

GPS 在农田土地平整地形测量中应用的初步研究

李益农, 许迪, 李福祥, 白美健, 章少辉

(国家节水灌溉北京工程技术研究中心, 北京 100044)

摘要: 根据测量的田面高程数据和估算的平地土方量, 对 GPS 测量技术的田间应用效果进行评价, 利用统计方法对比分析定点 GPS 与水准仪测量的高程数据, 初步探讨车载行进速度对 GPS 测量精度的影响, 分析采用 GPS 技术替代人工水准仪测量方法的可行性。结果表明, 基于定点 GPS 数据和水准仪测量结果绘制的田面微地形状况具有较好的相似性, 两者间具有相同的测量精度, 车载行进速度对 GPS 测量精度的影响是明显的, 慢速下的 GPS 测量精度高于快速下的相应结果, 低速且匀速的车辆行驶方式是确保该法测量精度的重要措施。在农田土地平整作业中, 利用先进的 GPS 技术替代传统的人工水准仪测量方法对田面高程进行测量具有较好的可行性。

关键词: 土地平整; 全球定位系统(GPS); 微地形; 高程; 测量精度

中图分类号: S281; P22

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)01-0066-05

0 引言

利用激光控制平地技术实现农田土地的高精度平整进而改善田间微地形条件是改进地面灌溉技术的重要措施^[1-3], 改善田面平整精度可有效地提高地面灌溉系统性能指标, 产生显著的节水增产效果^[4-7]。在农田土地平整作业中, 需对土地平整前后的地面高程进行测量, 以便拟定合理的平地工程设计方案并对平地效果进行定量评价。以往对地面高程的测量常采用人工操作水准仪的方法完成, 该法具有耗时费工、工作效率低下的明显缺陷, 在实施大规模土地平整作业时已成为制约现代土地平整高新技术应用的瓶颈。近年来, 一些新的测量技术与仪器已在外国农田土地平整作业中得到初步应用^[8-10], 其中借助 GPS 技术与设备可自动、快速、准确地获得田间任意位置处的平面坐标和地面高程, 既可利用 GPS 进行人工定点测量, 也可将 GPS 安装在车辆顶部进行车载移动测量。与人工水准测量方法相比, GPS 技术具有测量地面高程速度快和测量工作效率高的突出特点, 有利于加快激光控制平地作业进程, 为高效率、大规模地实施激光控制平地技术提高重要的支撑条件。本文根据平地前测量的田面高程数据和据此计算得到的平地土方量, 对 GPS 测量技术的田间应用效果进行评价, 利用统计方法对定点 GPS 与水准仪获得的地面高程数据进行对比, 初步探讨车载行进速度对 GPS 地形测量精度的影响, 分析采用 GPS 技术替代人工水准仪测量方法的可行性。

1 试验与方法

1.1 试验地点与地形测量方式

利用 GPS 测量技术开展农田土地平整地形测量的

田间试验工作在北京市大兴区国家节水灌溉北京工程技术研究中心灌溉试验基地内进行。在平地前, 采用定点 GPS、车载移动 GPS 和定点水准仪等 3 种方式测量地面高程, 两个试验田块的宽度均为 60 m, 长度分别为 95 m 和 82.5 m。定点测量下的测点方形网格间距为 2.5 m (2.5 m, 在田间共布设的 1778 个测点处分别采用水准仪和 GPS 同步逐点测量地面高程。水准仪测量可直接得到各测点的地面相对高程, GPS 测量能得到各测点有关经度、纬度和地面高程的数据, 并换算为地面相对高程。定点 GPS 测量中, 由人工背负 GPS 流动站设备, 手持装有卫星信号接收天线和数据采集器的对中杆在各测点实施高程测量, 并将相关测量数据存贮在数据采集器中。为了评价车载移动速度对 GPS 测量精度的影响, 分别在 30 和 15 km/h 两种车载速度下测定田面高程数据。车载移动 GPS 测量下的测点间距为 5 m, 两种车速下的地面测点总数分别为 1574 和 1546。利用车载移动 GPS 进行高程测量时, 将 GPS 流动站设备和数据采集器置于车内, 利用磁性吸盘将卫星接收天线和电台天线固定在车顶部, 采用车载形式按设计的直线距离间隔在田间进行往复式连续自动测量。在汽车行进过程中, 接收机根据连续测量的设置方式, 不断将采集的数据自动存贮在数据采集器中。

