

# 基于 GIS 的复杂形状基坑土方量计算方法研究

王增福 冯科明

(北京城建勘测设计研究院有限责任公司,北京 100101)

**【摘要】** 目前土方量计算有几种非常成熟的方法,但是它们各有相应的数据输入方法和一定的适用条件,各有优缺点。如何借鉴这些方法的优点,找出一种数据兼容更强、适用范围更广的方法来快速地计算土方量是工程中面临的一个问题。继承应用最广泛的网格法的原理,采用前沿的 GIS 技术,提出了基于 GIS 栅格数据的土方量计算方法,使方格网能够根据要求的精度随意切换,从而快速准确地计算出土方量,同时研究中讨论了方格大小对精度的影响。

**【关键词】** 土方量;GIS;栅格

**【中图分类号】** TU 751.3

**【文献标识码】** A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2013.01.013

## Research on Earthwork Calculation of Complex Shapes Foundation Pit Based on GIS

Wang Zengfu Feng Keming

(Beijing Urban Construction Exploration & Surveying Design Research Institute CO., LTD. Beijing 100101, China)

**【Abstract】** There are several mature methods of earthwork calculations according to the former study. However, they have advantages and disadvantages due to different applicable conditions and input data types. It's a problem that how to learn the advantages of these methods and take a more data-compatible way to calculate earthwork project. Inheriting the most widely used method of grid principle and the advanced GIS technology, we proposed an earthwork volume calculation method based on GIS raster data. Through the method the grid can switch freely according to the required accuracy, the amount of earth can be quickly and accurately calculated. Also, this paper discussed the impacts of the grid size on earthwork calculation accuracy.

**【Key words】** earthwork calculation; GIS; raster data

### 0 引言

土方工程是工程施工的主要分项工程之一,包括土的挖掘或填筑和运输等过程。如何快速而准确地计算土方,特别是大面积、形状复杂的土方量计算一直是施工人员较为关心的问题。

张婷婷,王铁良<sup>[1]</sup>于 2006 年就平原和山地 2 个实例,研究了 DTM 法、方格网法、等高线法、断面法、区域土方量平衡法和平均高程法的土方量计算方法之间的差异,并且总结了各种方法最适宜的应用领域。

2008 年袁婧<sup>[2]</sup>使用 EXCEL、MATLAB、AutoCAD2004 等软件基于不规则三角网(TIN)法通过工程实例计算,得到了精确的土方量计算结果。

2010 年季朝亮、李宗聚、马学民等<sup>[3]</sup>介绍了最常见的几种土方量计算方法:格网法、等高线法和基

于 TIN(不规则三角网)的体积算法。

2011 年黎华、吴浩、崔巍等<sup>[4]</sup>通过使用 Supermap,尝试了其填挖方组件的使用情况,证明在土地平整中该功能可以计算填方量和挖方量,但是该方法针对场地简单,且未考虑放坡,不适用于复杂放坡的深基坑。

2011 年雷松、王海英、艾云毅等<sup>[5]</sup>改进了方格网的数据获取方式,由原来的现场采集方格网数据改为现场采集不规则三角网数据,计算过程中首先生成不规则三角网(TIN),再根据生成方格网,然后两种方法同时计算,保证了结果的精度。

2011 年曹俊茹、刘强、姚吉利等<sup>[6]</sup>用 Kriging 插值法生成 DEM,进而计算料堆体积,取得了不错的结果。

焦猛<sup>[7]</sup>于2012年基于CASS软件的DTM土方量计算和利用CASIO5800方格网土方量计算的基本原理,在比较基础上,结合工程实践介绍了两种土方量计算方法。

以上只是众多专家学者研究成果的一小部分,但已经勾画出土方量计算方法的大体内容。目前的研究方向是着眼于数据来源方便、计算方法简单、计算速度快和计算成果精确的方法。

## 1 传统土方量计算方法

传统的土方量计算方法主要有:格网法<sup>[8]</sup>、等高线法、断面法、平均高程法<sup>[9]</sup>、DTM法(不规则三角网法)<sup>[10]</sup>。

### 1.1 格网法

该方法通常是以一定行距和列距将地面分成规则的矩形地块(多为正方形),形成一个个四棱柱体,其高程值通过空间内插获取。格网法一般适用于大面积的地形起伏较小的地带。要获取较高的土方测量精度,就需要缩小格网间距,增加实测高程点,显然是扩大了工作量。

