

农田土地平整方法的组合应用及效果³

李福祥 许迪 李益农

(中国水利水电科学研究院)

摘要: 采用修正平面法完成农田土地平整的工程设计,在常规平地方法和激光平地技术应用基础上对 2 种方法实施后的平地效果进行分析评价。激光平地精度随常规方法的平整程度下降而减小的趋势表明,激光精细平地的效应必须建立在良好的土地粗平基础上。在我国现有的常规平地机械设备条件下,粗平后地面平整精度达到 4~ 5 cm 时,实施激光精平作业才能取得较好的平地效果。

关键词: 常规平地; 激光平地; 平整精度; 平地效果; 应用模式

土地平整方法包括常规土地平整措施和激光控制平地技术。常规平地方法采用的设备有推土机、铲运机和刮平机,它具有土方运移量大、平地费用相对较低的特点,适合于在地面起伏较大、原始平整度较差的田面内完成粗平,改变田块的宏观地形。由于平地效果主要取决推土机和刮平机的施工精度,故受设备自身缺陷和人工操平精度的影响,当达到一定田面平整度后便很难再有提高。激光控制在农田平整机具上的应用能大幅度地提高土地平整精度^[1~ 3],其感应系统的灵敏性至少比人工视觉判断和平地机具上操作人员的手动液压系统准确 10~ 50 倍。激光平地的作业效率高,适宜在常规粗平基础上完成田面精平,改善地面微地形条件,但平地费用相对较高,铲运设备容积有限。因此,充分利用常规粗平方法和激光精平技术的长处及特点,可获得较好的土地平整效果。本文给出农田土地平整的工程设计方法及田间实施步骤,根据平整精度指标对常规粗平和激光精平的效果进行分析评价,探讨两种平地方法的应用模式。

1 平地设计与试验

1.1 平地工程设计

土地平整工程设计的原则是在有利于提高地面灌溉质量、促进作物生长和防止田间水土流失的条

件下,使工程作业的土方运移量最小且搬运距离最短。设计中应保持挖方与填方的比率在 1:1~ 1:1.5 的范围内^[4],考虑到填方区内的土壤密度较小,填土遇水下沉后会影响到田面的平整精度,故挖方量一般应大于填方量。

常规平地的工程设计方法有平面法、断面法、等高线调整法等^[5],本文采用以平面法为基础的修正平面法。将平整的田块划分为若干正方形网格,利用最小二乘法或线性回归拟合法对二维田块内所有网格点的高程进行计算,由建立的平面方程确定田块的设计纵、横向坡度,并依据网格面积加权计算法得到田间的平均高程,完成挖填方比的平衡计算。

当田块近似为方形或长方形时,取田块平均高程点的位置在中心点,若为不规则田块,其中心点坐标采用力矩法求得。平面方程的形式为

$$E(x, y) = H + K_x \cdot x + K_y \cdot y \quad (1)$$

式中 $E(x, y)$ ——平面点 (x, y) 的设计高程; K_x —— x 方向上的坡度; K_y —— y 方向上的坡度; H 是修正系数。 K_x 和 K_y 利用最小二乘法方程联立求解如下

$$\begin{aligned} (x - x_c)^2 K_x + (x - x_c)(y - y_c) K_y &= (x - x_c) [E(x, y) - E_c] \\ (y - y_c)^2 K_y + (x - x_c)(y - y_c) K_x &= (y - y_c) [E(x, y) - E_c] \end{aligned}$$

设: $A = (x - x_c)^2$; $B = (x - x_c)(y - y_c)$; $C = (y - y_c)^2$; $D = (x - x_c)(y - y_c)$; $E = (y - y_c) [E(x, y) - E_c]$

收稿日期: 1999212224

3 国家“九五”科技攻关项目(962006202201)的部分内容

李福祥,高级工程师,北京市车公庄西路 20 号 中国水利水电科学研究院水利所, 100044

则

$$K_x = \frac{B_1 E - D_1 C}{B^2 - D_1 A} \quad K_y = \frac{B_1 C - A_1 E}{B^2 - D_1 A}$$

