

# 激光控制农田土地精细平整应用技术体系研究进展

许迪<sup>1</sup>, 李益农<sup>1</sup>, 刘刚<sup>2</sup>

(1. 中国水利水电科学研究院水利研究所, 北京 100044; 2. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 借助激光控制技术、GPS 和 GIS、先进机械制造技术等现代高科技手段对传统的农田土地平整技术与方法进行升级改造并构建激光控制农田土地精细平整技术。激光控制农田土地精细平整技术的推广应用, 可明显改善田面微地形条件, 大幅度提高地面灌溉条件下的灌溉效率与灌水均匀度, 获得显著的节水、增产、省工、提高土地利用率等效果。该文在阐述具有中国特色的激光控制农田土地精细平整应用技术体系构架基础上, 对近年来国内开展的主要研究工作及取得的成果进行了综述, 探讨了激光控制农田土地精细平整应用技术体系的发展趋势与研究方向。

**关键词:** 激光控制; 土地精细平整; 地面灌溉

中图分类号: S281

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2007)3-0267-06

许迪, 李益农, 刘刚. 激光控制农田土地精细平整应用技术体系研究进展[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 267-272.

Xu Di, Li Yinong, Liu Gang. Research progress on the application system of laser-controlled precision land leveling technology[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(3): 267-272. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

基于激光控制技术、全球定位系统(GPS)和地理信息系统(GIS)、先进机械制造技术等构建的激光控制农田土地精细平整技术是利用现代高科技手段对传统的农田平地方法进行升级改造、大幅度提升常规平地技术科技含量的突出典范, 具有十分鲜明的时代高科技特征, 是现代精准农业技术发展的重要组成部分。借助高新技术对农田实施高精度的土地平整, 有效改善田面微地形条件, 不仅可明显改善地面灌溉系统的性能, 使灌溉效率和灌水均匀度提高 25% 以上, 作物增产 20% 以上<sup>[1-4]</sup>, 还可适度扩大格田面积, 减少田(渠)埂占地面积 1.5%~3%<sup>[5]</sup>, 具有非常显著的节水、增产、省工、提高土地利用率等效果, 并为实现精量播种、精量施肥、精确收割等一系列农业生产环节奠定了基础<sup>[6]</sup>。激光控制农田土地精细平整技术是国内外用于改进传统地面灌溉系统性能的重要技术手段与措施, 是推广普及应用现代精细地面灌溉技术的重要支撑条件<sup>[7-9]</sup>。

近年来, 国内对激光控制农田土地精细平整技术开展了系列研究, 为促进中国传统的地面灌溉技术向现代精细地面灌溉技术的转变, 提供了先进实用的农田土地精细平整技术与设备。本文对初步构建的具有中国特色的激光控制农田土地精细平整应用技术体系进行阐述,

对已开展的主要研究工作及取得的科技成果进行综述, 探讨激光控制农田土地精细平整应用技术体系的发展趋势与研究方向。

## 1 应用技术体系构架

如图 1 所示, 初步构建的具有中国特色的激光控制农田土地精细平整应用技术体系主要由农田地形测量与土地平整工程设计、激光控制精细平地设备国产化开发、农田土地精细平整效果分析评价和灌排工程配套形式与技术应用规程等 4 个方面组成, 涉及到从激光控制精细平地应用技术与设备研发到应用实施效果分析评价与相关配套工程模式及应用规程研究等相关内容, 构成了相对完整的激光控制农田土地精细平整应用技术体系。

在农田地形测量与土地平整工程设计研究方面, 基于 GPS 和 GIS 技术, 开发田面地形高程信息自动测量与采集技术, 分析确定适宜的土地精平施工测量网格间距, 研发平地工程优化设计软件与辅助决策系统; 在激光控制精细平地设备国产化开发方面, 基于激光控制技术和先进机械制造技术, 对激光发射器进行选型, 研发国产激光接收与控制设备, 开发适用于旱田和水田的精细平地铲运设备, 研制精细平地设备液压伺服控制系统; 在农田土地精细平整效果分析评价方面, 基于田间试验数据统计方法和数学模拟手段, 分析评价应用土地精细平整技术对改善地面灌溉系统性能产生的效果和影响, 研究组合应用激光控制平地技术与常规机械平地方法的适宜模式, 探讨激光控制农田土地精细平整技术的经济可行性; 在灌排工程配套形式与技术应用规程方面, 基于农田土地精细平整实践活动, 研究与土地精细

