

基于 Cesium 的路基参数化三维建模方法

荆倩婧¹ 吴大庆² 徐帮树³ 李 良² 李志强²

(1. 山东省建筑设计研究院有限公司, 济南 250001;

2. 中铁十四局集团第五工程有限公司, 兖州 272117; 3. 山东大学齐鲁交通学院, 济南 250061)

【摘要】针对高速公路三维可视化过程中,由于路基数量多且尺寸不一样,传统的路基三维建模方法需要耗费大量的人力和时间,开展基于 Cesium 的路基参数化三维建模方法研究。在分析 Cesium 参数化建模方法的基础上,基于 Cesium API 进行二次开发,通过 PolylineVolume 函数实现了路基横断面和公路中心线的快速生成,继而实现了路基三维模型的快速构建。为了方便路基横断面设计方案的检查与修改,利用 JavaScript 编码设计了路基标准横断面参数设计的界面,可以通过直接输入参数建立路基标准横断面,实现了路基标准横断面的快速构建。研究成果可以为交通规划部门在公路选线等方面提供决策依据。

【关键词】Cesium API; 参数化建模; 路基模型; 三维可视化

【中图分类号】TU17;U41 **【文献标识码】**A

【版权声明】本文被《土木工程信息技术》、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

高速公路作为一种狭长的带状结构,一般由路基、路面、桥梁、涵洞、隧道、交通工程及沿线设施等构成。其中,路基是高速公路的基本组成结构,贯穿于高速公路全线,也是支撑路面结构的基础,与沿线的桥涵、隧道等相连接,更是高速公路与地形融合的媒介。路基三维模型的构建方法是实现高速公路三维可视化过程中的技术关键点和难点。目前,国内外许多学者已对路基的三维建模方法开展了相关研究。

在国外,路基的三维模型主要是利用自主研发的道路设计软件中的相关模块来进行创建。其中,应用较为广泛的道路设计软件主要有:德国汉堡的 IB&T 软件公司开发的 CARD/1 系统^[1]、美国 Intergraph 公司的 InRoads 软件^[2-3]、英国 Infracore 公司推出的 MXRoad 软件^[4]、美国 Eagle Point 软件公司开发的 Eagle Point 软件^[5-7]、挪威的 NovaCAD 软件、加拿大的 GWN-ROAD 软件以及比利时的 Star

Info 软件等等。虽然这些软件都具有较强的三维建模功能,但是存在设计规范与国内不相适应、价格昂贵等问题,因此很难将上述软件应用于国内的路基工程之中。

在国内,关于路基的三维建模方面的研究起步稍晚,但是发展迅速,不少学者已进行了相关研究。潘兵宏等^[8]提出应用表面模型来构建公路路基三维模型的方法,选用空间四边形平面来模拟路基模型,根据公路平、纵横断面计算确定四边形平面每个顶点的三维点坐标来建立路基模型,并基于 AutoCAD 平台利用 VB 或 VC 语言开发了公路三维建模系统,实现了路基模型的自动化建立。曾勇^[9]采用非均匀有理 B 样条 NURBS 拟合道路中心线和横断面,并利用蒙面法建立了路面的三维模型,但并未涉及路基模型的建立。周明智等^[10]提出了一种基于 ArcGIS 的公路三维建模方法,分别将公路路线桩号、路线高程与 ArcGIS 中的 M 值、Z 值相关联,利用 ArcScene 中的三维可视化功能建立路基的三维模型,极大地提高了建模速度。张毅等^[11]采用

【基金项目】 国家自然科学基金项目(50909056);山东省自然科学基金面上项目(ZR2014EEM014)

