

## 三角网法计算土方量的“破网”问题研究

朱剑飞<sup>1,2</sup>, 蔡良才<sup>1</sup>, 刘 洲<sup>1</sup>, 陈黎明<sup>3</sup>, 李天民<sup>4</sup>

(1. 空军工程大学工程学院, 陕西 西安 710038;

2. 中航第三工程总队, 江苏 南京 211100;

3. 空军工程设计研究局, 北京 100071;

4. 成空勘察设计院, 四川 成都 610000)

**摘 要:**对三角网法计算土方量展开了深入研究, 讨论了其优缺点, 剖析了其计算过程中存在的问题。针对三角网投影时出现“破网”的问题, 提出了创建一个虚拟的投影组合面, 再对该投影组合面进行三角剖分, 求出剖分之后的每个三角形对应的三棱柱的体积, 进而求出总的土方量。最后, 通过实例验证了该方法, 并对三种方法精度进行了分析。

**关键词:**破网; 三角网法; 精度分析; 土方量计算

中图分类号: U416.216

文献标识码: A

文章编号: 1008-1933(2011)05-119-04

## Study on the problem of “break net” in earthwork calculation by triangulation network

ZHU Jianfei<sup>1,2</sup>, CAI Liangcai<sup>1</sup>, LIU Zhou<sup>1</sup>, CHEN Liming<sup>3</sup>, LI Tianmin<sup>4</sup>

(1. Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China;

2. Unit of China Airport Construction, Nanjing 211100, China;

3. Air Force Engineering Design Institute, Beijing 100071, China;

4. Design Academe of Chengdu, Air Force Engineering Design and Research Institute, Chengdu 610000, China)

**Abstract:** The paper thorough researched the method of earthwork calculation by triangulation network, discussed its merit and shortcoming, and analyzed the problem in calculation. Aimed at the triangulation network projection appear the problem of “break net”, the paper established a virtual projection combination surfaces, then divided the projection combination surfaces, calculated the volume of the three prism which correspond to the each triangle, and calculated overall earthwork. Finally, the paper through a example validated the method, and analyzed the precision of three kinds of method.

**Key words:** break net; triangulation network; precision analysis; calculation of earthwork

## 0 引 言

土方量计算是土木工程领域中的重要问题, 准确快速地计算土方量, 对开展规划设计、控制总投资及资金分配具有重要的意义。目前常用的土方量计算方法, 有断面法、方格网法以及越来越受到重视的三角网法 (DEM 法)。断面法是公路、铁路选线时常用的土方计算方法, 其特点是只适用于“线状设计”, 对于“面状设计”则无法全面掌握地形地貌, 横向影响过大, 精度较低。方格网法假设两点之间的坡度是均匀的, 地面高程提取不精确, 其计算模型也是近似的, 而且实际应用时只适用于几何形状规则

区域, 对于形状复杂的局部区域 (例如弯道部分), 往往需要人工去计算或调整。三角网法利用原始数据点和特征线 (断裂线、构造线等) 生成连续的三角形平面来逼近原始地形, 不改变原始数据和精度, 能够保存原有关键的地形特征, 能很好地适应复杂、不规则地形。而且, 三角网法的体积计算公式为纯几何公式, 是完全精确的<sup>[1,2]</sup>。

采用三角网法计算土方量就是根据实地测定的地面点坐标 ( $X, Y, Z$ ) 和设计高程, 通过生成三角网来计算每一个三棱柱的填挖方量, 最后累计得到指定范围内填方和挖方的土方量。根据三角形各角点填挖高程的不同, 可将单个三棱柱的体积计算情况分为全挖、全填和有挖有填等三种。徐敬海等人<sup>[3]</sup>对不同情况的体积计算公式作了详细的介绍, 并比较了不同土方计算方法的精度。然而, 三角网投影时容易造成三角形被切割破坏, 无法形成规则的三棱柱, 土方量计算也因此而变得复杂。这里, 把这种

收稿日期: 2010-04-01

作者简介: 朱剑飞 (1983-), 男, 福建莆田人, 硕士研究生, 主要从事机场规划与设计研究。

E-mail: 1032861314@qq.com

情况统称为“破网”问题。

## 1 “破网”问题的提出

通过研究已有的文献可以发现,目前对于三角网法计算土方量中出现“破网”的研究基本上没有。同时,知道每个三棱柱的体积计算公式并不一定就能轻松地计算出土方量,实际应用过程中至少会遇到以下两个问题:

1) 天然地表三角网是根据表征天然地形起伏的实测数据(点、等高线、地形特征线等)所创建的,而设计表面三角网是利用表征设计表面的点和特征线等数据创建的,两者可能会产生结构差异。如果两者平面结构相同或设计表面为一平面,那么,将天然地表三角网向设计表面直接投影,即可形成三棱柱,进而计算出土方量。如果两者平面结构不同,投影过程中三角形被切割成难以处理的形状,无法形成三棱柱。

2) 构建三角网时,天然地表三角网的构网范围一般要比设计表面三角网大,这就造成设计表面边界线与天然地表三角网的相交切割问题。在已有的利用三角网法计算土方工程量的文献中,都只就某一完整的三角网来计算土方工程量或对边界内的三角网进行重构然后再进行计算<sup>[4]</sup>。没有充分的考虑土方填挖边界线与三角网相交部分三棱柱体积的计算问题。在这种情况下,如果只处理边界内完整三角形,则与边界线相交部分的三棱柱体积不能得到计算。若重构边界内的三角网,则由于三角网的重构,也就是并非真实地表的再现,从而导致了数据模型的失真,也就进而影响了土方量的计算精度。

总结这两个问题,其难点都在于三角网投影时造成的三角形被切割破坏,出现“破网”情况,从而使土方量计算变得复杂。

## 2 “破网”问题分析

为解决“破网”的问题,在设计表面和天然地表之间虚拟一个投影面。将设计表面三角网和天然地表三角网同时向该面投影,得到一新的投影组合面。如图 1 所示,该投影组合面包含了设计表面和天然地表两者的数据点,以及两个面的三角形边的投影及其交点。投影组合面各点的高程等于设计高程和天然高程之差,大于零则为填方,小于零则为挖方。可以看出,这些点和三角形边的投影将整个区域分成了大小不一的三角形,将这些三角形向设计表面和天然表面投影,便形成了大小不一的三棱柱。只要计算出每个三棱柱的体积,就可以累加得到整个区域的挖、填方量。

实际操作过程中,由于设计表面三角网和天然表面三角网结构的差异和表示范围的不同,投影过程中往往会出现“破网”的情况,即一个面的三角形边线穿过另一个面的三角形的情况,如图 1 所示。当设计表面三角网(粗线表示)与天然地表三角网(细线表示)向投影面投影得到的图中所示的投影组合面,由于“破网”情况的出现,使得该面土方计算区域出现了四边形(如 A, B, E)和五边形(如 C, D, F)等多边形,如图 2 所示。

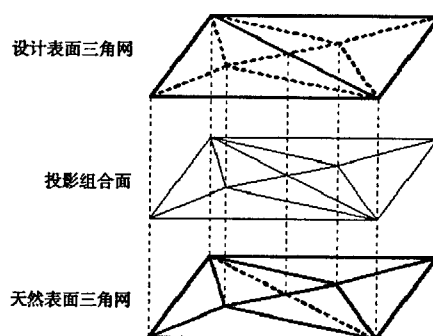


图 1 三角网计算土方示意

Fig. 1 Earthwork calculation by triangulation network sketch map

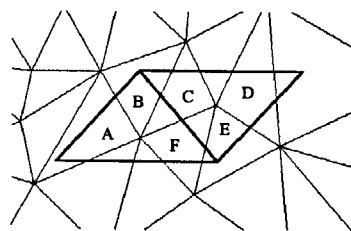


图 2 带“破网”的投影组合面

Fig. 2 Triangulation network projection with break net

这些多边形向设计表面和天然地表投影将形成多棱柱。如图 3 左边所示,多边形 A 上下投影形成了四棱柱,而 C 上下投影形成了五棱柱。为了简化计算过程,将多边形划为多个三角形,多棱柱剖分成

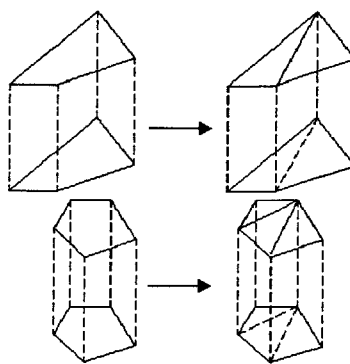


图 3 多边形投影和多棱柱剖分

Fig. 3 Polygon projection and divided polygon prism

多个三棱柱,最后统一用三棱柱的体积公式计算土方量。图3右边显示了A,C的剖分情况。

按照上面的剖分思想,只要对得到的投影组合面中的多边形进行局部三角剖分,使得整个土方计算区域由大小不一的三角形所覆盖,再求出每个三角形角点对应的设计高程、天然高程及其高差,就可以利用三棱柱体积公式计算,统计土方量了。图4显示了对图2的剖分结果。