收稿日期: 2006-03-21 修订日期: 2006-12-22

基金项目: “十五”国家重大科技专项(863 计划)课题(2002A A 2Z2041)

作者简介: 许迪(1957-), 男, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事农业节水灌溉理论与应用技术研究。北京市车公庄西路 20 号 中国水利水电科学研究院, 100044。Email: xudi@iwhr.com

平整应用模式相适应的田间灌排工程配套模式与布局,初步制定农田土地精细平整工程技术应用规程,探讨提高土地精平设备利用率与效率的平地专业组织与管理模式。

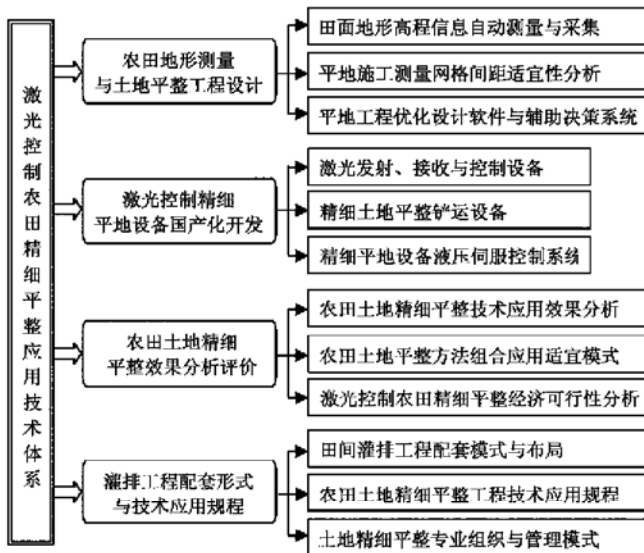


图1 激光控制农田土地精细平整应用技术体系构架

Fig. 1 Frame of application system of laser-controlled precision land leveling technology

## 2 主要研究内容及取得的成果

### 2.1 田面地形高程信息自动测量与采集

农田土地平整作业中,需根据实地测量的田面地形高程数据,拟定合理的平地工程设计方案并对平地效果开展定量评价,但基于水准仪的田面高程人工测量方法耗时费工,工作效率较低,而借助三维 GPS 技术与设备能自动准确测量田面高程并具有测速快、效率高的特点,可加快土地平整作业进程。将美国 Trimble 公司生产的高精度 GPS 设备用于田面地形高程信息自测收集的试验研究结果表明<sup>[10]</sup>,根据 GPS 人工定点观测数据和水准仪测量数据绘制的田面地形高程分布具有较好的相似性,相同测点处的田面高程绝对差值小于 2 cm 的测点数占测点总数的 90% 以上,前者得到的田面高程数据精度与水准仪测量数据相同。GPS 在车载移动条件下应用时,车辆的行进速度对田面高程数据测量精度的影响较为明显,快速(30 km/h)下测得的田面高程与其平均值的绝对差值大于 3 cm 的田间区域面积明显多于慢速(15 km/h)下的相应面积,低速且匀速的车辆行驶方式可有效减小车辆颠簸晃动对数据测量的影响,是确保车载移动 GPS 测量田面高程精度的重要措施。与水准仪测量结果相比,基于 GPS 高程测量数据计算的平地土方总量的相对误差在 8% 以内,满足农田土地

平整工程设计要求。考虑到高精度 GPS 设备成本较高,在简易 GPS 设备基础上,针对特定的激光发射装置,研发出专用的田面高程测量设备,通过其感应的激光信号,自测田面高程。将简易 GPS 设备实测的定点平面坐标值与开发的田面高程测量设备测定的定点高程值相组合,获得完整的田面地形高程信息,形成设备费用相对较低的田面地形高程测量系统,对相关高程信息进行自动快速测量。田间考核结果表明,该系统的测量精度可达到厘米级,基本满足实际需要<sup>[11]</sup>。