1.2 地形测量设备

试验中采用的 GPS 测量设备由 2 台 Trimble 5700 型接收机, 2 个圆盘式卫星信号接收天线, 2 根电台天线, 1 根对中杆, 1 台 T mark3 无线电台, 1 部数据采集器和 1 个向 T mark3 电台供电的电瓶 (60Ah) 及相关联接电缆等构成, 除电瓶为国产外, 其余设备均为美国 Trimble 公司生产。基准站和流动站采用同样的接收机和接收天线, 在进行数据交换时, 基准站使用 T mark3 无线电台, 流动站则使用接收机的内置电台。这套设备的标称测量精度为: 动态条件下, 平面为 $10\text{mm} + 1.0 \times 10^{-6} \times \text{基线长度}$, 高程为 $20\text{mm} + 2.0 \times 10^{-6} \times \text{基线长度}$; 快速静态条件下, 平面为 $5\text{mm} + 0.5 \times 10^{-6} \times \text{基线长度}$, 高程为 $5\text{mm} + 1.0 \times 10^{-6} \times \text{基线长度}$, 基线长度

收稿日期: 2004-07-20 修订日期: 2004-10-12

基金项目: “十五”国家重大科技专项课题“精细地面灌溉技术研究”(2002AA2Z4041)

作者简介: 李益农(1963-), 男, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。北京市海淀区车公庄西路 20 号 国家节水灌溉北京工程技术研究中心, 100044。Email: liyinong@whr.com

是指流动站与基准站之间的距离,以 km 计。

人工水准测量采用北京测绘仪器厂生产的具有自动校平功能的光学水准仪(DSZ- C24)。为了提高水准测量的田间工作速率,实际测量中采用 1 台水准仪带 6 根水准尺的作业方式同时定点测量地面高程。

1.3 GPS 数据处理

由于 GPS 系统使用美国国防部的世界测地系(WGS- 84),故应用 GPS 系统直接得到的是各测点相对于 WGS- 84 坐标系的绝对位置。为了将其转变成网格坐标系,实际测量中对 GPS 接收机采用如下设置:基准转换选用 3 参数法,即长半轴为 6378245,扁率 298.3,三维方向平移量为 0;投影方式为横轴墨卡托投影,投影坐标原点北移为 0,东移为 500000.000 m,原点纬度 0°N,中心经度选用北京所在地的中央子午线经度 117°E,比例因子为 1.000,投影高度为 0。平地工程设计中无需获悉各测点的精准大地坐标,只需获知各测点的相对高程。在田间开展 GPS 技术测量时,基准站的坐标为假定坐标,田面各测点坐标位置均以基准站为准进行相对定位测量。为得到同一基准下的 GPS 数据,测量过程中的基准站位置和假定坐标均未做变动。测量作业时,由 GPS 采集的数据被保存在与流动站相连的数据采集器内,待作业结束后,由 Trimble 公司提供的 Data Transfer 软件将采集的数据传输到计算机,通过专用软件 Trimble Geomatics Office (TGO) 完成数据整理、计算与分析等后续工作,也可将采集的数据根据使用需求转换成 GIS、CAD 或其他数据格式,利用其他相关软件完成数据的整理与计算分析。TGO 是美国 Trimble 公司提供的处理 GPS 数据的专用软件,具有测点平差、坐标系转换、数据格式转换、测点数据再计算、基线处理、测点分布和等高线绘制等功能,通过该软件可详细了解

接收机设置、测量过程中数据和星际状态等信息。

2 结果与讨论

田块微地形变化主要反映在田面高程的起伏状况上,对水准仪、定点 GPS 和车载移动 GPS 得到的地形测量数据进行分析主要针对地面相对高程而言。假定以水准仪测量结果为真值,在对不同测量方法下得到的数据进行统计分析的基础上,通过田面相对高程最大值、最小值、平均值、标准偏差值和变差系数等统计特征值的对比,分析评价各种方法的测量结果及精度。为确切地反映测量结果之间的差异,对田块内同一测点处地面相对高程差值进行统计分析,根据小于某一绝对差值的测点累计百分比评价各种测量数据间的差别。

2.1 定点 GPS 测量结果与水准仪数据的对比分析

表 1 给出定点测量条件下由水准仪和 GPS 得到的地面相对高程统计特征值,其中地面相对高程的最大值、最小值、平均值间的差异均在毫米级,最大差值为 8 mm,最小为 4 mm,标准偏差值、变差系数间的较小差别反映出两种测量结果间的差异很小。从图 1 显示的依据水准仪和定点 GPS 数据绘制的三维田块地形状况上可以发现,两个田块在地貌特征与地面微地形起伏状态上具有较好的相似性。

