

# 土地整治项目土方量计算方法比选

岳小松 (江西省煤田地质局测绘大队, 江西南昌 330001)

**摘要** 采用 DTM 法和方格网法, 对不同坡度、不同采样间距的田块的土方量进行计算, 并对计算结果进行精度和费用分析, 同时结合实际情况, 将部分条田划分为格田进行计算分析。结果表明: 若不考虑土方调配, 方格网法适合坡度  $0^{\circ} \sim 2^{\circ}$  土方量计算; DTM 法计算精度更高; DTM 法计算土方预算费用更低, 将坡度为  $6^{\circ} \sim 15^{\circ}$  对应的条田划分为格田进行平整, 可以降低施工费用。总之, DTM 法优于方格网法。

**关键词** DTM 法; 方格网法; 土方量; 精度; 费用

中图分类号 F301.2 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)33-0207-04

## Comparative on Earthwork Calculation Methods about Land Consolidation Project

YUE Xiao-song (Jiangxi Provincial Bureau of Coal Geology Surveying and Mapping Team, Nanchang, Jiangxi 330001)

**Abstract** Using DTM method and square grid method, calculated earthwork about field different sampling interval and slope, and carried out precision and costs analysis of the calculation results, at the same time, combined the actual situation, some large fields were divided into small fields for analysis. The results showed that: if turkish deployment was not considered, square grid was suitable for slope  $0^{\circ} \sim 2^{\circ}$  earthwork calculation, DTM method was higher precision and lower costs, some large fields slope  $6^{\circ} \sim 15^{\circ}$  were divided into small fields, which was flated, construction costs were reduced. Anyway, DTM method was better than square grid.

**Key words** DTM method; Square grid; Earthwork; Precision; Costs

土地整治是经济社会发展到一定阶段解决土地利用问题的必然选择, 已成为统筹我国城乡发展和生态文明建设的重要平台, 是保障国家粮食安全、促进农业现代化的重要举措。一直以来, 土地整治以增加有效耕地数量、提高耕地质量、提升农业综合生产能力、改善农村生活条件为主要的目标和任务。土地平整工程是土地整治项目中的一项重要工程, 土方量的大小又是土地平整工程中的重要内容, 土方量计算结果与项目的总投资密切相关。因此采用何种方法计算土方量, 合理地确定土方量的大小, 对整个项目的投资起着至关重要的作用。

传统的土方量计算方法有: 断面法、方格网法<sup>[1]</sup>、散点法<sup>[2]</sup>和表格法<sup>[3]</sup>。笔者主要介绍 DTM 法和方格网法, 并对这 2 种方法的计算结果从不同的层面进行对比分析, 确定两种方法的适用情况。

## 1 土方量计算方法及原理

**1.1 DTM 法** DTM 法工作原理是根据已有的高程点建立三角网, 从而形成 DTM 模型, 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锥的挖填方量, 最后累计得到指定范围内填方和挖方的土方量, 并绘出填挖方分界线<sup>[4]</sup>。用 DTM 进行土方量计算有几种方式: 一是根据图中的三角网进行计算; 二是根据图中的高程点进行计算; 三是根据坐标文件进行计算。

**1.2 方格网法** 方格网法是根据设计高程和实测地面点坐标将待计算的区域划分为若干个方格, 每个方格按照长方形的体积计算填挖方量, 最后累计得到该范围内填方和挖方的总土方量<sup>[5]</sup>。

根据方格网划分为四边形和三角形的不同, 方格网法又

分为四方棱柱体法和三角棱柱体法。四方棱柱体法是根据已有的地形图, 划分方格网, 其方位尽量测量纵横坐标网重合<sup>[6]</sup>。方格的大小, 根据自然地面或设计地面的复杂程度而定, 可以采用  $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 、 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 、 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$  的方格网。计算步骤如下: 测量各方格角点的自然地面高程  $h_1$ , 或者根据地形图上的等高线插值求出方格角点的自然地面高程  $h_1$ ; 按田块规划设计标明各方格角点的设计地面标高  $h_2$ ; 计算自然地面高程与设计地面标高的差值, 即得出各方格角点的施工高度  $h_s = h_1 - h_2$ , 也就是该角点的挖、填方向高度 (“+”为填方, “-”为挖方); 确定零点及零线, 即确定挖方区与填方区的交线; 计算方格角点的挖、填土方量情况, 按计算公式表中所列的公式计算, 求出各方格的挖填土方量, 把挖填土方量分别汇总。三角棱柱体法是将正方形方格网法中正方形的对角线连接起来形成直角三角形网格<sup>[7]</sup>, 计算步骤同四方棱柱体法。

