outLineSymbol = new SimpleLine-
SymbolClass( );
```

```
outLineSymbol.Width = 2;
```

```
outLineSymbol.Color = GetColor ( 255 , 0 , 0 ,
255 );
```

//设置鹰眼控件和主视图控件中显示的数据一致

```
private void axMapControl2_OnMouseDown ( object sender , IMapControlEvents2_OnMouseDown-
Event e)
```

```
{
    if ( e.button == 2)
```

```
{
    IPoint pPt = new PointClass( );
```

```
pPt.X = e.mapX;
```

```
pPt.Y = e.mapY;
```

```
IEnvelope pEnvelope =
```

```
axMapControl2.TrackRectangle( );
```

```
axMapControl1.Extent = pEnvelope;
```

```
} }
```

3.3 三维测点查询功能

三维测点查询功能的实现过程为,首先在创建

的 mdb 文件的 MultiPatch 图层中添加 SUInstance-Name 属性字段,然后在 SketchUp 中创建好三维模型后,为每一个测点添加名称,导出到 ArcScene 中后,每一个监测点的名称将保存到 SUInstanceName

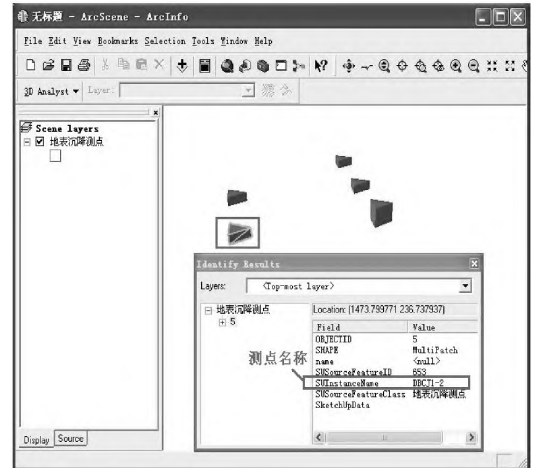


图5 三维测点属性字段

Fig.5 Property fields of three-dimensional measurement points management system of Hangzhou subway

属性字段中,如图5所示。在系统页面点击该测点后,通过 AxSceneControl 的 SceneGraph.LocateMultiple 获得点击到的测点 IHit3DSet,然后通过 IHit3D 获取 IHit3DSet 测点的名称字段,通过该测点的名称字段查找 SQL 数据库中对应的监测数据,并将其在页面中进行展示,如图6所示,从而实现三维测点与属性数据库的查询功能。具体实现代码如下。

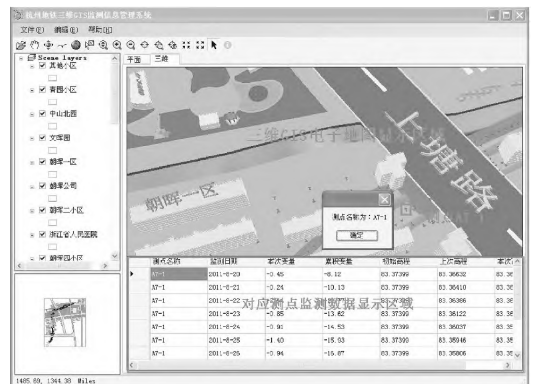


图6 三维测点与属性数据库连接

Fig.6 Connectivity between three-dimensional measurement points and attribute database

//实例 SqlConnection 对象打开数据库连接

```
SqlConnection conn = new SqlConnection( );
```

```
conn.ConnectionString = "Server=( local ); uid=
sa; pwd= 123; database= hzdb";
```

