

断面数据土方量计算方法研究*

林 文

(福建省第四地质大队, 福建 宁德 352100)

摘要:对土方量计算平均断面法的特点及其不足进行了分析, 研究了其误差产生的原因。针对这种情况, 提出了一种新的断面数据土方量计算方法——断面数据不规则三角网法, 并通过模型对两种算法的精度进行了比较, 验证了该算法的优越性。

关键词:土方量计算; 平均断面法; 断面数据; 不规则三角网法

中图分类号: P 258; TU 602 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007 - 9394(2010)01 - 0039 - 03

Research on Calculation Methods of Earth Quantity Using Section Data

LIN Wen

(Fujian Fourth Geological Brigade, Ningde Fujian 352100, China)

Abstract: This paper analyzed the character and disadvantages of average cross section method to calculate the earth quantity, discussed the error generating cause. In light of this situation, the paper put forward a kind of new method: irregular triangulation network method, compared the two methods, and examined the advantage of the new algorithm.

Key words: earth quantity calculation; average section method; section data; irregular triangulation network method

0 引言

土方工程量的计算, 就是求取设计高程与自然地面之间填或挖土方的体积。设计面有水平面、斜面、规律的曲面或它们的组合, 而自然地表面是千变万化的, 绝对准确无误地计算出土方量, 是不可能的, 只要按照自然地形的变化采取足够精度的数据采集方法, 测量或采集合适的并且足够多的特征点, 根据这些特征点将其假设或划分为与自然地形尽可能相近的几何形状或数学模型, 并采用具有一定精度的方法进行计算, 即可求得体积。

土方量计算结果的精度取决于地形数据测量或采集的精度、计算所采用的数学模型的精度和计算工具的计算精度。近年来, 随着数据采集、野外观测手段及其工具的不断更新和计算机技术的不断发展, 地形数据的测量或采集精度和室内的计算精度都有了很大的提高。相对而言, 计算所采用的数学模型却基本上没有什么大的发展, 以高速公路路基土方计算为例, 基本上使用定测的断面测量数据, 采用平均断面法进行计算。按规范规定, 横断面中的距离、高差的读数取位至 0.1 m, 距离检测互差限差为 $L/100 + 0.1$ m, 高差检测互差限差为 $h/100 + L/200 + 0.1$ m, 其中 L 为测点至中桩的水平距离(m), h 为测点至中桩的高差(m)。全站仪现在已经普及, 一般测距标称精度都能达到 $\pm(5 + 5 \times 10^{-6} \cdot D)$ m 或以上。对于土方量计算精度而言, 单点的测量误差几乎可以忽略不计, 而市场上的微型计算机在软硬件上的字长都已达到 64 位, 其计算误差同样也可以忽略不计, 因此计算所采用数学模型相对而言的滞后成为了土方量计

算精度提高的一个瓶颈。

在土方计算的多种方法中, 平均断面法是最传统的算法之一, 它不仅适合于平坦的块状项目区地块土方量的计算, 也适合于高程变化比较大、自然地表面复杂的地区以及道路等带状地形, 因而被广泛采用。

1 平均断面法的特点及其不足

在现有的断面土方计算中, 先计算出横断面填挖面积, 然后用平均断面法或平均距离法计算填挖土方量。公式为:

$$\sum V = \frac{1}{2}(S_1 + S_2)L_1 + \frac{1}{2}(S_2 + S_3)L_2 + \cdots + \frac{1}{2}(S_{n-1} + S_n)L_{n-1} \quad (1)$$

$$\sum V = \frac{1}{2}L_1S_1 + \frac{1}{2}(L_1 + L_2)S_2 + \cdots + \frac{1}{2}(L_{n-2} + L_{n-1})S_{n-1} + \frac{1}{2}L_{n-1}S_n \quad (2)$$

