

基于 ArcGIS 地统计的延川 110 kV 文安驿变电站土方计算

张秀敏, 韩卫东, 张虎, 朱雅娜, 郝林娜, 马小娟 (陕西省地方电力(集团)有限公司, 陕西西安 710000)

摘要 在变电站土建设计过程中, 挖填土方量的计算是一项重要的工作。在 ArcGIS Geostatistical Analyst 工具的支持下, 基于地统计分析的方法, 探讨了土地平整工程中土方量计算的可行性。选取拟建延川 110 kV 文安驿变电站场地 224 个高程样本点, 首先对样本点进行数据的分布检查及趋势分析, 并采用普通克里格法进行高程表面预测, 生成了样本区数字高程模型 (DEM); 然后通过相关性分析验证了模型的适用性, 最后利用 ArcGIS 空间分析的 Cut/Fill 工具计算了变电站土地平整的挖填方量。结果表明, 普通克里格法模拟高程分布具有可行性; 站区需挖土约 42 000 m³, 填土为 300 m³; 站区以挖方区为主, 面积为 7 684 m², 占整个站区面积的 97%。

关键词 ArcGIS 地统计分析; 土方量; 普通克里格法; 变电站

中图分类号 S126 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)23-09829-03

Earthwork Calculation in the 110 kV Transformer Substation of Wenanyi in Yanchuan Using ArcGIS Geostatistical Analyst Tools
ZHANG Xiu-min et al (Shanxi Regional Electric Power Group Co. Ltd., Xi'an, Shaanxi 710000)

Abstract In civil design of transformer substation, it is important to carry out the earthwork calculation. The earthwork calculation in transformer substation was studied using the ArcGIS Geostatistical Analyst tools based on the geological statistics. Firstly, 224 samples of elevation were selected in a land of Yanchuan. Secondly, the distribution was investigated and the trend of those samples was analyzed. Thirdly, elevation surface was predetermined using the method of Ordinary Kriging and the correlation analysis showed that this model has a good simulation capability in the elevation distribution. Lastly, the earthwork was calculated using the ArcGIS Spatial Analyst tools. The results showed that the method of Ordinary Kriging is feasible for the simulation of elevation distribution; it takes about 42 000 square to cut and 300 square to fill in the transformer substation; the area of cut area is 7 684 m² accounting for 97% of the whole area.

Key words ArcGIS geostatistical analysis; Earthwork; Ordinary Kriging; Transformer substation

在各种工程建设领域, 土地平整是重要的组成部分, 尤其挖填土方量是影响项目成本的主要因素。在变电站土建设计过程中, 当涉及到复杂的地形时, 土方量的成本计算往往是影响投资估算的重要因子。因此, 快速准确的土方量计算对开展设计和控制成本均有非常重要的意义^[1]。目前, 常用的计算土方量方法有断面法^[1]、方格网法^[2]、散点法^[3]和表格法^[4]。断面法主要适用于山地及高差比较大的地形, 但计算较为繁琐, 野外工作量大; 方格法适合于平坦地区, 其计算模型简单, 易于实现和操作, 但精度不高; 散点法适用于高差变化比较均匀, 地形不太复杂的地区^[1-7]; 表格法测算范围不受地形限制, 但算法较繁琐且效率不高^[1-7]。

近年来, 随着遥感技术和地理信息系统的发展, ArcGIS 软件凭借其强大的空间分析功能在计算土方量方面得到应用。尤其是利用地统计分析方法, 由高程样本点插值生成拟合地表表面, 进而计算土方量, 在一定程度上计算精度和效率都得到较大提高。该方法在净水厂、土地整理项目等方面得到成功应用^[6-7], 并取得了理想的预测结果。但目前为止, 利用地统计分析方法在变电站的设计工作中的应用较少。鉴于此, 笔者尝试利用 ArcGIS 软件并基于地统计分析方法来模拟预测地表高程及计算土方量, 并将其应用到延川 110 kV 文安驿变电站中, 以期为土建设计工作作贡献, 进而说明利用 ArcGIS 软件计算土方量在变电站设计中的可行性。