### 1.2 等高线法

该方法将施工区地形以等高线划分为几部分,将等高线之间所夹部分近似认为是台体的计算方法,其操作起来较为繁琐,测量精度还要取决于可利用的地形图资料精度,以及求积仪测量精度。一般来讲,误差相对较大,适用于地形起伏较大、坡度变化较多,主要用于初步规划设计阶段的土方工程概算,在精算土方时已较少采用。

### 1.3 断面法

主要适用于带状地形(如道路、河道),其原理是按照一定间距平行截取的断面围合形成体积微元,两断面间的地形在渐变的假定下被简化成多棱台,其体积用梯形公式计算。该方法计算量大,尤其是在范围较大、精度要求高的情况下更甚;而为了减少计算量就要加大断面间隔,从而就会降低计算结果的精度;存在着计算精度和计算速度的矛盾。

### 1.4 平均高程法

简单来讲,就把所获取的所有高程点值平均,作为测量区域的平均高程,即把不规则的地表面处理成平面。很显然,土方量计算精度要受到高程点布置密度和代表性的影响,一般多为施工队伍采用,精度相对较差,适用于地势平缓区域。

### 1.5 DTM(不规则三角网)法

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。基于不规则三角形

建模是直接利用野外实测的地形特征点(离散点)构造出邻接的三角形,组成不规则三角网结构。相对于规则格网,不规则三角网具有以下优点:三角网中的点和线的分布密度和结构完全可以与地表的特征相协调,直接利用原始资料作为网格结点;不改变原始数据和精度,三角网能很好地适应复杂、不规则地形,从而更好地表达真实的地面特征。

综上所述,虽然土方量计算的方法很多,但用得最多的是方格网法和三角网法。这两种方法有各自的优缺点:用方格网法做的土方成果直观易懂,是工程中的首选方法。但传统的方格网法是在特定位置(方格点上)测量高程,外业测量时,首先要放样方格点位置,然后再测量方格点高程,外业工作效率低下,而且在出现极端的情况时,方格网法算出来的方格土方量误差很大;而三角网法测量土方量,只要根据地形来采集高程点就可以了,不仅外业工作效率高,而且土方成果精度高,但其可读性差。因此,实际工作中很少有客户选择用三角网法。如何既能满足客户的需要,使用方格网法出具测量成果,又要保证土方计算结果的精确性,提高工作效率,是亟待解决的一道难题。

## 2 GIS计算土方量的优势

地理信息系统出现后,引入各种空间分析方法和手段,使复杂的传统空间分析任务变得简单易行,并能方便、高效地应用几何、逻辑、代数等运算、数理统计分析和其他数学方法,更科学、高效地分析和解释地理特征间的相互关系及空间模式。于是,GIS为空间分析提供了良好支撑平台;空间分析也因为有了GIS而真正得以应用;而GIS正是因为有空间分析功能才使之区别于一般的计算机辅助设计系统。

GIS用于土方量计算具有很大的优势:

1)数据兼容性。地理信息系统(GIS)的数据来源非常广泛,它可以处理任意具有空间概念的数据。这些数据可以是各式各样的状态和来源的——它可以是航空相片或卫星影像,也可以是地形等高线的数据集、建筑环境的数字地形图或者是土地测量的记录等。也就是测量的成果资料或者设计的成果资料都可以作为GIS的数据来使用。

2)数据表现形式。GIS的数据表现形式具有多样化;矢量数据反映的是点、线、多边形要素,常应用于具有确定的形状或边界的不连续对象;栅格数据表现连续的数据。栅格中的每一个像元(或像素)是一个测量单元,像元的值是该测量单元的某一个属

性(高程、高差、温度等);不规则三角网(TIN)是描述地形表面的有效方式。

### 3 GIS 计算土方量的原理

在 ArcGIS 中,为了实现土方量的计算,就需要将同一地域两期(现状与设计或施工前、后)的地形进行叠加,两个模型的交线,即为各个填、挖区的分界线。每一条分界线所围成的封闭区域都是一个单一的回填区或开挖区。通过分别统计回填区和开挖区的体积,就可以得到该区域填、挖的土方量。