表 1 定点测量条件下的地面相对高程统计特征值

Table 1 Statistics of relative elevation measured under fixed point condition

统计特征值		最大值 /m	最小值 /m	平均值 /m	标准偏差 S_d /cm	变差系数 C_v
田块-1	定点 GPS	0.438	0.181	0.296	3.2	0.106
	水准仪	0.443	0.185	0.290	3.0	0.089
田块-2	定点 GPS	0.463	0.192	0.300	2.7	0.089
	水准仪	0.451	0.199	0.297	2.7	0.090

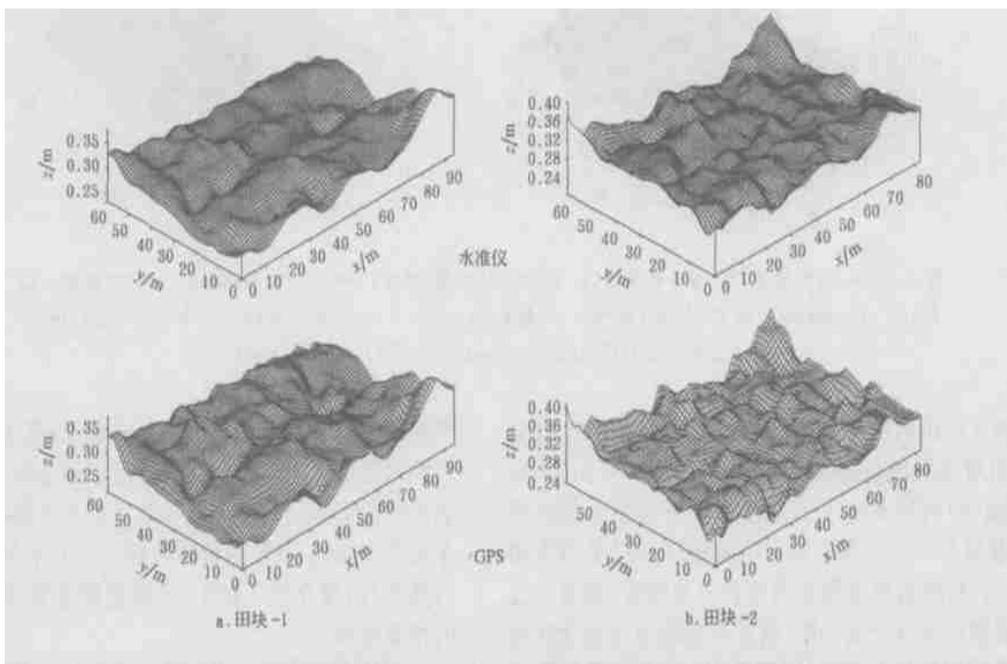


图 1 定点测量条件下的三维田块地形状况比较

Fig. 1 Comparison of 3D digital terrain models of the experimental fields measured under fixed point condition

表 2 给出在定点测量条件下由水准仪和 GPS 得到的各田块同一测点处地面相对高程绝对差值的统计特征值。两个田块的地面相对高程绝对差值的最大值分别为 5.6 和 5.1 cm, 平均值则分别为 0.94 和 0.91 cm, 标准偏差值均为 0.96 cm, 变差系数分别为 0.88 和 0.94。图 2 显示两个田块内地面相对高程绝对差值小于 2 cm

表 2 定点测量条件下田块同一测点处地面相对高程绝对差值的统计特征值

Table 2 Statistics of the absolute differences of the relative elevation at the same point under fixed point condition

统计特征值	最大值 /cm	最小值 /cm	平均值 /cm	标准偏差 S_d /cm	变差系数 C_v
田块-1	5.60	0.00	0.94	0.96	0.88
田块-2	5.10	0.00	0.91	0.96	0.94

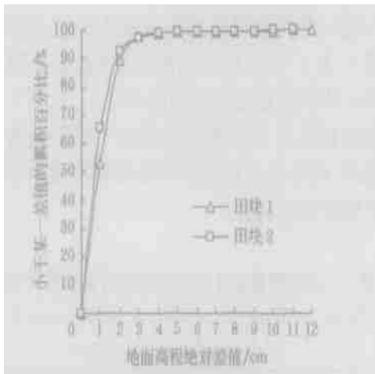


图 2 地面相对高程绝对差值累积分布曲线

Fig. 2 Cumulative distribution curve for absolute differences of the relative elevation

