

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2017.01.015

基于 DEM 法的变电站工程土方量计算方法研究

张秀敏¹, 许 健², 韩卫东¹, 张 虎¹, 朱雅娜¹, 郝林娜¹, 陈 恒¹

(1. 陕西省地方电力设计研究院, 陕西 西安 710000;
2. 西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘 要: 土方工程是影响变电站土建项目成本的重要因素, 基于 DEM 法的土方量计算方法是当前土方量计算的一种重要方法, 利用 DEM 法基本原理对计算软件的二次开发及软件的适应性研究是 DEM 法广泛利用的重要途径。为了验证 DEM 法在变电站土方量计算方面的可行性, 在 HTCAD 和 ArcGIS 软件技术平台上, 利用 DEM 法计算不同地形条件下的变电站土方量并对比分析其计算结果。结果表明: 两类软件技术平台在计算土方量方面均具有适用性; DEM 法在山区计算的土方量结果相关系数为 0.99, 计算精度最高, 但在平原地区仍具有适用性。

关键词: 土方计算; DEM 法; 变电站; HTCAD; ArcGIS

中图分类号: TU271.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2017)01-0076-07

Earthwork Volume Calculation of Transformer Substation Based on DEM Method

ZHANG Xiumin¹, XU Jian², HAN Weidong¹, ZHANG Hu¹, ZHU Yana¹, HAO Linna¹, CHEN Heng¹

(1. Shaanxi Regional Electric Power Design Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710000, China;

2. Xi'an University of Architecture and Technology, School of Civil Engineering, Xi'an, Shaanxi 710055, China)

Abstract: Earthwork volume calculation is an important factor which affects the cost of transformer substation. Earthwork volume calculation based on DEM is currently an important calculation method. The secondary development and adaptability of calculation software by the basic principle of DEM is the important methods to better use DEM. In order to verify the feasibility of the DEM method in transformer substation calculation, earthwork volume calculation of transformer substations in different terrain conditions were calculated respectively and analysed by using the softwares of HTCAD and ArcGIS in this study. The results show that the above two platforms of software are all adaptive to calculate earthwork volume. The method of DEM is more feasible for the earthwork volume calculation of transformer substations in the mountainous area. The correlation coefficient is 0.99 and the accuracy is highest. Thus the DEM method is still adaptive in the plain area.

Keywords: earthwork volume calculation; DEM; transformer substation; HTCAD; ArcGIS

在水利水电^[1]、土地整理^[2-3]和道路选线^[4]等工程方面, 土方工程是土建方面的主要影响因素。在变电站领域, 张秀敏等^[5]指出在占地相对较少的 110 kV 和 35 kV 变电站工程建设中, 土方量计算对工程预算有重要影响。

随着计算机技术的发展, 土方量计算软件可分为 AutoCAD 系列、遥感和 GIS 系列^[6-8]。HTCAD 软件是基于 AutoCAD 开发的土方量计算主流软件, 且

在土地整理、道路和水利等方面得到广泛应用^[9]。研究学者利用 HTCAD 软件平台, 基于方格网法、断面法和 DEM 法, 计算不同地形条件下的变电站土方量, 并探讨分析了三种方法的优缺点和适用性, 以期将来变电站土方量计算提供科学依据^[10]。

ArcGIS 软件具有强大的空间分析功能, 由样本数据点经地统计分析方法插值生成拟合地面高程, 进而在 DEM 法原理基础上计算土方量。工程实践

收稿日期: 2016-10-21

修稿日期: 2016-11-24

基金项目: 2015 年陕西省青年科技新星项目(2015KJXX-83); 陕西省地方电力集团有限公司科技计划项目(2015kj-28)

作者简介: 张秀敏(1982—), 女, 山东菏泽人, 博士, 高级工程师, 主要从事变电站土建设计工作。E-mail: zhangxiumin8301@163.com

通讯作者: 许 健(1980—), 男, 山东泰安人, 博士, 副教授, 主要从事岩土工程研究工作。E-mail: xujian@lzb.ac.cn

表明其计算精度和效率都较高^[11-16]。在变电站工程实际应用中,研究学者^[17]基于 DEM 法原理利用 ArcGIS 软件计算了地形复杂的文安驿 110 kV 变电站工程土方量,详细分析了 DEM 法的适用范围,并进行了精度验证,但对不同地形条件下变电站土方量计算结果对比分析还缺乏研究。

