

土地整理项目土方量计算方法

柳长顺¹ 齐 实² 杜丽娟²

(1. 北京师范大学环境科学研究所, 100875; 2. 北京林业大学水土保持学院, 100083; 北京)

摘 要 应用二重积分的基本原理, 研究以数字高程模型(DEM)不同分辨率确定土方量的方法。以河北省南宮市清凉江项目为例进行了计算分析, 并与相关文献计算结果进行了对比, 说明用该方法计算土方量是可行的。

关键词 土地整理; 土方量计算; 数字高程模型; 分辨率

土地开发整理是实现耕地总量动态平衡的有效措施, 是提高土地质量, 促进土地集约化利用的重要手段。土地整理中土地平整工程投资约占总投资的40%~80%, 土方量的大小与土地平整的投资直接相关。准确快速地计算土方量对开展规划设计、控制总投资及分配资金具有重要意义。

土地平整是土地整理的主要内容, 占项目总投资的比例大, 一般要求计算精度较高。确定网格大小时, 改善系数取1.00, 即计算精度为1/1000。当分辨率变化时, 由于地形及其数据本身的原因, 不同田块的土方量及总土方量变化趋势并不一致; 但是总体上, 随着分辨率变小, 土方量变化的幅度也变小, 逐渐趋于稳定。文献[1]对土方量计算方法进行了综述, 并提出基于DEM计算土方量的方法, 应用数字高程模型(DEM)原理, 把整个研究区分为不同的高程组, 汇总田块每一高程组的体积得到田块及项目总土方量。DEM网格大小为0.5 m, 高程分组以dm计, 即高程分辨率为0.1 m。该方法较传统方法的计算工作量有所减小, 精度有所提高, 但是也存在确定高程分组和保证计算精度等问题。为此, 笔者应用二重积分的基本概念, 以期提出基于DEM不同分辨率确定项目土方量的解决方案。

1 原理与方法

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。DEM以数字的形式按一定的结构组织在一起, 表示实际地形高低起伏和地形大小特征的空间分布模型。DEM数据是以离散方式组织在一起的^[2], 用函数表示如下:

$$Z_i = f(x_i, y_i), i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (1)$$

式中: x_i, y_i 为平面坐标; Z_i 为 (x_i, y_i) 对应的高程。

DEM计算土方量的基本原理是基于二重积分。设计水平田块相当于 xOy 平面上的区域 D , 式(1)表示实际地面, 构成曲顶柱体的顶面(图1)^[3]。根据二重积分求解方法可以求算工程土方量。

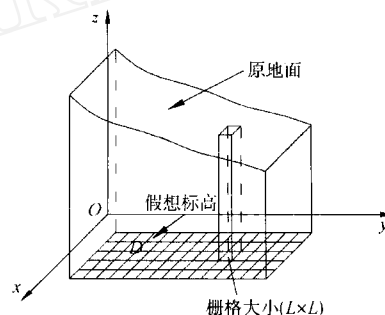


图1 二重积分图示

Fig.1 Chart of bi-duplicated integration

以单个田块为例介绍土方量求解原理。这里假定田块设计高程为0, 地面高程 $(x_i, y_i) \geq 0$ 。

1) 田块是由DEM的栅格(Cell)组成的, 假定田块栅格数为 n , 每个栅格大小为 $\Delta\sigma_1, \Delta\sigma_2, \dots, \Delta\sigma_n$ 。如果栅格没有被田块分割, $\Delta\sigma_i = L \times L$, L 为DEM分辨率或栅格大小。分别以栅格边界为准线, 作母线平行于 z 轴的柱面, 这些柱面把原连续曲面体分成 n 个小曲顶体, 记小曲顶体的体积为 $\Delta V_1, \Delta V_2, \dots, \Delta V_n$ 。

2) 近似代替。当栅格很小时, 由于 $f(x_i, y_i)$ 连续, 对于同一个小区域来说, $f(x_i, y_i)$ 变化很小, 这时小曲顶体可近似看作平顶体。任一栅格 (x_i, y_i) 为底, 以 $f(x_i, y_i)$ 为高的小平顶体的体积为

收稿日期: 2003-04-04 修回日期: 2003-05-10

项目名称: 国投土地开发整理项目(HB2002-C-冀001; SJ2001-C-辽002; SJ2001-C-蒙003项目)

作者简介: 柳长顺(1975—), 男, 北京师范大学环境科学研究所在读博士。从事土地整理项目规划设计工作。E-mail: liuschos@263.net

$f(x_i, y_i)\Delta\sigma_i$, 于是有

$$\Delta V_i \approx f(x_i, y_i)\Delta\sigma_i, i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (2)$$

