

基于不规则三角网的土方量计算方法

袁婧

(中铁第一勘察设计院集团有限公司 陕西西安 710043)

摘要: 土方量的计算是铁路、公路勘察、场地平整等土木工程中经常碰到的问题。土石方的计算方法很多,主要有断面法、方格网法、等高线法等方法。在实际生产应用中,不同的方法计算的同一场地土方量不同,有时数量相差较大,因此分析确定土方计算方法的适用范围和精度就显得十分重要。本文介绍一种基于不规则三角网(TIN)的土方量计算方法,首先从理论上介绍了该方法的计算模型,结合实际工程的应用,在AutoCAD的平台下,利用地形碎部点快速、方便地构建三维实体模型,对土方量进行了精确的计算。该方法计算精度高,适用范围广,对实际工程应用具有一定的借鉴和指导意义。

关键词: TIN 土方量 实体模型

1 引言

土方量的测量计算在工程建设中应用非常广泛。土石方的计算方法很多,主要有平均高度法、横断面法、格网法等。平均高度法、横断面法、格网法存在其不足之处:(1)对于起伏变化比较大的地形,计算困难,精度较低;(2)三类方法的计算模型都是近似的,对于不规则的地形,计算结果偏差大。为了准确地计算出实际的挖方量,现提出一种基于不规则三角网的土方计算方法,该方法可以克服上面的缺点,计算地形起伏变化大时的土石方,精度较高,同时有一个准确的数字模型以提高计算速度。

2 计算模型的建立

不规则三角网(Triangulated Irregular Network, TIN)指将按地形特征采集的点按一定规则连接成覆盖整个区域且互不重叠的连续三角形。TIN能较好地顾及地貌特征点、线,表示复杂的地形表面比矩形格网精确。我们将根据地形起伏变化的复杂性来确定采样点的密度和采样点的位置,从而可以避免地形平坦时的数据冗余,又能按地形特征点较好地逼近地形表面。

在计算填方和挖方量的过程中,首先根据在挖前和挖后的地表面特征点建立不规则三角网。在建立好的不规则三角网中,其每一个基本单元的核心是组成不规则三角形的三个顶点的三维坐标;在挖前地表面的三角网中,同时从每个三角形的三个顶点竖直向下引出三条直线,直到与挖后的地表面的三角网相交,便形成许多的三棱柱,这时整个区域的土石方地形便形成了由许多连续但不可微分的三棱柱组成的集合。分别计算出每个三棱柱的体积,所有的三棱柱体积之和便是整个区域的土石方量。具体见图1。

现假设,面ABC为挖前地表面TIN中的三角形,

面DEF为挖后地表面上的三角形面,面A1B1C1为上下表面在水平面上的投影;点A、B、C为测区内挖前地表面的特征点,点D、E、F为测区内挖后地表面上的地形点(可在挖后地表面TIN中内插获取),其三维坐标(X,Y,H)已知。

首先令:

$$M = (A1B1 + B1C1 + C1A1) / 2 \quad (1)$$

则投影面的面积为:

$$S_{A1B1C1} = \sqrt{M(M-A1B1)(M-B1C1)(M-C1A1)} \quad (2)$$

则三棱柱的体积为:

$$V_{-ABCDE} = \frac{S_{A1B1C1}}{3} (AD + BE + CF) \quad (3)$$

其中A1B1、B1C1、C1A1、AD、BE、CF长度可由三角形几何关系求得,图1为三棱柱示意图。这样便求出了一个三棱柱的体积为V1;假设整个区域是由N个连续但不可微分的三棱柱组成,则整个区域的土石方量为:

$$V_{\text{整}} = \sum_{i=1}^n V_i \quad (4)$$

式中V_i为各个不规则的三棱柱的体积。

3 土方量计算的实现

该方法在重庆市涪陵区龙桥铁路隧道口弃土场土石方量(挖方)测算工作中得到了应用,项目现场地面起伏较大,挖前与挖后的地表面积相差较大,上表面小,下表面大,且各方向坡度变化较大,土方实体形状极不规则。根据TIN的特性,按照上述模型利用AutoCAD2004建立土方实体和利用EXCEL独立编程分别计算其挖方量。在建立土方实体的建模过程中,为了很好地吻合实际地面的坡度,在数据采集过程中,对土方上下表面的边界线的采样,在位置合理的情况下,其密度相对较大;在构网过