1 ArcGIS 地统计分析

地质统计学是数学地质领域中一门发展迅速且有着广泛应用前景的新兴科学^[8]。它以具有空间分布特点的区域

化变量理论为基础, 借助于变异函数, 研究某种属性空间变异、空间结构、空间分布特征和变化趋势的一种空间统计分析方法^[8]。地理信息系统 (Geographic information system, 简称 GIS) 是对地理空间信息进行描述、采集、处理存储、管理分析和应用的一门新兴学科。目前, 美国 ESRI 公司推出的 ArcGIS 软件具有集数据录入、编辑处理、查询分析、制图输出于一体的完善功能, 尤其其强大的空间分析能力得到用户的青睐, 成为目前 GIS 行业中最具代表性的产品^[9]。近年来, 随着 GIS 学科的发展, GIS 与地质统计学的联系越来越紧密, 其中 ArcGIS 地统计分析模块 (Geostatistical Analyst) 的出现为地统计学和 GIS 架起了一座桥梁。它科学地运用确定性方法和地统计方法, 根据研究对象在不同坐标位置上获取的高程点数据 (高程点的矢量文件), 进行高程的建模 (栅格 DEM), 从而准确预测高程在地理景观中的连续分布性, 获得其在任意空间位置上的高程值^[10]。

2 土方量的计算

关于变电站土方量的计算就是利用 GPS 提供不同坐标位置离散点的高程信息, 进而预测整个空间区域面上的填挖量, 其空间分布特征符合运用 ArcGIS 地统计分析的数据特点, 这是计算土方量的基本原理所在。具体计算步骤^[11]: ①基于变电站 GPS 高程离散点数据, 利用地统计方法插值生成基于栅格格式的原始地表高程空间分布数据图 (H_1); ②根据设计规范和现场实际情况确定变电站设计标高, 同样的方法生成设计地表高程空间分布数据图 (H_2); ③计算两个高程的差 ($\Delta H = H_1 - H_2$), 即 $\Delta H > 0$, 为挖方区; 反之则为填方区; ④土方量是原始地表与设计地表区域之间的体积值之差。对任意格网 (i, j), 假设格网面积为 S , 则该格网处的土方量为 $V_{ij} = \Delta H_{ij} \times S$, 分别对 $V_{ij} > 0$ 和 $V_{ij} < 0$ 的数据进行累加计算, 即可求得该区域的挖方量和填方量。

作者简介 张秀敏 (1982-), 女, 山东菏泽人, 工程师, 博士, 从事变电站土建设计方面的工作, E-mail: zhangxiumin8301@163.com。

收稿日期 2013-07-18

3 研究区概况及数据准备

3.1 研究区概况 拟建的延川 110 kV 文安驿变电站位于陕西省延安市延川县西南方向禹居镇禹居村的农田上。站址的地形呈西高东低、北高南低变化趋势,其中南北向高差约 20 m。东侧为规划筹建的延川县 20 万 t/a LNG 液化站,西南北三侧为农田,北侧靠近山体。拟建站区内有通讯电缆两条和坟墓三座,需迁移,再无其他障碍性建筑物。该场地空旷,便于 110 kV 出线,并处于负荷中心,适宜修建 110 kV 变电站。

3.2 数据 对变电站进行选址时,利用南方测绘全球定位系统(GPS)仪器对 200 m × 200 m 范围的地形进行测量,得到了 281 个离散点的高程数据,在 ArcGIS 软件支持下,建立了高程点的矢量图层。

4 基于地统计分析进行土方量计算

4.1 生成训练子集和检验子集 首先,利用地统计分析模块下的生成数据集工具,通过滑块设置训练子集和检验子集的比例。笔者采用的比例为 80%,即训练子集的样本数为 224 个点,检验子集的样本数为 57 个点,并得到样点随机分布图(图 1)。

4.2 探索性空间数据分析 获得训练样本点数据后,首先需要对数据进行分析,检查数据的分布特点,分析数据的变化趋势等。探索性空间数据分析(Explore Spatial Data Analyst,ESDA)模块提供了一系列的工具来检查数据的分布特征,对后期数据分布特点做出更科学合理的决策。笔者利用

