

基于 Cesium 实现数字露头实景三维模型地层要素标绘

凌嘉扬, 陈建华, 王炳乾, 王帅琪, 吴玉清, 周文峰

(成都理工大学 地球物理学院, 成都 610059)

摘要: 地质露头在地质研究中极为重要,但其研究现状是不同地质研究人员对同一地质露头分多批次进行实地踏勘,各自进行的工作之间重复性过高但关联性不够,这样导致传统地质露头研究方式既耗费大量财力精力且效率不高。随着 Web 技术和实景三维建模技术的发展,在 Web 环境下开展数字露头实景三维模型研究与应用逐渐成为当前的研究热点,也使得在线数字露头研究成为了可能。同时,地层研究也是地质露头研究中的一个重要组成部分。因此,笔者面向 Web 环境,针对地层要素这一要点,研究了基于 Cesium 进行数字露头三维模型地层要素标绘的方法,通过调用和扩展 Cesium 库,设计了一套基于地层标绘线、面与文字的完整标绘方法,并详细阐述了其工作流程。以陕西府谷悬空寺露头为例,进行了一系列地层要素标绘,标绘效果较好。研究表明,笔者提出的针对数字露头的三维模型地层要素标绘方法具有标绘准确、高效、易用的特点,可以满足专业地质研究人员的工作需求,并对地质露头研究具有较大帮助。

关键词: 数字露头; Web; Cesium; 底层要素; 标绘方法

中图分类号: P618.13

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1001-1749.2024.05.13

0 引言

地质露头作为揭示地质活动、地壳变动以及岩层分布的重要地质对象,一直是各类地质研究的重中之重^[1]。但是在实际调查中,部分剖面地处偏远,所处位置地理条件差,如戈壁、悬崖、陡坡等,所以进行实地勘探时需要耗费一定的人力与财力,同时也需要承担一定的考察风险^[2]。但是近年来,随着现代网络通信技术的发展,WebGIS 也发展迅速,以地理资源信息作为基础服务的网络逐渐成为当前主流服务模式^[3]。在此基础之上,Cesium 作为一个开源的 JavaScript 前端地理信息三维框架,逐渐进入了人们的视野,广泛应用于各种二、三维空间地理信息数据可视化领域。Cesium 支持绘制点、线、面、体等几何图形,包括基于颜色、形状的自定义设置,也支

持和鼓励开发人员对其核心功能进行扩展。因此,以 WebGL 为平台设计一套能够让广大地质学者在线进行地质研究,而不用亲临现场进行调研的方法成为可能^[4]。而数字露头地层要素标绘又是数字露头研究中的一个重要组成部分。经过各方面的调研,目前已经存在少量的基于此方法的标绘方法,但它们还存在的一些局限性,主要体现在以下一些方面:

1) 进行数字露头研究时需要进行贴合模型线与面的标绘。而现有主流三维地图软件的线、面和文字的标绘只适用于贴合地形的情形,不太适用于贴合模型的情形,当绘制地层标绘线、面与文字时,不能达到理想的效果^[5]。

2) 现有主流三维地图软件主要聚焦于三维展示^[6],缺乏一些进行数字露头研究时经常需要的功能,例如通过选中两条已经确定的岩层线自动填充其中包围的贴合模型的岩层面的功能,以及选中某

收稿日期: 2023-04-19

基金项目: 国家科技重大专项项目课题(2016ZX05050005)

第一作者: 凌嘉扬(1998—),男,硕士,主要从事数字露头实景三维平台应用研究,E-mail: ljj_gis@163.com。

条地层标绘线后对其进行继续绘制的功能。

3) 缺乏动态渲染标绘的功能^[7], 例如在视点与模型距离改变时, 线段粗细与文字大小的改变, 以期达到最佳模型与标绘的展示效果。冷烁等^[8]基于开源技术构建了城市地理信息平台, 但是随着视点的改变, 有时会出现展示信息与模型整体展示效果不佳的情况。

4) 关艳玲等^[9]提出了地层标绘要素的数据组成形式。但是地层标绘要素类型不完全, 并且没有形成一种能够快速、准确保存与读取一整套各类型地层标绘要素并能在模型上高效展示的方法。

因此, 笔者基于 Cesium 设计了一套在线三维可视化标绘操作方法, 可以在其上进行自定义属性点、线、面的标绘以及文字的标记, 并且对已完成的标绘进行编辑, 同时也扩展了部分数字露头研究中常见的功能。完成一套标绘之后也可以对其进行保存, 并且在重新加载模型后加载对应的历史标绘记录, 从而继续进行上一次的标绘操作。笔者设计的方法丰富了 WebGIS 在地质领域的应用, 同时也为野外露头数字化提供了方法支撑。

1 研究方法

1.1 WebGL 技术与 Cesium

随着 WebGIS 的迅速发展, WebGL 技术也日趋成熟。WebGL 技术为众多网页端用户构建三维图形场景提供了良好的基础工具, 其基于 OpenGL ES 2.0 提供了三维场景图像的应用程序接口, 可使用基于 HTML5 Canvas 的接口, 并允许利用文档管理对象中的模型接口及部分 JavaScript 库等实现自动化的内存流量管理功能^[3]。目前, 常用浏览器大多都支持 WebGL 技术。相较于其它类似技术, WebGL 与浏览器良好的兼容性为三维场景的构建

提供了较好的条件, 即用户无需安装额外插件, 这对提高用户体验具有重要作用^[10]。该技术已经在国内外被广泛地应用于网络三维场景的漫游与交互^[11], BIM 与 GIS 的结合^[12], 实时三维场景监控等方面^[13]。

因此, 笔者设计了以下结构为基础的数字露头三维模型标绘方法, 即基于 Cesium 框架的浏览器表现层、Web 服务器和 GIS 服务器组成的服务层和 My SQL 数据库和 GIS 数据组成的数据层。其中, Cesium 又由包括一些基本的数学原理及模型算法的核心层、基于 WebGL 引擎进行图形渲染的渲染层、展示静态的场景元素的场景层和用来描述时间的动态场景元素的动态场景层组成^[14]。