程中，如图 2 所示（A 为上表面地形特征点，B、C 为上表面边界地形特征点，D、E 为下表面边界地形特征点），根据不规则三角网的特征，即总是选择最邻近的三角形构网建立三角形；选取上表面的点和下表面的边界点为一组合构建不规则三角网，这样便形成了一个由上表面和坡面一起组成的地表面三角网。

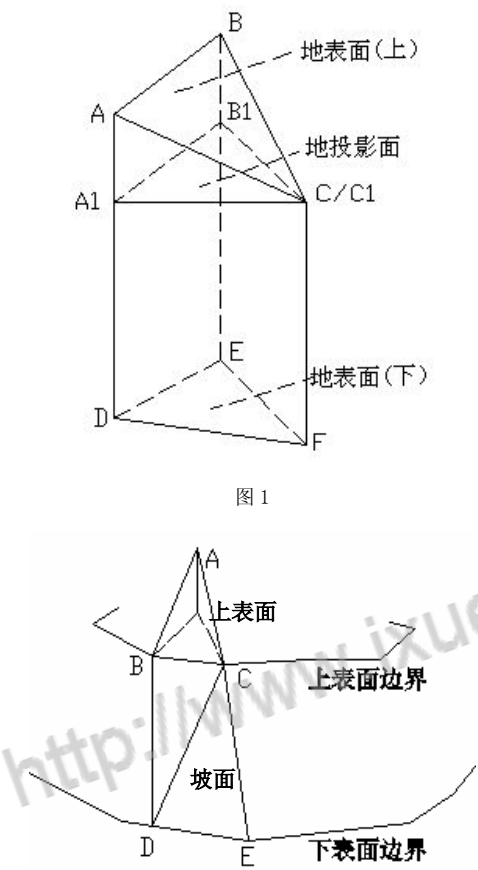


图 1

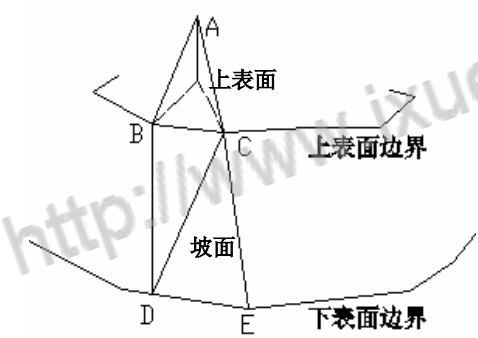


图 2 构建地表面三角网示意

土石方计算具体实现主要利用到的软件有：EXCEL 电子表格、MATLAB、AutoCAD2004。首先运用 EXECL 整理采样点的三维坐标数据，在 MATLAB 中调用 delaunay() 函数生成不规则三角网中的三角形的

顶点索引文件；后利用 AutoCAD 强大的三维图形绘制功能，调用索引文件中对应点的坐标值，绘制三角格网，快速地建立地形实体模型，实体模型的体积即是所要计算的土方量。

（1）将通过地形测量获取采样点三维坐标数据，通过 EXCEL 整理数据，如表 1 形式：

（2）在 MATLAB 中生成不规则三角网中三角形的顶点索引文件。首先将表 1 中采样点的 X 坐标和 Y 坐标分别提出建立名称分别为 x 和 y 的两个矩阵；其次再输入语句 tri=delaunay(x,y)，便可输出 Delaunay 三角点索引文件，如表 2 所示，即 TIN。其数据结构为：每行代表一个 Delaunay 三角形，第一列为三角形的编号，后三列分别为三角形三个顶点的索引号（采样点在表 1 中的点号）。

表 1 离散采样点数据

点号	X 坐标	Y 坐标	高程 H
1	492.988	534.292	106.142
2	491.675	531.255	106.05
...
66	464.248	585.364	83.811

表 2 三角形顶点索引文件

编号	角点 1	角点 2	角点 3
1	21	23	34
2	12	33	45
...
115	4	43	51

（3）根据三角形顶点的索引关系在 EXCEL 中生成 AutoCAD 的脚本文件，如表 3 所示。表中：3dface 命令可以在 AutoCAD 中生成空间多边形面，即可构成三维地形表面模型，命令后面的数字为三角形的三个顶点的三维坐标。

表 3 AutoCAD 脚本文件

3dface 488.204,539.178,103.591	486.453,509.196,98.093	490.196,459.022,92.835
3dface 475.017,529.078,88.37	488.204,539.178,103.591	486.453,509.196,98.093
...
3dface 486.064,484.469,96.16	486.453,509.196,98.093	490.196,459.022,92.835
3dface 473.95,511.509,88.522	475.017,529.078,88.37	486.453,509.196,98.093
3dface 461.795,509.853,84.408	473.95,511.509,88.522	456.84,521.308,81.282

