

# 农田土地激光平整技术应用及初步评价\*

李益农 许迪 李福祥 杨继富

(中国水利水电科学研究院)

**摘要** 平整土地是一项改进田间地面灌水质量的重要措施,作为世界上最先进的土地平整方式——激光平地技术已在欧美发达国家广泛应用。该文介绍了激光平地设备的构成和工作原理,在初步应用基础上,对激光平地效果、作业效率、平地成本等进行了分析评价。结果表明激光平地方法可以使田块平整精度指标达到小于 2 cm 的水平,在目前华北平原井灌区内现有农田地面平整状况下,土地平整精度每改善 1 cm 所需投入的直接平地费用约为 83 RMB 元/hm<sup>2</sup>。

**关键词** 常规平地 激光平地 平整精度 作业效率

田间地面的平整程度将影响地面灌溉条件下的水利用效率和水分分布均匀度,以致影响灌水质量。土地平整能有效地提高水、劳力和能源的利用率,是改善地面灌溉方法的重要技术措施之一。常规土地平整方法包括人工平地、半人工半机械平地以及机械平地等多种手段,但受其机具自身缺陷和人工操平精度有限的制约,土地平整精度在达到一定程度后无法继续提高。目前,激光控制技术在土地平整过程中已得到应用。激光控制技术能够大幅度地提高田间土地平整的精度,激光感应系统的灵敏度至少比人工肉眼判断和拖拉机上操作人员的手动液压系统准确 10~50 倍,是常规土地平整技术望尘莫及的<sup>[1]</sup>。

近 20 多年来,国外激光技术在农田土地平整方面的应用已得到普遍推广<sup>[2~4]</sup>,但在我国尚属罕见。为此在华北平原开展了与之有关的实践活动,根据衡量土地平整精度的指标,对激光平地技术应用的效果、平地作业效率及成本费用作出初步分析及评价。

## 1 激光平地技术

### 1.1 平地设备构成

激光平地设备通常分为有坡度和无坡度控制两种类型,一般由 4 个基本部分构成:激光发射装置、激光接收装置、控制器、平地铲运设备和拖拉机(图 1)。

激光发射装置是一个由电池驱动的激光发生器,常被水平地安装在矗立于田间的三角支架上。发生器高速旋转时在田面上方产生的水平激光面可作为平整土地作业的参照面,替代常规土地平整方法中利用地面高程测量得到的、由不连续网格点构成的平整作业基准面。由于参照面是由激光束构成的光学平面,故不受田间平整土地作业活动的影响和干扰。

激光接收装置是垂直安装在平地铲运设备桅杆上的信号接收器,由具有中心控制点的一系列微感应检测器构成。平地作业过程中,来自激光发射器的光束首先被接收器检测,确定此时激光参照面与接收器中心控制点间的相对距离,随后向控制器发出调整信号,由控制器指挥

收稿日期: 1999-03-01

\* 国家“九五”科技攻关项目(96-006-02-01)的部分内容

李益农, 博士, 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

铲运设备的升降,使接收器中心控制点位置与激光参照面保持在同一平面内。

控制器的功能是根据激光接收器传递的调整信息,自动地控制液压系统不断地上下调节行进中的平地铲运刀口,完成田面挖填方工

作。由于激光控制器的自控灵敏性高,故平地精度较高。平地铲运设备由铲运机具和液压升降系统构成。作为牵引动力的拖拉机的功率应与设备铲运能力相匹配,以适应铲运机具频繁升降对液压系统的工作需求。

### 1.2 激光控制原理

传统的常规土地平整设备主要由推土机、铲运机和刮平机组成。土地平整状况一般取决于推土机和刮平机的施工精度,但由于推土铲的液压装置为手工控制,平地作业过程中操作人员无法准确地控制推土铲的升降高度,而刮平机的铲运刀口与设备轮胎间的相对位置是固定的,平地施工时刀口将随地面起伏上下错位,刮平和修整田面的效果并不理想。因此,常规平地方法的精度受其机具设备和人工操平精度低等的制约,能达到的平整精度有限。

