

基于 Arc GIS 的土方量计算及可视化

李春梅, 景海涛

(徐州师范大学测绘学院, 江苏 徐州 221116)

【摘要】土方量计算是土地整理规划设计的重要内容之一, 准确快速地计算土方量对开展规划设计、资金分配等具有重要意义。本文运用 ArcGIS 软件的 3D 分析, 叠合分析, 空间分析以及统计分析功能, 用更准确的方法解决了不规则设计面土方计算问题, 并实现可视化。

【关键词】不规则三角网; 数字高程模型; 叠加分析; 土方量

【中图分类号】 P25

【文献标识码】 A

【文章编号】 1009-2307 (2010) 02-0186-03

1 引言

随着国民经济建设的发展, 各种工程项目不断增多, 土石方量的计算对工程费用概算, 方案选优以及施工进度的控制都能提供可靠依据。土方计算的主要目的是计算一个土方工程施工前后的填挖土方量。常用的方法有断面法、格网法、等高线法及基于数字地面模型 (DEM) 的方法等。不同的计算方法外业测量方法不同, 土方计算模型不同, 适用范围也不一样。

2 常用土方计算方法的比较

1) 断面法

断面法多用于道路、沟渠、管道等呈带状分布且地面起伏明显的土方工程量计算中。该法外业操作相对复杂, 工作量大, 断面对地面描述不连续, 精度也难以保证。随着计算机技术在测绘单位的普及, 此方法已逐渐淘汰。

2) 格网法

格网法常用于大面积平坦地块的土方量计算中。一旦确定了方格的边长, 方格内起伏较大区域的土方量并未进行统计, 这就影响计算成果的精度。这种方法对于大面积的范围, 内业数据处理量也比较大^[1]。

3) DEM 法

数字地面模型 (DEM) 是地形表面的一个数学 (或数字) 模型, 数字高程模型 (DEM) 是数字地面模型 (DTM) 的一种, 它表示地面上的高程信息, 其方式主要有规则格网 (GRID) 法和不规则三角网 (TN) 法^[2]。

规则格网法是根据给定的纵 (横) 方向和间距对研究区域进行划分, 利用已知离散高程点内插出网格点的高程数据, 形成一组规则的矩形网格数据点, 用四棱柱的方法计算土方量。

不规则三角网 (TN) 是数字高程模型 DEM 的表现形式之一, TN 法是直接利用实测地形碎部点、特征点进行三角构网, 对计算区域按三棱柱法计算土方。

TN 法以边长灵活的空间三角形去逼近实际地形, 与方格网法相比它更能真实反映现场地形地貌, 计算精确度相对较高, 广为大多测图软件所采用。TN 三角面的形状和大小取决于不规则分布的测点的位置和密度, DEM 能够

避免地形平坦时的数据冗余, 又能按地形特征点表示数字高程特征; 其精度指所建立的对真实地面描述的准确程度, 应包括 DEM 采样点上出现的高程采样误差, 及由于 DEM 离散采样所造成的地形描述误差两部分, 无疑高程采样误差是影响 DEM 精度的重要因素, 但决不是惟一因素。据汤国安等人的研究表明, 在不同分辨率条件下, 利用统计与比较分析的方法揭示了 DEM 地形描述误差²随分辨率及地形复杂度的变化而变化的规律如图 1 所示。

在实际生产中往往是利用检查点来评定 DEM 的精度, 如国家测绘局颁发的《1:10 000 数字高程模型 (DEM) 生产技术规定》(试行本) 就明确规定每幅图 DEM 至少要有 28 个高程检测点用于计算 DEM 内插高程中误差 (相对于高程点), 具体做法是选取 28 个高程点不参加 DEM 建模, 然后再根据所选取的点的 (X, Y) 坐标内插出这些点的高程 Z_k 。