【作者简介】 荆倩婧(1992-),女,硕士研究生,主要研究方向:三维可视化;徐帮树(1974-),男,副教授,博士,主要研究方向:施工过程信息化、智能化研究。

Trimble GS200 地面三维激光扫描仪采集数据,然后对点云数据进行配准、坐标转换及滤波等预处理,最后利用 Realworks Survey 软件的几何建模功能实现了公路路基三维模型的建立。杨锡鏊等^[12]提出了一种结合 ANSYS 有限元分析软件和 OpenGL 纹理贴图技术的高速公路结构物仿真建模技术,实现了高速公路路基的仿真建模。潘荣江等^[13]基于高速公路横断面设计图文件,首先对平面图进行断面分割,确定了断面图的边界和各个断面的范围,然后进行坐标转换,提取断面的轮廓线,最后沿着公路中心线将多个横断面的轮廓线对齐,进行三角片表面重构,完成了高速公路路基三维模型的构建,有效地提高了模型建立的速度和质量。孙伟利^[14]提出了基于车载 LiDAR 技术的公路路基三维建模方法,首先利用车载激光测量系统采集数据,然后基于扫描线进行滤波处理将地面点云数据和非地面点云数据分开,并对因遮挡而造成缺失的地面点云数据进行修补,有选择性地对冗余数据进行抽稀处理,最后基于扫描线进行三角剖分构建路基三维模型。张波^[15]利用 CATIA 软件中的建模功能,分别建立了道路中心线和路基横断面轮廓,并通过扫描、镶嵌命令生成了路基的三维实体模型。

综上所述,国内外路基三维模型的建立主要是依靠专业的三维建模软件和道路设计软件中的相关模块来建立。但是,高速公路绵延数百里,路基数量多且尺寸不一样,运用专业的三维建模软件(3DsMax、AutoCAD、Google SketchUp 等)构建路基模型时需要耗费大量的人力和时间,而现有的道路设计软件在路基模型的处理上存在不足,因此研究路基三维模型的快速构建方法对高速公路路基三维可视化的实现具有重要意义。

Cesium^[16]是一个开源的 JavaScript 地图引擎,具有地图数据显示等一系列相关操作的功能,只需要浏览器支持 WebGL 功能即可运行,无需安装任何浏览器插件,可以实现跨浏览器跨平台展示。同时,Cesium 利用 WebGL 进行图形渲染,有利于呈现数据的动态变化。此外,Cesium 对一些 AJAX (Asynchronous Javascript and XML)功能进行了重新封装,可以实现海量地理空间数据的异步请求。

鉴于此,本文利用开源的 JavaScript 地图引擎 Cesium,通过对 Cesium API 进行二次开发,实现路基横断面、公路中心线和路基三维模型的快速构建;利用 JavaScript 语言设计了路基标准横断面参

数设计界面,实现路基标准横断面的参数化构建。研究成果可以为交通规划部门辅助决策提供依据。

2 参数化建模原理

Cesium 是一个开源的 JavaScript 地图引擎,具有地图数据显示等一系列相关操作的功能,只需要浏览器支持 WebGL 功能即可运行,无需安装任何浏览器插件,可以实现跨浏览器跨平台展示。同时,Cesium 利用 WebGL 进行图形渲染,有利于呈现数据的动态变化。此外,Cesium 对一些 AJAX (Asynchronous Javascript and XML)功能进行了重新封装,可以实现海量地理空间数据的异步请求。

Cesium 给用户提供了两种开发应用程序编程的接口(API),一种为“Primitive API”,该接口使用图形学术语,具有很大的灵活性,适用于面向图形开发人员的底层编程接口。另一种为“Entity API”,是高级别的数据驱动的编程接口,该接口使用一致性设计的、高级别的对象来管理一组相关性的可视化对象,支持多种类型空间数据的可视化。

Cesium 提供的 Polyline 函数可以根据属性 positions 设置一组三维坐标点作为节点,实现多段线在三维场景内的可视化,并通过设置其它属性,改变其线宽、颜色与贴图等显示效果。PolylineVolume 除了可以依据 positions 设置一组三维坐标点作为节点,还可以根据属性 shape 设置一组由二维坐标点形成的二维图形作为截面,在 positions 描述的多段线上扫描而成得到体。