数字地形模型是以数字形式存储的地球表面地形信息的集合,地形信息包括高程、坡度、坡向等,其中高程信息是最基础的信息,专门存储高程信息的数字集合就是数字高程模型,它是 DTM 的基础。在土方量计算中要模拟地形,就是建立 DEM,所建立的 DEM 的精度将影响土方量计算的精度。离散点、不规则三角网(TIN)、等高线、断面线和规则格网是 DEM 的五种数据结构。在空间信息系统中,应用最多的是规则格网 DEM 和不规则三角网 TIN

及两者的混合应用。

TIN 数据以三角网形式实现地面的模拟,与实际表面十分近似。该方法在计算近似平面的一个地面和起伏地面的两期土方量很有优势。但是这种方法数据结构复杂、计算实现难度大,而且对于两期起伏不平的地面高差三角网的匹配问题还需要找到解决方法。

栅格数据是以矩形(一般为正方形)网格为单位区域,网格的值表示该区域的一个参数值,在土方量计算中,网格的值表示的是高程值。该方法的优点是数据结构简单,有利于两期同为起伏地形的土方量计算,而且该方法跟传统的方格网方法近似,不同的是栅格数据的网格大小可以根据需求任意改变,从而准确控制计算精度。基于栅格数据计算土方量的流程图见图 1。

基于 ArcGIS 的二次开发,利用了一些基本类库和 Analyst3D 类库即可实现土方量计算相关 DEM 三维分析,在此不赘述。

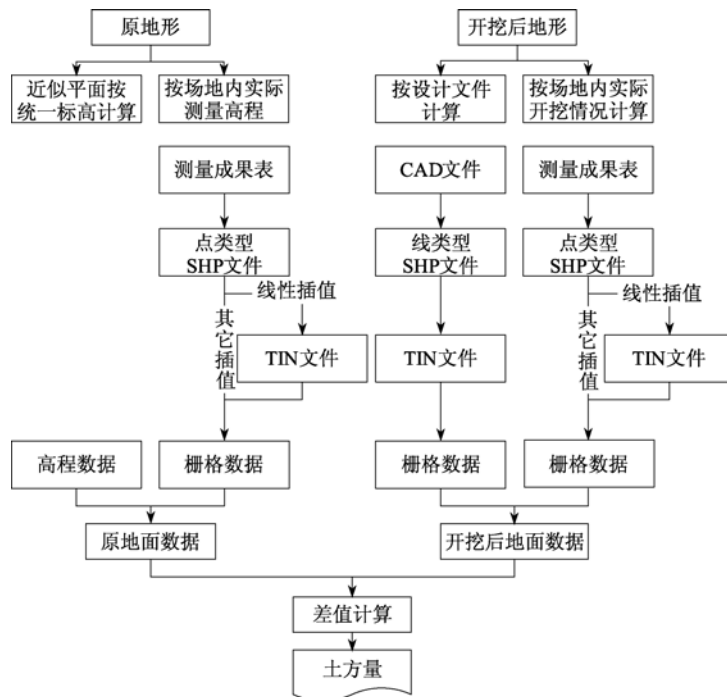


图 1 基于栅格数据计算土方量流程图

### 4 工程实例

某建筑群基坑工程,平整后地面标高为 40.71 m,场地共有大小两个基坑:大基坑为地下车库并建 A4 楼,长(南北)144.0 m,宽(东西)80.0 m,基底标高 28.8 m;小基坑在大基坑的西南角,建 A3 楼,长(东西)57.8 m,宽(南北)24.0 m,基底标高 33.3 m。具体基坑形状见图 2。

#### 4.1 基坑模型的建立

本次计算假设原地面为一个平面,采用一个标高,开挖后地表采用设计文件,如图所示,自然地面标高取值为 40.71 m,A4 楼及地下车库基底标高取值 -12.30 m(绝对标高 28.80 m),A3 楼基底标高取值 -7.70 m(绝对标高 33.30 m)。按照绝对标高建立模型,见图 3。