为了提升网页端三维数字露头模型的渲染效果和渲染效率, 通常采用的是 3D Tiles 模型结构。3D Tiles 是在 GLTF 数据结构基础上加入了分层细节层次模型结构后得到的三维瓦片模型数据结构, 是一种用于流式传输大规模异构 3D 地理空间数据集的开发规范, 可以渲染大规模空间地理模型, 是 WebGL 技术中高效、优秀的三维模型数据结构。一个独立的 3D Tiles 模型文件由一个 tileset.json 文件和至少一个 tile 构成, 而 tile 的具体内容为 bd3m、i3dm、pnts、vctr、cmpt 中的一种, 其中 b3dm 和实例化三维模型 i3dm 基于 GLTF 构建, 而这两者也是在 3D Tiles 模型中真正被调用的专属的模型文件^[15]。

Cesium 支持自定义形状与属性的点、线、面、体等几何图形绘制的同时也支持和鼓励开发人员对其核心功能进行扩展^[3]。因此笔者结合地质研究者的实际工作需要, 对 Cesium 库的相应部分进行二次开发, 设计了一套数字露头三维模型标绘方法。

1.2 地层要素标绘方法

基于 WebGL 通过 Cesium 实现数字露头三维模型标绘的方法如图 1 所示。其实际工作流程主要分

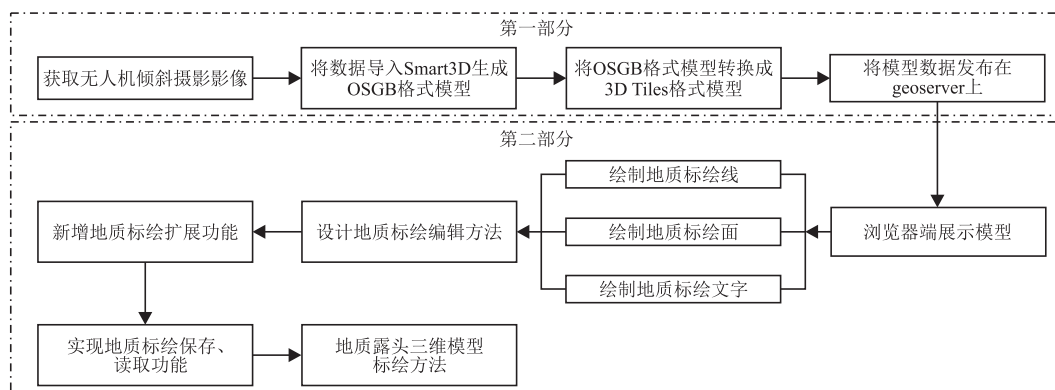


图 1 基于 Cesium 实现数字露头三维模型标绘的方法

Fig. 1 The method of based on Cesium to realize the plot method of geological outcrop 3D model

为两大部分:第一部分,数字露头三维模型的搭建与展示;第二部分,各类地层标绘功能的实现。

笔者研究的重点是生成自定义属性的贴合模型的地层标绘线、面与文字,并能对其进行适当的编辑以及一些常规的操作,最后能以一种数据格式高效、快速地保存和加载这些地层标绘信息。以下是各部分功能的具体技术原理:

1)数字露头三维模型的搭建与展示

数字露头三维模型的精度与渲染速度对地质研究学者的体验感尤为重要。笔者将无人机倾斜摄影影像以及拍摄该影像时的无人机相机参数一一对应地输入 Smart 3D 软件中,然后进行空中三角计算,检查后生成 3D Tiles 格式的三维模型数据,并将其发布在地理空间服务器上^[16]。浏览器便可通过该路径、WebGL 以四叉树的形式高质量、高速率地分

级展示这一模型。

2)线标绘功能的技术原理

常规绘制地层标绘线的思路是先通过点击模型获取这条线段的节点,再将节点依次连接起来形成目标线段,但是这样会导致目标线段穿过模型。因此笔者设计了一套流程如下:首先通过点击模型确定目标线段的节点,并获得这些点的二维屏幕坐标;其次进行适当距离的等距插值,获取两个相邻节点中间各个插值点的二维屏幕坐标;然后通过 pickPosition 方法得到所有点在当前视角下二维屏幕坐标所对应的三维笛卡尔坐标,其原理是求取通过该点并且沿着视线方向的射线与模型的交点,如图 2 所示;最后将这些点依次连接起来,得到一条近似贴合模型的线段,整体工作流程如图 3 所示。

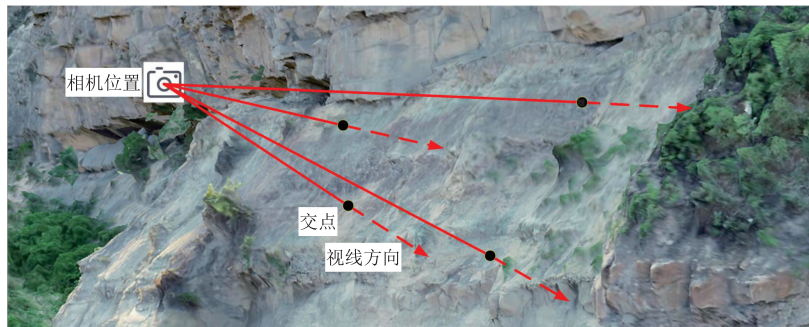


图 2 获取贴合模型点的原理

Fig. 2 The principle of getting the point of fit model

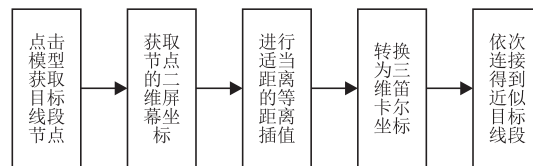


图 3 绘制地层标绘线的工作流程

Fig. 3 The workflow of plotting stratigraphic lines

3)面标绘功能的技术原理

常规绘制地层标绘面的思路也是先通过点击模型获得面的边界点,再将各个边界点按照点击的顺序连接起来包围形成目标面,但是这样同样会导致目标面穿过模型。如果按照上述绘制地层标绘线同样的方法绘制,也将只会得到边界贴合模型但内部穿过模型的面。因此笔者提出了另外一种解决方案,即以边界点围城的面为底、沿视线方向延伸一定长度的线段为高生成一个求交柱体,该求交柱体与模型面的相交面即为目标面,其原理如图 4 所示。