变电站场地内的 224 个训练样本高程点进行了数据分析及拟合表面,即对数据的分布检查和数据的变化趋势进行分析。

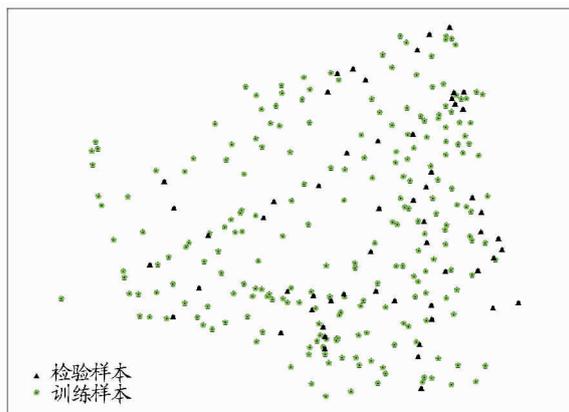
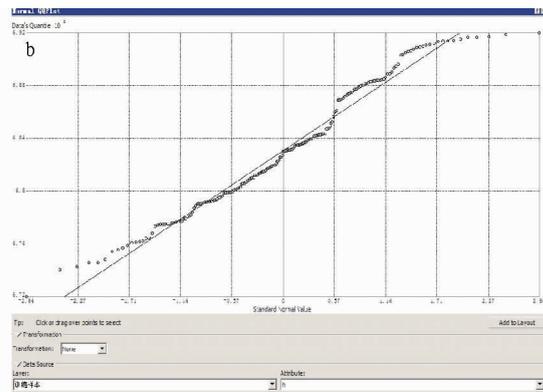
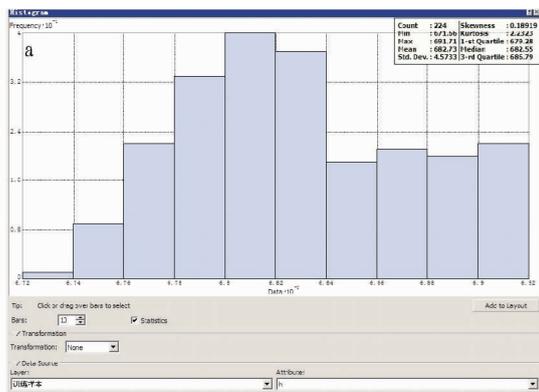


图 1 检验和训练样本点随机空间分布

4.2.1 高程点数据分布检查。当数据近似服从正态分布时,利用克里格插值法生成表面的效果最佳。因而了解高程数据的分布状况对创建空间区域的高程面十分重要。目前,在 ArcGIS Geostatistical Analyst 工具中,主要提供了两种检查数据分布的方法:直方图法和正态 QQPlot 图法^[9]。基于 224 个高程点,得到数据分布的直方图及各种统计指标值(图 2a)。从图 2a 可见,样本点近似成正态分布。同样,利用正态 QQPlot 图法检查了 224 个样本点的数据分布特征(图 2b)。图 2b 表明,样本点基本沿直线分布,同样说明了样本点近似服从正态分布。综上所述,样本点的数据分布特征符



注:a.直方图法;b.正态 QQPlot 图法。

图 2 224 个高程点数据分布检查结果

合使用地统计分析方法的前提条件。

4.2.2 分析训练样本点数据的分布趋势。趋势分析工具可将研究区平面上的点转化为以高度为属性值的三维视图,并将这些点按两个方向投影到与地图平面正交的平面上(X, Y 平面),然后每个方向用一个多项式曲线来拟合。如图 3 所示,出现图中蓝、绿线在 Y、X 方向呈下降趋势,表明样本点数据存在西高东低及北高南低的变化趋势,即在地形上表现为西高东低及北高南低的变化趋势。使用趋势分析这一工具来分析样本点数据的变化走向,可为后续的表面拟合提供客观的参考依据,使拟合的结果具有更大的可信度。