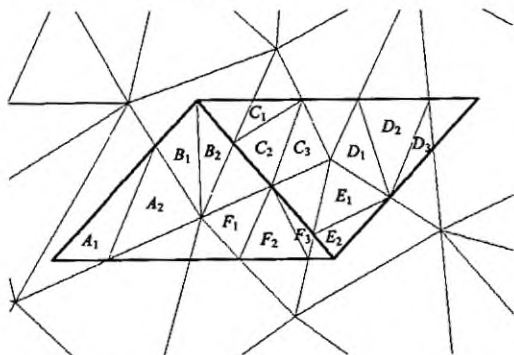


图4 对“破网”情况的处理示意

Fig.4 Deal with the break net sketch map

### 3 实例验证

#### 3.1 原始数据

以某区域场地整平为例,验证上述技术方案的正确性与可行性。场区原始地形图为带有高程点数据和等高线数据的CAD格式文件<sup>[5-6]</sup>,整平区长700 m,宽200 m,其平面位置已确定。首先,根据原始地形的点数据和等高线数据,生成天然地表三角网(图5不规则三角形细线部分);然后,确定整平区域设计表面,构建整平区域设计表面三角网(图5规则三角形粗线部分)。

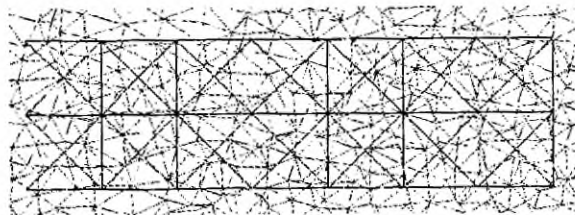


图5 设计表面和天然地表三角网

Fig.5 Triangulation network of design and savage surfaces

将创建的设计表面和天然地表三角网同时向虚拟投影面投影,并对其多边形进行三角剖分,得到如图6所示的投影组合面。曲面蓝色部分为挖方,黑色部分为填方。

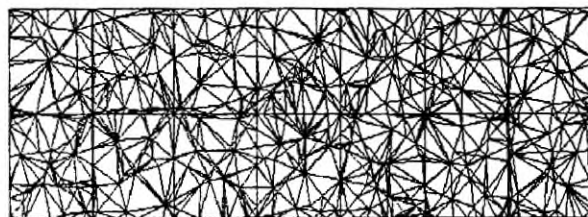


图6 整平区投影组合面

Fig.6 Clean up projection combination surfaces

#### 3.2 土方量计算

将上面实例分别用断面法、方格网法和三角网法计算土方量,结果统计见表1。

表1 土方量计算结果统计

Table 1 Calculated overall earthwork

	挖方/ $m^3$	填方/ $m^3$	净值/ $m^3$
断面法	-54019.08	38739.84	-15279.24
方格网法	-52659.90	45953.20	-6706.70
三角网法	-52619.56	45925.55	-6694.01

#### 3.3 精度分析

分析前面的设计成果可以发现,即使在同一设计表面下,根据采用的土方量计算方法的不同,其结果也可能出现很大的差异。就面状特点的设计来说,方格网法和三角网法的计算精度要远远高于断面法。为了更全面地了解各种方法的精度状况,现从理论上加以分析。

##### 3.3.1 断面法的精度分析

断面法的误差来源主要是模型误差,即等值线内插值采用的是线性内插,这与实际地形往往不符合,特别是地形起伏较大的地方,间距越长,误差也就越大。这种误差是由于地面的不规则性带来的,大多数插值方法都无法避免。

##### 3.3.2 方格网法的精度分析

方格网用规则格网来模拟地表面,总是假设两点之间的坡度是均匀的,其高程用等高线线性内插获得,精度取决于采集数据密度的大小,同时和方格网的大小有关,方格网越小,精度越高,但采样密度过大增加了计算量,太稀不利于提高精度。另外,方格网不能很好地解决“破网”问题,势必会带入“破网”误差。

##### 3.3.3 三角网法的精度分析

采用三角网模拟地表面,每个三角形范围内是一个平面,存在以直代曲留下的模型误差。但由于三角网建网过程中可以很好地考虑到地面特征点和特征线的影响,在地形复杂的地区可加密三角网,在地形平坦的地区减少采样点,因此更适合模拟原始