基于 TN 的土方计算一般采用三棱柱法, 如图 2a、图 2b 所示。首先由三角形顶点的坐标计算出三角形的面积 S , 每个三角形以三个顶点的高程平均值作为这个三角形的高程值

$$H = (h_1 + h_2 + h_3) / 3 \quad (1)$$

式中 H 为三角形的高程值, $h (i = 1, 2, 3)$ 为三角形三个顶点的高程值。

则该区域的填挖方为

$$V = (H - h_0) \times S \quad (2)$$

式中 V 为三角形的填挖方, V 为正值时表示开挖, 为负值表示回填^[3]。

如果既有开挖区域又有回填区域, 如图 2c 所示, 应用上述方法计算得到的体积仅仅是该地块内土方平衡后土方的外运量或缺口量, 这就大大降低了土方计算的精度。

此外, 在实际工作中, 我们遇到的土方工程其设计面往往不是规则平面。对此传统方法甚至大多商业软件实施起来都显力不从心。鉴于此 ArcGIS 软件的 3D Analyst 模块结合 Spatial Analyst, 叠合分析以及统计分析功能可以对不规则的设计面很准确的进行土方计算。

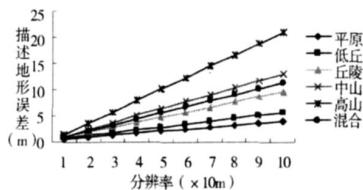


图 1 随 DEM 分辨率及地形复杂度变化

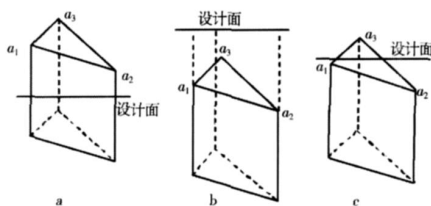


图 2 三棱柱法计算土方



作者简介: 李春梅 (1981-), 女, 江苏通州人, 在读硕士, 长期从事 3S 技术理论研究工作。

E-mail: lcn6241@163.com

收稿日期: 2008-09-26

基金项目: 江苏省教育厅高校自然科学基金项目 (06KJD420181)

3 应用 ArcGIS 计算土方量的原理

ArcGIS是由美国环境系统研究所(ESRI)研制的基于窗口的集成地理信息系统和桌面制图系统软件。它支持多类型数据和多种数据库,具有强大空间分析、统计分析功能。并且附带许多扩展模块。ArcGIS计算土方量是利用 DEM 提供的高程信息,结合 ArcGIS的 3D Analyst, Spatial Analyst, 叠合分析和统计分析等功能共同完成。

3.1 由矢量数据创建 TIN

在 ArcGIS中,可以使用一种或多种输入数据直接一步创建 TIN,也可以分步创建,并可以通过向已有 TIN模型中添加要素实现对已有模型的改进。表面模型可以从网格点、隔断线与多边形中生成,网格点提供高程,作为生成的三角网中的结点。

点集:它是 TIN的基本要素,决定了 TIN表面的基本形状,在变化较大的地方,使用较多的点,对于较平坦的表面,则使用较少的点。

隔断线:隔断线通常用来表示自然要素,如山脊线、溪流等,或用来创建线状要素,中断线可以是具有高程的线,也可以是没有高程的线,在 TIN中构成一条或多条三角形的边序列。

多边形:用来表示具有一定面积的面状要素,多边形参与 TIN创建时分为多边形裁剪、多边形删除、多边形替换、多边形填充四种类型。

3.2 设计前后 TIN的建立

在所有可能的三角网中,狄洛尼(Delaunay)三角网(以下简称 D三角网)在地形拟合方面表现最为出色,因此常被用于 TIN模型的生成。根据生成三角网步骤的不同,主要的方法有:分而治之算法、逐次插入算法、三角网生长算法、辐射扫描算法和层次算法等。

常用的三角网生长算法建立的原理和步骤如图 3所示,即基于现状高程点建立的 TIN。

以任一点为起始点;找出与起始点最近的数据点相互连接形成 D-三角网的一条边作为基线,按三角网的判别法则(即它的两个基本性质),找出与基线构成 D-三角网的第三点;基线的两个端点与第三点,成为新的基线;迭代以上两步直至所有基线都被处理^[5]。