3) 求和。这 n 个平顶柱体体积之和是整个曲顶柱体体积 V 的近似值:

$$V = \sum_{i=1}^n \Delta V_i \approx \sum_{i=1}^n f(x_i, y_i)\Delta\sigma_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (3)$$

4) 求极值。为了求得 V 的精确值, 令 DEM 分辨率趋于零, 通过这个极限过程便得所求体积:

$$V = \lim_{\substack{L \rightarrow 0 \\ (n \rightarrow \infty)}} \sum_{i=1}^n f(x_i, y_i)\Delta\sigma_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (4)$$

通常设计田块的设计标高不为 0, 原始地面也不一定高于设计标高(图 2), 但计算原理相同, 挖方为地面高程 > 设计标高, 填方为地面高程 < 设计标高; 所以式(4)分解为式(5)和式(6)。

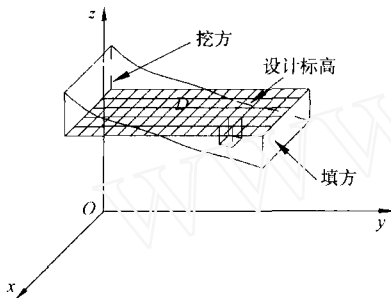


图 2 田块土方量计算图示

Fig. 2 Calculation of earth volume for unit land

挖方:

$$V_{挖} = \lim_{\substack{L \rightarrow 0 \\ (n \rightarrow \infty)}} \sum_{i=1}^n (f(x_i, y_i) - H)\Delta\sigma_{ii} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n; \quad (5)$$

填方:

$$V_{填} = \lim_{\substack{L \rightarrow 0 \\ (n \rightarrow \infty)}} \sum_{i=1}^n (H - f(x_i, y_i))\Delta\sigma_{ii} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (6)$$

根据挖填平衡的原则, 田块土方量计算式如下:

$$V = \frac{V_{挖} + V_{填}}{2}. \quad (7)$$

式中: V 为田块土方量, m^3 ; $V_{挖}$ 为田块挖方工程量, m^3 ; $V_{填}$ 为田块填方工程量, m^3 ; H 为设计标高, m ; n 为栅格数。

从式(5)和式(6)知, 如果栅格很小, 数据量会很大, 因此确定栅格大小非常重要。当栅格逐渐变小时, 土方量变化越来越小。可以通过下式判定 DEM 适宜的分辨率:

$$R = \frac{V^r_1}{V^r_0}. \quad (8)$$

式中: R 为变化系数; r_1 和 r_0 分别为 DEM 不同的分辨率, m ; V^r_1 为栅格大小 r_1 时的田块土方量, m^3 ; V^r_0 为栅格大小为 r_0 时的田块土方量, m^3 。

当变化系数 R 等于 1 或接近于 1 时, 说明分辨率变化对土方量的影响非常小, 此时的分辨率为计算土方量适宜的分辨率。通常取 $R = 1.00$, 即可满足工程预算的需求。

如果项目有 m 个田块组成, 项目土地平整工程的土方量

$$V_{total} = \sum_{q=1}^m V_q, \quad q = 1, 2, 3, \dots, m. \quad (9)$$

式中: V_{total} 为项目土地平整总土方量, m^3 ; V_q 为 q 田块的土方量, m^3 ; m 为项目区总规划田块数。

上述计算过程可利用 Arcview 软件实现。首先, 利用 Arcview 软件的空间分析扩展模块生成不规则三角网(TIN), 并对数据进行进一步的检查; 然后, 利用 TIN 生成不同分辨率的 DEM 进行计算。

2 案例分析

河北省邢台市南宫市清凉江土地开发项目是 2002 年国家投资、中央承担的示范项目, 建设规模 567 hm^2 , 投资为 1 541.09 万元。项目区位于东经 $115^{\circ}37'25'' \sim 115^{\circ}46'17''$, 北纬 $37^{\circ}4'05'' \sim 37^{\circ}12'58''$, 南宫市东南方向的清凉江东岸沿线, 属河流冲积泛滥平原区, 地势除一部分沙丘外相对平坦开阔*。由于历史上黄、漳河尤以清凉江的多次泛滥改道, 以及其他外力的作用, 在局部地区形成了一些沙丘、洼地和坑塘等地貌形态, 整个项目区呈现大平小不平, 给工程量的计算提出了新的挑战。