### 2.2 平地施工测量网格间距适宜性分析

在农田平地施工田面高程测量中,测量网格间距对作业人力投入和平地土方量估算精度的影响较为显著。在开展精细土地平整作业时,较大的测量网格间距不利于平地土方量的精确估算,进而影响土地精平效果。基于不同测量网格间距下得到的典型田块试验数据,利用经典统计学和地质统计学方法对田面高程数据进行分析,在对测量作业人力投入、田块微地形表述程度、平地土方量估算精度进行比较分析基础上,探讨在小田块(面积 < 3 hm<sup>2</sup>)上开展精细平地作业所适宜采用的测量网格间距。田间试验结果显示<sup>[12]</sup>,在影响适宜测量网格间距选择的诸多因素中,平地土方量估算精度和测量作业人力投入是至为关键的要素。考虑到上述影响因素间存在的动态变化相关趋势,在适当保持土方量相对估值精度并有效降低测量作业人力投入基础上,可基于 10 ~ 15 m 测量网格间距上获得的田面地形高程数据,开展土地精平工程设计,以达到低投入高产出的精平效果。

### 2.3 平地工程优化设计软件与辅助决策系统

农田土地平整工程优化设计是在有利于提高地面灌溉性能、促进作物生长、防止田间水土流失前提下,使平地作业土方运移量最小且搬运土方的距离最短。研发的平地工程优化设计与辅助决策系统包括两个软件,其一是基于 Windows XP 操作平台,采用 Visual Basic 语言编写的土地平整工程设计与评估软件,具有录入田面地形高程信息数据、高程数据的基本数理统计参数计算、对田面地形高程分布状况进行表述并绘制相关的平面与三维分布图、依据网格化的高程数据开展土方平衡计算并估算工程土方量、绘制土地平整工程设计简图等一系列功能,可用于评估农田土地平整状况、设计平地工程方案、计算土地平整土方量和描述平地前后的田面地形高程分布状况<sup>[13]</sup>;其二是以 Visual C++ 6.0 语言和 MapObjects 2.0 系统软件为支撑,在 Windows 2000 操作系统上开发的平地工程优化设计辅助决策软件,将 GIS 组件与土地平整工程设计相结合,根据田面高程测量数据和平地工程优化设计方案,基于预期土地平整策

略和达到的平整精度,自动生成平地工程田间作业图,给出土地平整作业中铲运机械设备的最佳行走路线与工作模式,进而达到提高平地工作效率的目的<sup>[14]</sup>。

#### 2.4 激光发射、接收与控制设备

激光控制农田土地精细平整系统通常由激光发射与接收及控制设备、精细平地铲运设备及液压伺服控制系统和作为牵引动力的拖拉机等构成,其中激光发射、接收与控制设备是整个系统的关键核心装备。由于国外进口产品的价格昂贵,故需通过设备的国产化研发,降低造价,为其推广应用创造条件<sup>[15]</sup>。对比国外普遍采用的 L600 型和国产 JP3 型激光发射器的主要性能指标发现,尽管前者的激光发射覆盖半径较大、水平精度和自动安平校正范围较宽、调平系统更为先进,但两者间在性能上的差异却并不显著,价格却相差 1 倍以上。室内外试验结果表明,现有国产激光发射器基本满足激光控制平地系统的技术要求。研发的国产激光接收器攻克了强自然光干扰、精细滤光处理和微弱信号调理电路设计等关键技术,该样机采用硅光电池作为传感器,对红色光学玻璃和窄带滤光片进行双重滤光处理,并引入幅度调制方法设计了微弱信号调理电路,增强了产品抗干扰性和稳定性。通过合理布设 32 片硅光电池,使接收器的 8 层硅光电池可在 360 度范围内检测到激光信号,实现了全方位信号接收。研发的激光接收器样机性能经田间试验考核,具有较好的工作性能,基本具备产业化条件。基于嵌入式微处理器为主的 CPU 数字控制思路,开发了国产激光控制器,并对控制系统的软硬件进行了优化设计。当激光接收器感应的位置偏差信号传递给控制器时,其可根据实时位置偏差信号,对平地铲运刀口相对于激光束基准面的偏差位置进行判断,并向液压伺服控制系统发出反馈控制信号,驱使平地铲的升降。研发的激光控制器具备智能性特点,明显降低了产品的开发周期和成本,已完成设备性能的田间中试考核。

