

DEM在公路设计中的应用

张耀波

(安徽省基础测绘信息中心, 安徽合肥 230031)

摘要: 根据公路部门的实际工作, 利用数字高程模型这一新的数字地理信息产品, 采用空间分析的一些方法, 应用AML语言, 对公路设计和施工中断面图的绘制、挖、填方量的计算等一些实际问题进行探讨和实践, 并在此基础上构建了《宣芜高速公路设计应用示范系统》。

关键词: 数字高程模型; 地理信息系统; 公路设计
中图分类号: P208 **文献标识码:** A

1 引言

传统上的公路选线, 首先是利用航空摄影测量的方法获取设计道路区域地形数据, 然后在此数据基础上进行预料的道路的选线和工程量的计算, 接着, 公路设计人员再进行实地勘测, 才能具体地确定公路的设计位置。

为了促进 GIS 技术在公路设计中的应用, 加快全省公路现代化建设, 探讨 GIS 技术在公路设计实践中的作用和实际价值, 笔者与安徽省公路局合作, 对此进行了研究, 并研建了“宣芜高速公路设计应用示范系统”。该系统主要用于宣芜高速公路的可行性研究, 采用美国环境系统研究所 (ESRI, Environmental System Research Institute) 开发研制的地理信息系统软件 Arc/Info 为平台, 主要包括基础地理信息显示、二维和三维立体模型显示、局部模型显示和一些公路设计和施工中常用的统计和计算功能, 如土方量的计算、有关面积的计算、相交道路的统计等。

该系统与传统的公路选线系统有许多不同之处。首先, 在满足设计要求的前提下, 抛弃了以航空摄影测量的方法获取设计道路区域地形数据的方法, 而采用目前各省级测绘部门已有的 1:1 万地形图。安徽省测绘局已经启动了 1:1 万地形图更新项目, 今年年底, 将完成 1:1 万地形图 1000 多幅, 占安徽省面积的五分之一。计划用 5 到 10 年的时间, 完成全省 1:1 万地形图更新, 同时生成数字地面模型。这样, 一方面既节约了大量的人力物力, 同时, 也大大地提高了作业进度和作业效率。另一方面, 由于采用了 GIS 这一新的技术手段, 使工作对象更加直观, 更易于管理者在宏观上控制。

2 基本数据情况

2.1 原图数字化

该系统的基础地理信息资料采用 1:1 万地形图, 有 1988 年版和 1997 年、1998 年版。其中, 1988 年版地形图采用 1954 年北京坐标系和 1956 年黄海高程基准, 而 1997 年、1998 年版地形图则为 1980 年西安坐标系和 1985 年国家黄海高程基准。该选线地区分别属于高斯

投影的 3° 分带的 39、40 带，中央经线分别为东经 117°、东经 120°。为了精确地定位和在计算机上实施公路选线方便，统一采用东经 118° 30' 为中央经线，1980 年西安坐标系和 1985 年国家黄海高程基准^[1]。作业前，首先计算出 54 坐标系和 80 坐标系图廓坐标元素，然后将 54 坐标系坐标转换为 80 坐标系坐标，最后将 80 坐标系坐标转换为中央经线为东经 118° 30' 坐标系坐标。

1:1 万地形图数字化方法主要有跟踪数字化和扫描数字化这两种方法。根据目前的软硬件的发展水平，选用较为先进的扫描数字化方法。

扫描数字化方法的处理过程主要包括原图扫描、扫描数据矢量化和建立拓扑关系^[2]。扫描数据矢量化的工作主要包括去噪声、栅格数据的校正、地理坐标配准、自动或半自动数据采集、要素分类几步。

对于扫描数据矢量化后形成的数据，转入 Arc/Info 平台下，进行拓扑处理和编辑相关属性项。至此，完成数字化工作。

数字化的过程中，不可避免的会产生误差，为此，在基础地理信息的数据采集过程中，规定了限差指标和作业检查工序，确保数据的质量。

2.2 地面模型的形成

DEM 就是在高斯投影平面上规则格网点平面坐标 (X, Y) 及其高程 (Z) 的数据集。它是根据等高线、高程点以及其他与高程有关的数据如湖泊、水库等信息，在一定的算法作用下生成的。常用的算法主要有三角网和方格网两种方法。Arc/Info 中的 TIN 模块就是用来存贮管理和分析三维表面。TIN 代表不规则三角网 (Triangulated Irregular Network)，是一组相邻的不相交三角形，用来描述表面的小面积。TIN 的结构是有一组不规则的空间点建立起来的，这些点具有 X, Y 坐标和 Z 值，如高程或地下深度，因为 TIN 的数据结构包括了点和与它们最相邻点的拓扑关系 (也就是点定义每一个三角形，并且三角形是相邻的)，所以 TIN 模型容许高效率地产生各种各样的表面模型。图 1、2 显示生成 TIN 之前的原始数据和根据该原始数据生成的 TIN 数据。