(4) 在 AutoCAD 中分别运行由上表面上所有的点和下表面边界线上的点所生成的脚本和由下表面上所有的点所生成的脚本即可生成三维地形表面模型。如图 3、4 所示。

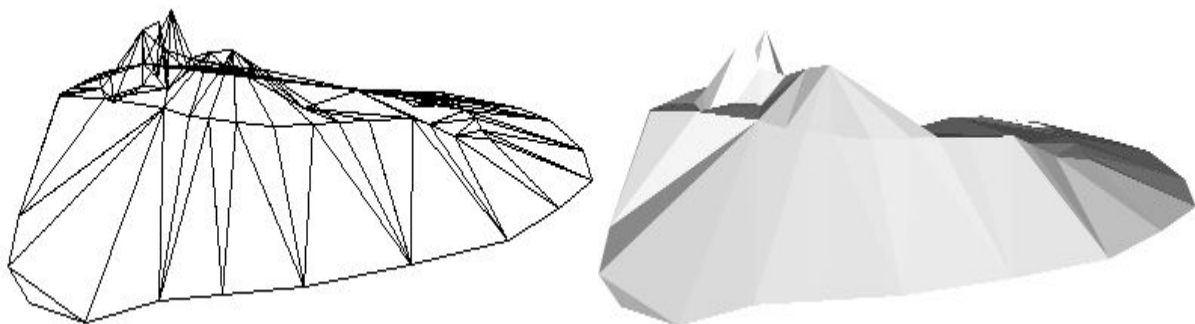


图3 上表面及下表面边界点生成的不规则三角格网

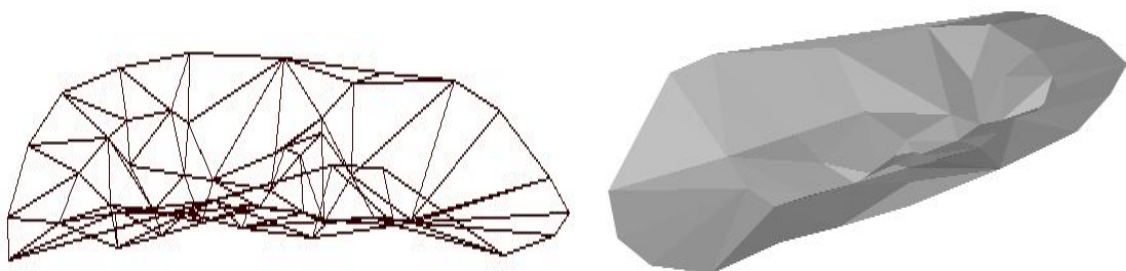


图4 下表面点生成的不规则三角格网

(5) 图 3、4 只是一个三维地形表面模型，在 AutoCAD 中用 EXTRUDE 命令沿垂向路径分别将其向下和向上延伸此模型建立地形实体模型，如图 5 所示；再用 INTERSECT 命令对两地形实体进行求交运算，从而得到需计算土方量的实体模型，如图 6 所示。

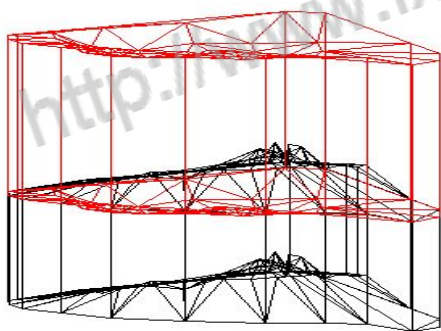


图5 地形实体模型

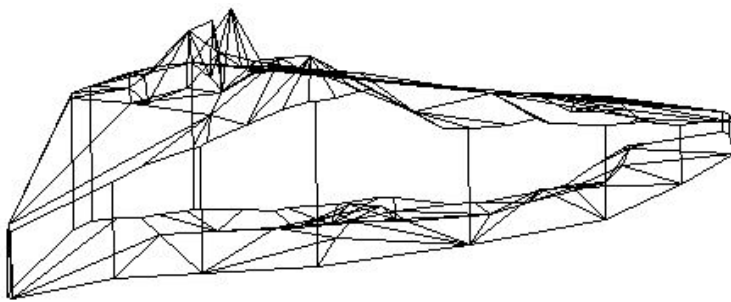


图6 计算土方量的实体模型

通过 AutoCAD 的 MASSPROP 命令查询实体模型（图 7 所表示的实体）的质量特性（包括体积、质量、边界框、质心等内容），计算出该实体的体积为 $51728.84m^3$ 。