#### 2.5 精细土地平整铲运设备

激光控制精细土地平整铲运设备具有将推土、铲运、刮平等功效集于一身的特点,常采用拖拉机作为其牵引动力。由于目前中国农业生产中普遍使用的是国产轮式拖拉机(65 kW)和履带式拖拉机(80 kW),故宜根据该特点和适用条件开发与现有拖拉机牵引动力相匹配的针对旱田和水田使用的平地铲运设备,其铲运容积宜控制在 5 m<sup>3</sup> 以下。研发的旱田精细平地铲运设备的平地铲宽度从 2.5 m 到 6 m,形成 6 个系列规格,相应的铲运容积从 1.2 m<sup>3</sup> 到 4.8 m<sup>3</sup>。平地铲运设备采用后置牵引式结构,由牵引杆、平地铲框架、铲刃、支撑轮架和调节油缸等部件组成。其中对铲刃的入土角度可根据不同的土壤条件进行定型,在平地铲上加装了过载保护

装置,当铲运阻力超过设定极限值时,控制系统会自动发出指令驱动液压油缸自动抬升平地铲,确保其安全运行<sup>[16]</sup>。研发的水田精细平地铲运设备采用三点悬挂方式和双油缸控制形式,分别利用两套激光接收系统或一套激光接收系统和一个水平传感器控制铲体两端的水平状态<sup>[17]</sup>。平地铲运设备将平地与耙田功能相组合,整体由机架、平地铲、缺口圆盘重耙、直齿耙和滚筒等部件构成,通过优化设计平地铲刀口结构形式、机架纵向调平机构和平地铲角度自动调平控制装置,减小土壤对铲壁形成的阻力,明显改善其接收激光信号的能力<sup>[18]</sup>。田间性能考核结果表明,两类设备的性能较为稳定,控制电路工作正常,其中系列化的旱田精细平地铲运设备已实现产业化,销售 20 余台,投入生产实际运行。

#### 2.6 精细平地设备液压伺服控制系统

安装在平地铲运设备上的液压伺服控制系统可根据激光控制器发出的指令驱动液压油缸伸缩,带动平地铲的升降,该系统通常由液压(齿轮)动力泵、液压油缸、电磁控制阀组、油箱、滤油器和连接油管等部件组成。考虑到部分国产拖拉机的自身液压输出系统很难向平地铲运设备提供持续稳定的动力或能够提供时需对拖拉机液压输出系统进行必要的改造,基于安装在拖拉机后动力输出轴处的齿轮动力泵向精细平地铲运设备提供液压控制动力的方式,研制出比例式和开关式两种不同控制形式下的电磁控制液压伺服系统<sup>[16]</sup>。其中比例式电控阀根据激光电控系统产生的电流信号,同时控制阀门开关方向和开度,调节液压油流向和流量,控制油缸伸缩,其优点是油缸伸缩动作连续平滑,缺点是制造工艺复杂,成本相对较高;开关式电控阀根据激光电控系统产生的电流信号,仅控制阀门开关方向,调节液压油流向,控制油缸伸缩,其优点是制造简单,成本低,缺点是工作时油缸伸缩动作的连贯性受到一定影响。两类液压伺服控制系统已投入批量生产,结合旱田精细平地铲运设备在实际中得到应用。对于可向平地铲运设备提供持续动力的国产拖拉机,研发出与其自身液压系统相匹配、能耗低、静态特性良好的液压伺服控制系统<sup>[19]</sup>。该系统回路中的进油口与拖拉机液压油泵的出油口相通,回油口与拖拉机的液压油箱相通,出油口与控制平地铲升降的液压油缸相连。采用优化设计理论,确定液压控制阀结构,根据液压控制系统总体设计方案,构建的平地铲升降数学仿真模型对系统的动态特性进行仿真研究。通过室内实验台,对液压控制阀的动态特性进行各种测试,验证了相关理论设计和仿真方法的正确性。