图 1 左侧为等高线图,右侧为带特征点的等高线图
Figure 1 Left: contour ; right: contour with points of distinction

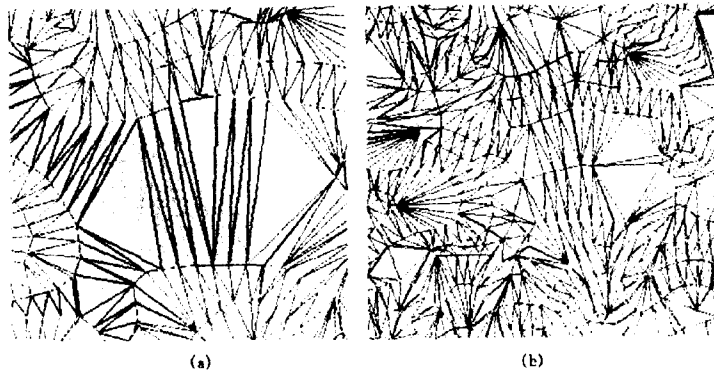


图 2 利用图 1 中数据分别生成 TIN
Figure 2 Generating TIN by using data in Figure 1

脊线以及泰森 (Thinnessen) 多边形的生成。

TIN 模块的显示能力包括在指定的观察角、方位和分辨率上预先观看侧面或三维表面的显示。

TIN 模块的模型化能力包括计算坡度、坡向、体积、表面长、剖面、决定河网和山

GRID 模块是一种利用格网研究一个地区的空间信息的数据模型。GRID 数据集由正方形网格组成, 根据每个网格的值 (Cellvalue) 来表示地面的高程。在同一 GRID 中, 所有网格的大小相等。它是在 Arc/Info 集成环境下的功能强大的栅格数据模型分析和显示模块, 它提供了将 Arc/Info 的覆盖层 (Coverage) 矢量数据转化为栅格数据的功能, 并提供了局域分析、邻域分析、全域分析等强大的栅格分析功能。

应用三角网技术和方格网技术生成的 DEM 是可以相互转化的。

2.3 设计示范应用

本系统中主要利用 TIN 模块, 生成地面的表面模型, 然后利用它们, 为 GRID 模块准备数据。在 GRID 中, 利用 GRID 数据, 将格网 DEM 的每个格网分解为三角形, 计算三角形的表面积使用海伦公式^[3]:

$$S = \sqrt{P(P - D_1)(P - D_2)(P - D_3)}$$

$$P = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{2}$$

$$D_i = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2} \quad (1 \leq i \leq 3)$$

式中, D_i 表示第 i 对三角形两顶点之间的表面距离, S 表示三角形的表面积, P 表示三角形周长的一半。整个 DEM 的表面积则是每个三角形表面积的累加。DEM 的体积可由四棱柱和三棱柱的体积进行累加得到。四棱柱上表面可用抛物双曲面拟合, 三棱柱表面可用斜平面拟合, 下表面均为水平面或参考平面, 计算公式为:

$$V_3 = \frac{(Z_1 + Z_2 + Z_3)S_3}{3}$$

$$V_4 = \frac{(Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4)S_4}{4}$$

其中, S_3 和 S_4 分别是三棱柱和四棱柱的底面积。

根据这个体积公式, 可计算 DEM 的挖填方, 在对 DEM 进行挖或填后, 体积可由原始 DEM 体积减去新的 DEM 体积求得。

$$V = V_{\text{老 DEM}} - V_{\text{新 DEM}}$$

式中, 当 $V > 0$ 时, 表示挖方; 当 $V < 0$ 时, 表示填方; 当 $V = 0$ 时, 表示既不挖方也不填方。

3 系统的总体设计

3.1 系统的软硬件要求

系统建成后, 需运行在 Windows NT 操作系统之上的 Arc/Info 系统软件平台上, 并且, 该系统只需做很小的修改, 即可运行在 UNIX 操作系统之上。硬件方面也只要求能够运行 Windows NT 操作系统的台式机一台。为了保证系统的响应速度, 避免长时间地等待, 要求计算机具有 P III 500 以上的中央处理器、500MB 以上的硬盘空间、8M 以上的显存支持, 显示器设置为 1024 × 768 的分辨率。

3.2 系统的设计

在详细分析公路设计工程的基础上, 确定本示范工程系统的主要任务是能够根据基础地理信息数据生成可视化的二维和三维立体模型, 真实地反映设计道路与实际地形的匹配现

状, 并且根据相关地物的情况, 自动的计算设计道路的总土方量、设计道路的途径水域面积、与设计道路相交道路数等信息, 并大致估算过河桥梁数。

3.3 系统的建立

在充分利用 Arc/Info 各模块功能的基础上, 利用 Arc/Info 提供的 AML 语言 (Arc Macro Language) 作为二次开发语言, 开发本系统。AML 语言是 Arc 环境下的一种编程语言, 她提供了完整的编程能力和具有以下功能的一组工具集:

- (1) 方便处理经常执行的操作;
- (2) 创建自己的界面;
- (3) 开发一个菜单驱动的用户界面来满足用户的要求。

在充分分析了公路部门的实际需要的的基础上, 将本示范工程系统的工作分解为两个大的模块, 即显示模块和分析模块。演示模块中, 考虑既要显示全景, 又要分层的叠加各层的数据信息, 还要显示二维和三维的立体模型, 同时, 还设计了一个局部模型, 更细致的显示立体模型。如此, 根据菜单平衡和实际上的类别划分, 将这些功能划分到 3 个下拉菜单之中。分析功能包括自动的计算设计道路的总土方量、设计道路的途径水域面积、与设计道路相交道路数这几个模块。

4 系统的功能模块

系统主要包括显示和分析两个功能模块。显示模块包括平面模型显示、立体模型显示、局部模型显示 3 部分。

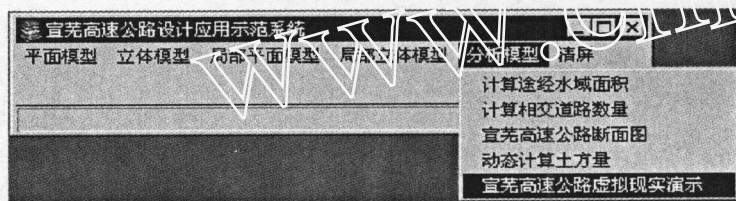


图 3 菜单界面

Figure 3 Menu interface

分析模块包括计算公路途经水域面积、统计相交道路数量、计算总挖填方土方量、动态计算土方量和三维模拟飞行 5 个部分。系统采用下拉式菜单界面, 根据实际的任务情况, 将功能模块分解

重组, 分为平面模型、立体模型、局部模型、分析模型和清屏等 5 个下拉式菜单和一个退出按钮。菜单界面如图 3 所示。

5 系统的应用前景和扩充

地理信息系统 (GIS) 是最近几年来才在中国不断走向实用的一项高新技术, 目前正日益受到社会各行各业越来越多的重视。随着基础地理信息的不断增加和国家空间数据基础设施项目 (NSDI, National Spatial Data Infrastructure) 的进一步深入以及数字地球战略的具体实施, 公路部门一定能够利用 GIS 这一高新技术更好的为公路设计和管理服务。

目前, 系统现有数据 100 多兆字节, 包含宣芜高速公路选线地区 1:1 万地形图 37 张, 覆盖面积近 1000km², 根据实际工作的需要, 将空间地理信息分为居民地、道路、管线、水系、境界、地名和地形 7 层。另外, 根据宣芜高速公路设计道路走向, 计算相关工程量, 为公路的科学决策提供了定性、定量和定位的依据, 在公路建设与管理中发挥了巨大的作用。

根据目前 GIS 的技术发展情况, 对本示范系统中可做如下扩充:

(1) 根据不同的道路设计方案, 给出多因子的道路施工综合评估, 计算出公路的施工费用, 确定更合理的设计路线。

(2) 根据设计道路的路线, 结合数字地面模型, 自动计算坡度、坡向以及道路的曲率半径, 再结合设计道路的路面情况, 利用虚拟现实技术, 如同美国在科索沃战争中美国军事部门训练美军飞行员熟悉南斯拉夫地形一样, 可以在计算机上沿设计公路路线模拟驾驶汽车, 从而确定限速区和限制速度以及坡度提示和危险区等道路交通提示牌。

(3) 根据公路的起点、终点和线路中途必须经过的控制点, 结合地形、地质、居民地、水系、耕地、森林、高压线路、通讯线路以及其他制约公路设计的因素, 设计一个公路自动选线的数学模型, 让计算机自动地生成一个公路设计方案。然后, 再根据此设计方案, 结合人工判断, 做少量的修改和完善, 形成新的、用于实际实施的设计方案。

参考文献:

- [1] 陆淑芬. 地图学基础 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1987
- [2] 李德仁, 等. 地理信息系统导论 [M]. 北京: 测绘出版社, 1993
- [3] 李志林, 朱庆. 数字高程模型 [M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000

APPLICATION OF DEM TO THE DESIGN OF HIGHWAY

ZHANG Yao-bo

(*Fundamental Surveying and Mapping Information Center of Anhui Province, Hefei 230031, China*)

Abstract: With the aid of Digital Elevation Model (DEM) and Arc Macro Language (AML), the author has studied some issues concerning the drawing of sections, the calculation of earth excavation and filling and so on in highway design and construction by using methods for spatial analysis, then established the design and application model system for Xuan-Wu expressway

Key words: DEM; GIS; highway design