## 2 实例分析

从某土地整治项目中选取不同坡度 ( $0^{\circ} \sim 2^{\circ}$ ,  $2^{\circ} \sim 6^{\circ}$ ,  $6^{\circ} \sim 15^{\circ}$ ) 对应的不同田块 (TK1、TK2、TK3、TK4、TK5、TK6、TK7、TK8), 利用南方 CASS 软件, 先采用区域土方平衡计算出各个田块挖填平衡时的土方平衡高程, 以此高程作为目标高程, 再采用 DTM 法和方格网法, 边界差值间隔或方格宽度 (以下统称为“采样间距”) 分别取 20、10、5 m, 计算田块的挖方量、填方量、挖填方最大值及挖填差值, 并对 2 种方法计算结果进行分析。

**2.1 操作步骤** 用 CASS 软件打开 CAD 文件, 先将待计算的田块沿田块边界画闭合的线。工程应用 → 高程点生成数据文件 → 无编码高程点 → 输入坐标数据文件名 → 保存 (假设保存为 1.dat 格式), 整张图就生成了坐标文件。

区域土方平衡法: 工程应用 → 区域土方平衡 → 根据坐标数据文件 (选 1.dat) → 选择计算区域边界线 → 边界插值间隔 (假设取 20 m) → 生成土方平衡图。假定该法计算出的某田

块高程为 47.67 m。

DTM 法:工程应用→DTM 土方计算法→根据坐标数据文件→选择计算区域边界线→选择数据文件(选 1. dat)→打开→边界采样间距(20 m),平场标高(47.67 m)→确定→生成 DTM 土方计算图。

方格网土方计算法:工程应用→方格网→选择计算区域边界线→高程点坐标数据文件→设计面(平面),目标高程(47.67 m),方格宽度(20 m)→确定→生成方格网土方计算图。

## 2.2 计算结果分析

**2.2.1 土方量分析。**将同一坡度的几个田块土方量进行汇总,两种方法计算结果见表 1,平整土方量取挖填最大值。DTM 法计算出的挖填方量大致相等,方格网法计算出来的挖填方量存在一定的差值。坡度为 0°~2°、2°~6°时,大部分田块的填方量大于挖方量,需要外运土回填,当坡度为 6°~15°时,田块的挖方量大于填方量,多余挖方量需要外运。

表 1 土方量及相对误差计算

Table 1 Earthwork and its relative error calculation

坡度 Slope	采样间距 Sampling pitch//m	土方量 Earthwork//m <sup>3</sup>		挖方-填方 Excavation-Fill//m <sup>3</sup>		与均值差值绝对值 Absolute value of measured result minus mean//m <sup>3</sup>		相对误差 Relative error//%	
		DTM 法 DTM method	方格网法 Square grid	DTM 法 DTM method	方格网法 Square grid	DTM 法 DTM method	方格网法 Square grid	DTM 法 DTM method	方格网法 Square grid
		0°~2°	5	24 592.6	24 477.6	-3.9	-232.6	91.87	382.37
	10	24 506.5	24 283.1	9.3	-494.0	5.77	187.87	0.02	0.78
	20	24 403.1	23 525.0	3.3	-267.1	97.63	570.23	0.40	4.05
	最或是值	24 500.7	24 095.2						
2°~6°	5	4 906.8	3 862.7	-0.5	-1 464.3	13.37	183.13	0.26	4.53
	10	4 797.9	3 817.5	0.4	-1 186.2	122.27	228.33	2.42	5.64
	20	5 055.8	4 457.3	1.6	-430	135.63	411.47	2.68	10.17
	最或是值	4 920.2	4 045.8						
6°~15°	5	30 222.9	29 892.2	-5.4	2 114.8	24.30	817.60	0.08	2.66
	10	30 176.6	30 926.6	-1.9	1 693.5	22.00	216.80	0.07	0.71
	20	30 196.3	31 310.6	6.2	563.3	2.30	600.80	0.01	1.96
	最或是值	30 198.6	30 709.8						