由于 HTCAD 和 ArcGIS 软件的工作平台不同,到目前为止,基于 DEM 法原理利用上述两类软件计算变电站工程土方量的对比分析鲜有研究。基于此,本文基于 DEM 法原理,利用 HTCAD 和 ArcGIS 软件分别计算不同地形条件下的变电站土方量,对比分析其计算结果,以期为变电站工程土方计算方法的选择和优化提供依据和建议。

1 DEM 法原理

数字地面模型(Digital Terrain Model, DTM)是用地面上有限点的平面坐标和高程来描述地表形状的一种方式,是用一组有序数值阵列形式表示地面高程的一种实体地面模型。其中以地物高程作为特征要素 DTM 称作数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)。DEM 基于地物的三维坐标以数字形式(X, Y, Z)来表达区域内的地貌形态,并用高程来表达地表起伏变化特征,在人为给定的设计高程的基础上,通过三角网计算锥体的体积,得到区域的土方量^[5,10,17]。DEM 法具有形象、直观、精确等特点,且

可以与图形软件相结合,大大提高了作业精度和作业效率,因此在各种生产工程中得到广泛应用。

2 基于 HTCAD 平台的变电站 DEM 法土方量计算

陕西省从北向南跨越了陕北高原—关中平原—陕南山地,地形条件相对复杂多变。基于此,选取陕北延川 110 kV 文安驿、关中平原高陵 110 kV 坡底和陕南宁陕 35 kV 锦鸡河三个不同地形条件下的变电站,基于 HTCAD 平台利用 DEM 法分别计算三个变电站的土方量并进行对比分析。

2.1 站址地形图

利用南方测绘全球定位系统(GPS)仪器分别对三个站址进行地形测量和坐标采集,导入 HTCAD 软件中,生成场区的等高线图,如图 1 所示。从图中可以看出,延川 110 kV 文安驿变电站高程介于 666.51 m~691.71 m,地形表现为西北向东南逐渐降低的变化趋势;高陵 110 kV 坡底变电站高程介于 377.5 m~378.0 m,高差仅为 0.5 m,地形平坦且高低起伏度较小;宁陕 35 kV 锦鸡河变电站高程介于 912.28 m~964.91 m,相比前两个站,高差变化最大,地形总体呈现由东北向西南降低的变化趋势。图 1 中,矩形方框表示变电站的现场布置图,相应的尺寸分别为 88 m×90 m、69 m×69 m 和 40 m×50 m。

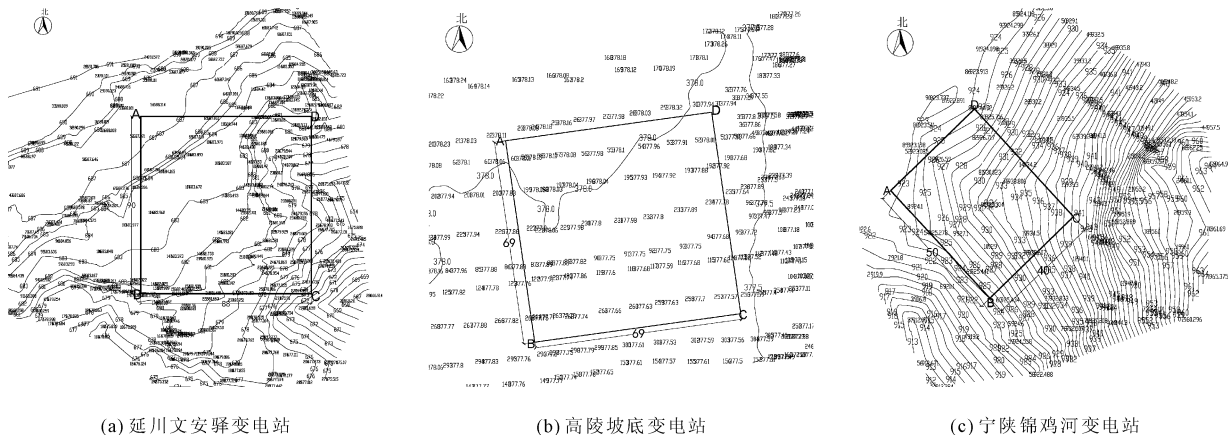


图 1 站址地形图

2.2 土方量计算结果

在 HTCAD 软件平台上,利用 DEM 法计算土方量,为了对比分析不同地形条件下的适用性,三个变电站均是基于 10 m 的格网和间距进行了场区布置(见图 2),从图 2 中可知,对于地形变化越大的宁陕锦鸡河变电站来说,格网布置的越密集;对于地形平

缓的高陵坡底变电站,格网布置的最稀疏。

根据进站道路、站区排水及周边地形条件,确定了三个变电站的设计标高,依次为 677 m、378.5 m 和 926 m。基于 HTCAD 软件平台,利用 DEM 法按图 3 操作的流程,逐步完成了三个变电站的数据准备和土方量结果计算。