激光平地技术是利用激光作为非视觉控制手段代替平地设备操作人员的目测判断能力,用以控制液压平地机具的升降高度。激光控制平地作业时,一旦铲运机具刀口的初始位置根据平地设计高程确定后,无论田面地形如何起伏,受激光发射-接收系统的影响,控制器始终经液压升降系统将铲运刀口与平地控制参照面(水平激光面)间的距离保持在某一恒定值。平地中当铲运刀口处的地面高程高于设计高程时,接收器感应到此时刀口与控制参照面间的距离小于恒定值,控制器通过液压系统迫使铲运刀口下降直到水平激光面与刀口间距离恢复至上述恒定值,刀口下降后挖掘的土方将被铲运机具运载供填方之需;当刀口处地面高程低于设计高程时,铲运刀口与平地控制参照面间的距离会大于以上恒定值,这时控制器经液压系统令铲运刀口抬升,卸载土方填埋洼地。因此,只要根据初始位置点高程将激光接收器在铲运设备桅杆上的位置固定后,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平整作业。

### 1.3 作业实施步骤

1) 平地前按网格状采用水准仪完成田间地形测量,网格间距一般为 5~10 m,得到田块内各测点处的相对高程。

2) 根据测量结果进行平地设计,确定平地设计相对高程。原则是通过选择适当的平地设计高程,使得平地作业中的挖方量与填方量基本相等。

3) 在田块适当位置处安装激光发射器,确保激光束平面高于田内任何障碍物,以便安装在平地设备桅杆上的激光感应装置接收到来自发射器的光束。

4) 根据平地设计高程在田块内确定铲运机具刀口的起始位置点。刀口落地后,上下调节安装在铲运设备桅杆上的激光接收器的高度,当接收器中心控制点位置与激光控制参照面同位时,固定该接收器的位置。



图1 激光平地设备构成示意图

Fig. 1 Laser-controlled equipments used for precision surface leveling

5) 从平地起始位置点开始, 由拖拉机牵引的铲运设备在田块内往复作业, 挖高填低, 搬运土方, 自动完成土地平整工作。

6) 平整作业完毕后, 按平地前相同网格形式进行地面复测, 评价平地的效果。

## 2 平整精度指标

通常采用田间地面相对高程的标准偏差值  $S_d$  评价土地平整的精度

$$S_d = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2 / (n - 1)} \quad (1)$$

式中  $h_i$ ——田块内第  $i$  个测点的相对高程, cm;  $\bar{h}$ ——期望相对高程, cm, 一般指田块内各测点的平均地面相对高程, 即平地设计高程;  $n$ ——田块内所有测点的数量。常规平地方法和激光平地技术能达到的田间地面最小  $S_d$  值, 在美国分别为 2~ 2.5 cm 和 1.2 cm, 葡萄牙则是 3~ 4 cm 和 1.7 cm<sup>[3]</sup>。

标准偏差值反映了田间地面平整度的总体状况。为确切反映地面平整程度的分布状况, 还可通过计算田块内所有测点的相对高程与期望相对高程的绝对差值  $|h_i - \bar{h}|$ , 根据小于某一绝对差值的测点累积百分比数评价田间地面形状的差异及其分布的特征。美国土地利用局的标准为: 激光平地后, 田块内绝对差值小于 1.5 cm 的测点累积百分数应在 80% 以上<sup>[2]</sup>。

## 3 激光平地效果评价

分别在北京大兴县和河北雄县的井灌区以及北京昌平县的渠灌区内进行了激光平地。采用的激光平地设备组成参见表 1。该套引进设备无坡度控制功能, 只适用于水平畦田灌溉条件下的土地平整作业, 即平整后的田块纵横坡度均近似为零。

### 3.1 土地平整效果

表 2 给出的平地前后田块标准偏差值的变化, 表明激光平地技术能获得较高的土地平整精度。表中给出的绝对改善度  $\delta$  为平地前后  $S_d$  值的差值, 而相对改善度则是  $\delta$  与平地前  $S_d$  值的比值。平地前的  $S_d$  值是在传统常规平地作业下测定的,