式中 x_c 和 y_c ——田块中心点坐标; E_c ——田块中心点高程, 且:

$$E_c = \frac{H(x, y)_1 E(x, y)}{H(x, y)} \quad H(x, y) = \frac{A(x, y)}{A_s}$$

$$y_c = \frac{n_1 y}{n} \quad x_c = \frac{m_1 x}{m}$$

式中 A_s 和 $A(x, y)$ ——分别是田块内网格的标准控制面积和实际控制面积; m ——坐标为 x 点处 y 方向上的网格点数; n ——坐标为 y 点处 x 方向上的网格点数。

当任一平面均通过田块中心点 (x_c, y_c) 时, 则有

$$H = E_c - K_x x_c - K_y y_c \quad (2)$$

联立求解公式(1)和(2), 得到已知的平面方程

$$E(x, y) = E_c - K_x \cdot x_c - K_y \cdot y_c + K_x \cdot x + K_y \cdot y$$

并用来计算田块内各网格点处的设计高程。对每个网格的挖、填方量, 采用四点法计算如下

$$V_{Ci} = \frac{A_i \left(C(x, y) \right)^2}{4i \left\{ \left| C(x, y) \right| + \left| F(x, y) \right| \right\}}$$

$$V_{Fi} = \frac{A_i \left(F(x, y) \right)^2}{4i \left\{ \left| C(x, y) \right| + \left| F(x, y) \right| \right\}}$$

式中 V_{Ci} 、 V_{Fi} 、 $C(x, y)$ 、 $F(x, y)$ 和 A_i 分别是网格的挖、填方量, 网格 4 个点的挖、填深度和网格的面积。对于挖填方比率 $R = V_{Ci} / V_{Fi}$, 若初次计算值超出 110~ 112 范围, 则可通过调整田块中心点高程值重新计算地块的挖、填方量, 直至 R 值达到适宜的范围为止。有关修正平面法的计算步骤和挖填方比的试算过程已编制成相应的计算软件。

激光平地采用的工程设计思路类似于修正平面法, 即根据田块各测点的高程来确定精平的设计高程, 原则是通过选择适当的设计高程, 使平地作业的挖填方量基本相同。由于田间整体地形的改变和定形, 尤其是田块纵向坡度的大小已由常规精平确定, 故激光平整土地的搬运土方量和平整的难易程度应低于常规平地。

112 土地平整精度

平整土地的精度及质量采用平整精度指标予以定量, 使用田块内所有测点的地面高程的标准偏差值 S_d (cm) 表示

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - h_{ii})^2}{(n - 1)}} \quad (3)$$

式中 h_i ——田块内第 i 个测点的高程, cm; h_{ii} ——第 i 个测点的期望高程, cm, 一般指该点的平地设计高程; n ——田块内所有测点的数量。 $S_d = 0$ 是理论上可达到的最佳精度, 而较高的 S_d 值则意味着较差的土地平整程度。在美国, 常规平地方法和激光平地技术所能达到的田面最小 S_d 值分别为 2~ 215 cm 和小于 112 cm, 在葡萄牙则是 3~ 4 cm 和小于 117 cm^[2]。

标准偏差 S_d 反映了田面平整的总体状况, 要想评价田间地面形状的分布差异及特征, 可利用分布偏差计算给出定量描述。首先计算田块内各测点的高程与期望高程间的高程偏差值 $ED_i = h_i - h_{ii}$ (cm), 再根据小于某一高程偏差绝对值 $B|h_i - h_{ii}|$ 的测点的累积百分比数来反映地面平整度的分布状况。以美国土地利用局规定的标准为例, 激光平地后, 田块内高程偏差绝对值小于 115 cm 的测点的累积百分数最大可达 80% 以上^[6]。

113 田间平地试验

1998~ 1999 年秋季在北京市昌平区百善渠灌区完成土地平整试验, 平整土地面积 28 hm²。整个农田被划分为面积不同、初始平整状况不一的 9 个田块, 其中每个田块的东西向宽 80~ 100 m, 南北向长 200~ 400 m 不等, 作物种植方向为南北向。平地过程中首先利用推土机、铲运机和刮平等常规平地机具使田面达到一定平整度后, 再采用激光控制技术完成土地精平, 精平铲运设备的容积为 2 m³。