但是 Cesium 并没有提供生成任意几何体的方法,只提供了高垂直于地面的几何体的生成方法,因此需要通过一系列几何变换得到目标求交几何体,其过程如图 5 所示。

因此获得目标面的总体流程如下:首先通过点击模型确定目标面的边界点,并获得这些点的二维屏幕坐标;其次通过 pickPosition 方法将这些点与模型求交,得到在当前视角下二维屏幕坐标对应的三维笛卡尔坐标;然后通过 Camera 类的 pitch 值获取当前视线的俯仰角,并将这些点全部以第一个点

为中心点并以 Camera 类的 pitch 轴为旋转轴旋转负的俯仰角的度数;之后便可以通过 PolygonInstance 类生成以旋转后的这些点为底、高垂直于地面的几何体;

再将生成的立方体旋转回去便可以得到目标求交柱体;最后使用 ClassificationPrimitive 类将求交柱体与模型进行求交得到目标面,整体工作流程如图 6 所示。

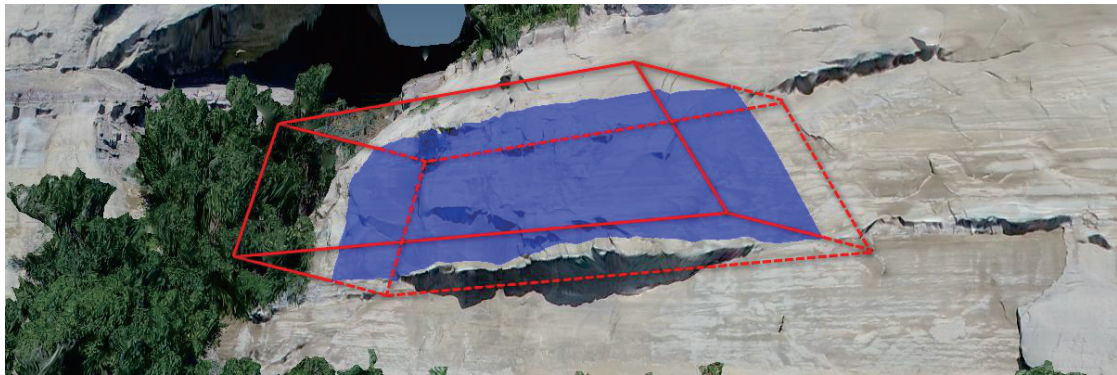


图 4 绘制地层标绘面的原理

Fig. 4 The principle of plotting stratigraphic surfaces

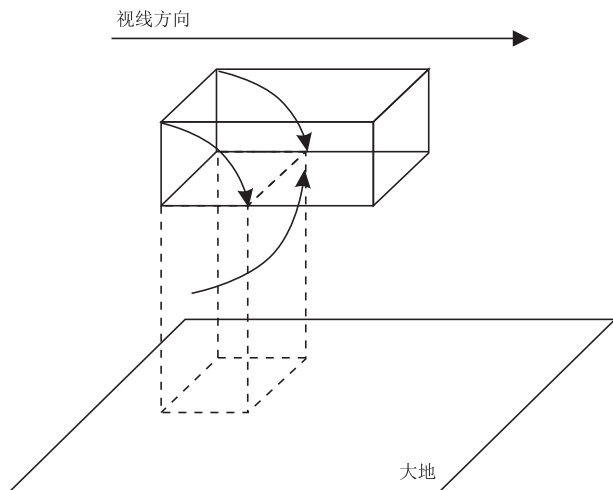


图 5 几何变换得到求交柱体过程

Fig. 5 The workflow of getting the intersecting cylinder by geometric transformation

4) 文字标绘功能的技术原理

本方法生成地层标绘文字的思路同样是先通过点击模型获取这段文字的中心点,再结合所设置的文字大小和所设定文字间距计算出所有文字的位置,这里采用的是字间距为 1 倍字体大小的方案。但是通过这种方法生成的文字大小始终不变,拉远模型后会影响到数字露头的整体观察效果。因此还需要实现随着视点远离,文字逐渐变小的功能,所以计算所有文字的位置时也需要考虑当前视点与模型中心的距离:视点距模型中心越远,文字大小越小,文字间距也会等比例缩小,其原理如图 7 所示。

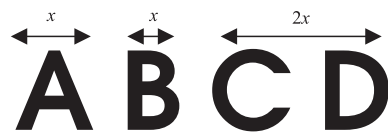


图 7 计算文字二维坐标的原理

Fig. 7 The principle of calculating two-dimensional coordinates of the text

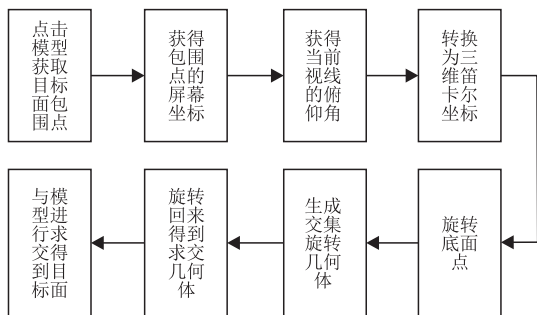


图 6 绘制地层标绘面的工作流程

Fig. 6 The workflow of plotting stratigraphic surfaces

生成目标文字的完整流程如下:首先通过点击模型确定文字的中心点,并获得其二维屏幕坐标;其次根据所设置的文字的大小以及当前视点与模型的距离,计算出所有文字的二维位置;然后通过 pick-Position 方法得到这些文字在当前视角下二维屏幕坐标对应的三维笛卡尔坐标,并在模型上对应位置显示出来;最后使用 scaleByDistance 属性绑定不同视点与模型距离时文字的缩放比率,其整体工作流程如图 8 所示。