式中: 1, 2, …, n 为横断面编号; 相邻断面间距依次为 $L_1, L_2, \cdots, L_{n-1}$; S_1, S_2, \cdots, S_n 表示各个断面的填方或挖方面积。式(1)为平均断面法, 式(2)为平均距离法, 用平均断面法和平均距离法计算土方量的结果是完全相同的, 两者只是同一个公式的不同表现形式而已。

断面面积可以看作是断面桩号或里程 l 的连续函数, 那么

式(1)是断面面积函数定积分近似计算的梯形法,式(2)是断面面积函数定积分近似计算的矩形法,当各相邻断面之间的间距趋近于0时,式(1)、(2)即为一严密的定积分公式。当然现实中缩小断面之间的间距会造成工作量和成本的增加,顾及工作量成本和土方量计算精度,在各种相关规范中对相邻断面之间的最大距离都做出了明确的规定。比如在交通部发布的《公路勘测规范》中,就规定:线路直线部分,重丘、山岭区断面间距不应大于20 m;平原、微丘可采用25 m。该方法简单、直观,因此得到广泛的应用,但是平均断面法从两相邻断面之间的体积计算来进行分析,其原理并不科学。

以图1为例,假设两相邻平行断面分别为三角形 ABC 和三角形 DEF ,底边长分别为 a_1 和 a_2 ,高分别为 h_1 和 h_2 ,面积分别为 S_1 和 S_2 ,断面间距为 l ,两断面之间的土体体积为 V 。

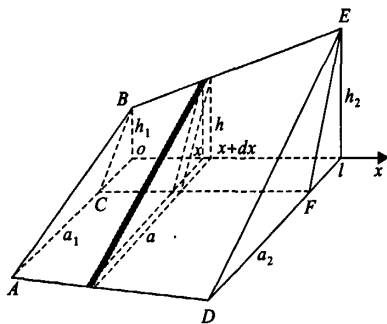


图1 平均断面法计算土方示意图

Fig. 1 Sketch map of earth quantity calculated by average cross section method

则:

$$a = a_1 + \frac{a_2 - a_1}{l}x$$

$$h = h_1 + \frac{h_2 - h_1}{l}x$$

$$V = \int_0^l \frac{1}{2} (a_1 + \frac{a_2 - a_1}{l}x) (h_1 + \frac{h_2 - h_1}{l}x) dx$$

$$= \frac{l}{3} [S_1 + S_2 + \frac{1}{4} (a_1 h_2 + a_2 h_1)] \quad (3)$$

1) 当 $\frac{a_1}{h_1} = \frac{a_2}{h_2}$ 时,相邻两断面之间的土体为一棱台,其体积 $V = \frac{l}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2})$,这时用平均断面法计算土方量,将产生一定的误差,相对误差的大小将随 S_1/S_2 大小的变化而变化。

2) 当 $a_1 = 0, h_1 = 0$ 时,相邻两断面之间的土体为一棱锥体,其体积 $V = \frac{1}{3} l S_2$,这时用平均断面法计算土方量,相对误差将达到最大值50%。

3) 当 $a_1 = a_2$ 或 $h_1 = h_2$ 时,相邻两断面二维中的一维相等, $V = \frac{1}{2} (S_1 + S_2) l$,用平均断面法计算土方量,相对误差为最小值0%。

在用平均断面法计算两相邻断面之间体积时,仅用到断面数据资源中的面积,而断面形状作为断面数据资源之一却没有得到应用,其产生的相对误差,因两断面之间土体形状的不同而

不同,只有在特定情况下,其计算结果才能达到理想的精度。同时,对于两相邻不平行断面之间的体积,因为两相邻断面之间的距离很难取得一个合适的值,对土方量计算精度也造成不良的影响,所以断面之间的体积必须用一种精度更高,计算精度不受断面形状和断面之间是否平行等因素影响的方法加以计算。

2 断面数据不规则三角网法

断面数据基于不规则三角网的土方计算方法克服了前文所述的缺点,从三维立体角度解决断面之间的土方体积计算问题,是一种可行的、精度更高的计算方法。断面数据不规则三角网指将在各相邻断面上采集的地形特征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网。