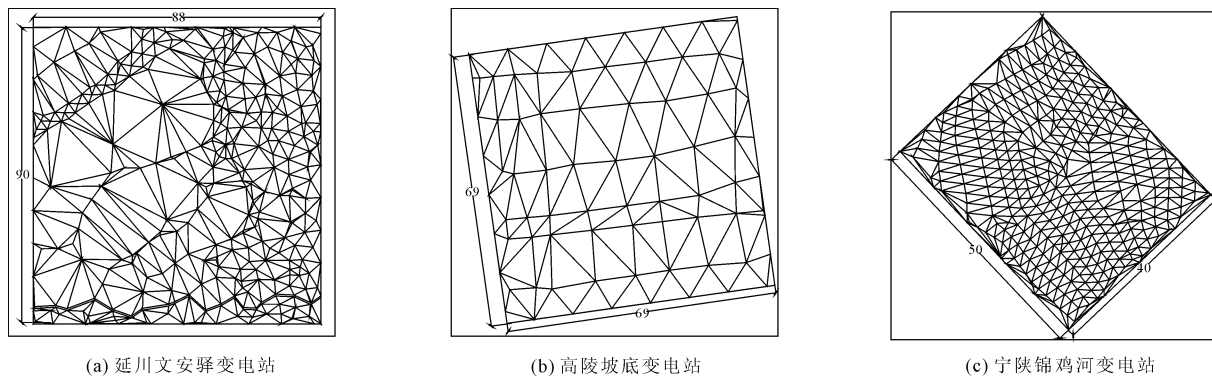


图 2 场地格网布置图



图 3 基于 HTCAD 平台的 DEM 法计算土方量流程

三个变电站的土方量计算结果如表 1 所示。从表 1 中可以看出,文安驿变电站的填方量和挖方量分别为 273.3 m^3 和 $41\,281.4 \text{ m}^3$ ^[10];坡底变电站整个站区为填方区,填方量为 $3\,131.2 \text{ m}^3$;锦鸡河变电站的填方量和挖方量分别为 313.9 m^3 和 $8\,183.5 \text{ m}^3$ 。

表 1 基于 HTCAD 平台的变电站 DEM 法计算结果

变电站	填方量/ m^3	挖方量/ m^3	总方量/ m^3
文安驿	273.3	41281.4	41554.7
坡底	3131.2	0.0	3131.2
锦鸡河	313.9	8183.5	8497.4

3 基于 ArcGIS 平台的变电站 DEM 法土方量计算

3.1 计算流程

在 ArcGIS 软件平台上,利用 DEM 法计算土方量,主要由数据采集、基于地统计生成原始地表高程、裁剪计算场区的原始地表高程、生成计算场区的

设计地表高程,利用 ArcGIS 空间分析模块中的 Cut/Fill 工具,计算变电站土方量等操作流程组成(见图 4)。其中,基于地统计生成原始地表高程是计算土方量过程中的关键步骤,将影响计算结果的准确性。

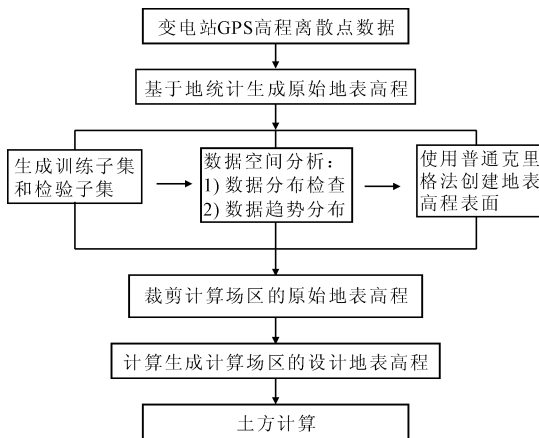


图 4 基于 ArcGIS 平台的 DEM 法计算土方量流程

3.2 变电站土方量计算

利用 GPS 进行野外地形测量,得到离散点的高程数据,进而建立高程点的矢量图层。利用地统计分析模块下的生成数据集工具,并通过滑块来设置训练子集和检验子集的百分比。为说明 DEM 法在不同地形条件下的适用性,在对不同变电站进行土方量计算时采用 80% 的比例来生成训练子集和检验子集,其中绿色五角星代表训练样本点,黑色三角形代表检验样本点。文安驿变电站的训练子集为 224 个点,检验子集为 57 个点^[17];坡底变电站的训练子集为 245 个点,检验子集为 61 个点;锦鸡河变电站的训练子集为 75 个点,检验子集为 19 个点(见图 5)。