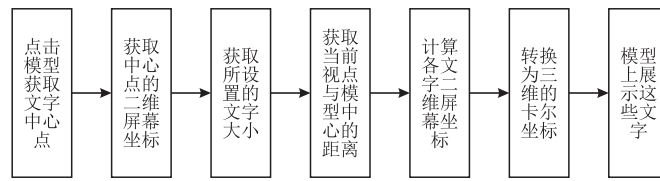


图 8 生成地层标绘文字的工作流程

Fig. 8 The workflow of generating the stratigraphic texts

5) 标绘编辑功能的技术原理

当完成某项标绘过后,可能对其进行修改,因此笔者增加了编辑功能,可以对已完成的标绘进行几何和属性上的修改。在选中将要编辑的标绘过后,可以通过拖动其几何点进行几何修改;也可以进行属性修改,包括修改线的颜色、透明度、粗细和类型,面的颜色和透明度,文字的文本内容、颜色、透明度和大小。其主要思路是在生成标绘时,会根据当前时间为该标绘生成一段唯一标识码,然后当选中某一标绘时,会通过 pick 方法确定该标绘并读取到其

标识码,最后便可通过该标识码确定该标绘的标绘信息,以便进行修改。进行属性修改时只需要修改对应标绘的属性值;而在展示界面上拖拽点进行几何修改时,需要使用 CallbackProperty 类实时监听各点的坐标,并在执行拖拽动作时实时更新对应的存储点坐标的 positions 数组。同时,该方法也具有撤销功能,可以撤销该标绘的上一步操作或者是将该标绘撤销到历史的某一步操作,具体操作是将存储各点坐标的 positions 数组删除最后一个元素或删除到指定元素个数,其原理如图 9 所示。

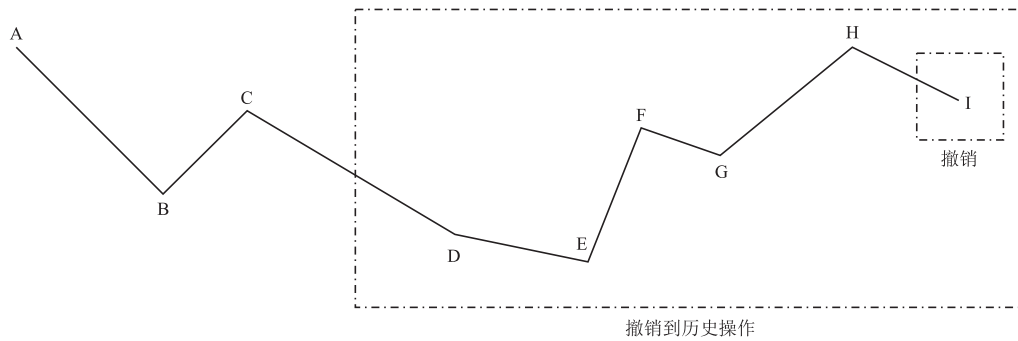


图 9 两种撤销方式的工作原理

Fig. 9 The principle of two ways to undo

6) 其它标绘功能的技术原理

针对数字露头研究的常见需求,笔者还新增了以下两种功能。其一是通过选择两条地层标绘线生成其间贴合模型的地层标绘面。由于两条线的绘制方向有可能相同或相反,在生成 positions 数组时,

首先获取两条线段首尾相连的向量,然后获取两者夹角的余弦,若其大于等于 0,则将第一条线存储点坐标的 positions 数组与第二条线的 positions 数组的翻转拼接起来作为求交柱体的 positions 数组;若其小于 0,则直接拼接两者作为求交柱体的 positions

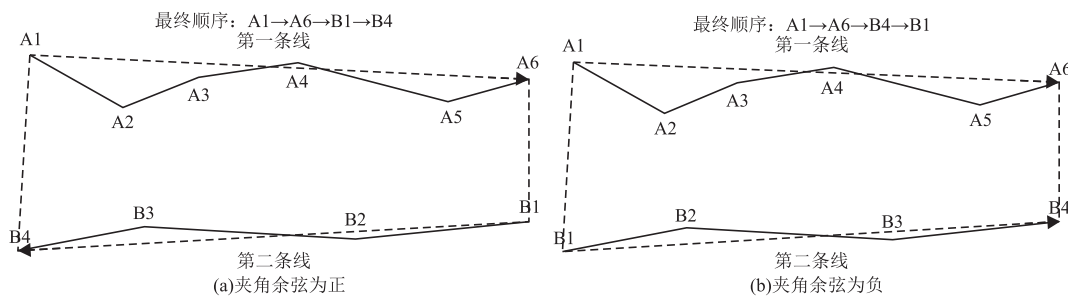


图 10 选线成面的工作原理

Fig. 10 The principle of selecting lines to generate surfaces

数组,后续步骤与绘制地层标绘面一致,其原理如图 10 所示。其二是对已完成的线标绘进行继续绘制,其主要思路是将存储点坐标的 positions 数组新增延长线的点坐标,后续步骤与绘制地层标绘线一致,其原理如图 11 所示。

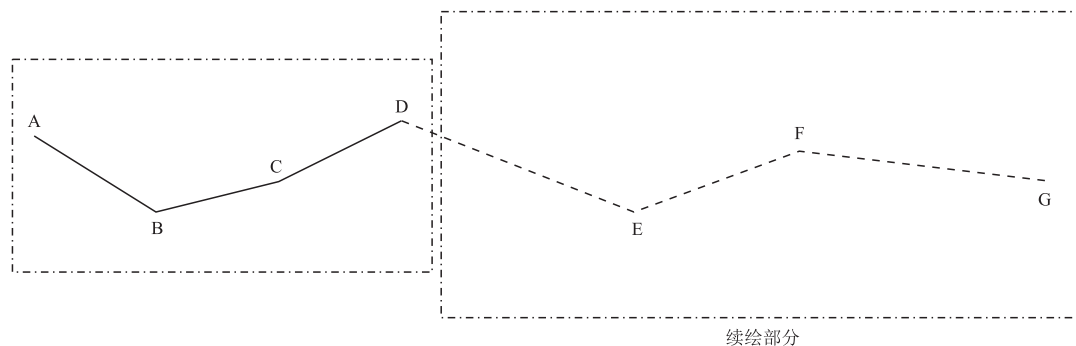


图 11 断点续绘的工作原理

Fig. 11 The principle of continuing plotting

2 实例分析

2.1 数字露头三维模型构建

实验对陕西府谷悬空寺露头剖面进行无人机倾斜摄影数据采集,该露头出露良好,由东北向西南延伸,长度约 350 m,海拔约为 70 m,由八个地层组

为了进一步满足地质研究学者的科研需要,我们还添加了标绘的保存与读取功能。笔者采取的存储标绘信息的方式是将其存储在 JSON 格式的文件中,该 JSON 文件里面存储的是一个对象数组,其中的每一个对象代表一个标绘。