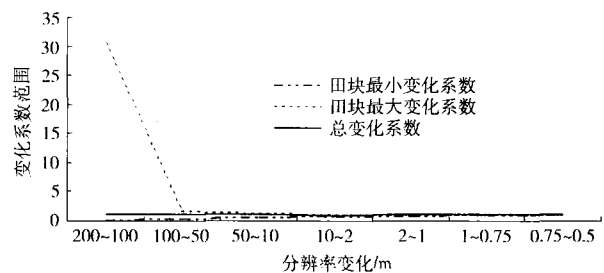


图 3 土方量变化系数图

Fig. 3 Variation coefficients of earth volume

* 国地土地整理规划设计研究院, 国投土地开发整理项目(HB2002-C-冀 001)报告, 2002。

根据文献[1],整个项目区划分为60个田块,图3表示分辨率由大变小时的土方量变化系数趋势。图4表示分辨率为1 m时各田块土方量及其与文献[1]的对比。

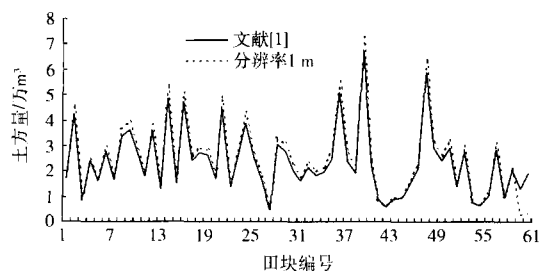


图4 田块土方量

Fig.4 Earth volume for all plots

3 结果分析

3.1 确定栅格大小

据图3,随着分辨率从200 m缩小到0.5 m,各田块和总土方量的改善系数逐渐趋于1.00。当分辨率从200 m变为100 m时,土方量变化系数变化范围为0.25~30.29,变幅高达30.24;当分辨率从100 m变为2 m时,土方量变化系数变化范围逐渐缩小;当分辨率从2 m变为1 m时,土方量变化系数变化范围为0.99~1.00;当分辨率从1 m变为0.75 m时,各田块及总土方量变化系数为1.00,土方量没有明显的变化:因此,栅格大小为1 m时,计算土方量的精度较高,可以满足预算的需要。

3.2 确定各田块土方量及总土方量

根据上述分析,栅格大小为1 m,项目总土方量为151.20万 m^3 ,各田块的土方量见图4。以图4计算的土方量与文献[1]比较,该文计算结果偏大。59号和60号田块因为测量数据不全,计算结果偏差大。除59号和60号田块外,计算与文献[1]结果相差为1%~16%,其中2/3的田块相差小于10%,

总土方量相差6.45%。从土方量计算的角度,如果DEM栅格大小 $>1 m$,DEM对地形地貌的描述的精度是不够的,据此计算的土方量误差较大。文献[1]DEM栅格大小为0.5 m,在计算过程中DEM的 z 值是整型(integer),虽然高程分组采用dm计量,但是, $<1 dm$ 的微地貌还是被忽略;而本文DEM的 z 值是浮点型(float),地形地貌能被最大程度的描述:因此,在理论上,本文的计算精度高于文献[1]。项目目前尚未施工,缺少实测数据,计算精度有待验证。

应用二重积分的基本原理,提出基于DEM不同分辨率确定项目土方量的方法,并以南宫项目为例进行了分析,可得出如下结论:

1)计算的土方量是收敛的。通过改变DEM分辨率,可以使各田块及项目总土方量达到稳定数值,以此可作为项目预算的依据。

2)本方法为其他研究提供了一个基础,改进了计算结果的可靠性。数字高程模型(DEM)是表示地面上的高程信息的模型,但是分辨率直接影响计算结果的精度。不同地形地貌下,同一分辨率对结果的影响是不同的。本研究提出的方法可以找到用于土方量计算的适宜分辨率,保证了不同方法计算结果的可靠性和可比性。

论文完成过程中,得到国地土地整理规划设计研究院南宫项目规划组毛泓博士,周鹏伟、易友良、朱国平工程师的帮助,深表感谢。

4 参考文献

- 1 柳长顺,杜丽娟. Arcview 在土地整理项目土方量计算中的运用. 农业工程学报,2003,19(2):224-227
- 2 李志林,朱庆. 数字高程模型. 武汉:武汉大学出版社,2001
- 3 吉林工学院数学教研室. 高等数学. 武汉:华中理工大学出版社,1996

Method to Calculate Earthwork in Land Consolidation Project

Liu Changshun¹ Qi Shi² Du Lijuan²

(1. Institute of Environment Sciences in Beijing Normal University, 100875;

2. Department of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, 100083; Beijing, China)

Abstract The paper discusses how to calculate earthwork of land consolidation project using different resolutions of Digital Elevation Model (DEM), and takes Qingliangjiang project in Nangong city of Hebei Province as a case to analyze the results and compare them to other literature. The results show that the method raised is feasible.

Key words land consolidation; earthwork calculation; digital elevation model (DEM); resolution