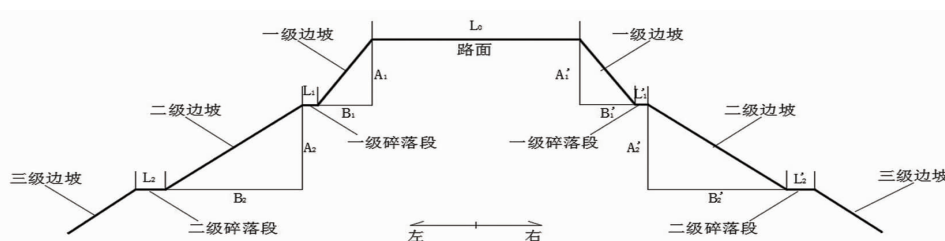
3 路基三维建模的特点和内容

3.1 特点

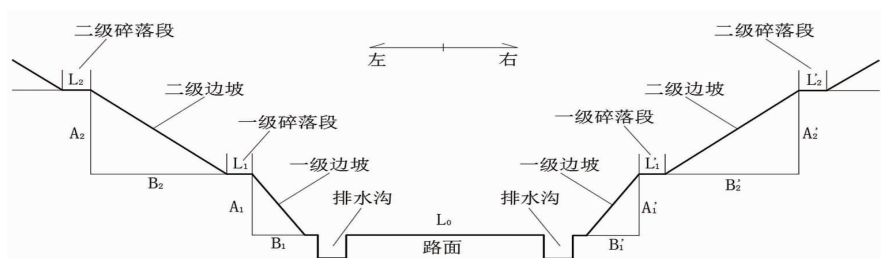
路基是指在天然的地表面上根据公路路线的位置以及设计横断面的要求修筑而成的带状构造物^[17]。公路路基的三维建模方法与桥梁、隧道不同,因为路基的形态是和地形密切相关的,路基的存在使地形发生了很大的变化,而桥梁、隧道等构筑物则无法对地形产生这种效果。

由于高速公路路基线路长及沿线地形起伏变化的影响,即使同一线路其不同路段断面组成也不尽相同。因此,路基开展三维建模需要考虑如下特点:

(1)当前路基三维建模的基础依然是传统的路基二维横断面结构(路面、边坡、坡脚和各构造物



(a) 填方路基横断面设计图



(b) 挖方路基横断面设计图

图 1 路基横断面设计图

等)；

(2) 路基不同路段应考虑填挖特点、不同的横断面结构及实际地形地貌；

(3) 路基三维模型既要满足线路全长需要,也要考虑路基全生命周期。

3.2 内容

路基的三维模型是路基设计成果在三维空间中的展示,可以看作是由路基横断面沿着公路中心线扫掠而成的实体模型。因此,本文路基三维建模的主要内容是确定公路中心线和路基横断面的绘制方法,以及如何由路基横断面沿着公路中心线扫掠得到路基的三维实体模型。

具体地,根据路基平面和纵断面二维设计,基于统一的大地坐标系统,计算公路中心线主关键点的大地坐标。依据《铁路工程制图标准(TB/T10058-98)》路基线路设计规范要求,由公路中心线关键点完成路基中线绘制、里程标注、线路分段等工作。再以路基线路里程桩号为准,把路基平面、纵面及横断面二维设计与横断面对应的地面地形相结合,按照不同路基线路分段进行各标准横断面的设计,并确定各段线路左侧及右侧的路肩边缘点和路基边坡与地面线交点的坐标,即确定路基横断面关键点的三维空间坐标。最后将路基横断面关键点的三维点坐标转换为局部坐标系下的二维点坐标,并根据路基横断面的关键点坐标完成路基

横断面的绘制。

4 路基三维模型的建立

Cesium 中路基绘制的基本步骤如下:

(1) 计算提取出公路中心线关键点的三维坐标,构建公路中心线。

(2) 绘制路基横断面。路基横断面以一组有序二维坐标所围成的平面图形组成,计算出路基横断面各关键点的坐标,建立路基横断面。

为了有利于路基横断面的设计、修改以及批量、快速构建,将路基横断面轮廓进行参数化设置,只考虑挖方和填方两种类型(半填半挖式可以视为把路基分成左右两部分,一部分为填方,另一部分为挖方,然后将这两部分组合起来即可),并将横断面进行适当简化,如图 1 所示。其中,图 1a 为填方路基的横断面,图 1b 为挖方路基的横断面,由边坡、碎落段、排水沟等组成。

路基横断面轮廓参数化绘制的功能使用 Canvas + JavaScript 实现。Canvas 相当于画板和画笔,而 JavaScript 相当于控制画笔绘画的画手。通过使用 JavaScript 语言编写对应的函数来得到对应的路基横断面,要输入的参数作为 javascript 函数的参数,根据参数的变化,函数的输出值会发生变化,从而动态的生成路基横断面。路基横断面轮廓的参数化设置界面如图 2 所示。