基于样本点数据,进行数据分析与检查数据的分布特征,并分析数据变化趋势。通过高程点数据分布检查和样点数据趋势分析两个工具来检查数据分布特点,以便对数据分布特点做出科学合理的决

策。

数据分布检查主要有直方图空间数据分析和正态 QQPlot 图分析两种检查方法。基于三个变电站的训练子集的高程点数据,进行了直方图空间数据

分析,得到数据分布的直方图(见图 6)。从图 6 中可看出,三个变电站的高程样本点都近似呈正态分布。

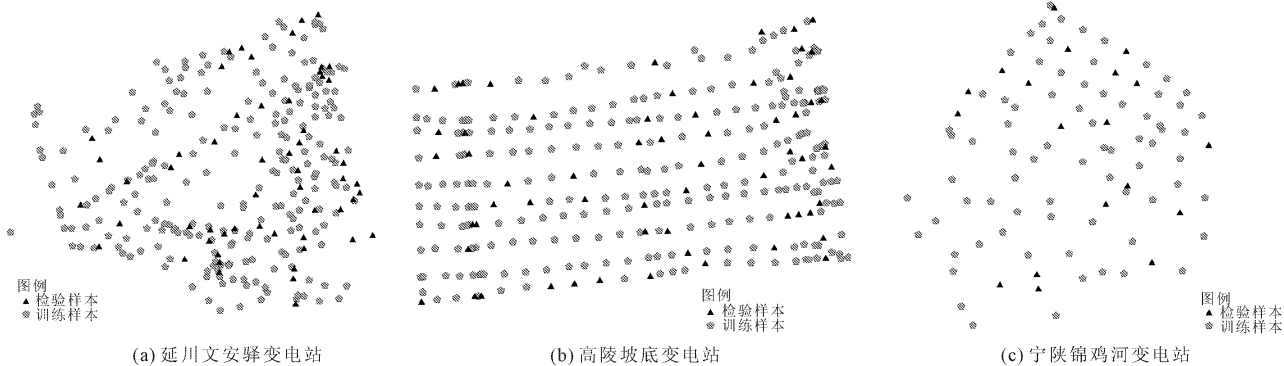


图 5 检验和训练样点随机空间分布图

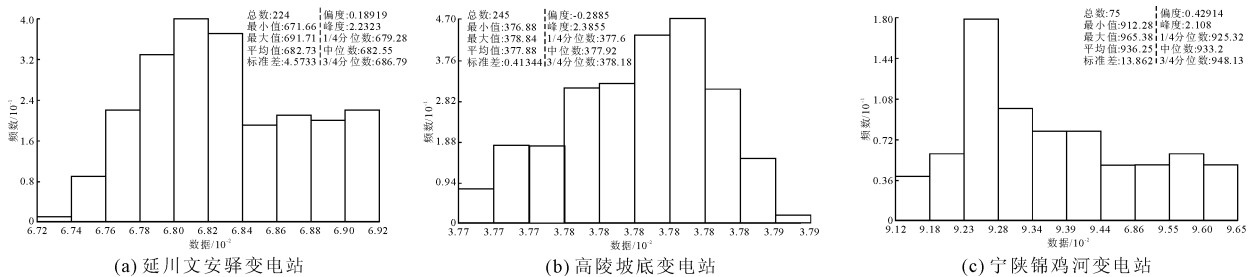


图 6 直方图法

对三个变电站的训练子集高程点数据进行正态 QQPlot 图分析(见图 7)。从图 7 中可以看出,样本点基本沿直线分布,进一步说明了样本点近似服从正

态分布。通过上述直方图和正态 QQPlot 图数据特征分析,说明样本点的数据分布特征满足使用地统计分析生成 DEM 的前提条件。

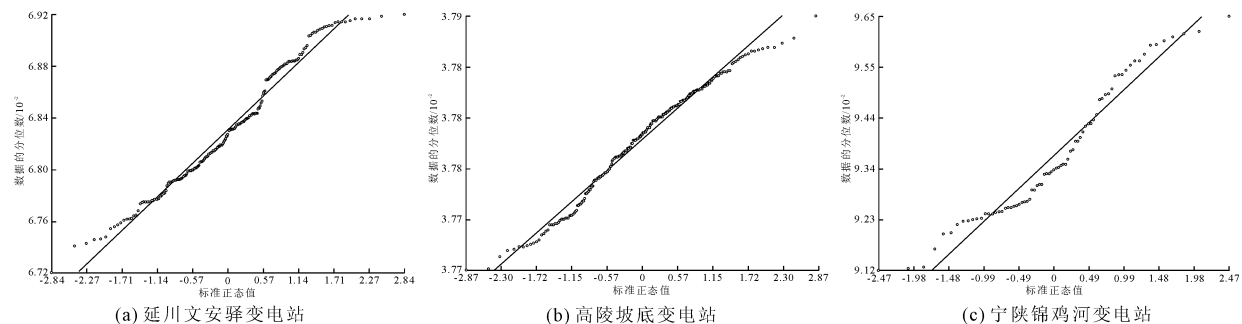


图 7 正态 QQPlot 图法

利用趋势分析工具将样本点数据转化为以高度值为属性值的三维视图;并将这些点按两个方向(缺省方向是南和西向)投影到与地图平面正交的平面上;然后在每个方向用一个多项式曲线来拟合,其中, X 轴代表方向为东, Y 轴代表方向为北。

基于三个变电站的训练子集高程点数据,进行数据趋势分析,如图 8 所示。图 8(a)中左斜线呈上升趋势,表明文安驿变电站样本点数据存在西高东