在 EXCEL 中分别计算出由开挖前和开挖后地形表面构成的每个三棱柱的体积 V_i ；若开挖前由 N_1 个连续但不可微的三棱柱组成，开挖后由 N_2 个连续但不可微的三棱柱组成，则整个区域的土石方量为：

$$V_{\text{整}} = \sum_{i=1}^{n1} V_i - \sum_{i=1}^{n2} V_i \quad (5)$$

按照上述公式计算出的土方为 $51689.55m^3$ 。

比较上述两种方法计算的结果，可看出其相对的误差在 $\pm 0.076\%$ 以内，计算结果精度较高。

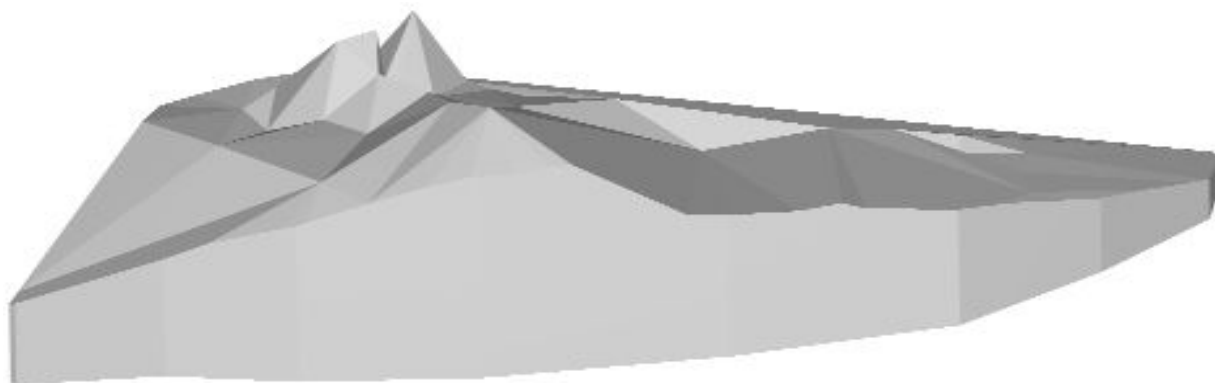


图 7 挖方实体

4 结论

通过实践证明,基于不规则三角网的土方计算方法计算精度较高。在实际的应用过程中,地表面采样点的质量很大程度上决定计算结果的精度,一般要着重采取地形起伏变化比较大的点。

参考文献

- [1] 陈少雄. 公路工程勘察设计中影响路基土石方工程数量的因素分析[J]. 大众科技, 2004, (03).
- [2] 张杨, 王铁滨, 孙兆辉. 影响土石方工程数量的因素分析[J]. 东北公路, 1997, (04).
- [3] 罗宏伟, 黄登. 基于 DTM 的栅格法计算站场前期土石方和用地数量[J]. 铁道勘测与设计, 2007, (02).
- [4] 吴明友. AutoCAD 二维绘图及三维建模实训教程. 北京: 清华大学出版社, 2006.

(上接第 33 页)

再从地形图上选取数据来分析数字综合法与传统模拟法修测的精度比较(见表 2), 数据中 1/3 为老地物与以前修测地物间距表, 1/3 为在 10 幅图中随机抽取以前修测地物与老地物间距表, 1/3 为以前修测地物与本次修测地物间距表。从表 2 可看出数字综合法修测的精度略优于模拟法修测。

4 结束语

数字综合法的优点是修测的精度略高于模拟法, 它具有直观、易判读等特点, 且生产周期短, 成本低, 现势性强。因此在平坦地区用于修测是较为合适的作业方法。数字综合法修测是以像片为基

础, 因此也存在正射投影、单张影像操作不能产生立体效果, 在山区或高楼林立的市区有阴影出现判图困难的缺点, 同时对摄影时刻以后新增地物有选择的更新是基于相对较短的更新周期。所以, 这是一种基于特殊地理环境和特殊目的的更新, 并不一定适用于其它地理环境和目的。采用航测手段加快基础地理数据更新, 其中涉及的各个环节都会影响生产工期, 值得我们进一步研究和发现及采取相应措施。

参考文献

- [1] 张祖勋, 张剑清. 数字摄影测量学[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1996.
- [2] 黄世德. 航空摄影测量学[M]. 北京: 测绘出版社, 1987.
- [3] CJJ8-99. 城市测量规范[S].



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>