#### 2.7 农田土地精细平整技术应用效果分析

较差的田面微地形条件会严重干扰地面灌溉水流

推进与消退过程,使灌溉系统性能下降,尤其是灌水均匀度的降低。应用农田土地精细平整技术可有效提高田面平整精度,达到改善灌溉系统性能、节水增产的目的<sup>[20]</sup>。在激光控制土地精平条件下,常采用实测的田面高程标准偏差值  $S_d$  作为定量评价田面平整精度的指标,基于田间试验结果和地面灌溉模型,分析评价田面平整状况对畦灌系统性能指标的影响。田面平整精度对畦灌系统性能和作物产量影响的田间试验表明,前者对入畦水流推进与消退时间和畦田水分入渗分布状况有较大影响,灌溉效率、灌水均匀度、用水效率随田面平整精度下降而递减的趋势在  $S_d > 2\text{ cm}$  后较为明显,作物产量与田面平整精度间的关系也表现出类似的变化规律。要达到改善畦灌系统性能、节水增产的目的,实施农田土地精细平整后的田面平整精度应以  $S_d < 2\text{ cm}$  为佳<sup>[3]</sup>。田面平整精度对畦灌系统性能影响的数值模拟研究结果也显示出,田面平整状况差异对入畦水流推进与消退过程和入渗水深沿畦长分布的均匀性具有显著影响,当以满足灌溉水流推进至畦尾且受水最少的  $1/4$  畦段应具有平均入渗水量的时间作为灌水控制的依据时,才可同时获得较高的灌水均匀度和灌溉效率。改善田面平整状况会明显改善畦灌系统性能,与常规机械平地下的最佳田面平整效果 ( $S_d = 5\text{ cm}$ ) 相比,激光控制精细平地最佳效果 ( $S_d = 1.5\text{ cm}$ ) 下的灌溉效率和灌水均匀度,可分别提高  $12\%$  和  $8\%$  左右,而与一般常规粗平状况下的平地效果 ( $S_d = 10\text{ cm}$ ) 相比,则可分别提高  $30\%$  和  $25\%$  左右<sup>[21]</sup>。

## 2.8 农田土地平整方法组合应用适宜模式

常规机械平地方法具有土方运移量大、平地费用相对较低的特点,适合于田面起伏状况较大、原始平整状况较差的田块内开展土地粗平,但受平地设备自身缺陷及人工目视操平等因素影响,当平地精度达到一定程度后无法继续提高,而激光控制平地技术虽具有较佳的土地精平效果,却受国内现有拖拉机牵引动力限制,拖挂的平地铲运设备容积 ( $< 5\text{ m}^3$ ) 有限,故在田面平整状况较差条件下,直接采用激光控制平地设备开展土地粗平是不经济的。为此,应以降低农田土地平整总体费用、提高整体平地效果为目标,研究组合应用激光控制平地技术和常规机械平地方法的适宜模式。在对实际应用两种平地技术下的平整精度、平地作业效率、平地成本费用进行可比较分析基础上,综合考虑两种方法的作业效率差值与成本费用差值间的关系以及粗平与精平后的田面平整精度  $S_d$  间的相关性,提出在农田土地平整方法组合应用模式中,应尽量加大利用常规平地方法改善土地平整状况的力度,以减少平地总体费用<sup>[22]</sup>。田间试验研究结果表明,在田面平整条件相对较差的渠灌区,应

先采用常规平地方法开展土地粗平,当  $S_d$  达到  $5\text{ cm}$  左右时,再利用激光控制平地技术实施精平;对田面平整状况相对较好的井灌区,若  $S_d$  在  $4\sim 5\text{ cm}$  范围内,也可直接考虑使用激光控制平地方法开展土地精平<sup>[23]</sup>。

## 2.9 激光控制农田精细平整经济可行性分析

常规机械平地方法受平地设备自身缺陷和人工操作精度较低等因素制约,土地平整精度只能达到一定水平,土地精平只能借助激光控制平地技术。由于激光控制平地设备的购置费用相对较高,土地精平成本会有所增加,因而应对激光控制农田土地精细平整技术的经济可行性开展分析评价。在中国华北地区开展的大量平地试验结果表明,激光控制平地方法的作业效率和直接平地成本主要取决于田块平整状况被改善后的程度,两者与田块平整状况绝对改善度的关系分别为反比和正比函数<sup>[9]</sup>。在华北平原现有农田土地平整状况下利用激光控制平地技术,每提高  $1\text{ cm}$  土地平整精度所需的直接平地成本为  $83\text{ 元/hm}^2$ 。对激光控制平地方法的直接平地成本、节水增产效果以及精平效应持续性进行分析后表明,在土地精平后的 3 年效应持续期内,考虑激光控制平地设备折旧下的静态效益/费用比值为  $1.8$ ,动态下的比值为  $1.6$ <sup>[24]</sup>。高精度土地平整带来的节水增产效益大于土地精平成本费用,这表明在中国现有农业生产水平下,采用激光控制精细平地技术可获得较好的节水增产效益回报,具有较佳的经济可行性。