的测点数量均占全部测点数量的 90% 以上。由此可见, 在田间测点数量与位置完全相同的状况下, 由定点 GPS 测量得到的地面相对高程数据具有与水准仪测量数据相同的精度。

2.2 车载移动速度对 GPS 测量精度影响的分析

表 3 给出在田块-2 两种车载移动速度下利用 GPS 得到的地面相对高程统计特征值。与定点 GPS 测量结果相比, 快 (30 km/h)、慢 (15 km/h) 两种车速下的地面相对高程最大值分别相差 7.8 和 6.0 cm, 最小值分别相差 3.6 和 2.3 cm, 平均值分别相差 1.4 和 1.0 cm, 标准偏差值和变差系数则与定点 GPS 测量结果相差不大。由于测点数量的差异以及测点位置的不对应性, 很难在同点共位状态下对定点与车载移动 GPS 得到的测量数据进行严格的统计分析比较, 但就田块整体地貌而言, 两者之间在标准偏差值和变差系数上存在的较小差异还是能从图 3 显示的三维田块地形状况中得到粗略反映。其中沿田块边缘出现的高程差异主要起因于车载移动 GPS 测量条件下车辆在在该处行驶时易出现较大的颠簸起伏, 且存在转弯死角, 丢掉了测点。

表 3 不同车载移动速度下 GPS 测量的地面相对高程统计特征值

Table 3 Statistics of relative elevation measured by mobile GPS at different moving speeds

统计特征值	最大值 /m	最小值 /m	平均值 /m	标准偏差 S_d /m	变差系数 C_v
定点 GPS 测量	0.463	0.192	0.300	2.7	0.089
车载慢速 GPS 测量	0.403	0.215	0.310	2.5	0.080
车载快速 GPS 测量	0.385	0.228	0.314	2.5	0.079

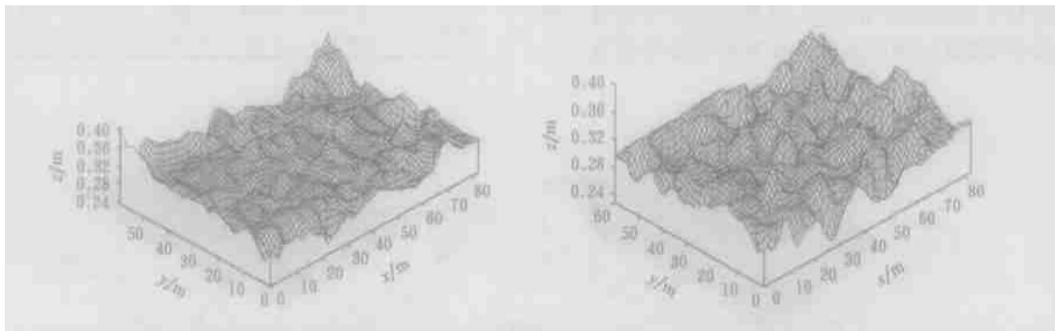


图 3 定点 GPS 测量(左)与车载慢速(15 km/h)GPS 测量(右)下的三维田块地形状况比较(田块-2)

Fig. 3 Comparison of 3D digital terrain models for field-2 measured by GPS at fixed points (left) and mobile GPS at slow moving speed (15 km/h, right)

从表 3 给出的两种车载移动速度下采用 GPS 得到的地面相对高程统计特征值可以看出, 快 (30 km/h)、慢 (15 km/h) 两种车速下的地面相对高程最大值和最小值分别相差 1.8 和 1.3 cm, 地面相对高程平均值相差 0.4 cm, 标准偏差值和变差系数较为接近, 这意味着不同车载移动速度下的 GPS 测量对反映地面起伏状况的极值影响较为显著, 而对田块整体地貌特征值的影响却似乎并不明显。尽管如此, 车载移动速度对 GPS 测量结果的影响还是能从图 4 显示的结果中表现出来。该图

为两种车速下测得的田块-2 地面相对高程数据与其平均值的绝对差值的等值线分布状况, 其中阴影部分代表绝对差值大于 3 cm 的区域。可以明显看出, 快车速下该区域的面积明显多于慢车速下的相应面积, 这表明快车速下得到的 GPS 测量结果相对于其平均值具有更大的离散性, 慢车速下的 GPS 测量精度要高于快车速下的相应结果。

利用车载移动 GPS 方法进行地面高程测量作业时, 田面起伏不平易使车辆在行进作业过程中产生颠簸, 进而影响卫星天线的稳定工作状态, 使 GPS 采集的数据出现偏差。此外在不同车速下, 车辆在田面内的行