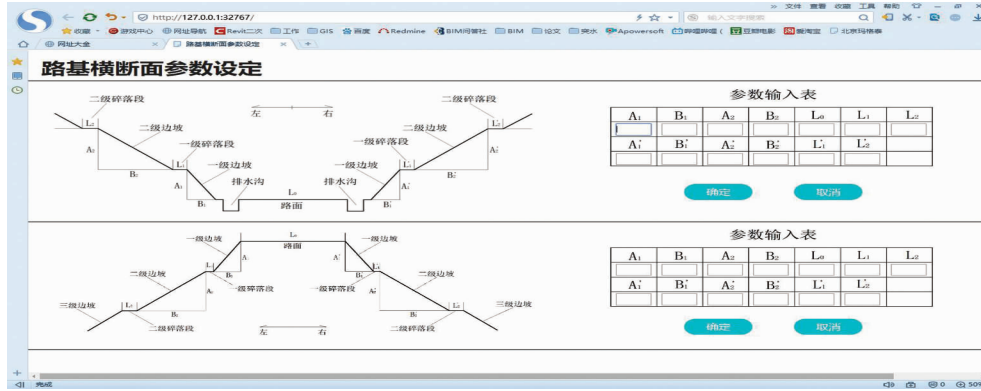


图2 路基横断面参数化设置界面

其中,根据参数变化动态生成路基横断面的代码实现如下:

1) Html 代码

```
<html>
<head>
<title>路基横断面</title>
</head>
<body onload = " draw ( 10, l1, l2, a1, a2, b1,
b2); " >
< canvas id = " canvas" width = " 300" height = "
150" > </ canvas >
</ body >
</ html >
```

2) Javascript 代码

```
function draw ( l0, l1, l2, a1, a2, b1, b2 ) {
var canvas = document. getElementById ( '
canvas' );
if ( canvas. getContext ) {
var ctx = canvas. getContext ( ' 2d' );
//描边三角形
ctx. beginPath ( );
ctx. moveTo ( 10, 10 );
ctx. lineTo ( 20, 20 );
ctx. lineTo ( 20 + l2, 20 );
ctx. lineTo ( 20 + l2 + b2, 20 + a2 );
ctx. lineTo ( 20 + l2 + b2 + l1, 20 + a2 );
ctx. lineTo ( 20 + l2 + b2 + l1 + b1, 20 + a2 +
a1 );
ctx. lineTo ( 20 + l2 + b2 + l1 + b1 + 5, 20 + a2
+ a1 );
ctx. lineTo ( 20 + l2 + b2 + l1 + b1 + 5, 20 + a2
```

```
+ a1 + 5 );
ctx. lineTo ( 20 + l2 + b2 + l1 + b1 + 5 + 5, 20
+ a2 + a1 + 5 );
ctx. lineTo ( 20 + l2 + b2 + l1 + b1 + 10, 20 + a2
+ a1 );
ctx. lineTo ( 20 + l2 + b2 + l1 + b1 + 10 + l0 / 2,
20 + a2 + a1 );
ctx. lineTo ( 20 + l2 + b2 + l1 + b1 + 10 + l0, 20
+ a2 + a1 );
ctx. lineTo ( 20 + l2 + b2 + l1 + b1 + 10 + l0, 20
+ a2 + a1 + 5 );
ctx. lineTo ( 20 + l2 + b2 + l1 + b1 + 10 + l0 +
5, 20 + a2 + a1 + 5 );
ctx. lineTo ( 20 + l2 + b2 + l1 + b1 + 10 + l0 +
5, 20 + a2 + a1 );
ctx. lineTo ( 20 + l2 + b2 + l1 + b1 + 10 + l0 +
10, 20 + a2 + a1 );
ctx. lineTo ( 20 + l2 + b2 + l1 + b1 + 10 + l0 +
10 + b1, 20 + a2 );
ctx. lineTo ( 20 + l2 + b2 + l1 + b1 + 10 + l0 +
10 + b1 + l1, 20 + a2 );
ctx. lineTo ( 20 + l2 + b2 + l1 + b1 + 10 + l0 +
10 + b1 + l1 + b2, 20 );
ctx. lineTo ( 20 + l2 + b2 + l1 + b1 + 10 + l0 +
10 + b1 + l1 + b2 + l2, 20 );
ctx. lineTo ( 20 + l2 + b2 + l1 + b1 + 10 + l0 +
10 + b1 + l1 + b2 + l2 + 10, 10 );
ctx. stroke ( );
}
}
```