## 2.10 田间灌排工程配套模式与布局

受地形地貌、土地连片程度、平地作业规模等诸多因素影响,在利用激光控制平地技术进行土地精平作业条件下,农田土地平整应在适度的田块尺度范围内相对独立开展。土地精平可有效改善田面微地形条件,进而适度扩大田块规格,同时也有利于田间排水条件的改善。为此,应结合土地精细平整工作,在新灌区内合理设计并开展与之相配套的田间灌排工程布局与施工,在老灌区内则需对现有田间灌排工程配套形式和布局进行必要的改造。在确定与精细土地平整相适应的田间灌排工程布局模式中,重点考虑如下原则: 1) 应与土地平整状况得到大幅度改善后的田面微地形条件相适应,充分考虑高精度土地平整对调整田块规格和田间排水通畅性的作用; 2) 相邻农级灌(排)渠(沟)间距的设计准则要适度考虑土地精平对田块适宜规格的要求; 3) 应适度考虑田间毛渠和畦埂占地面积减少后对田间灌排工程设计标准的影响<sup>[25]</sup>。例如,对新建的典型渠灌区,可通过修建的 2 条农渠和 3 条田间排沟将  $400\text{ m} \times 400\text{ m}$  的地块划为 4 个相对独立的面积约为  $4\text{ hm}^2$  的田块,以此为单元开展土地精平工程设计与施工。由于提高了土地平整精度,畦田规格可按  $100\text{ m} \times 10\text{ m}$  设计,通过连接在

农渠分水口处的田间闸管灌溉系统将水引入田间<sup>[26]</sup>。

## 2.11 农田土地精细平整工程技术应用规程

激光控制农田土地精细平整技术引入中国已有近10年的历史,目前已在新疆、山东、黑龙江等地开展一定程度的规模化应用,取得了较好效果<sup>[27]</sup>。根据广泛收集的国内有关激光控制平地技术应用的资料和土地精平试验数据,初步编制了适合中国国情的农田土地精细平整工程技术应用规程,科学规范地指导激光控制平地技术的大面积推广应用。该应用规程包括:总则、工程规划设计、工程施工与验收等内容。在总则中,阐述了制定规程的目的、涉及的内容、适用范围和与其他相关规程(范)间的关系等;在工程规划设计中,描述了规划设计的一般规定、需要收集和分析的资料、田块地形高程测量与评价、工程设计方法与步骤等;在工程施工中,介绍了施工的一般规定、准备工作、施工方案的编制、工程施工的步骤及注意事项等;在工程验收中,论述了验收的程序、验收文件的准备、验收内容及注意事项等<sup>[28]</sup>。

## 2.12 土地精细平整专业组织与管理模式

根据激光控制农田土地精细平整技术具有与现代农业发展相适应的特点,现阶段在中国的推广应用对象主要在国有大中型农场、经济发达的城郊规模农业区和土地资源丰富、人均耕地面积较多的集约化农业耕作区。目前,可资借鉴的土地精细平整专业组织与管理模式主要包括:1)由专业土地开发公司购置批量激光控制土地精平设备,从事大规模农田土地开发、整治与精细平地工作。如横店集团山东农业工程有限公司近年来投入巨资购置现代化精细农业设备120台套,通过下属的规划、设计、施工、验收等专业队伍,在山东东营黄河三角洲滩地开展大规模的农田土地开发与平整工作,采用激光控制平地技术平整的土地近15000 hm<sup>2</sup>,取得了规模化的节水增产效果<sup>[29]</sup>;2)由国营或集体农场在国家投入部分资金基础上购置激光控制平地设备,通过设立的专业平地公司或服务队,开展激光控制土地精平的有偿服务。如新疆生产建设兵团和黑龙江等地的国营农场就采用集资购置设备、专业施工队提供有偿平地服务、农户出钱受益的方式,初步实现了激光控制平地服务产业化<sup>[30]</sup>;3)通过集体出资购买设备后,出租承包给平地专业户,开展土地精平的有偿服务。随着各地水利和农业部门对激光控制农田土地精细平整技术重视程度的不断提高以及土地精平的成效逐渐为农民所认识和接受,还会涌现出更符合当地特点的土地精平专业组织与管理模式,进而推动激光控制平地技术的普及应用。

## 3 发展趋势与研究方向

1) 在农田地形测量与土地平整工程设计方面,应

深入研究车载行驶速度对GPS测量精度的影响,通过探索适宜地行进速度,提高利用GPS设备测量田面地形高程的精度;进一步开展智能化三维地形高程测量技术的研究,研发较佳性价比的与简易GPS设备相结合的田面地形高程测量装备;开发集平地工程优化设计、土地精平过程动态模拟仿真、平地施工策略智能化选择、精平效果动态实时图形显示为一体的土地精平工程优化设计辅助决策支持系统,形成实用化的计算机辅助设计与决策支持工具。