基本反映出华北平原井灌区内现有农田的地面平整状况, 其中  $S_d$  值最小能达到 3.3 cm, 平均为 5~ 6 cm。激光平地技术实施后,  $S_d$  值从平地前的 3.3~ 6.7 cm 下降到 1.1~ 2.1 cm, 田

表 1 激光平地设备组成

Tab 1 Laser-controlled equipment used in the practice

| 设 备  | 型号及规格                   | 生产厂家               |
|------|-------------------------|--------------------|
| 发射装置 | L-750                   | 美国 Spectra-Physics |
| 接收装置 | R2S-S                   | Laserplane 公司      |
| 控制器  | CB20T0                  |                    |
| 铲运设备 | H20M, 铲土宽度 2m           | 葡萄牙 HERCULANO 公司   |
| 拖拉机  | TN-654L, 功率 65 kW, 四轮驱动 | 天津拖拉机制造厂           |

表 2 激光平地效果评价

Tab 2 Evaluation for the effects of laser-controlled land leveling

| 地块   | 平地               | 平地        | 平地        | 绝对           | 相对   | 平地 | 作业                                 |
|------|------------------|-----------|-----------|--------------|------|----|------------------------------------|
|      | 面积               | 前         | 后         | 改善度          | 改善度  | 耗时 | 效率                                 |
|      | /hm <sup>2</sup> | $S_d$ /cm | $S_d$ /cm | $\delta$ /cm | /%   | /h | /hm <sup>2</sup> · h <sup>-1</sup> |
| 大兴-1 | 0.8              | 5.9       | 1.6       | 4.3          | 72.9 | 14 | 0.06                               |
| 大兴-2 | 0.6              | 6.7       | 1.1       | 5.6          | 83.4 | 11 | 0.05                               |
| 大兴-3 | 0.6              | 6.4       | 1.6       | 4.8          | 75.0 | 10 | 0.06                               |
| 雄县   | 0.3              | 4.2       | 1.5       | 2.7          | 64.3 | 3  | 0.09                               |
| 昌平-1 | 4.0              | 4.5       | 2.1       | 2.4          | 53.3 | 30 | 0.13                               |
| 昌平-2 | 4.0              | 3.3       | 1.6       | 1.7          | 51.5 | 26 | 0.15                               |

间平整状况的绝对改善度为 1.7~5.6 cm, 相对改善度则在 51.5%~83.4% 范围内。

表 3 给出平地前后各地块内所有测点相对高程与期望相对高程的绝对差值小于某一绝对差值的测点累积百分比。平地前田块内绝对差值小于 1 cm、2 cm 和 3 cm 的测点平均累积百分数分别为 17%、32% 和 48%, 绝对差值大于 3 cm 的测点占全部测点半数以上。激光平地后, 上述相应值的分布有了大幅度地提高, 分别达到 43%、73% 和 87%, 绝对差值小于 3 cm 的测点占全部测点的绝大多数, 表明整个田块内地面高低起伏的分布状况已得到极大的改善。

上述评价指标说明这些土地平整的效果与国外平地精度标准相比仍有一些差距, 这主要与平地作业中采用的设备组合形式、农户可承受的平地成本费用等有关。考虑国情现状, 现阶段我国农田激光平地精度的评价指标建议定为: 标准偏差值  $S_d$  达到 2~3 cm, 绝对差值小于 2 cm 的测点累积百分比接近 80%。

### 3.2 平地作业效率

激光平地应用实践表明, 平地作业效率主要取决于地块平整改善的程度、平地设备的铲运能力以及操作人员的工作技巧等。图 2 显示了平地作业效率  $E$  (单位时间内平整的公顷数) 与绝对改善度  $\delta$  呈反比函数关系, 作业效率很大程度上取决于平地后地面平整状况改善的力度。若以平地后达到相同  $S_d$  值为准, 当原始地面形状较为平缓, 平地后  $\delta$  值较小时, 作业效率就较高; 反之若田间地面起伏较大, 施工中搬运的土方量较多, 则作业效率将明显下降。图 2 得到的经验关系式可用来粗略估土地平整作业的效率及平地耗时。此外, 平地设备铲运的土方容量大, 可加速平地进度, 减少平地耗时, 而操作人员娴熟的工作技巧, 也能减少平地过程中设备的无效运行, 都可起到提高平地作业效率的作用。