地表面。在同等数据量的条件下,采用三角网模拟地表面的精度要比方格网高。

## 4 结 论

本文对三角网法计算土方量展开了深入研究,讨论了其优缺点,剖析了其计算过程中存在的问题,首次提出了“破网”的概念,即由于设计表面三角网和天然地表三角网结构不一致而导致投影过程中三角形被切割的问题。针对该问题,提出创建一个虚拟的投影组合面,再对该投影组合面进行三角剖分,求出剖分之后的每个三角形对应的三棱柱的体积,进而求出总的土方量。实例表明,该方法切实可行,精度比较高,有效地解决了三角网的结构差异问题,能精确地计算土方填挖边界线与三角网相交部分三

棱柱的体积,避免了因放弃这部分体积或三角网重构引起的模型失真所带来的计算误差。

## 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] 林观土.不同土方测量方法的比较与评价[J].广东农业科学,2007(8):33-35.
- [3] 徐敬海,李明峰,刘伟庆.一种基于 DEM 的土方计算方法[J].南京建筑工程学院学报,2002(1):26-31.
- [4] 曾建平,刘发全.基于 VBA 三角网格土石方开挖的三维模型[J].陕西工学院学报,2005,21(1):31-33.
- [5] 赵远方.数字高程模型在工程中的应用研究[D].郑州:中国人民解放军信息工程大学,2007.
- [6] 李淑明.计算机辅助机场地势优化设计[D].西安:西北工业大学,1999.

(上接第 102 页)

## 3 结 论

本文中 Muki 方法求解两根桩之间的相互作用系数计算方法推广到桩与垫层下地基土单元以及地基土单元与地基土单元之间的相互作用系数计算上,并基于叠加原理建立了长短桩复合地基相互作用系数计算方法。采用虚拟桩的方法来计算桩一桩以及桩一土之间的相互作用,充分考虑了桩一土分离以后桩体孔洞的存在。通过与已有文献计算结果的比较,验证了本文计算方法的合理性。本文计算方法不需要对群桩整体建立模型进行分析,因此,本文计算方法是一种计算效率高的长短桩复合地基分析方法。本文进行的参数分析可以为进一步的理论研究以及工程设计提供有益的依据。

## 参 考 文 献:

- [1] LIANG Fa-yun, CHEN Long-zhu, SHI Xu-guang. Numerical analysis of composite piled raft with cushion subjected to vertical load [J]. Computers and Geo-technics, 2003, 30(6): 443-453.
- [2] 葛忻声,龚晓南,张先明.长短桩复合地基有限元分析及设计计算方法探讨[J].建筑结构学报,2003,24(4):91-96.
- [3] 陈龙珠,梁发云,丁 屹.变刚度复合地基处理的有限元分析

[J]. 工业建筑,2003,33(11):1-4.

- [4] 徐 洋,谢康和,何丽波,等.三维复合模型及其在散体桩复合地基分析中的应用[J].岩石力学与工程学报,2004,23(20):3405-3412.
- [5] 池跃君,宋二祥,高文新,等.刚性桩复合地基承载及变形试验研究[J].中国矿业大学学报,2002,31(3):237-241.
- [6] 池跃君,宋二祥,金 淮,等.刚性桩复合地基应力场分布的试验研究[J].岩土力学,2003,24(3):339-343.
- [7] 刘奋勇,杨晓斌,刘 学.混合桩型复合地基试验研究[J].岩土工程学报,2003,25(1):71-75.
- [8] 陈龙珠,梁发云,黄大治,等.高层建筑应用长一短桩复合地基的现场试验研究[J].岩土工程学报,2004,26(2):167-171.
- [9] 李希平,何春保,陶龙光,等.刚性桩复合地基设计与实测研究[J].岩石力学与工程学报,2009,28(增2):3850-3856.
- [10] 李春灵.边载作用下 CFG 桩复合地基性状分析[J].建筑科学,1999,15(4):19-23.
- [11] 梁发云,陈龙珠,李镜培.混合桩型复合地基工程性状的近似解法[J].岩土工程学报,2005,27(4):459-564.
- [12] MUKI R, STERNBERG E. Elastostatic load-transfer to a half-space from a partially embedded axially loaded rod [J]. International Journal of Solids and Structures, 1970(6):69-90.
- [13] 曹 明,陈龙珠,陈胜立.复合地基相互作用系数解法及参数分析[J].岩土力学,2008,29(12):3401-3406.
- [14] 梁发云,陈龙珠,李镜培.加筋效应对群桩相互作用系数的影响[J].岩土力学,2005,26(11):1757-1760.
- [15] 陈龙珠,曹 明.桩筏基础相互作用系数解法及参数分析[J].岩土工程学报,2008,30(2):154-159.



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](http://www.paperyy.com/reduce_repetition)

PPT免费模版下载：<http://ppt.ixueshu.com>

---