表 1 给出各田块的初始 S_d 值, 它是在 20 m 正方形网格测量结果上计算得到的。其中地块 A 21 至 A 23 和 A 26 至 A 27 的地面纵坡在 1‰~ 4‰ 之间, S_d 值在 411~ 813 cm 范围, 地面原始平整状况相对较好, A 24 和 A 25 两个田块的原始平整状况较差, 具有较高的 S_d 值 (1015 cm 和 1418 cm), 且田块的地势在纵横两个方向上都呈现出凸面形状。根据地面畦灌对行水坡度的要求以及土地平整工程的设计要求, 田间南北纵向的设计坡度 K_y 应保持在 2‰ 左右, 并消除水流推进方向上的倒坡畦段和局部田面的凹凸点; 在垂直水流方向的東西坡面则应保持水平状态, 即 $K_x = 0$, 减少地面灌溉过程中横向畦面受水不均的现象。平地田间设计中, 将每个田块沿纵坡方向划分为若干个平地作业单元, 其中南北向的土地平整按设计纵坡施工, 东西向实施地面零坡度平

整。

表 1 常规及激光平地方法下的土地平整状况改善程度

Tab 1 Effective evaluation of conventional and laser-controlled land leveling procedures

平整地块	平地面积 Öhm^2	平地前 $S_d/\text{Öcm}$	常规土地平整			激光控制土地平整		
			平地后 $S_d/\text{Öcm}$	绝对改善度 DÖcm	相对改善度 $\text{Ö}\%$	平地后 $S_d/\text{Öcm}$	绝对改善度 DÖcm	相对改善度 $\text{Ö}\%$
A 21	4	519	510	019	1514	317	113	2517
A 22	2	418	314	114	2813	214	110	2914
A 23	2	813	318	415	5412	213	115	3914
A 24	4	1015	910	115	1318	612	218	3114
A 25	4	1418	1114	314	2312	614	510	4319
A 26	3	512	419	013	518	312	117	3417
A 27	3	611	513	018	1311	316	117	3211
A 28	3	612	413	119	3016	317	016	1410
A 29	3	411	310	111	2618	211	019	2210

常规粗平作业前,先环绕待平地块四周设立间距为 20 m 的标桩,在桩上根据地面测量结果注明该点的平地作业设计高程,即给出标桩位置处地面的挖填深度。推土机手将依据每个桩柱上的标志,操作平地机具在其附近挖高填低,实施土地平整作业。在田面内,则采用水准仪随时定点监测各测点的地面高程,指挥推土机和铲运机施工运行,控制测点处的挖填方数量。粗平结束后,根据复测的地面平整状况,在每个平地作业单元内,按照平地设计高程确定激光平地铲运机具刀口的起始位置点,并固定激光接收器在铲运设备桅杆上的位置,使接收器的中心点与激光平面重合,随后由拖拉机牵引的铲运机具即可在田块内按一定行进规律往复运动,逐步完成对整个地块的自动精平作业。

2 结果与讨论

2.1 平地效果评价

表 1 给出两种平地方法实施后田块平整状况的变化及改善程度,在平整的所有田块中,以对 A 23 地块的改善力度最大,获得的平地效果最佳。

对两种平地方法应用前后各地块内所有测点的高程与期望高程间的偏差值小于某一绝对值的测点的累积百分比进行统计。以高程偏差的绝对值小于 3 cm 的测点的累积百分数为例,对除 A 24 和 A 25 的地块而言,平地前的范围在 2915% ~ 4712% 之间,常规平地后提高到 4119% ~ 5810%,激光平地后又

增加到 6110% ~ 8718%,高程偏差绝对值小于 3 cm 的测点的数量已占这些田块内全部测点的大多数,田间微地形分布状况得到了较大程度的改善。

2.1.2 组合应用模式

表 1 结果表明在经过常规粗平与激光精平措施后,初始平整状况很差的地块 A 24 和 A 25 的平整精度仍未得到有效改善,其 S_d 值仍高达 6 cm 以上。究其原因主要在于常规粗平工作的力度不够,没能明显地改变整个地块的宏观地形。由于激光精平的效果往往是建立在常规粗平的基础上,因此土地粗平效果的好坏直接影响到激光平地的精度。常规平地后,两个田块的 S_d 值高达 9~11 cm,在这种较差的田块地形条件下,尽管激光精平可以在一定范围内