图 3 Delaunay 三角网

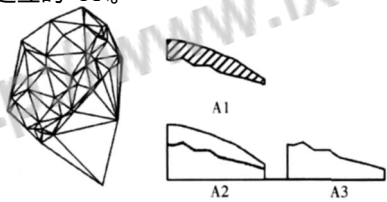


图 4 DEM 叠加进行土方计算

3.3 DEM 叠合计算土方量

将基于 TIN的现状 DEM 和设计 DEM 进行叠加,得到两个模型的交线,即为填挖分界线,每一条分界线所围成的区域都是单一的回填区或开挖区。

土方计算的目的是计算同一地块设计后的填挖方量,实际上就是计算体积。在三角网格建模的基础上,利用三棱柱法计算土方量相对比较简单。在已有的利用三角网格计算土方工程量的文献中,都只是针对某一完整的三角网格计算土方量,没考虑到边界问题,但通过 DEM 叠加得到的填挖区域并非全是完整的三角网格,其边界线一定会与三角形相交,这就涉及三角网格重构问题,即将边界线上的点纳入三角网格中重新构网,使得边界线所包围的区域全为完整的三角形。具体是利用搜索法来定位边界线上的点所在的三角形,然后逐点插入重新构网,然后对每一填挖区域选择同一基准水平面作为土方计算的起算面,通过多次三棱柱法分别计算现状模型和设计模型的体积,如图 4所示,土石方量即为两期地面模型之间的体积差,可用下式(3)计算:

$$A_1 = A_2 - A_3 \tag{3}$$

式中 A_2 表示现状模型与基准面之间围成的体积, A_3 表示设计模型与基准面之间围成的体积, A_1 表示开挖或者回填的土方量, A_1 为正时表示挖方,为负时表示填方^[4]。

4 实例分析

笔者参与了徐州师范大学科文学院新校区建设用地的土方量计算工作,该地区地表凹凸不平,最低处高程为 66.67m,最高处高程为 81.7 m,根据给定的设计面,采用了 ArcGIS系统进行土方量计算。

4.1 数据的获取

利用尼康全站仪(测角精度 2,测距精度 2mm + 2ppm × Dkm)测定了施工区域的 55个地面特征点。在地面起伏处均适当增加了采集点的密度,将所有实测点输入计算机并添加到 ArcMap中。

4.2 TIN的建立

利用 ArcGIS软件的 3D Analyst模块根据现状图和设计图中离散点的高程信息分别生成研究区域现状 TIN和设计 TIN,如图 5所示。

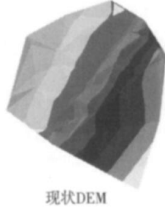


图 5 TIN建立

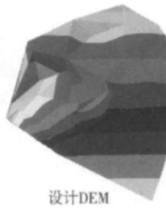


图 6 工程填挖方计算图

4.3 工程填挖方计算

分别建立设计前后的 TIN表面,启动 ArcGIS系统的 3D Analyst/Surface analysis/Cut/Fill模块,选择生成的 TIN表面,系统在计算填挖方的同时,生成一个新的栅格图层,如图 6,实质是将上面所得的两个 DEM 进行叠加,找出填挖分界线。由此将设计表面和现状表面分割成 3个区域,开挖和回填区域均用不同的颜色显示,显示净填方、不填不挖、净挖方数据,其工程填挖方数据由要素属性表表达,值大于 0,表示填方,小于 0表示挖方,等于 0表示不填不挖^[6]。

在此基础上对每一区域重新建模,并用三棱柱法计算土方填挖量。ArcGIS提供了土方计算的专用菜单,并将土方计算结果与要素建立了一一对应关系。每一条记录对应一个开挖(或回填)区域,结果见表 1。

表 1 工程填挖方统计表

序号	栅格数	工程填挖方量	工程填挖方面积
1	624	5886.3735	2496
2	1153	-10859.4052	4612
3	74	205.0766	296