成^[17]。将影像数据导入 Smart 3D 最终得到 OSGB 格式的三维模型数据文件,并用 osg2cesiumApp 将其转换为 3D Tiles 格式,最后将其发布在地理空间服务器上。浏览器便可以通过 WebGL 访问其地址并完整、高效地分级展示整体模型,其效果如图 12 所示。



图 12 浏览器整体展示模型效果

Fig. 12 The effect of displaying the whole model by browser

2.2 各类标绘功能的实现

进行地层标绘线的绘制时首先要选择线的颜色、透明度、粗细和类型,然后点击模型确定目标线段的节点,最后结束绘制。完成线的绘制过后,可以选中该标绘,在展示界面拖拽其几何节点进行几何修改,或者进行特定的属性修改,最后结束修改。

1) 地层标绘线

地层标绘线的标绘绘制如图 13(a)所示,绘制编辑如图 13(b)所示。笔者还为地层标绘线添加了继续绘制功能,选中该地层标绘线并选择继续绘制功能后可执行该操作,其后续操作与绘制地层标绘线操作一致,如图 13(c)所示,最终展示结果如图 13(d)所示。

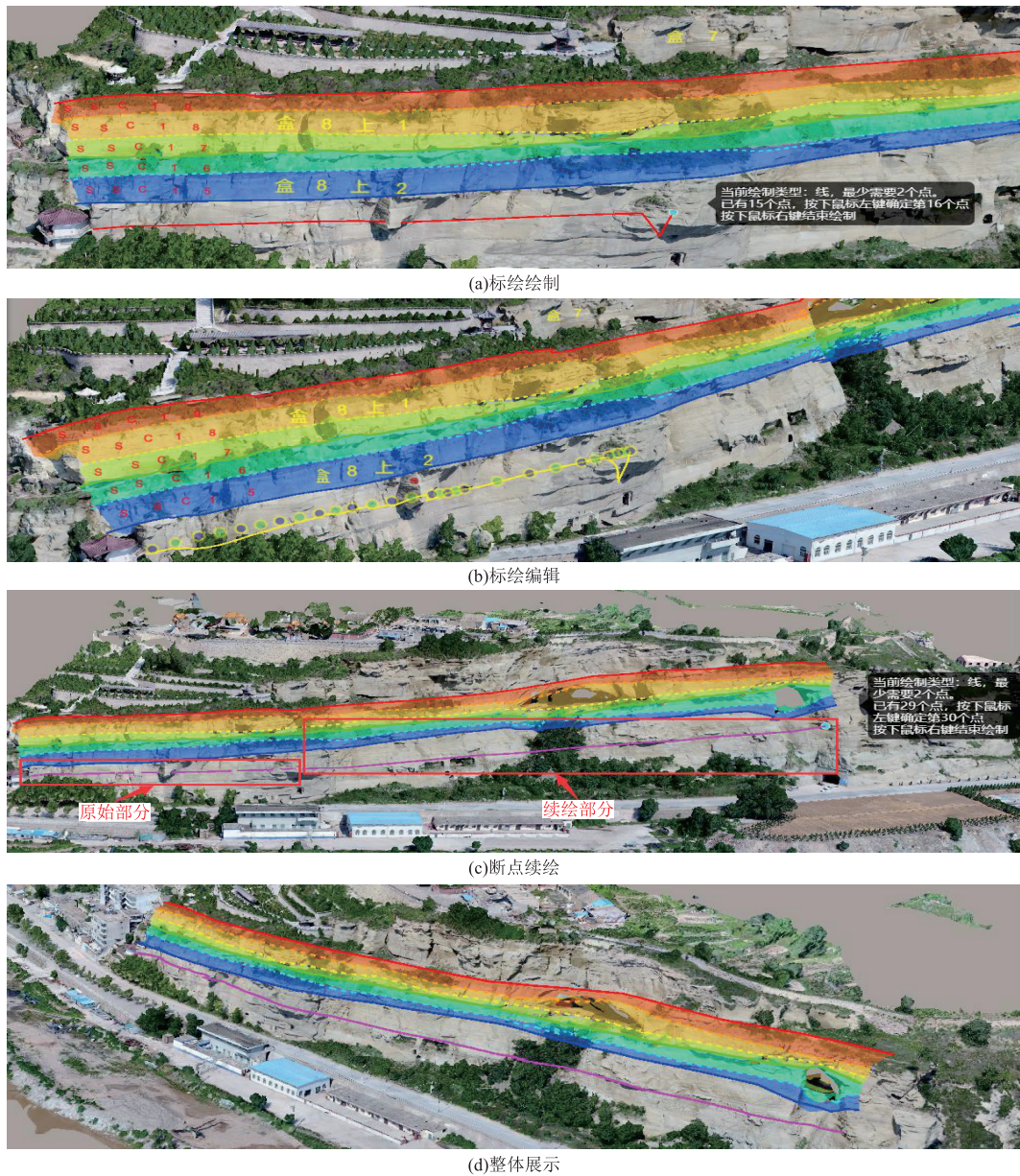


图 13 地层标绘线操作
Fig. 13 Stratigraphic plotting line operation

2) 地层标绘面

地层标绘面的绘制操作与上述操作类似,首先要选择面的颜色和透明度,然后点击模型确定目标面的包围点,最后所有的点依次连接包围起来形成目标面。完成地层标绘面标绘过后,同样可以以相同的方式在展示界面进行几何修改,或者进行特定的属性修改,最后结束修改。地层标绘面的标绘绘制如图 14(a)所示、绘制编辑如图 14(b)所示。

根据两条岩层线生成其中包围的岩层面也是在

数字露头研究中常见的需求,因此笔者也添加了这一功能。其操作流程为:首先选中两条待生成面的标绘线,然后选择目标面的颜色和透明度,最后结束选中。该方法便将两条标绘线的节点按顺序作为目标面的包围点,再以与上述同样的方式生成贴合模型的地层标绘面,如图 14(c)所示,其编辑操作与地层标绘面的编辑操作一致,最终展示结果如图 14(d)所示。