显然,DTM 法比方格网法相对误差小。坡度为 0°~2°时,DTM 法和方格网法相对误差分布规律一致,即相对误差由小到大依次为采样间距 10、5、20 m。坡度为 2°~6°时,DTM 法和方格网法相对误差分布规律一致:采样间距与相对误差成正比,即采样间距越大,相对误差越大。坡度为 6°~15°时,DTM 法采样间距越大,相对误差越小,方格网法相对误差由小到大依次为采样间距 10、20、5 m。3 种坡度范围内,DTM 法相对误差最大和次大的土方量,相对误差差值 0.01%~0.26%,差别不大;方格网法相对误差最大和次大的土方量,相对误差差值 0.82%~3.25%,差别稍大。

由此可知,DTM 法精度高于方格网法。坡度为 0°~2°时,2 种方法采样间距 10 m 对应的土方量精度最高;坡度为 2°~6°时,2 种方法采样间距越小,精度越高;坡度为 6°~15°时,DTM 法采样间距越大,精度最高,方格网法采样间距 10 m 对应的土方量精度最高。

**2.2.3 预算费用分析。**运用智多星软件进行计算,田块平

2 种计算方法,坡度为 0°~2°,采样间距越小,土方量越大。DTM 法计算结果相差不大,方格网法计算结果相差 5% 以内。坡度为 2°~6°时,采样间距为 10 m 时,土方量最小,采样间距为 20 m 时,土方量最大。坡度为 6°~15°时,DTM 法计算出的不同采样间距土方量分布情况同坡度 2°~6°,方格网法计算出来的土方量,采样间距为 20 m 时,土方量最小,采样间距为 5 m 时,土方量最大。

总体而言,坡度为 6°~15°时,采样间距为 5、10 m 时,方格网法计算出的土方量比 DTM 法计算的土方量大外,其余情况方格网法计算的土方量更小。

**2.2.2 精度分析。**计算结果的最或是值  $\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$ ,以不同间距用 DTM 法或方格网法计算的土方量平均值作为该法的最或是值,计算每个采样间距对应的土方量与最或是值之差的绝对值,用绝对值除以该最或是值,所得的百分比即为相对误差。相对误差越小,精度越高。计算结果见表 1。

整采用 74 kW 推土机,推土距离为 20~30 m,土方量综合单价为 2.09 元/m<sup>3</sup>,多余的挖方或填方量采用 0.5 m<sup>3</sup> 挖掘机挖装自卸汽车运土,运距 0~0.5 km,外运土综合单价为 4.31 元/m<sup>3</sup>,由此计算出预算费用对比情况见表 2。

表 2 预算费用对比

Table 2 Budget cost comparison

坡度 Slope	采样间距 Sampling pitch m	DTM 法 DTM method 元	方格网法 Square grid//元	方格网 法-DTM 法 Square grid- DTM method 元
0°~2°	5	51 381.73	52 160.69	778.96
	10	51 258.67	52 880.82	1 622.15
	20	51 016.70	50 318.45	-698.25
2°~6°	5	10 253.06	14384.18	4 131.12
	10	10 029.34	13 091.10	3 061.76
	20	10 573.52	11 169.06	595.54
6°~15°	5	63 086.99	74 553.94	114 66.95
	10	63 077.28	71 935.58	8 858.30
	20	63 192.58	64 902.52	1 709.94

除了坡度为 $0^{\circ} \sim 2^{\circ}$ , 采样间距为 20 m, 方格网法预算费用低于 DTM 法外, 其余情况费用均高于 DTM 法。坡度为 $0^{\circ} \sim 2^{\circ}$ , DTM 法预算费用和采样间距成反比, 即采样间距越大, 预算费用越低; 方格网法不同采样间距预算费用由小到大依次为 20、5、10 m。坡度 $2^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 和坡度 $6^{\circ} \sim 15^{\circ}$ , DTM 法不同采样间距预算费用分布规律相同, 方格网法不同采样间距预算费用分布规律也相同。DTM 法预算费用由小到大依次为采样间距 10、5、20 m, 方格网法预算费用和采样间距成反比, 即采样间距越大, 预算费用越低。