当相邻断面长度相近时,相邻断面上采集的地形特征点之间按最近邻原则,组成边长之和为最小的覆盖相邻断面之间整个区域且互不重叠的连续不规则三角网,见图2中断面二和断面三之间的三角网。

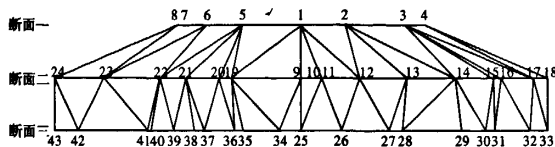


图2 断面之间的不规则三角网

Fig. 2 Irregular triangulation networks between cross sections

当相邻断面长度相差较大时,可按比例缩放其中的一条断面长度之后,再按以上原则组成三角网,如图2断面一和断面二之间的三角网所示。同时,从地表每个三角形的3个顶点垂直向下或向上引出3条直线,直到与设计地面相交,便形成许多三棱柱,由于设计地面往往比较规则,通过计算可求得各个交点的高程,这时两相邻断面之间的土体就可表示成许多连续且不重叠的三棱柱组成的集合。分别计算出每个三棱柱的体积,其和便是两相邻断面之间的土方量,各相邻断面之间的土方量之和便是整个区域的土方量,如图3所示。

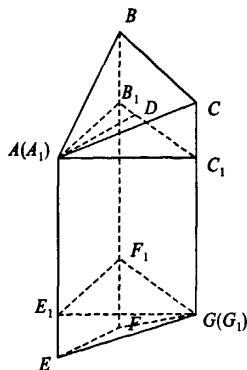


图3 三棱柱体积计算示意图

Fig. 3 The sketch map of calculation of triangular prism volume

如图3所示,假设面 ABC 和面 EFG 一个为自然地面,另一个为设计地面,面 $A_1B_1C_1$ 为上地面三角形 ABC 在通过其最低角点 A 的水平面上的投影,面 $E_1F_1G_1$ 为下地面三角形 EFG 在

通过其最高角点 G 的水平面上的投影,显然,上、下地面三角形的投影面积是相等的,令其为 S_0 。 ABC 和面 $A_1B_1C_1$ 之间为一锥体, $AD(A_1D)$ 为三角形 $A_1B_1C_1$ 在 B_1C_1 边上的高,其体积:

$$V_{ABC B_1 C_1} = (BB_1 + CC_1) B_1 C_1 / 2 \times A_1 D / 3 = (AA_1 + BB_1 + CC_1) \times S_0 / 3$$

相同地,面 EFG 和面 $E_1F_1G_1$ 之间为一锥体,其体积为:

$$V_{EFG E_1 F_1} = (EE_1 + FF_1 + GG_1) \times S_0 / 3$$

而两水平面 $A_1B_1C_1$ 和 $E_1F_1G_1$ 之间规则柱体的体积为:

$$V_{A_1 B_1 C_1 E_1 F_1 G_1} = (A_1 E_1 + B_1 F_1 + C_1 G_1) \times S_0 / 3$$

则不规则三棱柱 $ABCEFG$ 的体积为:

$$V_{ABCEFG} = (AE + BF + CG) \times S_0 / 3$$

当两断面不平时时, S 可用地面三角形顶点之间的平距求得。

令 $M = (A_1B_1 + B_1C_1 + C_1A_1) / 2$, 则投影面的面积为:

$$S = \sqrt{M(M - A_1B_1)(M - B_1C_1)(M - C_1A_1)}$$

当两断面平行时, S 可用已知的断面间距和断面相邻点之间的平距求得。

这样便可求出一个不规则三棱柱的体积,假设两相邻断面之间的区域是由 m_i 个连续但不重叠的三棱柱组成的,整个区域是由 n 条相邻的断面组成,则整个区域的土方量为:

$$V_{\text{总}} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{m_i} v_{ij} \tag{4}$$