```
conn.Open( );
```

//根据测点名称查询数据库

```

string ccmt = "select * from jcsj where Point_
Name = 'DBCJ1-2'";
//创建 SqlDataAdapter 对象实例
SqlDataAdapter AdapterSelect = new SqlDataAdapter(
Adapter(ccmt, conn));
//创建 DataTable 对象实例
DataTable dt = new DataTable();
AdapterSelect.Fill(dt);
//数据显示控件绑定数据源,即将查询的监测
数据在 dataGridView1 中显示
dataGridView1.DataSource = dt.DefaultView;

```

4 结论与体会

针对当前地铁施工监测信息管理三维可视化程度不高,二、三维 GIS 地理信息可视化交替运作以及三维 GIS 地理信息查询分析研究不足,造成工程现场的监管不到位的问题,在对地铁施工监测信息管理系统进行需求分析的基础上,对系统的总体框架结构进行了详细设计;以杭州地铁良文武区间隧道工程现场监测平面图为基础,通过三维建模软件 SketchUp 和 ArcGIS Desktop 系列软件,制作了杭州地铁良文武区间隧道二、三维 GIS 图形平台,并针对该工程对监测信息管理所需的监测信息数据库及数据表进行详细设计。最终利用 ArcGIS Engine 技术,创建了基于三维 GIS 的杭州地铁武良区间隧道施工监测信息管理系统,将监测信息可视化管理水平从二维平台跨越到了三维平台,实现了三维测点与属性数据库的互相查询以及监测信息二维与三维电子地图两种方式联合管理,有效地提高了地铁监测信息管理应用系统的可视化水平,并为三维 WebGIS 地铁施工监测信息管理的实现奠定了基础。

参考文献(References)

- [1] 周翠英,赵宏坚,杨锡鎏.三维地层构造发展现状[J].中山大学学报(自然科学版),2009,48(5):27-32 41.(Zhou Cuiying,Zhao Hongjian,Yang Xiliu. Development status of 3D stratum construction[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni,2009,48(5):27-32 41.(in Chinese))
- [2] 钱七虎,戎晓力.中国地下工程安全风险管理的现状、问题及相关建议[J].岩石力学与工程学报,2008,27(4):649-655.(Qian Qihu,Rong Xiaoli. State issues and relevant recommendations for security risk management of China's underground engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2008,27(4):649-655.(in Chinese))
- [3] 孙钧.城市地下工程施工安全的智能控制预测与控制及其三维仿真模拟系统研究[J].岩石力学与工程学报,1999,18(增):753-762.(Sun Jun. Intelligent prediction control of construction safety and 3D simulation study on urban underground engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,1999,18(Supp.):753-762.(in Chinese))
- [4] 李元海,朱合华.岩土工程施工监测信息系统初探[J].岩土力学,2002,23(1):103-106.(Li Yuanhai,Zhu Hehua. Development of monitoring information system software for geotechnical engineering[J]. Rock and Soil Mechanics,2002,23(1):103-106.(in Chinese))
- [5] 孙志军,吕振绘,王义海.地下工程事故分类及防治措施[J].建筑施工,2009,26(5):55-57.(Sun Zhijun,Lv Zhenhui,Wang Yihai. Classification of accident and prevention measures in underground engineering[J]. Building Construction,2009,26(5):55-57.(in Chinese))
- [6] 李建成,郭建文,盖迎春,等.基于 ArcEngine 的三维 GIS 的设计与实现[J].遥感技术与应用,2009,24(3):395-398.(Li Jiancheng,Guo Jianwen,Gai Yingchun, Design and Implementation of 3D GIS Based on ArcEngine[J]. Remote Sensing Technology and Application,2009,24(3):395-398.(in Chinese))
- [7] 郭庆山,于楷,殷鹏莲.Google SketchUp 在 GIS 三维可视化中的研究[J].城市勘测,2010(6):51-56.(Guo Qingshan,Yu Kai,Yin Penglian. Research on 3D visualization of GIS Google SketchUp[J]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying,2010(6):51-56.(in Chinese))
- [8] 连耿雄.基于 GIS 的三维可视化系统在深圳大运会中的应用[J].大众科技,2012,14(2):53-55.(Lian Gengxiong. GIS-based three-dimensional visualization system in the application in Shenzhen Universiade[J]. Popular Science,2012,14(2):53-55.(in Chinese))
- [9] 刘大安,杨志法,柯天河,等.综合地质信息系统及其应用研究[J].岩土工程学报,2000,22(2):182-185.(Liu Da'an,Yang Zhifa,Ke Tianhe,et al. Synthetic geology information system and its application to the shiplock slope engineering of a hydropower station[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering,2000,22(2):182-185.(in Chinese))
- [10] 王慧,张志刚.隧道信息化设计与施工技术监测系统研究[J].岩土工程界,2004,7(1):75-80.(Wang Hui,Zhang Zhigang. Study on construction technology of tunnel monitoring system design and information[J]. Geotechnical Engineering World,2004,7(1):75-80.(in Chinese))
- [11] 杜磊,宋大明.城市三维可视化系统的建设与应用[J].城市勘测,2010(4):33-35.(Du Lei,Song Daming. The construction and application of the 3D visualization system of city[J]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying,2010(4):33-35.(in Chinese))