5 结束语

ArcGIS计算土方是以 DEM为基础,通过模型叠加找出填挖边界,再对每一个区域通过多次建模求体积差来统计每一个回填和开挖区域的土方量,最后统计分析出整个工程的土方量的一种方法。较之传统的土方量计算方法有明显的优势。

ArcGIS软件计算土方量简单、快速,自动化程度高,实现了土方的可视化;利用 ArcGIS计算土方量与地形起伏无关,只与基础数据有关,较之断面法和散点法具有明显的优势;与方格法相比,它省去了由离散点到网格点的数据转换,直接利用精度高于内插网格点的离散点进行 TIN的建立。此外,TIN以边长灵活的空间三角形去逼近实际地形,而方格法则是以边长固定且位于水平位置的四边形来拟合实际地形,相比而言,TIN更能真实反映现场地形地貌。因而,从数据来源和计算模型上看,ArcGIS软件基于 TIN计算土方的成果精度更有保证。(下转第 116页)

既可以保证 DEM 对地表模拟逼近程度最好, 又使 DEM 数据量适中。而根据经验公式^[12]计算的 1 10 000 和 1 50 000 DEM 的适宜分辨率分别是 13.30m 和 32.84m, 如果采用这两个数分别作为研究区 1 10 000 和 1 50 000 DEM 的最佳分辨率, 其地表模拟逼近效果将与实地情况相差很远, 用它计算的水库库容精度较低。所以, 以 2m 和 8m 作为玛尔挡地区 1 10 000 和 1 50 000 DEM 生产时的最佳栅格分辨率。

通过计算地形粗糙度和剖面线长度两个定量指标, 分别点绘地形粗糙度、剖面线长度随 DEM 分辨率变化趋势曲线图, 曲线出现明显拐点时所对应的 DEM 分辨率即可认为是最佳的分辨率。研究证明这种解决办法不仅可以克服 GIS 空间分析中 DEM 分辨率确定的盲目性和随意性, 而且能确保基于 DEM 的各种空间分析的精度, 为相关研究提供重要的参考价值。

参考文献

- [1] 汤国安, 刘学军, 闫国年. 数字高程模型及地学分析的原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [2] Hutchinson M F. A locally adaptive approach to the interpolation of digital elevation models [C] // In Proceedings, Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, Santa Fe, NM, January 21-26, 1996.
- [3] 张彩霞, 杨勤科, 段建军. 高分辨率数字高程模型的构建方法 [J]. 水利学报, 2006, 37(8).
- [4] 杨勤科, Tin R Mc Vicar, Tom G V an Niel, 等. 2006a. ANUDEM 和 TN 两种建立 DEM 方法的对比研究 [J]. 水土保持通报, 2006, 26(6).
- [5] 张彩霞, 杨勤科, 段建军. 一种高质量的数字高程模型 (DEM) 建立方法—ANUDEM 法 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(12).
- [6] 杨勤科, 张彩霞, 李领涛. 基于信息含量分析法确定 DEM 分辨率的方法研究 [J]. 长江科学院院报, 2006, 23(5).
- [7] Stephen J. McGregor. An Integrated Geographic Information System Approach for Modeling the Suitability of Conifer Habitat in an Alpine Environment [J]. Geomorphology, 1998, 21.
- [8] Torri D, Poesen J W A, Borselli L. Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset [J]. CATENA, 1997, 31(1-2).
- [9] Yin Zhi-Yong, Wang Xin-Hao. A Cross-scale Comparison of Drainage Basin Characteristics Derived from Digital Elevation Models [J]. Earth Surface Processes and Landform, 1999, 24.
- [10] 李军, 周成虎. 基于 GIS 滑坡风险评价方法中网格大小选取分析 [J]. 遥感学报, 2003, 7(2).
- [11] 周启鸣, 刘学军. 数字地形分析 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [12] 何政伟, 许辉熙, 谢韬. 黄河班多一级水电站水库区工程地质遥感解译研究 [Z]. 成都: 成都理工大学, 2005.
- [13] Weihua Zhang, David R Montgomery. Digital Elevation Model Grid Size, Landscape Representation, and Hydrologic Simulation [J]. Water Resources Research, 1994, 30(4).
- [14] 党安荣, 王晓栋, 陈晓峰, 等. ERDAS MAGNE 遥感图像处理方法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [15] THOMPSONJA, BELLJC, BUTLERCA. Digital elevation model resolution: effects on terrain attribute calculation and quantitative soil-landscape modeling [J]. Geoderma, 2001, 100(1).
- [16] 陈勇, 等. DEM 在丘陵地区土地整理项目中的应用研究 [J]. 测绘科学, 2008, 31(1).
- [17] 孔凡哲, 李莉莉. 数字高程模型在新安江模型中的应用研究 [J]. 中国矿业大学学报, 2006, 35(3).