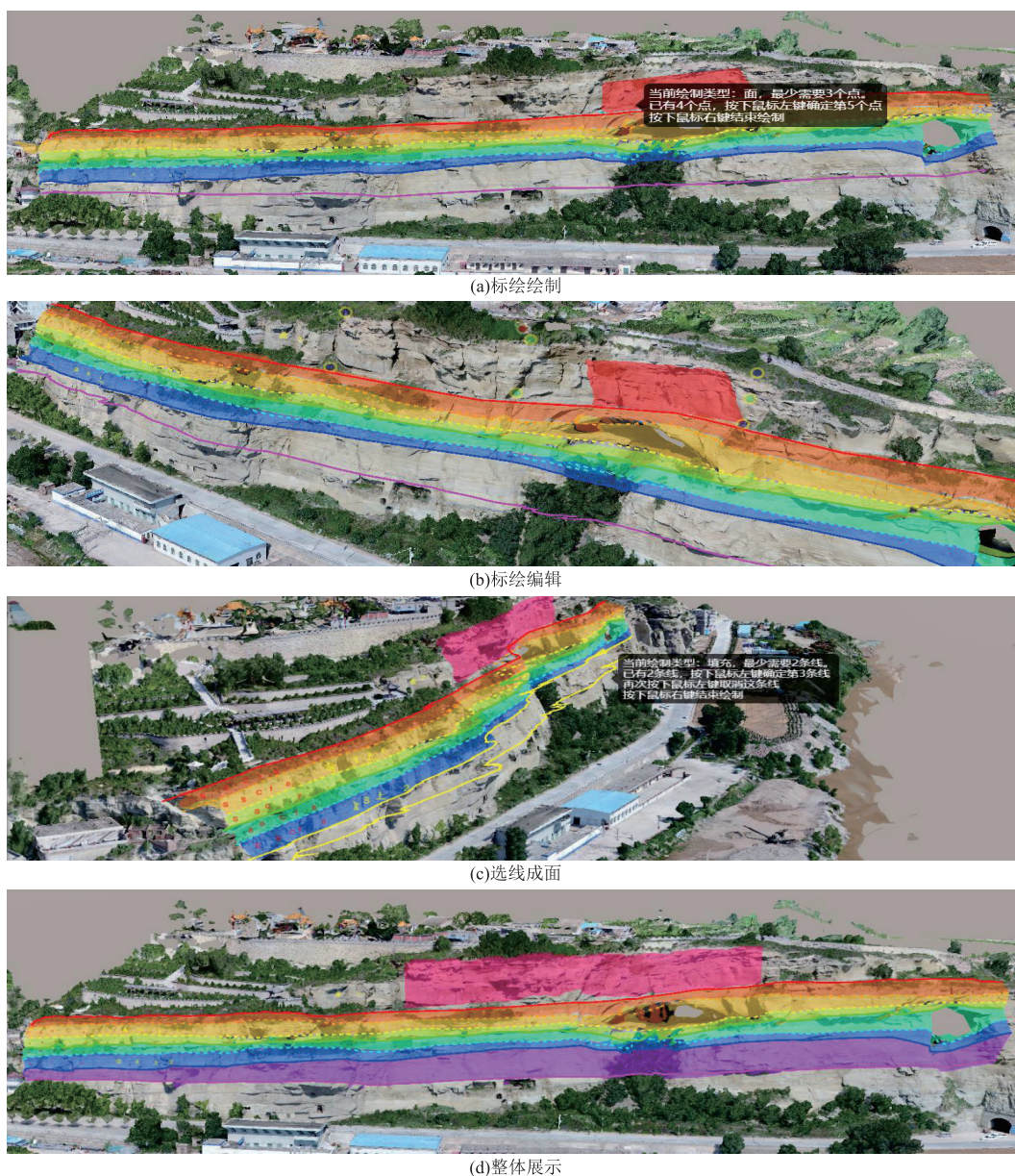


图 14 地层标绘面操作

Fig. 14 Stratigraphic plotting surface operation

3) 地层标绘文字

生成地层标绘文字的操作如下: 首先选择文字的颜色、透明度和大小, 然后输入文字的具体内容, 最后点击模型确定文字的中心点, 便能在模型上展示所输入的文字。地层标绘文字的编辑方式与上述的编辑方式稍有不同, 可以在展示界面选中单个文字后, 在展示界面拖拽修改其几何位置或者修改其属性; 也可以在文字标绘列表中选中该标绘进行整体属性修改, 如果这时文字内容的长度发生改变, 该

方法还会重新计算每个文字的位置。地层标绘文字的标绘绘制如图 15(a) 所示, 绘制编辑如图 15(b) 所示, 最终展示结果如图 15(c) 所示。

完成一整套标绘过后, 可以将其保存在 JSON 格式的文件中。其本质是一个对象数组, 其中每一个对象代表一个标绘, 包含了该标绘的几何信息与标绘名称、标绘类型、颜色、透明度等属性信息。下次打开对应模型并进入标绘功能后, 会加载上一次保存的标绘内容, 以便继续进行标绘操作。