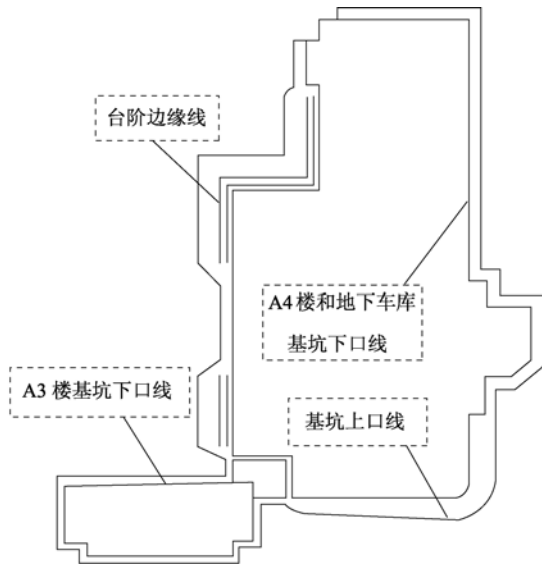


图2 土方量计算模型

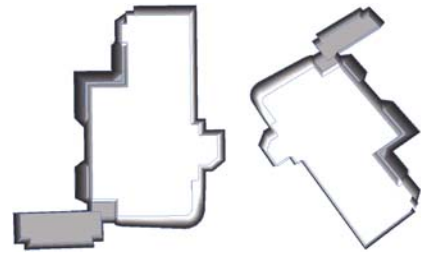


图3 基坑 TIN 模型

#### 4.2 基坑模型网格建立

研究中为了比较不同大小网格对精度的影响,共设置了5种不同大小的正方形栅格模型:0.5 m分辨率、1 m分辨率、2 m分辨率、5 m分辨率、10 m分辨率,得到绝对高程模型(见图4)。

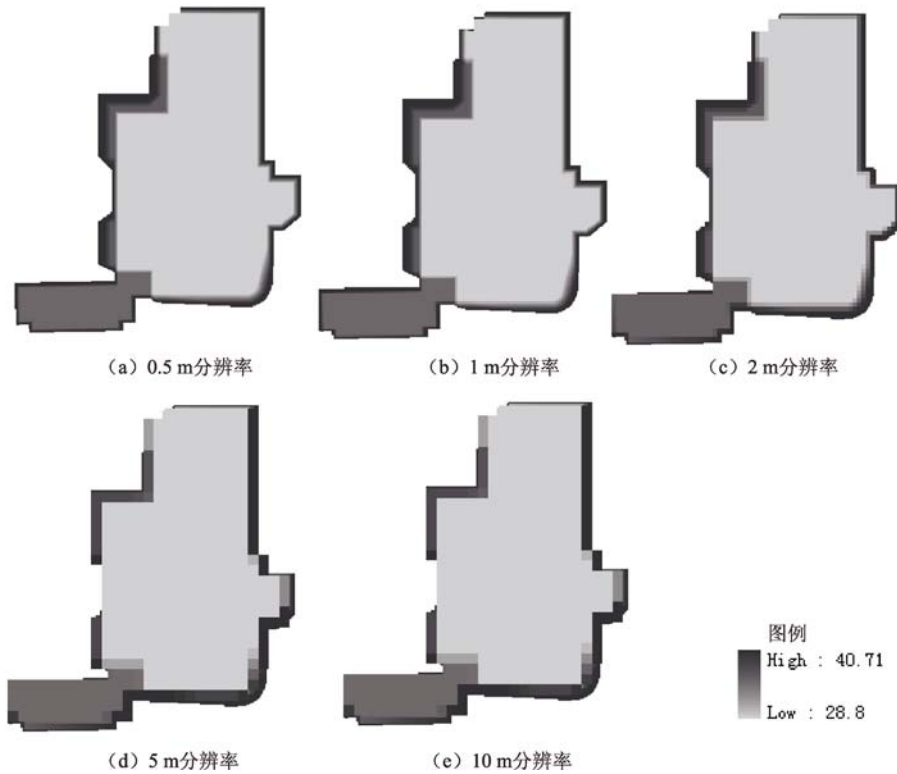


图4 绝对高程模型

#### 4.3 TIN与栅格数据计算土方量精度对比

按照不同的网格大小生成栅格数据,分别计算出土方量(见表1)。很显然,随着网格大小的减少,精度不断提高。当网格单元格面积降至总面积0.01%后,精度已经变化不大,并且精度控制在0.2%左右,已经完全满足工程方面的要求了。