Identifying the optimal DEM resolutions and analyses of simulation results

Abstract: This paper selected the experimental region from the grid DEM of Maerdang region, and the research object is the likeness-degree of simulating real ground surface under the condition of different DEM resolution data. The optimal grid size is the so called optimal DEM resolutions here. By the thought of gradient root-mean-square error (RMS error), selected the terrain roughness K & profile length L two quantitative indicators to conclude the optimal DEM resolutions at Maerdang hydropower after analyzing with the normal methods of RMS method and Formula method. It concluded that the optimal resolutions of Maerdang region DEM data is 2m on the condition of 1 10 000 and 8m on the condition of 1 50 000. The study showed that such a solution could not only overcome the blindness and randomness in the determination of DEM resolution by GIS spatial analysis, but also ensure the accuracy of various space analyses based on DEM, which could provide important reference value for those related studies.

Key words: digital elevation model (DEM); optimal resolutions; ArcGIS

HE Zhengwei, XU Hui-xi, ZHANG Dong-hui, ZHAO Yin-bing, YANG Bin (National Key Laboratory of Geo-hazard Prevention and Geo-environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; Institute of Mt. Hazards & Environment, CAS, Chengdu 610041, China; Sichuan College of Architectural, Sichuan Deyang 618000, China)

(上接第 187 页)

参考文献

- [1] 杨新成. 基于设计面为曲面的土方计算工程的数据处理 [J]. 城市勘测, 2008, (1).
- [2] 黄杏元, 马劲松, 汤勤. 地理信息系统概论 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [3] 慕永峰, 朱昌勇, 李建. 三角网结构 DTM 的土方计算及应用 [J]. 测绘工程, 2000, 9(1).
- [4] 韦廖军, 兰度. 三角网模型叠加法在土方计算中的应用探讨 [J]. 城市勘测, 2007, (4).
- [5] 武晓波, 王世新, 肖春生. Delaunay 三角网的生成算法研究 [J]. 测绘学报, 1999, 28(1).
- [6] 宋小冬, 钮心毅. 地理信息系统实习教程 (ArcGIS 9.x) [M]. 北京: 科学出版社, 2007.

Earthvolume calculation and visualization based on ArcGIS

Abstract: Earthvolume calculation is one of the main tasks in the planning and design of land consolidation projects. Calculating earthvolume accurately and efficiently is very important for land planning, design and fund allocation. By using 3D analysis, composite analysis, spatial analysis and statistical analysis functions of ArcGIS, this paper resolved a problem of calculating the earthvolume on the basis of curved designing surface with a more accurate way, and achieved visualization. Test result indicated that the method is of high significance to similar earthvolume calculation projects.

Key words: TN; DEM; composite analysis; earthvolume

LI Chun-mei, JING Hai-tao (School of Geodesy and Geomatics, Xuzhou Normal University, Jiangsu Xuzhou 221116, China)



论文写作，论文降重，
论文格式排版，论文发表，
专业硕博团队，十年论文服务经验



SCI期刊发表，论文润色，
英文翻译，提供全流程发表支持
全程美籍资深编辑顾问贴心服务

免费论文查重：<http://free.paperyy.com>

3亿免费文献下载：<http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重：http://www.paperyy.com/reduce_repetition

PPT免费模版下载：<http://ppt.ixueshu.com>