式中: v_{ij} 为第 i 条和第 $i + 1$ 条断面之间的第 j 个三棱柱的体积。

3 算法验证与精度比较分析

为了对两种算法进行比较,设计了 3 个半椭圆为 3 个断面(底面),如图 4 所示。

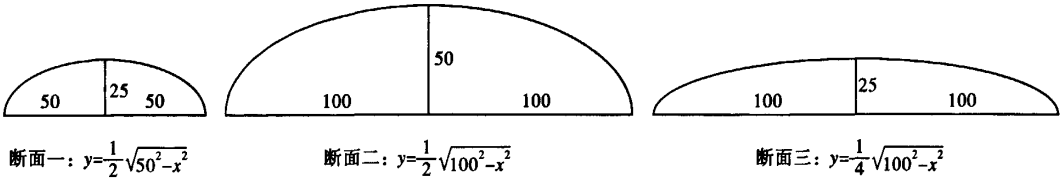


图 4 半椭圆断面示意图
Fig. 4 Semiellipse section sketch map

表 1 断面碎点数据
Tab. 1 Detail point data of the cross sections

断面	点号	到中桩的平距/m	高程/m
第一条	1	0	25.00
	2	17.8	23.36
	3	41.2	14.17

	7	-48.4	6.27
	8	-50	0.00
第二条	9	0	50.00
	10	1	50.00
	11	8.4	49.82

	23	-80.2	29.87
	24	-100	0.00
第三条	26	16	24.68
	27	35.6	23.36
	28	41.5	22.75

	42	-91	10.37
	43	-100	0.00

原地面模型见图 4,设计地面高程为 0,断面间距都为 20 m,以一组 0 ~ 30 m 之间的伪随机数为断面点采集间距,3 条断面采集的断面点到中桩的距离和高程,如表 1 所示(点位位于中桩左边距离之前用“-”号表示)。3 条断面采集点的点位分布和组成的不规则三角网,如图 2 所示。分别采用平均断面法和不规则三角网法进行计算,计算结果如表 2 所示。由表 2 可见,当相邻两断面面积中对应的二维数据相差较大时,平均断面法的计算精度较低,断面数据不规则三角网法的土方计算精度高于平均断面法的土方计算精度。

4 结论

平均断面法因断面数据资源没有得到充分的利用,其计算结果的精度往往较差,两相邻不平行断面之间的距离很难取得一个合适的值,对其土方量计算精度也容易造成不良的影响。采用合适的组网规则,断面数据不规则三角网法的土方计算精度普遍高于平均断面法的土方计算精度,说明断面数据不规则三角网法比平均断面法更适合于计算不平行断面之间的土方量,但断面数据不规则三角网法比平均断面法计算过程复杂。

表 2 两种计算方法计算的结果比较
Tab. 2 The result comparison between two calculation methods

断 面	理 论 值/m³	平均断面法计算值		不规则三角网法计算值	
		土方量/m³	误差/%	土方量/m³	误差/%
断面一	91 629. 785 73	95 646. 166 50	4. 38	89 591. 385 41	2. 22
断面二					
断面三	117 809. 724 50	115 426. 018 50	2. 02	115 681. 732 70	1. 81

(下转第 43 页)

合同、规程、规范、图式、项目技术设计书及相关技术要求,由项目技术负责编写城镇地籍调查数据库建设作业指导书。作业指导书初稿形成后,组织技术管理人员讨论修改。经院审核后,最后报甲方审批。

作业指导书经甲方审批后,由项目技术负责组织检查员和作业员学习作业指导书及相关技术要求,使大家熟悉技术要求和作业方法。

3.4 项目质量管理设置

项目以测区为单位,设技术负责一人,负责项目技术、质量管理全面工作。下设专职检查员(每5~6名作业员配一名检查员),负责作业过程中的技术指导和质量检查。

3.5 外业调查成果整理

外业调查成果成图数据整理在作业过程中是个十分重要的环节,该过程的精细程度直接影响数据库的质量。数据整理的目的是对外业提交的成果成图中凡不能满足 MapGIS 系统要求的数据,进行有序整理和编辑(包括图层整理、地籍地形要素转换参数配置、地形要素分层提取、宗地要素分层提取、地类图斑的制作、测量控制点的制作、行政区的制作、图幅结合表制作等),以便数据顺利转换。