### 3.3 成本费用估算

平地成本投入与土地平整的挖填土方数量、初始田间平整程度以及地块尺寸有关。成本费用估算中只考虑了平地过程中直接发生的费用, 含人工费、燃油费及设备日常维护费, 没有包括设备折旧费和大修费。表 4 给出的激光平地成本费用是在平地公顷耗时基础上计算得到的, 其中人工费按每小时 5 元, 燃油费按每升 2 元, 每小时耗油按 4 升计, 设备日常维护费按每小时 10 元计。如图 2 所示, 激光平地成本费用与平地后的绝对改善度之间呈正比函数关系, 土地平整精度改善的程度越高, 平地作业过程中挖填土方量越大, 需投

表 3 平地前后田块内小于某一绝对差值的测点累积百分数  
Tab 3 Cumulative percentage of measuring points less than a certain absolute error in the field before and after laser-controlled land leveling

| 地块   | 平地前田块内相对<br>高程绝对差/cm |     |     | 平地后田块内相对<br>高程绝对差/cm |     |     |
|------|----------------------|-----|-----|----------------------|-----|-----|
|      | 1.0                  | 2.0 | 3.0 | 1.0                  | 2.0 | 3.0 |
| 大兴-1 | 13                   | 26  | 43  | 32                   | 58  | 82  |
| 大兴-2 | 15                   | 30  | 45  | 66                   | 94  | 99  |
| 大兴-3 | 15                   | 29  | 43  | 44                   | 86  | 96  |
| 雄县   | 14                   | 29  | 49  | 35                   | 69  | 81  |
| 昌平-1 | 15                   | 28  | 43  | 30                   | 58  | 75  |
| 昌平-2 | 32                   | 51  | 67  | 52                   | 79  | 93  |
| 平均   | 17                   | 32  | 48  | 43                   | 73  | 87  |

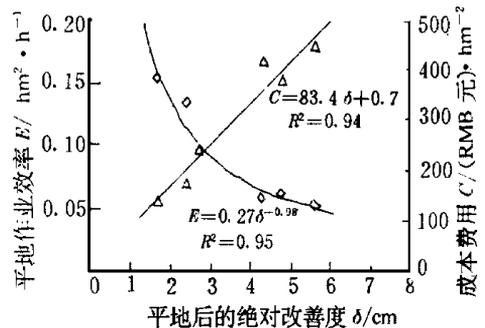


图 2 激光平地作业效率及成本费用与土地平整绝对改善度的关系

Fig 2 Relationship between working efficiency, cost and improved leveling precision

入的成本就越大, 图中所示的经验公式可用来估算激光平地过程中发生的公顷均投入费用和总成本费用。6 次激光平地试验中土地平整精度每改善 1 cm 所需入的平地费用分别是 96 0 RMB 元/hm<sup>2</sup>、79.5 RMB 元/hm<sup>2</sup>、79.5 RMB 元/hm<sup>2</sup>、90 0 RMB 元/hm<sup>2</sup>、72 0 RMB 元/hm<sup>2</sup> 和 81.0 RMB 元/hm<sup>2</sup>, 平均费用约 83 RMB 元/hm<sup>2</sup>。

#### 4 结论与建议

1) 激光平地技术可以实现常规土地平整方法所无法达到的土地平整精度, 田块内地面相对高程的标准偏差值  $S_d$  由平地前的 3.3~6.7 cm 下降到 1.1~2.1 cm, 田间平整状况的绝对改善度为 1.7~5.6 cm, 相对改善幅度在 51.5%~83.4% 范围内; 田块内绝对差值小于 3 cm 的测点平均累积百分比由平地前的 48% 上升到平地后的 87%, 提高幅度近 40 个百分点, 土地平整总体状况和分布情况改善显著。