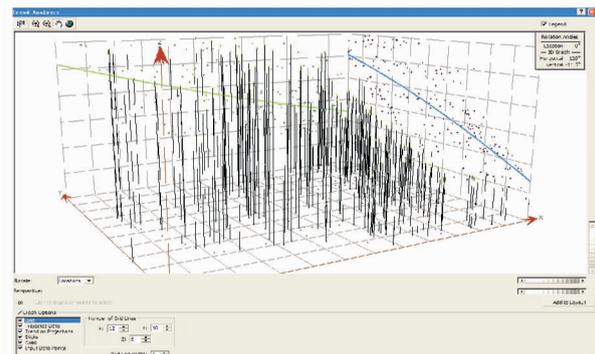


图 3 样本点数据的分布趋势

4.3 使用普通克里格法插值创建地表高程表面 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,对待插值点的高程值进行线性无偏最优估计,生成一个关于高程的克里格插值图,进而得到表示研究区域的原始地形。公式为^[5]: $Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$ 。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); $n = 224$ (样本点个数); λ_i 为分配给每个实测样本高程点的权重^[5,10]。普通克里格法不仅考虑待测样点与临近实测样本点的距离,同时也考虑了各临近实测样本点彼此间的空间位置分布关系。这一特征在其他插值方法所欠缺的,如反距离

加权法等^[5]。相比传统的统计方法,普通克里格法在地统计意义上具有更好的空间真实性。

基于 ArcGIS Geostatistical Analyst 模块中的统计分析向导支持下,根据采集的 224 个样本点高程数据基于普通克里格插值法得到了高程预测图(图 4a)。利用实际测量值和预测值进行相关性分析在一定程度上可评价模型的适用性。基于 ArcGIS 空间分析模块,提取 57 个检验样本点预测高程值,并建立了实测值和预测值的关系,得到两者的复相关系数 $r^2 = 0.96$ (图 4b),由此验证了普通克里格插值法在预测高程方面的适用性,为后面变电站的土方量计算奠定了物质基础。

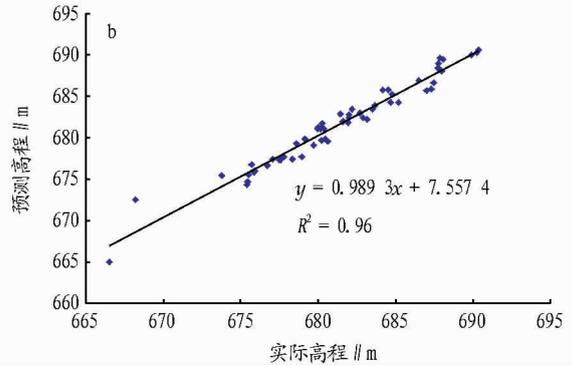
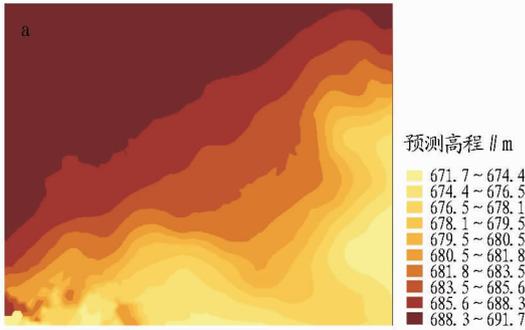


图 4 基于普通克里格插值法的高程预测图(a)和验证(b)

4.4 变电站土方量的计算 结合电气部门提供的电气总平面布置方案,变电站的规模为 88 m × 90 m,从而得到变电站的边界。在 ArcGIS 空间分析下,裁剪了变电站的高程图,如图 5 所示。从图 5 可知,变电站的高程介于 673.5 ~ 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 - 东南降低的趋势,与前面的趋势分析的结果相一致。