数据整理后,作业员自检 100%,项目抽查 20% 以上,并达到作业员全覆盖,院级抽查不少于 5%。

3.6 数据转换

数据转换是指将整理、编辑后的各种数据用参数配置转换成 MapGIS 数据格式,该过程由计算机自动完成。

3.7 宗地档案录入

宗地档案录入按档案类型分为扫描录入和计算机人工录入。

3.7.1 扫描录入

初始地籍登记(含变更登记)证明材料,如:申请书、权属证明、审批文件等,采用扫描输入方法进行录入。

3.7.2 人工录入

宗地信息采用计算机人工录入,该过程易出差错的是宗地信息人工录入。由于宗地信息必须保证 100% 的正确,因此要求作业员在每完成一个宗地的信息录入后,立即进行 100% 自

检。一个街坊的宗地信息录入完后,项目抽查 20% 以上,院级抽查 5% 以上。

3.8 数据集成

数据集成分为数据拼接、图斑处理、属性检查、构建拓扑关系、点面空间分析、建数据库工程、数据库结构定义、数据处理、数据统计、汇总。该过程工作由少数的数据集成人员完成,作业员自检 100%,项目抽查不少于 20% (拓扑关系、逻辑分析由系统自查功能进行)。

3.9 编辑形成城镇地籍调查成果

城镇地籍调查数据库成果包括分幅地籍图、宗地图、街坊结合图、图幅结合表、界址点成果表、以街坊为单位的面积汇总表、以街道为单位的面积汇总表、以镇为单位的面积汇总表、以测区为单位的面积汇总表、检查验收报告、数据库建设技术总结等。该过程的成果是直接提交用户使用的,它直接反映城镇地籍调查及数据库建设的质量。因此,该过程作业员自检 100%,项目检查 100%,数据汇总、文字报告院级检查 100%。

通过上述对城镇地籍调查数据库建设作业过程的质量控制,最后 6 个城镇地籍调查数据库建设项目顺利通过了市(县)、省的检查验收,成果质量受到用户好评。

4 结束语

城镇地籍调查数据库建设资料繁多,数据量大,作业过程衔接紧密,只有加强作业过程的质量控制,才能确保最终建库成果质量。

[参 考 文 献]

[1] TD/T1014-2007,第二次全国土地调查技术规程[S].

本文的写成参阅了如下资料:

[1] 四川省第二次土地调查技术规范,2008 年.

[2] MAPGIS 数据处理软件操作手册.

作者简介:李潇(1973~),女,陕西安康人,工程师,现主要从事测绘内业数据处理及检查方面的工作。

(上接第 41 页)

[参 考 文 献]

[1] 陈建军. 平均面积法计算土石方的误差及对策[J]. 铁道勘测与设计, 1998(4): 6~8.

[2] 贾自力. 传统的土石方数量计算方法的改进[J]. 铁道建筑, 1999(11): 10~12.

[3] 唐平英. 断面法土方量计算公式的精度[J]. 港工技术, 1998(1): 32~33.

[4] 袁婧. 基于不规则三角网的土方计算方法[J]. 测绘技术装备, 2008, 10(4): 25~28.

[5] 王铭, 宋天峰, 罗阳军. 平均断面法计算渠道土方量的本质缺陷及改进[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(9):

119~123.

[6] 中交第一公路勘察设计院. JTG C10-2007 公路勘测规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2007.

[7] 石世云. 非平行断面的土方量计算[J]. 测绘通报, 1998(8): 26~27.

[8] 武晓波, 王世新, 肖春生. Delaunay 三角网的生成算法研究[J]. 测绘学报, 1999, 28(1): 28~35.

作者简介:林文(1969~),男,福建福安人,工程师,现主要从事测绘技术管理方面的工作。