低及北高南低的变化趋势,反映出其在地形上具有西高东低及北高南低的变化特征^[17]。图 8(b)样本点数据反映出坡底变电站的地形在东西方向没有起伏,南北方向有一定起伏变化,地形平坦,高低起伏度较小。图 8(c)表明锦鸡河变电站样本点数据存在东高西低变化趋势,在南北方向呈正态变化,在一定位置达到最大值。总体来说,在地形上表现出西北向东南升高的变化趋势。

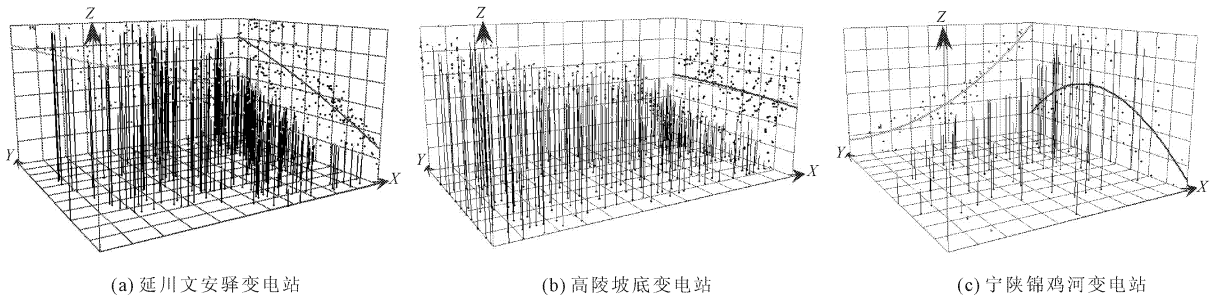


图 8 样本点数据趋势分析

克里格法在插值待测点高程数据时,不仅考虑待测点与临近实测样本点的距离,也考虑各临近实测样点彼此间的空间位置分布关系,这一特点是克里格法所独有的。相比其他插值方法,在地统计意义上具有更好的空间真实性^[17]。

普通克里格法是根据待插值高程点与临近实测高程点的空间位置来进行线性无偏最优估计待插值点的高程值,生成关于高程的克里格插值图,进而来近似表示区域的原始地形,具体表达公式如下:

$$Z(X_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i) \quad (1)$$

式中: $Z(X_0)$ 为预测点的高程值, m ; $Z(X_i)$ 为第 i 点处采集的样本点实测高程值, m ; n 为样本点个数; λ_i

为分配给每个实测样本高程点的权重。

在 ArcGIS Geostatistical Analyst 模块中,进一步基于采集的训练子集高程点数据,生成基于普通克里格插值法的高程预测图(见图 9)。

进行实际测量值和预测值的相关性分析在一定程度上可验证模型的适用性。基于此,利用 ArcGIS 空间分析功能在插值得到的原始地表上提取三个变电站的检验样本点预测高程值,并建立实测值和预测值的量化关系,得到两者的相关系数(见图 10)。从图 10 中可以看出,三个变电站的负相关系数 R^2 分别为 0.96, 0.94 和 0.99, 表明普通克里格插值法在预测高程方面是适用的,为后面变电站土方量计算奠定了基础。