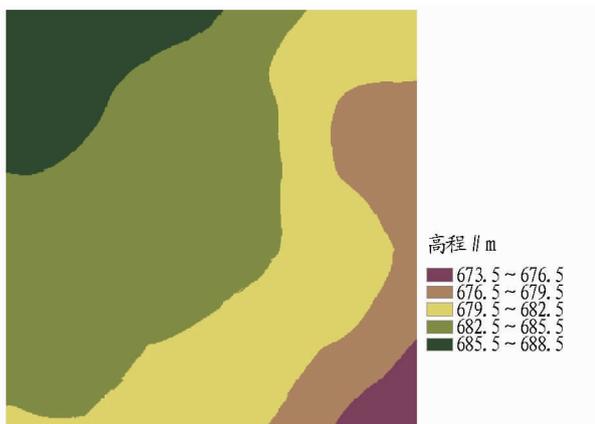


图 5 变电站原始地表高程空间分布

在计算设计地面高程时,需根据具体情况和施工要求,并使建立的设计地表遵循一定的施工原则。根据设计规范和站区排水通畅,确定了变电站设计标高(677 m)。基于上述分析方法,生成设计地表 DEM 空间分布数据图(图 6)。



图 6 变电站设计地表高程空间分布

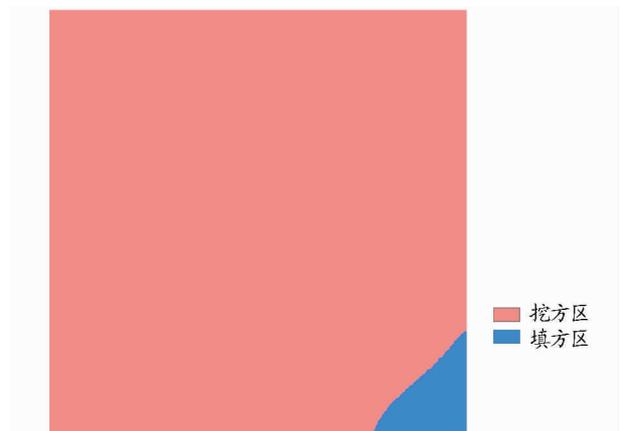


图 7 变电站的填挖方空间分布

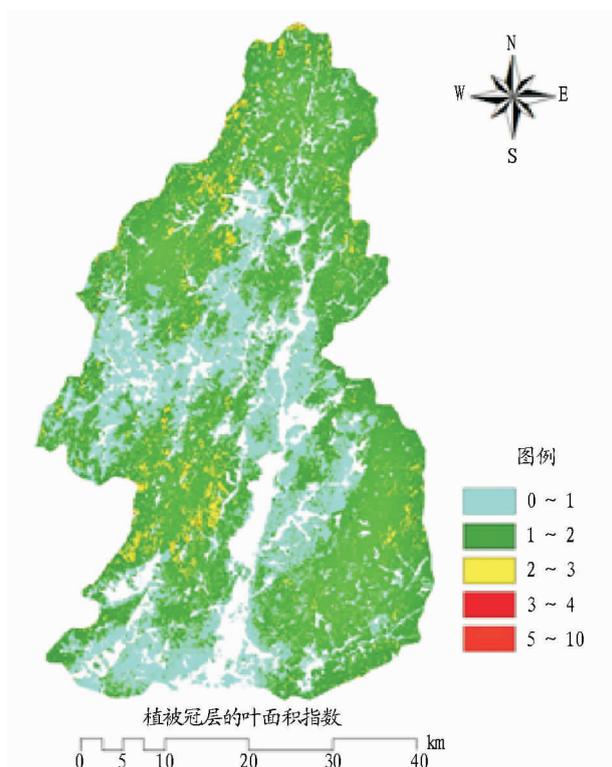


图8 LAI 反演等级分布图

少,其中用于构建模型的只有 30 组,检验模型的只有 8 组,因而也会对结果的精度有一定的影响,这些细节问题在今后

的研究过程中都要有所改善。

参考文献

- [1] MARTENS S N,USTIN S L,ROUSSEAU R A. Estimation of tree canopy leaf area index by gap fraction analysis [J]. Forest Ecology and Management,2004,61:91-108.
- [2] CHEN J M,BLACK T A. Define leaf area index for non-flat leaves[J]. Plant Cell Environ,1992,15(4):421-429.
- [3] 周宇宇,唐世浩,朱启疆,等. 长白山自然保护区叶面积指数测量及结果[J]. 资源科学,2003,25(6):38-42.
- [4] 武红敢,乔彦友,陈林洪,等. 马尾松林叶面积指数动态变化的遥感监测研究[J]. 植物生态学报,1997,21(5):485-488.
- [5] 江西省赣州地区行署林垦局. 赣南树木[M]. 赣州:江西省赣州地区行署林垦局,1981.
- [6] 陈绪志,赖格英. 基于线型混合模型的丘陵山区植被丰度信息提取研究——以江西梅江流域为例[J]. 江西科学,2012,30(4):473-479.
- [7] 张海星,方红亚,涂晓斌,等. 江西生物多样性调查与评估[M]. 南昌:江西科学技术出版社,2010.
- [8] RICHARDSON A J,WIEGAND C L. Distinguishing vegetation from soil background information [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,1977,43(2):1541-1552.
- [9] 李开丽,倪绍祥,扶卿华. 垂直植被指数及其计算方法[J]. 农业化研究,2005,2(3):84-89.
- [10] 熊万彩,邱权,陈天华,等. 叶面积指数间接测量方法分析[J]. 安徽农业科学,2013,41(15):7022-7024.