坡度为 $0^{\circ} \sim 2^{\circ}$ , 采样间距为 20 m, 方格网法费用最低, 坡度为 $2^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 、 $6^{\circ} \sim 15^{\circ}$ , 采样间距为 10 m, DTM 法费用最低。可见, DTM 法计算土方量可以节省投资。

**2.3 结合实际分析** 当坡度为 $0^{\circ} \sim 2^{\circ}$ 、 $2^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 时, DTM 法和方格网法计算的挖土深度和填土深度范围为 0.15 ~ 0.40 m, 该深度与实际情况一致。当坡度为 $6^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 时, DTM 法和方格网法计算的挖土深度和填土深度范围为 1 ~ 1.4 m。若按该深度进行施工, 则平整后的田块和与其相邻的上、下田块衔接处需进行护坡, 否则容易出现水土流失现象, 这将会增加投资费用。鉴于此, 将 TK6、TK7、TK8 每个田块用田埂划分成 8 个格田, 田埂间距 15 ~ 20 m, 以格田作为平整单元。由表 1 可知, 采样间距取 20 m, 精度最高, 故采样间距取 20 m。先采用区域土方平衡确定每个格田的目标高程, 再采用 DTM 法、方格网法计算土方量, 结果见表 3、4。

表 3 不同平整单元 DTM 法计算结果

Table 3 Calculation results of different flat elements with DTM method

田块编号 Field No.	面积 Area $m^2$	条田 Bar field// $m^3$				格田 Grid field// $m^3$			
		挖方 Excavation	填方 Fill	挖填最大值 Max of excavation and fill	挖方 - 填方 Excavation - Fill	挖方 Excavation	填方 Fill	挖填最大值 Max of excavation and fill	挖方 - 填方 Excavation - Fill
TK6	7 984.1	8 850.7	8 847.6	8 850.7	+3.1	1 864.3	1 851.3	1 864.8	13.0
TK7	9 075.1	12 199.2	12 198.1	12 199.2	+1.1	3 031.1	3 031.5	3 033.1	-0.4
TK8	9 839.6	9 173.0	9 171.0	9 173.0	+2.0	2 675.4	2 675.7	2 676.6	-0.3
合计 Total	26 898.8	30 222.9	30 216.7	30 222.9	+6.2	7 570.8	7 558.5	7 574.5	12.3

表 4 不同平整单元方格网法计算结果

Table 4 Calculation results of different flat elements with square grid

田块编号 Field No.	面积 Area $m^2$	条田 Bar field// $m^3$				格田 Grid field// $m^3$			
		挖方 Excavation	填方 Fill	挖填最大值 Max of excavation and fill	挖方 - 填方 Excavation - Fill	挖方 Excavation	填方 Fill	挖填最大值 Max of excavation and fill	挖方 - 填方 Excavation - Fill
TK6	7 984.1	9 054.9	8 958.5	9 054.9	96.4	1 854.3	1 969.6	2 011.1	-115.3
TK7	9 075.1	11 909.1	11 731.3	11 909.1	177.8	2 943.6	2 938.8	3 055.3	4.8
TK8	9 839.6	8 928.2	8 639.1	8 928.2	289.1	2 702.6	2 679.9	2 845.8	22.7
合计 Total	26 898.8	29 889.2	29 328.9	29 892.7	563.3	7 570.5	7 588.3	7 912.2	-87.8

由表 3、4 可知, 同一种计算方法, 以格田为平整单元计算的土方量远小于以条田为平整单元计算的土方量, 前者是后者的 1/3 ~ 1/4。以条田为平整单元计算土方时, 方格网法计算出的土方量略小, 但和 DTM 法计算结果相差不大, 前者比后者土方量减少 1.09%。以格田为平整单元计算土方时,

方格网法 > DTM 法, 前者比后者土方量增加 4.53%。两种方法计算出的挖土深度和填土深度范围为 0.20 ~ 0.35 m, 符合施工的实际情况。两种方法不同平整单元预算费用对比情况见表 5。