表 4 激光平地成本费用构成

Tab 4 Components of the cost in laser-controlled leveling

| 地块   | 平地面积<br>/hm <sup>2</sup> | 绝对改善度<br>$\delta$ /cm | 公顷耗时<br>/h · hm <sup>-2</sup> | 人工费<br>/元 · hm <sup>-2</sup> | 燃油费<br>/元 · hm <sup>-2</sup> | 日常维护费<br>/元 · hm <sup>-2</sup> | 合计成本<br>/元 · hm <sup>-2</sup> |
|------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 大兴-1 | 0.8                      | 4.3                   | 16.7                          | 90.0                         | 144.0                        | 180.0                          | 414.0                         |
| 大兴-2 | 0.6                      | 5.6                   | 20.0                          | 97.5                         | 156.0                        | 195.0                          | 448.5                         |
| 大兴-3 | 0.6                      | 4.8                   | 16.7                          | 82.5                         | 132.0                        | 165.0                          | 379.5                         |
| 雄县   | 0.3                      | 2.7                   | 11.1                          | 55.5                         | 84.0                         | 105.0                          | 244.5                         |
| 昌平-1 | 4.0                      | 2.4                   | 7.7                           | 37.5                         | 60.0                         | 75.0                           | 172.5                         |
| 昌平-2 | 4.0                      | 1.7                   | 6.7                           | 30.0                         | 48.0                         | 60.0                           | 138.0                         |

2) 激光平地作业效率取决于地块平整改善的状况、平地设备的铲运容量以及操作人员的作业技巧等。当前者状况给定时, 后两个因素对提高平地作业效率有着一定影响。根据作业效率与平地后绝对改善度间的关系, 可粗估平地作业的工作效率和总耗时量。

3) 激光平地的直接成本投入与田块平整后的改善程度有关。根据本文得到的经验关系, 按照预期达到的土地平整精度能够粗估平地的成本费用。土地平整精度每改善 1 cm 所需投入的直接平地费用约为 83 RMB 元/hm<sup>2</sup>。

4) 激光平地作业效率和直接成本费用与土地平整的改善程度密不可分, 较大的土地平整改善力度会导致施工作业效率下降和平地耗资增加。为此, 应采用常规平地方法完成土地粗平并达到一定平整度基础上, 再实施激光控制下的土地精细平整。只有如此才能充分发挥出激光平地技术精确准确的特点, 减少平地成本费用的同时提高作业效率。两种平地方法间的组合应用方式正在研究中。

#### 参 考 文 献

- 1 Walker W R. Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems Rome, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 45, 1992
- 2 Dedrick A R, L J Erie, A J Clemmens. Lever-basin irrigation, in Advances in Irrigation ed D H Hillel New York: Academic Press, 1982, 1: 105~145
- 3 de Sousa P L, A R Dedrick, A J Clemmens, et al. Effect of furrow elevation differences on level-basin performance. Trans of the ASAE, 1995, 38(1): 153~158
- 4 Playan E, J M Faci, A Serreta. Modeling microtopography in basin irrigation. J Irrig and Drain Engineering, 1996, 122(6): 339~346

## Application and Evaluation of Laser-Controlled Land Leveling Technology

Li Yinong Xu Di Li Fuxiang Yang Jifu

(China Institute of Water Resource & Hydropower Research, Beijing, 100044)

**Abstract** Land leveling is an important measure for improving the surface irrigation. The laser-controlled land leveling technology, as the most advanced land grading technology in the world, has been widely used in developed countries. The equipment and basic principles of this method as well as its application in China were introduced. The effective evaluation, working efficiency and cost of the laser-controlled land leveling practices were analyzed. The results showed that the standard deviation of the field surface elevations of 2 cm or less, used to represent the precision of the leveling, could be expected after the application of laser-controlled leveling. The average cost of land grading per cm of improvement in the standard deviation of the field surface elevation value amounts to 83 RMB yuan per hectre.

**Key words** rough leveling, laser-controlled land leveling, leveling precision, working efficiency