- [11] 张传来,周瑞金,宋秀丽. 大久保桃叶面积回归测算方法研究[J]. 西南农业学报,2012(2):635-638.
- [12] 康耀江. 植被指数在草地遥感中的应用初探[J]. 湖南农业科学,2011(Z1):39-41.
- [13] 曹建军,顾祝军,徐建华,等. 基于 CHRIS/PROBA 的植被叶面积指数估算模型研究[J]. 安徽农业科学,2013,41(2):907-910.

(上接第 9831 页)

要为挖方区,面积为 7 684 m²,占整个研究区面积的 97%。根据生成的栅格图属性表值,分别对其中的正负数值进行累加,得到了变电站区的挖填方量。经计算得出,站区需挖土约 42 000 m³,填土为 300 m³。

5 小结

土方量一直是变电站建设的重要组成部分,对变电站的投资预算具有较大的影响,因而快速准确的土方量计算成为土建设计的重要工作。笔者以野外高程数据为基础,以 Arc-GIS 为技术平台,采用普通克里格方法,空间插值生成了变电站的高程空间分布图,并对土方量计算进行了量化研究。结果表明,实测样点和预测点的高程相关性分析说明模型的模拟效果较好且拟合度较高,验证了普通克里格法模拟高程分布具有可行性;站区需挖土约 42 000 m³,填土为 300 m³;站区以挖方区为主,面积为 7 684 m²,占整个站区面积的 97%。

参考文献

- [1] 胡振琪,高永光,李江新,等. ERDAS 在土地整理土方量计算中的运用[J]. 中国土地科学,2006,20(1):50-54.
- [2] 张光辉. 快速计算土方量的方法[J]. 测绘通报,1997(5):23-24.
- [3] 王礼先. 水土保持工程学[M]. 北京:中国林业出版社,2000.
- [4] 刘桦. 土方量的表格法测算[J]. 测绘通报,2000(4):64-65.
- [5] 俞志新,李艳,黄明祥. 地统计克里格插值法在工程土方量计算中的应用[J]. 浙江水利科技,2003(4):38-39.
- [6] 张增荣,鄂亦俊,雷挺,等. 基于 DEM 和 ArcGIS 的挖填土方量计算在净水厂设计中的应用[J]. 给水排水,2011(2):116-120.
- [7] 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):70-71,103.
- [8] 肖斌,赵鹏大,侯景儒. 地质统计学的新进展[J]. 地球科学进展,2000,15(3):293-297.
- [9] 汤国安,杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [10] 姚永慧,潘志强,孙英君,等. ArcGIS 地统计分析实用指南[M]. 北京:ArcInfo 中国技术咨询与培训中心,2002.
- [11] 周越轩. 基于 DTM 的土方工程计算与精度分析[J]. 长沙交通学院学报,2000,16(4):39-43.