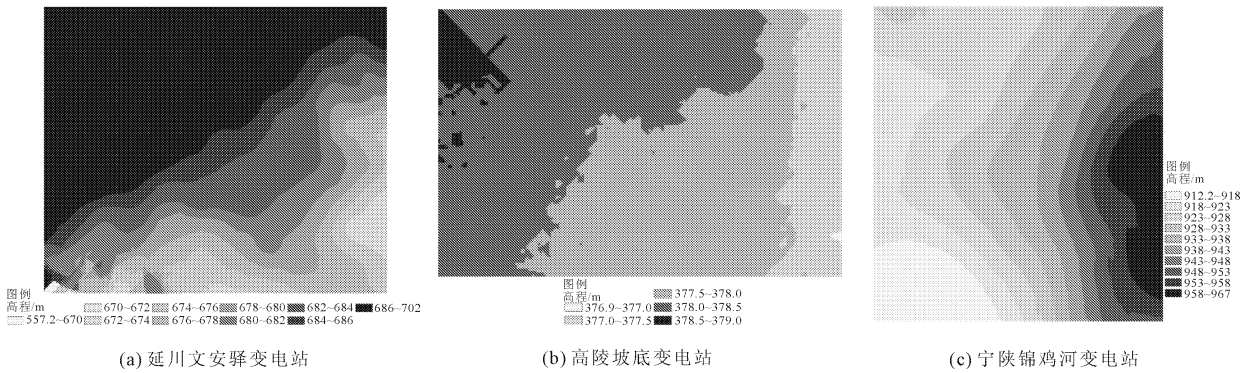


图 9 基于普通克里格插值法的高程预测图

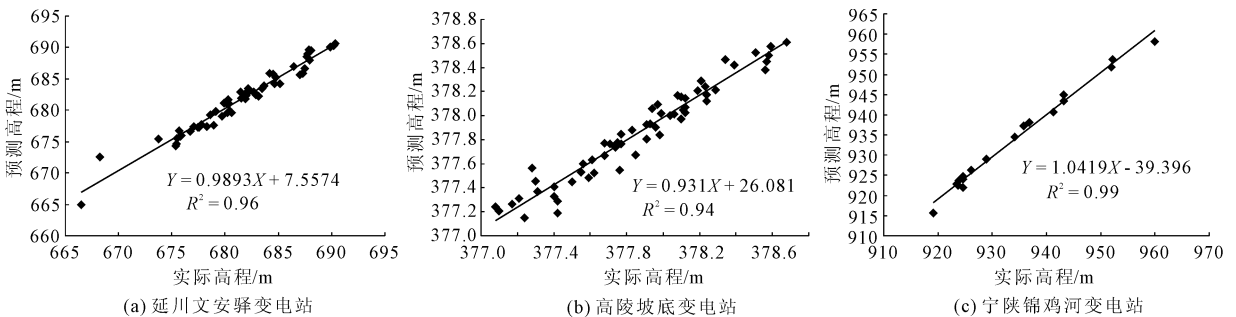


图 10 基于普通克里格插值法的验证

在 ArcGIS 空间分析下,利用变电站围墙边界尺寸裁剪三个变电站的高程预测图,见图 11。从图 11

中可以看出,文安驿变电站的高程介于 673.5 m ~ 688.5 m 之间,在地形上表现为西高东低及北高南低的变化趋势,总体表现为西北向东南降低的趋势;坡底变电站的高程介于 377.5 m ~ 378.2 m 之间,最大高差为 0.5 m,东西向基本上没有高差变化,南北向高差较小,地形整体为相对比较平缓;锦鸡河变电站的高程介于 923 m ~ 941 m 之间,地形高差变化较大,总体表现为西北向东南升高的趋势,与前面趋势分析的结果是一致的。

基于栅格重分类,生成三个变电站的设计地表 DEM 空间分布数据图,见图 12。生成三个变电站的设计地表高程图,分别为 677 m、378.5 m 和 926 m。