表1 TIN与栅格数据土方量计算精度对比表

方法	方量/m <sup>3</sup>	偏差/%	面积/m <sup>2</sup>	单元与面积比/%
TIN	119 019.000	0.00		
栅格网(0.5)	118 753.208	-0.22	0.250	0.002
栅格网(1)	118 780.423	-0.20	1.000	0.008
栅格网(2)	118 182.737	-0.70	4.000	0.034
栅格网(5)	115 236.682	-3.18	25.000	0.211
栅格网(10)	108 610.387	-8.75	100.000	0.846

## 5 结 论

随着计算机技术的发展, 尤其地理信息系统的广泛应用, 各个领域也都在酝酿新的技术革新。研究中, 发现土木工程中的各种空间数据可以非常方便地导入到地理信息系统中, 通过地理信息系统的栅格数据可以非常快速、准确地计算出土方量。这种方法的优势在计算复杂基坑土方量时尤为明显。

### 参 考 文 献

- [1] 张婷婷, 王铁良. 土方量计算方法研究[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(22): 6047-6050.
- [2] 袁 婧. 基于不规则三角网的土方量计算方法[J]. 测绘技术装备, 2008, 10(4): 25-28.
- [3] 季朝亮, 李宗聚, 马学民. 关于几种土方量计算方法的研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2010, 33(3): 219-222.
- [4] 黎 华, 吴 浩, 崔 巍. 基于 Supermap 的三维地形动态显示及土方量算系统的设计与实现[J]. 武汉理

- 工大学学报(交通科学与工程版), 2011, 35(1): 205-208.
- [5] 雷 松, 王海英, 艾云毅. 方格网法与三角网法相结合准确计算土方量[J]. 城市勘测, 2011(6): 154-156.
- [6] 曹俊茹, 刘 强, 姚吉利, 等. 基于 Kriging 插值 DEM 的计算土方量方法的研究[J]. 测绘科学, 2011, 36(3): 98-99.
- [7] 焦 猛. 两种土方测量方法的应用与比较[J]. 市政技术, 2012, 30(4): 138-141.
- [8] 赵玉杰, 赵善国. 对工程建设中方格网法计算土方量的研究[J]. 黑龙江水利科技, 2012, 40(2): 15-17.
- [9] 李登富, 张建帅, 王光彦, 等. ArcGIS 在土方计算中的应用探讨[J]. 黑龙江科技信息, 2011(8): 49.
- [10] 王少云. 不规则三角网法在土方量计算工程的应用[J]. 北京测绘, 2009(2): 51-53.

收稿日期: 2012-11-08

(上接第 42 页)

热田面积约 120 km<sup>2</sup>, 其优点是在县城附近, 交通便利, 位置优越, 上层水质好, 饮用水和热水可分别开采, 如能综合开发利用, 见效快, 效益高, 对于城镇居民取暖、医疗、改善城市环境、温室种植、农业科研、水产养殖及地质理论研究, 都有着十分重要的意义, 特别是该地热田属于隐伏岩溶水, 而且热田规模大, 资源丰富, 并富含多种对人体有益的微量元素(见表 1)。

表 1 新绛县城附近地下水微量元素表

微量元素	质量浓度/(mg · L <sup>-1</sup> )
二氧化碳	>250
氢	>35
偏硅酸	>25
二价、三价铁	5~10
锂	0.2~2.0
锶	0.2~4
钼	1~2
溴	0.2~1
偏硼酸	1~5
碘	0.2~1
钨	0.05~0.5
锌	0.2~5
硒	0.01~0.1

## 5 该县地热田的开发对策与建议

1) 加强领导, 充分认识开发地热资源对当地经济建设的重要作用

地下热水的开发和利用是经济发展中一个新的课题, 首先应该引起领导及有关部门的重视, 将其提到重要的议事日程上来, 着力研究合理开发利用好本县地下热水资源的途径及措施。

2) 组织力量, 进一步做好勘查论证工作

经过近几年的努力, 该县境内的地热资源已经取得了初步的地质资料, 但是, 为了更合理地开发利用好这一宝贵资源, 尚需更细致、更精确的考察研究和资源评价, 真正把地热资源用于工农业生产及人民生活的各个领域。

3) 加大力度, 抓好招商引资

地热资源的开发还是一个新项目, 就目前来讲, 尚没有确定的投资渠道, 所以, 必须努力挖潜各方面的投资力量, 充分调动其积极性, 抓好每一个投资环节, 综合开发地热资源, 加快当地经济发展。

收稿日期: 2012-09-21