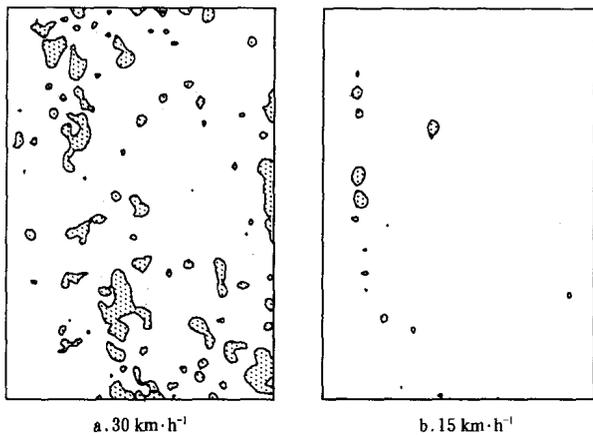


图 4 两种车速下高程数据与其平均值的绝对差值的等值线
Fig 4 Topographic maps of the absolute differences between elevations and their average values under two moving speeds

驶路线差异以及测点数量上的差别也是导致两种车速下的测量结果之间出现偏差的原因。车载移动 GPS 测量过程中, 驾驶员的行驶技术和对行驶路线的选择对保障测量数据的准确性非常重要, 尤其是在车辆转弯或田块边缘处的测量更为如此, 测量数据中的极值点差异往往出现在田块边缘处(图 3)。因此, 在利用车载移动 GPS 开展地形测量时, 应根据地面起伏状况采用不同

的车速进行高程测量。田面起伏状况较为严重时, 应降低车速, 以便减少因车辆颠簸起伏引起的卫星天线工作状态不稳定, 进而降低其对 GPS 测量精度的影响, 低速且匀速的车辆行驶应是确保车载移动 GPS 测量精度的重要措施。

2.3 GPS 测量结果对平地土方量影响的分析

平地土方量计算采用专用地形处理软件 SURFER^[11]完成。由于水准仪和定点 GPS 下的田面高程测点分布较为均匀, 而车载移动 GPS 下的测点分布随机性较大, 且疏密不一, 为统一平地土方量计算条件, 使用 SURFER 软件对不同测量方法下得到的地面相对高程数据进行 Kriging^[12]插值处理。在利用水准仪、定点 GPS 和车载慢速(15 km/h)GPS 测量的高程数据进行平地工程设计时, 各个田面的纵、横双向坡度均为零坡度设计, 计算的相应挖方、填方和土方总量见表 4。对田块- 1 和田块- 2 而言, 与利用水准仪数据拟定的平地土方总量相比, 基于定点 GPS 数据得到的土方总量相对误差分别为 4.1% 和 5.2%, 基于车载慢速 GPS 数据计算的土方总量相对误差均为 7.1%。由此可见, 与常规水准仪测量方法相比, 根据 GPS 测量数据进行土地平整工程设计时得到的平地土方总量相对误差均在 8% 以内, 采用 GPS 测量数据进行平地土方量的计算可以满足农田土地平整工程设计的要求。

表 4 不同测量方法下的平地土方量计算结果

Table 4 Calculated earthwork quantities under different measurement methods

田 块	水 准 仪			定 点 GPS			车 载 慢 速 GPS		
	挖方/m ³	填方/m ³	土方总量/m ³	挖方/m ³	填方/m ³	土方总量/m ³	挖方/m ³	填方/m ³	土方总量/m ³
田块- 1	48.3	44.8	93.1	50.6	46.3	96.9	44.3	42.2	86.5
田块- 2	37.3	33.5	70.8	35.4	31.7	67.1	33.9	31.9	65.8

3 结 论

对采用水准仪、定点 GPS 和车载移动 GPS 方法测量得到的田面相对高程和计算的平地土方量进行对比分析后, 可得到如下初步结论:

1) 根据定点 GPS 数据和水准仪测量结果绘制的田面微地形状况具有较好的相似性, 在两个试验田块内, 水准仪与 GPS 之间在同一测点处地面相对高程绝对差值小于 2 cm 的测点数均占全部测点数的 90% 以上。在田间测点数量与位置完全相同的情况下, 由定点 GPS 得到的地面相对高程数据具有与水准仪测量数据相同的精度。