用户只需要填写网页表格里面的参数,软件会

自动获取用户填写的参数,输入到绘图函数中,页面就可以根据用户输入的参数生成路基横断面图,用户修改参数,路基横断面图也会动态地修改。例如当 $l_0 = 100\text{ mm}$, $l_1 = 10\text{ mm}$, $l_2 = 10\text{ mm}$, $a_1 = 20\text{ mm}$, $a_2 = 30\text{ mm}$, $b_1 = 20\text{ mm}$, $b_2 = 40\text{ mm}$ 时,网页生成的图片如图 3 所示。



图 3 路基横断面图

(3)设置绘制属性。设置 material、cornerType、outline、outlineColor 等属性,改变部件的显示颜色贴图、转角形式、轮廓线及轮廓线颜色等。

(4)使用 Cesium 函数开始绘制。使用 viewer.entities.add 函数,依据设定参数绘制路基的三维模型。

使用 PolylineVolume 参数化绘制路基的 JavaScript 主要代码如下:

```
var CenterLine = Cesium. Cartesian3.
fromDegreesArrayHeights(
    [lon1, lat1, hei1,
     lon2, lat2, hei2,
     lon3, lat3, hei3]); //构建公路中心线
var CrossSection = [new Cesium. Cartesian2(x1,
y1),
    new Cesium. Cartesian2(x2, y2),
    new Cesium. Cartesian2(x3, y3),
    new Cesium. Cartesian2(x4, y4)]; //构建路
基横断面
var Road = viewer. entities. add({
    id: xxx,
    name: xxx,
    PolylineVolume: {
        positions: CenterLine,
        shape: CrossSection,
        cornerType: Cesium. CornerType.
ROUNDED,
        material: Cesium. Color. WHITE. withAlpha
(0.5),
        outline: true,
        outlineColor: Cesium. Color. BLACK
```

}

}); //构建路基三维模型

上述代码中 [lon1, lat1, hei1, lon2, lat2, hei2, lon3, lat3, hei3] 表示依次用经度、纬度和高程表示一组公路中心线坐标点,此处只列举了 3 个点,点的个数由路基中心线采用几个点拟合而成决定,若由多个点拟合,可依次添加多个点。代码 [new Cesium. Cartesian2(x1, y1), new Cesium. Cartesian2(x2, y2)] 表示依次用一组平面直角坐标系下的点(x, y)来拟合截面形状。代码 viewer.entities.add 可以存储 id、name 以及更多的属性信息,这些属性与路基部件绑定。在 PolylineVolume 对象中,positions 属性指定了轴线坐标,shape 属性指定了截面形状,cornerType 属性指定了转角类型,material 属性制定了绘制的颜色或者贴图文件,outline、outlineColor 属性赋值是否显示轮廓及轮廓颜色。代码运行后,即可绘制所设定的路基部件,并将返回 entity 对象存储在变量 Road 中。采用不同的参数绘制的路基模型效果如图 4~5 所示。

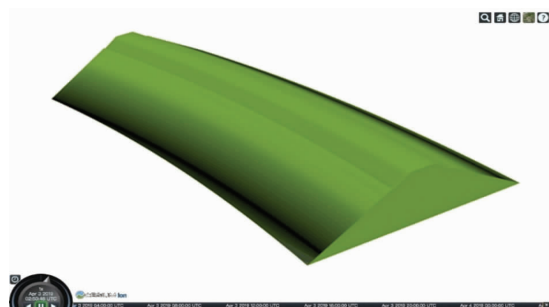


图 4 填方路基三维模型

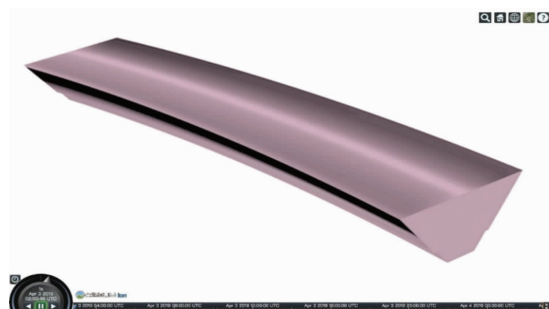


图 5 挖方路基三维模型

5 结论

针对传统建模方法速度慢且无法满足自动批量建模的需求,本文基于 Cesium 平台,研究了路基的参数化建模方法,具体如下:

(1)利用开源的 JavaScript 地图引擎 Cesium,基于 Cesium API 进行二次开发,通过 PolylineVolume 实现了路基横断面和公路中心线的快速生成,继而实现了路基三维模型的快速构建;

(2)利用 JavaScript 编码设计了路基标准横断面参数设计的界面,通过直接输入参数建立路基标准横断面,实现了路基标准横断面的参数化构建。

参考文献

- [1] 丁建明,程建川,李方.德国道路设计软件 CARD/1 系统[J].国外公路,1997(5):19-22.
- [2] 许相宜.Inroads、纬地及 Civil 3D 软件在三维道路设计中的应用[J].黑龙江水利科技,2015,43(10):23-24.
- [3] 顾风华.InRoads 在公路工程前期规划中的应用[J].交通与计算机,2001(2):18-20.
- [4] 朱照宏.公路计算机辅助工程[M].北京:人民交通出版社,2000.
- [5] 余金巧,李伟.Eagle point 设计软件在公路工程中的应用[J].葛洲坝集团科技,2014(3):48-49.
- [6] 马敬昭.Eagle Point 软件的应用—海外工程绘图软件[J].城市建设理论研究(电子版),2014,(26):1300-1302.
- [7] 陈嘉庚.浅析 Eagle Point 在非洲工程建设上的应用[J].城市地理,2016,(20):135-135.
- [8] 潘兵宏,许金良,杨少伟,等.公路三维建模应用研究[J].西安公路交通大学学报,2001(1):49-51.
- [9] 曾勇.基于 NURBS 的公路三维建模技术研究[D].东南大学,2005.
- [10] 周明智,周振红.利用 ArcGIS 进行公路路线的三维建模[J].郑州大学学报(工学版),2008(2):77-79+91.
- [11] 张毅,闫利,崔晨风.地面三维激光扫描技术在公路建模中的应用[J].测绘科学,2008(5):100-102.
- [12] 杨锡鏊,周翠英.基于 ANSYS 与 OpenGL 的高速公路结构物仿真建模及三维地层地表修剪方法[J].岩土力学,2010,31(2):571-576.
- [13] 潘荣江,高孝洋,关防利,等.基于平面设计图的高速公路三维建模[J].系统仿真学报,2012,24(1):17-19+39.
- [14] 孙伟利.基于车载 LiDAR 技术的公路三维建模与应用[D].首都师范大学,2013.
- [15] 张波.基于 CATIA 软件的道路三维建模方法[J].土木建筑工程信息技术,2016,8(1):71-74.
- [16] 高云成.基于 Cesium 的 WebGIS 三位客户端实现技术研究[D].西安电子科技大学,2014.
- [17] 邓学钧.路基路面工程(第二版)[M].北京:人民交通出版社,2005.

Roadbed Parametric Three-Dimensional Modeling Method Based on Cesium

Jing Qianjing¹, Wu Daqing², Xu Bangshu³, Li Liang², Li Zhiqiang²

- (1. Shandong Provincial Architectural Design & Research Institute Co., Ltd., Jinan 250001, China;
2. The Fifth Project Co., Ltd. of China Railway Bureau 14 Group, Yanzhou 272117, China;
3. School of Qilu Transportation, Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract: In the process of three-dimensional visualization of highway, because the number of roadbed is large and the size is different, the traditional three-dimensional modeling method of subgrade needs a lot of manpower and time, so the research of three-dimensional parametric modeling method of roadbed based on Cesium is carried out. Through analyzing the parametric modeling method of Cesium, the secondary development is carried out based on Cesium API. The rapid generation of roadbed cross section and highway center line is realized by Polyline Volume function, and then the rapid establishment of roadbed three-dimensional model is realized. In order to facilitate the inspection and modification of roadbed cross-section design scheme, the interface of roadbed standard cross-section parameter design is designed by JavaScript coding. The standard cross-section of roadbed can be established by directly inputting parameters, thus realizing the rapid establishment of roadbed standard cross-section. The research results can provide decision-making basis for traffic planning departments in highway route selection and other aspects.

Key Words: Cesium API; Parametric Modeling; Three-Dimensional Model of Roadbed; Three-Dimensional Visualization