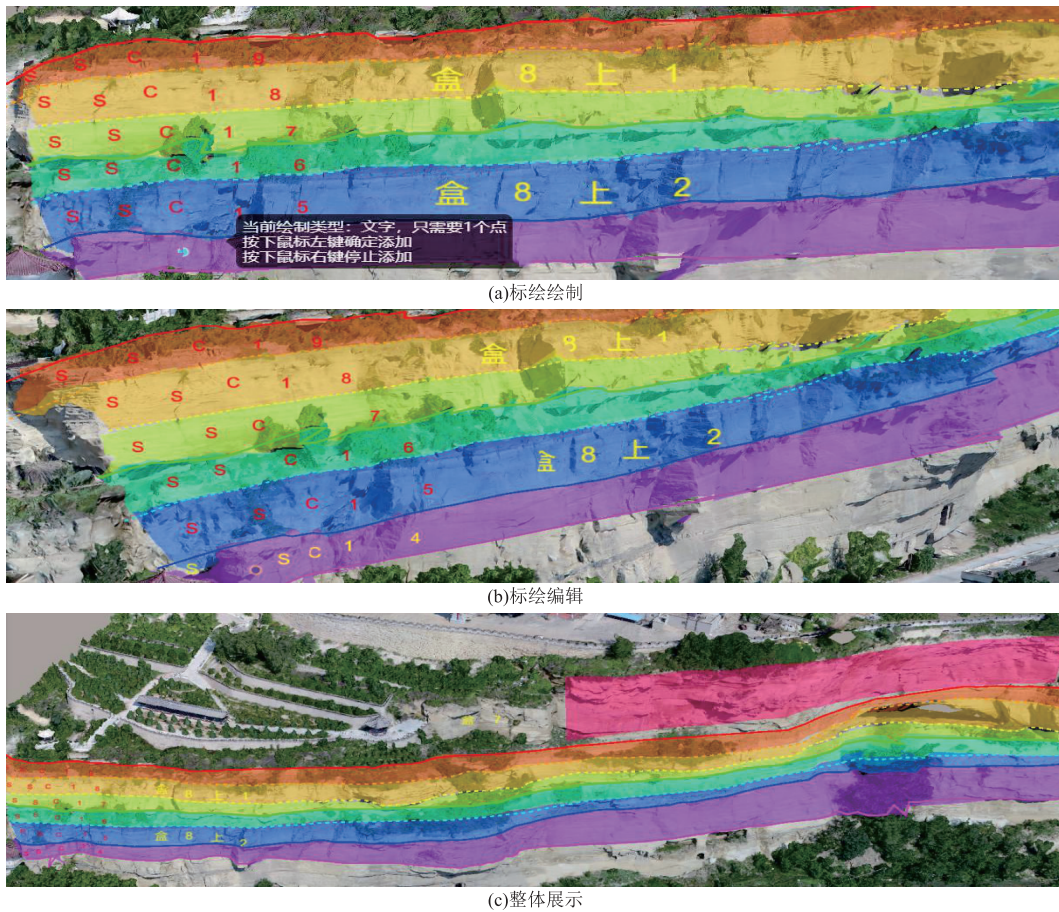


图 15 地层标绘文字操作

Fig. 15 Stratigraphic plotting text operation

3 讨论

通过设计数字露头三维模型标绘方法并且对鄂尔多斯盆地西缘的悬空寺剖面进行一整套流程操作,发现与传统的地质露头研究相比,利用该方法进行数字露头研究具有以下优势:

1)降低了地质露头研究的复杂性。在线地层要素标绘可以让地质工作者对露头有个直观、整体的认识,减少了野外工作量。

2)降低了地质露头研究的重复性。地质研究学者可以使用该方法直接复用前人的工作,避免进行重复性的研究,提升了地质研究的效率。

3)提升了地质露头研究的灵活性。地质研究学者可以直接、直观地观看到地质露头的整体结构,也可以详细地观察到地质露头的细节分层。

4)提高了地质露头研究的便捷性。该方法具有地质研究需要的大部分功能,地质研究学者可以直接在其上完成大部分的地质露头研究工作。

此方法也存在一定的局限性,主要有三个方面:

1)绘制地层标绘线时,采用的是插值的方法,其本质是将很多条短直线线段相连来拟合曲线,并不是完全贴合模型的线。

2)绘制地层标绘面时创建求交柱体的过程稍显复杂,可以尝试简化其步骤。

3)当绘制的内容经过植被时会直接在其上绘制,最终导致呈现的效果不好,也不能满足数字露头研究的要求。

对于上述三个问题,笔者提出了后续将要改进的方案:

1)可以仿照绘制地层标绘面的方法,以选中的几个模型点作为底,设定的线宽作为高生成求交柱

体,最终得到完全贴合模型的“线”。

2)接下来可以进一步深入研究 Cesium 源代码文档中的 clampToGround 方法,仿照其实现向视线方向投影生成求交柱体的方法,并直接与模型面相交生成贴合模型的线与面。

3)该方法可以结合植被去除的方法,在植被剔除之后再行贴合模型的线、面和文字的标绘操作。

4 结论

笔者提出了一种基于 Cesium 实现数字露头实景三维模型地层要素标绘的方法。将无人机倾斜摄影影像导入 Smart 3D 进行数字露头实景三维模型构建,并将其转换为 3D Tiles 格式后发布在地理空间服务器上,地质研究学者便可以在浏览器上通过 WebGL 访问该路径,并且清晰、流畅地观察到数字露头模型的整体结构。该方法避免了传统地质露头研究地质学者必须通过实地踏勘进行地质露头研究的问题。同时,针对同一模型,地质研究学者可以清晰、直观地查看到前人对此模型的研究成果,并进行进一步的研究与学习,大大提升了工作效率。在此基础之上,笔者通过调用并且扩展 Cesium 库中的 Polyline 类、ClassificationPrimitive 类、PolygonInstance 类和 Label 类实现了地层标绘线、面和文字的绘制以及选中两条地层标绘线后生成其包围的贴合模型的地层标绘面和继续绘制选中的地层标绘线的功能。其中,标绘的线段粗细和文字大小还会根据当前的视点距离和视角方向做出相应的调整。该方法中的各类标绘功能可以基本满足地质学家进行地质露头研究的需要。

参考文献:

- [1] 万剑华,刘汝涛,刘善伟,等.基于消费级无人机的地质露头三维建模技术研究[J].地理信息世界,2019,26(5):96-100.
WAN J H, LIU R T, LIU S W, et al. On 3D modeling of geological outcrop based on consumer UAVs [J]. Geomatics World, 2019, 26(5): 96-100. (In Chinese)
- [2] 印森林,陈恭洋,刘兆良,等.基于无人机倾斜摄影的三维数字露头表征技术[J].沉积学报,2018,36(1):72-80.
YIN S L, CHEN G Y, LIU Z L, et al. 3D digital outcrop characterization technology based on unmanned aerial vehicle oblique photography[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2018, 36(1): 72-80. (In Chinese)
- [3] 杨菁,陈冰凌,王文鹏,等.基于 Cesium 的三维可视化场景建设及发布技术的研究[J].测绘通报,2021(增刊1):50-53.
YANG J, CHEN B L, WANG W P, et al. Research on 3D visualization scene construction and publishing technology based on cesium[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2021(Suppl 1): 50-53. (In Chinese)
- [4] WENG J N, WANG Y J, CAI H. Constructing a core framework of visual engine for Digital Earth system[J]. Science China Technological Sciences, 2010, 53(1): 38-43.
- [5] 张广波.面向倾斜实景模型的三维可视化平台建设技术研究[J].测绘通报,2021(增刊1):277-281.
ZHANG G B. Research on the construction technology of 3D visualization platform oriented to inclined reality model[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2021(Suppl 1): 277-281. (In Chinese)
- [6] 朱宏悦,陈彬,王小东,等.化工园区三维场景建模研究与实现[J].系统仿真学报,2018,30(12):4610-4617.
ZHU H Y, CHEN B, WANG X D, et al. Research and realization of 3D scene modeling in chemical industry park[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(12): 4610-4617. (In Chinese)
- [7] 周友生,倪慧珠,王杰栋,等.一种大场景 Web 三维注记可视化技术[J].测绘通报,2020(7):130-133.
ZHOU Y S, NI H Z, WANG J D, et al. A Web 3D annotation display technique in large scenes[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2020(7): 130-133. (In Chinese)
- [8] 冷烁,李孙伟,胡振中.基于开源技术的城市地理信息平台构建方法研究[J].图学学报,2020,41(6):1001-1011.
LENG S, LI S W, HU Z Z. Research on establishment of city geographic information platform based on open source technology [J]. Journal of Graphics, 2020, 41(6): 1001-1011. (In Chinese)
- [9] 关艳玲,左建章,黄永定.真三维地理信息系统中点状地理要素的表达与实现[J].测绘科学,2008,33(5):126-128.
GUAN Y L, ZUO J Z, HUANG Y D, et al. In the really three dimensional geographic information system the punctual feature's expression with realizes [J]. Science of Surveying and Mapping, 2008, 33(5): 126-128. (In Chinese)
- [10] 孙晓鹏,张芳,应国伟,等.基于 Cesium.js 和天地图

- 的三维场景构建方法[J]. 地理空间信息, 2018, 16(1): 65—67.
- SUN X P, ZHANG F, YING G W, et al. 3D scene construction method based on cesium. js and map world[J]. Geospatial Information, 2018, 16(1): 65—67. (In Chinese)
- [11] 刘爱华, 韩勇, 张小垒, 等. 基于 WebGL 技术的网络三维可视化研究与实现[J]. 地理空间信息, 2012, 10(5): 79—81.
- LIU A H, HAN Y, ZHANG X L, et al. Research and implementation on the Web3D visualization based on WebGL[J]. Geospatial Information, 2012, 10(5): 79—81. (In Chinese)
- [12] LU M Y, WANG X H, LIU X T, et al. Web based real time visualization of large scale weather radar data using 3D tiles[J]. Transactions in GIS, 2020, 25: 25—43.
- [13] 张永强, 王波, 申茂廷. 基于 Cesium 的 3DWebGIS 三维场景加载及开发[J]. 河南科技, 2021, 40(21): 8—10.
- ZHANG Y Q, WANG B, SHEN M T. 3D scene loading and development of 3dWebGIS based on cesium[J]. Henan Science and Technology, 2021, 40(21): 8—10. (In Chinese)
- [14] 窦世卿, 梁富翔, 徐勇, 等. 基于 Cesium 的地下三维管网 3D Tiles 模型构建与可视化[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(18): 7439—7446.
- DOU S Q, LIANG F X, XU Y, et al. The 3D tiles model building and visualization technology of underground pipe network based on cesium[J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(18): 7439—7446. (In Chinese)
- [15] CHEN J H, WANG B Q, WANG F, et al. Identification of outcropping strata from UAV oblique photogrammetric data using a spatial case—based reasoning model[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2021, 103: 102450.
- [16] AICARDI I, CHIABRANDO F, GRASSO N, et al. UAV photogrammetry with oblique images: First analysis on data acquisition and processing[J]. ISPRS—International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2016, 41B1: 835—842.
- [17] ZHAN W, CHEN Y, CHEN J. 3D tiles-based high-efficiency visualization method for complex bim models on the web[J]. International Journal of Geo-Information, 2021, 10(7): 476.

Achieve the real scene 3D model stratum element plotting of digital outcrop based on WebGL

LING Jiayang, CHEN Jianhua, WANG Bingqian, WANG Shuaiqi, WU Yuqing, ZHOU Wenfeng

(Chengdu University of Technology, College of Geophysics, Chengdu 610059, China)

Abstract: Geological outcrops play a vital role in geological studies. However, the current situation of geological outcrop research is that different geological researchers carry out field surveys of the same geological outcrop in multiple batches, and their work is too repetitive but not relevant enough, which leads to the traditional research method of geological outcrop spends a lot of financial resources and energy but low efficiency. With the development of Web technology and real scene 3D modeling technology, the research and application of digital outcrop real scene 3D models in the Web environment has gradually become the current research hotspot, making it possible to study geological outcrops online. Meanwhile, stratigraphic research is also a vital component of geological outcrop research. Therefore, facing the Web environment and aiming at stratum elements, this paper studies the method of plotting digital outcrop 3D model stratum elements based on Cesium, designs a complete plotting method based on stratum plotting line, surface, and text by calling and expanding Cesium library, and expounds its workflow in detail. This paper takes the outcrop of Xuankong Temple in Fugu, Shaanxi province, as an example to analyze the case and the three main work steps area as follows: ①Stratigraphic: plotting of lines, surfaces, and texts; ②The realization of some standard extended function of plotting stratum elements; ③Storage and reading of a complete set of stratigraphic plotting elements. Moreover, the case illustrates three advantages of this method: ①The model loading is precise and fast; ②The plotting stratigraphic element is accurate and easy; ③The storage and reading of stratigraphic plotting elements is efficient. Therefore, The results show that the 3D model mapping method for digital outcrops can meet professional geological researchers' work needs and greatly help the study of geological outcrops. This method is accurate, efficient, and easy to use.

Keywords: digital outcrop; Web; Cesium; formation elements; plotting method