表 5 两种方法不同平整单元预算费用对比

Table 5 Comparison of budget costs for different units with two methods

计算方法 Calculation method	条田 Bar field//元			格田 Grid field//元			格田费用 - 条田费用 Grid field costs - Bar field costs 元	减少率 Reduction rate//%
	土方量费用 Earthwork costs	外运土费用 Foreign transport costs	合计 Total	土方量费用 Earthwork costs	外运土费用 Foreign transport costs	合计 Total		
DTM 法 DTM method	63 165.86	26.72	63 192.58	15 830.71	53.01	15 883.72	-47 308.87	75
方格网法 Square grid method	62 474.70	2 427.82	64 902.52	16 536.50	378.42	16 914.92	-47 987.61	74

由表 5 可知, 同一种计算方法, 以格田为平整单元计算预算费用更低, 比条田费用减少 74% ~ 75%。以条田为平整单元计算土方时, 方格网法的土方量费用小于 DTM 法, 但因

外运土量较大, 费用较高, 造成前者比后者预算费用高出 1 709.94 元, 费用增加率 2.71%。以格田为平整单元计算土方时, 方格网法的土方量和外运土均大于 DTM 法, 致使前者

比后者预算费用高出 1 031.20 元,费用增加率 6.51%。

将条田划分为格田进行平整,2 种方法均可以大大降低费用。2 种方法中,DTM 法更节省费用。

### 3 结论与建议

通过对以上 2 种方法的对比分析,可得出如下结论:

(1) 坡度为  $6^{\circ} \sim 15^{\circ}$  时,采样间距为 20 m 时,坡度为  $0^{\circ} \sim 2^{\circ}$ 、 $2^{\circ} \sim 6^{\circ}$  时,采样间距为 5、10、20 m 时,DTM 法比方格网法计算的土方量更大,但挖填基本平衡,不需要进行土方调配。其余情况,前者比后者计算的土方量更小。

(2) 坡度为  $0^{\circ} \sim 2^{\circ}$  时,2 种方法计算的土方量和坡度为  $6^{\circ} \sim 15^{\circ}$  时采用方格网法计算的土方量分布规律相同,采样间距与土方量成反比,即采样间距越小,土方量越大;坡度为  $2^{\circ} \sim 6^{\circ}$  时,2 种方法计算的土方量和坡度为  $6^{\circ} \sim 15^{\circ}$  时采用 DTM 法计算的土方量分布规律相同,即土方量由大到小依次是采样间距 20 m、采样间距 5 m、采样间距 10 m。

(3) 坡度为  $0^{\circ} \sim 2^{\circ}$  时,2 种方法计算精度由大到小依次是采样间距 10 m、采样间距 5 m、采样间距 20 m;坡度为  $2^{\circ} \sim 6^{\circ}$  时,2 种方法计算精度与采样间距成反比,即计算精度由大到小依次是采样间距 5 m、采样间距 10 m、采样间距 20 m;坡度为  $6^{\circ} \sim 15^{\circ}$  时,DTM 法计算精度与采样间距成正比,即计算精度由大到小依次是采样间距 20 m、采样间距 10 m、采样间距 5 m,方格网法计算精度由大到小依次是采样间距 10 m、采样间距 20 m、采样间距 5 m。DTM 计算精度高于方格网法计算精度。

(4) 预算费用。因 DTM 法挖填基本平衡,同一坡度,不同采样间距的土方量及其预算费用分布规律相同。方格网法计算的土方量挖填差较大,只有坡度为  $6^{\circ} \sim 15^{\circ}$  时,土方量及其预算费用分布规律相同。方格网法,坡度为  $0^{\circ} \sim 2^{\circ}$  时,按预算费用由大到小排序为采样间距 10、5、20 m;坡度为  $2^{\circ} \sim 6^{\circ}$  时,预算费用和采样间距成反比,预算费用由大到小

依次是采样间距 5 m、采样间距 10 m、采样间距 20 m。坡度  $6^{\circ} \sim 15^{\circ}$  不同的采样间距对应的费用相差不大。大部分田块方格网法预算费用均高于 DTM 法,DTM 法可节省投资。