站的高程介于 923 m ~ 941 m 之间,地形高差变化较大,总体表现为西北向东南升高的趋势,与前面趋势分析的结果是一致的。

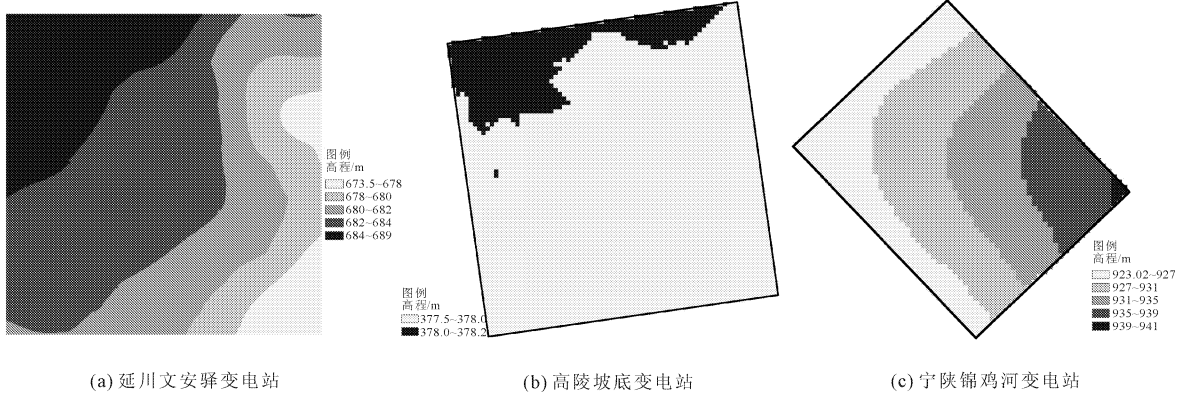


图 11 变电站原始地表高程空间分布图

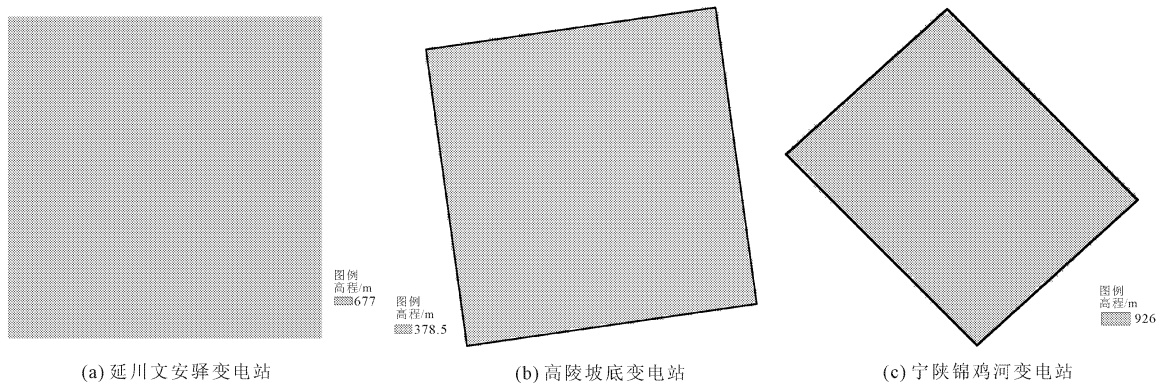


图 12 变电站设计地表高程空间分布图

最后利用 ArcGIS 空间分析模块中的 Cut/Fill 工具,计算变电站土方量,得到变电站内填挖方空间分布图(见图 13)。进一步打开生成的栅格图属性表值,汇总正负数值,得到了变电站区的挖填方量,见表 2。从表 2 中可看出,文安驿变电站站区需挖土

约 42 000 m³,填土为 300 m³[17];坡底变电站站区主要为填方区,填土为 3 197.28 m³;锦鸡河变电站站区主要为挖方区,挖方量为 8 673.49 m³,填方为 240.63 m³。

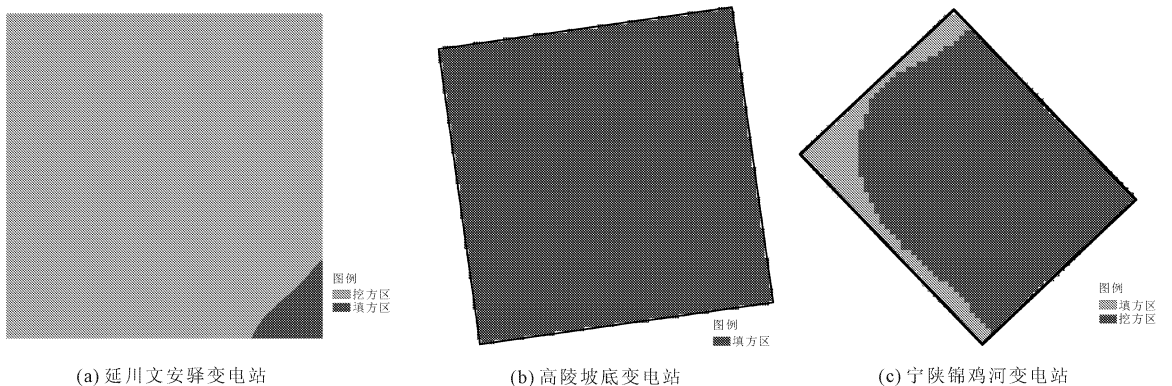


图 13 变电站的填挖方空间分布图

表 2 基于 ArcGIS 平台的变电站 DEM 法计算结果

变电站	填方量 /m ³	挖方量 /m ³	总方量 /m ³	两个软件计算总 方量的差值/m ³
文安驿	300.00	42000.00	42300.00	745.30
坡底	3197.28	0.00	3197.28	65.08
锦鸡河	240.63	8673.49	8914.12	416.72