2) 在车载移动 GPS 测量过程中, 车辆行进速度对测量精度的影响是明显的, 快速下测得的地面相对高程与其平均值的绝对差值大于相应平均值的区域面积明显多于慢车速下的相应面积, 慢车速下的 GPS 测量精度要高于快速下的相应结果。在利用车载移动 GPS 进行地形测量时, 应根据地面起伏状况采用不同的车载速度进行高程测量, 低速且匀速的车辆行驶方式是确保测量精度的重要措施。有关车载行驶速度对

GPS 方法测量精度的影响尚需做进一步深入研究。

3) 与水准仪测量结果相比, 根据 GPS 测量数据进行土地平整工程设计时得到的平地土方总量相对误差均在 8% 以内, 可以满足农田土地平整工程设计的要求。

4) 在农田土地平整作业中, 利用先进的 GPS 技术替代传统的人工水准仪测量方法对田面高程进行测量具有较好的可行性。从采用的 GPS 设备标称测量精度可知, 当基线长度(流动站与基准站间的距离)小于 5 km 时, 可忽略基线解算距离的影响, 也即此时的 GPS 测量精度是固定的, 与测量范围无关。在大规模农田平地测量中, 受田块面积尺度制约, 测量作业范围远小于 5 km, 故 GPS 测量方法的精度完全可以得到保障。

[参 考 文 献]

[1] Walker W R. Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems[R]. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper No. 45, 1992
[2] 李益农, 许迪, 杨继富, 等. 农田土地激光平整技术应用及初步评价[J]. 农业工程学报, 1999, 15(2): 79- 84

- [3] 许迪, 李益农, 李福祥, 等. 常规土地平整方法与激光平地技术组合应用分析[J]. 水利学报, 1999, 10: 52- 56
- [4] Fangmerer D D, Clemmens A J, El-Amsary M, et al. Influence of land leveling precision on level-basin advances and performance[J]. Transactions of the ASAE, 1999, 42(4): 17- 27.
- [5] Yang C, Peterson C L, Shropshire G J, et al. Spatial variability of field topography and wheat yield in the Palouse region of the Pacific Northwest[J]. Transactions of the ASAE, 1998, 41(1): 17- 27.
- [6] 李益农, 许迪, 李福祥. 田面平整精度对畦灌性能和作物产量影响的试验研究[J]. 水利学报, 2000, 12: 82- 87.
- [7] 李益农, 许迪, 李福祥. 田面平整精度对畦灌系统性能影响的模拟分析[J]. 农业工程学报, 2001, 17(4): 43- 48
- [8] Yao H, Clark R L. Development of topographic maps for precision farming with medium accuracy GPS receivers [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2000, 16(6): 629 - 636
- [9] Clark R L, Lee R. Development of topography maps for precision farming with kinematic GPS[J]. Transactions of the ASAE, 1998, 41(4): 909- 916
- [10] 岳建平, 岳东杰. 工程 GPS 水准测量的精度及其应用[J]. 测绘通报, 1999, 11: 22- 26
- [11] Golden software SURFER user's guide [R]. Golden, Colorado Inc, 2002
- [12] Warrick A W, Myers D E, Nielsen D R. Geostatistical methods applied to soil science [M]. Advance in Soil Science, 1985, 29: 388- 402

Application of GPS technology in agricultural land levelling survey

Li Yinong, Xu Di, Li Fuxiang, Bai Meijian, Zhang Shaohui

(National Center of Efficient Irrigation Engineering and Technology Research-Beijing, Beijing 100044, China)

Abstract: The application of GPS technology was evaluated by the measured elevation data and estimated earthwork quantity. The statistic analysis was applied for elevation data at the fixed points measured by GPS and level respectively. The influences of the different moving speeds of the mobile GPS on data precision were also discussed. Therefore, the possibility of using GPS technology to replace traditional level for elevation measurement was analyzed. The results indicate that there is good similarity for field microtopography maps measured by GPS and level and the two measuring methods have the same precision. The speed of mobile GPS presents obviously effects on GPS measuring precision. The data under slower moving speed reveals higher precision than that under faster moving speed. For this reason a relative low and stable moving speed under mobile GPS is of importance to ensure the data precision. The advanced GPS technology shows good potential to replace traditional land level for elevation measurement in agricultural land levelling project.

Key words: land levelling; Global Position System (GPS); microtopography; elevation; survey precision

李益农, 许迪, 李福祥, 等. GPS 在农田土地平整地形测量中应用的初步研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 66- 70

Li Yinong, Xu Di, Li Fuxiang, et al. GPS application in agricultural land levelling survey[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(1): 66- 70 (in Chinese with English abstract)