(5) 坡度为  $6^{\circ} \sim 15^{\circ}$  时,以条田为平整单元计算的田块挖填深度较大,势必会增加不小的费用,且不符合施工实际。将条田划分为格田,以格田为平整单元计算,土方量远远小于按条田计算的结果,预算费用大大降低,挖填深度也控制在合理的范围内。不同的平整单元,方格网法计算的土方量和外运土均大于 DTM 法,致使前者比后者预算费用高。平整单元越小,计算的土方量越准确,且可以大大减少费用。

(6) 方格网法更适合坡度  $0^{\circ} \sim 2^{\circ}$  即平缓坡地土方量计算,DTM 法计算的土方量基本挖填平衡,不需要进行土方调配,适合土源不丰富的地方,方格网法计算的挖填方量基本不平衡,若挖、填方量较大,需考虑外运土进行土方调配。

(7) 采样间距和土方量计算精度之间并无明显的关系,土方量计算精度和测量图上的高程点间距有关,若高程点间距和采样间距相近,则计算精度将有所提高。若二者差别太大,则精度将下降。在进行土方量计算方案比选时,建议选精度相对高的方案,若 2 种方案精度相差不大,再进行预算费用分析,从而确定最优方案。

### 参考文献

- [1] 张光辉. 快速计算土方量的方法[J]. 测绘通报,1997(5):23-24.
- [2] 王礼先. 水土保持工程学[M]. 北京:中国林业出版社,2000.
- [3] 刘桦. 土方量的表格法测算[J]. 测绘通报,2000(4):64-65.
- [4] 刘建英. 南方 CASS 软件土方量计算方法的探讨以及特殊地貌土方量的计算[J]. 城市勘测,2008(5):108-115.
- [5] 陈爱梅,吴昊,吴北平等. 四种土方量计算方法的对比研究与应用[J]. 北京测绘,2015(1):104-107.
- [6] 范树印. 土地整治项目设计实务[M]. 北京:中国大地出版社,2016.
- [7] 刘鸿剑,肖伟红,何建英,等. 基于 DEM 的工程土方量算法研究:以抚州市人工湖项目堤防工程土方量计算为例[J]. 江西理工大学学报,2009,30(4):17-21.
- [8] 梁彦庆,黄志英,冯忠江,等. 基于人工神经网络的土地整理项目综合效益评价研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(8):4799-4801.
- [9] 张召冉,杨仁树,许炳,等. 煤矿矿建工程投资估算模型与应用[J]. 中国矿业,2014,23(10):152-156.
- [10] 蒋慧娟. 城市土地整理风险识别相关问题研究[J]. 现代商业,2009(23):113,112.
- [11] 谷晓坤,卢新海,陈白明. 大城市郊区农村居民点整理效果分析:基于典型案例的比较研究[J]. 自然资源学报,2010,25(10):1649-1657.
- [12] 李瑞丽. 企业生态理论与基于 BP 神经网络的企业生态评价[D]. 太原:山西大学,2003:26-31.
- [13] 赵玉,徐鸿,张坤,等. 基于小波神经网络的国际轴资源价格趋势分析[J]. 东华理工大学学报(社会科学版),2012,31(2):113-115.
- [14] 徐佳娜,西宝. 基于 AHP-ANN 模型的商业银行信用风险评估[J]. 哈尔滨理工大学学报,2004,9(3):94-98.

(上接第 206 页)

土地整理工程是一个惠及民生的重点工程,但仍受到自然力等非系统风险的影响,因此,如何构造严谨的风险控制体系是实现土地整理工程投资效用最大化的研究重点,对农业产业结构升级、国家粮食安全、耕地保护具有重要作用。

### 参考文献

- [1] 蒋玲,蒲春玲,刘彦晶,等. 基于生态服务价值的土地整理生态效益评价:以庆阳市西峰区董志镇土地整理项目为例[J]. 天津农业科学,2016,22(3):68-74.
- [2] 高月新. 青州市何官镇土地整理工程项目风险评价研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2011.
- [3] 田劲松,过家春,刘琳,等. 基于物元模型的土地整理经济效益评价[J]. 水土保持通报,2012,32(5):107-112.