3.3 土方量计算结果分析

对比分析三个变电站检验样点的相关性分析数据,见表 3。从表 3 中可以看出,DEM 法在锦鸡河变电站的土方量计算结果相关系数为 0.99,计算精度最高;文案驿变电站次之;在地形平缓的坡底变电站精度相对较差。这是由于 DEM 法通过等高线和高程点建立不规则的三角网,三角网的点和线的分布形式可反映地表特征,尤其在地形变化大,区域小的地方,更具有优越性。

表 3 基于检验子集的相关性分析

变电站	训练子集个数	R ²
文安驿	57	0.96
坡底	61	0.94
锦鸡河	19	0.99

4 结果讨论

4.1 计算结果对比分析

基于 DEM 法原理,利用 HTCAD 和 ArcGIS 软件分别计算了前述三个变电站的土方量。对比分析表 1 和表 2 可知,ArcGIS 软件的计算结果均高于 HTCAD 软件的计算结果。尤其是在地形复杂的文安驿和锦鸡河变电站计算差值大,分别为 745.3 m³ 和 416.72 m³;在地形平缓的坡底变电站,计算结果差异不大,差值为 65.08 m³。分析其主要原因,两类软件在模拟原始地形时,采用的统计方法不同。在高差较大的文安驿和锦鸡河变电站,以原始离散高程点作为主要关键点。对于局部复杂地形,没有原始采样点,在建立模型过程中,欠缺某些局部地形的表达,因而导致计算结果偏差较大。假设以两种软件计算总方量的平均值为真值,进行误差分析,可得到三个变电站的相对误差均在 5% 范围内,说明两类软件在计算土方量方面均具有适用性。

4.2 操作平台

两个软件基于不同操作平台,兼容性较差。HTCAD 是 AutoCAD 直接编程和开发的二次软件,日常设计工作多是基于 AutoCAD 来开展的,因而设计人员能较易掌握操作流程,进而将土方计算工作有

效开展起来。ArcGIS 是独立开发的地理信息软件,与 AutoCAD 是完全独立的。此软件平台在测绘和遥感方面得到广泛应用,但对于工程设计人员来说,在设计方面应用较少。

4.3 操作流程

两个软件操作流程简单明了,但又存在差异性。HTCAD 数据导入格式为 txt 文本格式,但 ArcGIS 是基于 excel 格式。在内插方法方面,HTCAD 利用的是线性内插方法,没有考虑地理空间坐标信息,而 ArcGIS 是基于地统计方法,在数据内插模拟方面优于 HTCAD。在建立 DEM 模型方面,HTCAD 结果仍是离散的三角网表达方式,空间缺乏连续性,而 ArcGIS 是基于栅格方式的空间数据,空间上具有连续性。

4.4 两个软件平台的欠缺性

两类软件平台均未开发基坑工程土方量计算专业子模块,随着变电站标准化和节约化发展,对于占地较小的变电站朝户内布置方式发展,尤其是带有电缆夹层布置形式。在施工过程中,基坑工程土方量计算应得到重视,是影响工程造价的重要因素,下一步将针对 HTCAD 软件特点独立开发相应土方计算软件。

5 结论

以三个不同地形条件下的变电站野外高程数据为基础,基于 DEM 法原理,利用 HTCAD 和 ArcGIS 技术平台对土方量计算进行了定量化研究。得到以下结论:

(1) 土方量计算结果误差分析和相关性分析表明 HTCAD 和 ArcGIS 软件技术平台在土方量计算方面均具有适用性。

(2) 计算结果表明 DEM 法在山区计算的土方量结果相关系数为 0.99,计算精度最高,但在平原地区仍具有适用性。

参考文献:

- [1] 王笑峰,郑丽娜,刘淑.水利工程中土方量计算的快速方法[J].黑龙江水专学报,2000,27(2):22-23.
- [2] 陈勇.利用 ArcGIS 地统计分析进行土地平整土方量计算的研究[J].安徽农业科学,2007,35(1):70-71.
- [3] 胡振琪,高永光,李江新,等.ERDAS 在土地整理土方量计算中的应用[J].中国土地科学,2006,20(1):50-54.
- [4] 李仲勤,韩峰.基于 GIS 的线路土石方工程量的快速计算方法[J].兰州理工大学学报,2007,33(5):128-131.