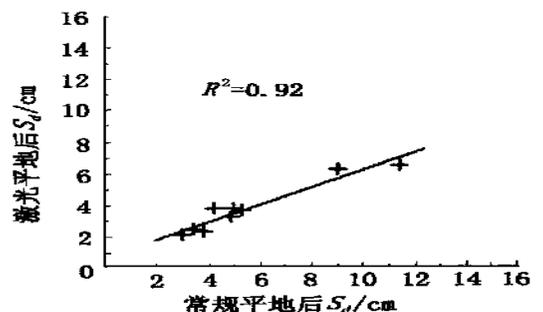


图 1 常规平地与激光平地后的 S_d 值间的关系
Fig 1 Correlation between S_d values obtained by conventional and laser-controlled land leveling procedures

提高土地的平整度, 但就整体效果而言, 无法获得满意的土地平整结果。这个事实可以由图 1 给出的根据平地试验结果得到的关系曲线予以证实, 该曲线描述了常规粗平后的 S_d 值与激光精平后的 S_d 值间的相关关系。可以清楚地看到, 常规平地后的土地平整度愈差, 激光平地后的平整精度则愈低。因此要想获得满意的土地平整效果, 应加大常规粗平的力度和精度, 尽可能增加常规方法下的土地平整改善幅度。平地试验数据表明, 在现有的常规平地设备条件下, 粗平后能达到的平均 S_d 值以 4~5 cm 较为现实。若以激光精平的期望 S_d 值以 2 cm 为标准, 则粗平后的平整精度(4~5 cm)与平地设计期望值(2 cm)间的差值近似为 2~3 cm。这个结论与笔者根据土地平整作业效率和成本费用分析得出的两种平地方法组合应用的模式相同^[7], 即首先采用常规平地方法在田间大规模地挖填和搬运土方, 较大程度上修改和改善田块的宏观地形, 当田面平整精度距平地设计值的差值接近 3 cm 时, 再利用激光平地实施土地精平作业, 以改善田间地面的微地形条件。

3 结 论

采用本文给出的农田土地平整工程的设计方法和实施步骤, 可以在传统的常规平地方法与激光控制平地技术的组合应用基础上, 获得较高的平地精度。常规粗平方法所能达到的最大平整精度是 314 cm, 而激光平地则能达到 211 cm, 且田块内高程偏差绝对值小于 3 cm 的测点的累积百分比对常规平

地最高为 58%, 而激光平地则可接近 90%, 两者间的差值达 30 个百分点。激光平地所能达到的期望精度随常规平地的平整度下降而减小的趋势表明, 激光精平的效果必须建立在良好的土地粗平基础上。在我国现有的常规机械平地设备条件下, 只有当粗平后的地面平整精度达到 4~5 cm 时, 实施激光平地作业才能取得较好的土地平整效果。

[参 考 文 献]

- [1] Hinz W W, Haldeman A D. Laser beam land leveling costs and benefits Bull No. A 114 Coop Ext Ser, 1978, Tucson, Arizona
- [2] De Sousa P L, Dedrick A R, Clemmens A J, et al Benefits and costs of laser- controlled leveling - a case study. Trans of the 15th Congress on Irrigation and Drainage, 1993, Vol 12C
- [3] 李益农, 许迪, 李福祥等. 农田土地激光平整技术应用及初步评价. 农业工程学报, 1999, 15(2): 79~84
- [4] Walker W R. Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems FAO Irrigation and Drainage Paper No. 45, 1992, Rome
- [5] 李醒民. 水土保持工程学. 台北徐氏基金会出版社, 1966
- [6] Dedrick A R, Erie L J, Clemmens A J. Leverbasin irrigation. In: Advances in Irrigation D Hillel New York, Academic Press, 1982
- [7] 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. 水利学报, 1999, 10

Effectiveness Evaluation and Combined Application of Land Leveling Technologies

Li Fuxiang Xu Di Li Yinong

(China Institute of Water Resources & Hydrology Research, Beijing 100044)

Abstract The effectiveness of the conventional and laser-controlled land leveling procedures was evaluated in the plain of North China. The results indicated that a relatively high leveling precision could be reached when a combined application of the two land leveling procedures was adopted in the field for land preparation. The conventional land leveling technology could be used for the primary earthmoving process until the standard deviation of the field surface elevation approaches to 4~5 cm level. Then the laser-controlled equipment should be used in an effort to achieve the leveling precision needed.

Key words: conventional land leveling; laser-controlled land leveling; leveling precision; leveling effect; application mode