2) 在激光控制精细平地设备国产化开发方面,在进一步开展适合国情的国产激光接收与控制设备、精细平地铲运设备和液压伺服控制系统研发工作的同时,基于系统工程优化设计原理与思路,开展将激光接收与控制设备、平地铲运装置、液压伺服控制系统和平地设备机械结构作为整体考虑的集光学、机械、电子、液压等特性一体化的综合系统设计研究,开发与不同种类拖拉机动力相匹配、能耗低、效率高、整体性能好的农田土地激光控制精细平地系统。

3) 在农田土地精细平整效果分析评价方面,进一步分析评价不同拖拉机牵引动力与相应平地铲运设备组合下的土地精平应用模式效果,尤其是大功率牵引动力与大容积铲运设备构成的精平设备组合应用模式下的土地平整效果、平地施工作业效率和精平效益;通过田间试验和数学模拟方法,研究不同土地精平应用模式对改善地面灌溉系统性能的效果与作用,探讨其应用的经济可行性。

4) 在灌排工程配套形式与技术应用规程方面,基于不同的土地精细平整应用模式,研究相应的田间灌排工程配套模式与布局,择优确定与此相适应的田间节水灌溉技术与方法;修改完善初步制定的农田土地精细平整工程技术应用规程,尽快形成行业或国家规范,指导该技术的普及应用;在激光控制平地技术的推广应用过程中,不断探索农田土地精细平整的专业化组织形式与管理模式。

### [参 考 文 献]

- [1] Finnev C. The benefits of land levelling on irrigation schemes in Turkey and Sindh Province, Pakistan [J]. ICID Journal, 1996, 45(1): 21- 37.
- [2] Fangmeier D D, Clemmens A J, El-Ansary M, et al. Influence of land leveling precision on level-basin advance and performance [J]. Transactions of the ASAE, 1999, 42(4): 1019- 1025.
- [3] 李益农, 许迪, 李福祥. 田面平整精度对畦灌系统性能和作物产量影响的试验研究 [J]. 水利学报, 2000, 31(12): 82- 87.
- [4] 安瑞强, 贾玉坤, 孙群晶, 等. 垦区激光平地节水增产高效初报 [J]. 水利科技与经济, 2003, 9(3): 202- 203.

- [5] 李 愈,姜鸿君,宋立文,等. 激光控制平地技术在水稻梯田中的应用[J]. 新疆农垦科技, 2001, (5): 30- 31.
- [6] 任文涛,胡忠飞,崔红光,等. 激光平地乳牙直播节水效果的研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 72- 75.
- [7] Zapata N, Playan E. Simulating elevation and infiltration in level basin irrigation [J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2000, 126(2): 78- 84.
- [8] Clemmens A J, El-Haddad Z, Fangmeier D D, et al. Statistical approach to incorporating the influence of land grading precision on level-basin performance[J]. Transactions of the ASAE, 1999, 42(4): 1009- 1017.
- [9] 李益农,许 迪,李福祥,等. 农田土地激光平整技术应用及初步分析[J]. 农业工程学报, 1999, 15(2): 79- 84.
- [10] 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.
- [11] 刘 刚. 农田智能三维测量技术研究与应用[R]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [12] 许 迪,李益农,白美健,等. 农田土地精细平整施工测量网格间距的适宜性分析[J]. 农业工程学报, 2005, 21(2): 51- 55.
- [13] 李福祥,许 迪,李益农. 农田土地平整设计与激光控制土地平整技术适用性研究[J]. 中国农村水利水电, 2002, (4): 27- 29.
- [14] 刘 刚. 激光控制平地工程设计辅助决策系统[R]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [15] 刘 刚. 用于农田土地精细平整的激光发射、接收与控制设备的选型及开发[R]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [16] 李福祥,李益农,杨继富,等. 激光控制土地平整铲运设备的研制[J]. 水利水电技术, 2002, 33(12): 27- 29.
- [17] 刘 刚. 适用于水田的激光控制平地铲运设备研究与应用[R]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [18] 韩 豹. 1PJY- 3.0 型综合激光平地机的研制[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 116- 119.
- [19] 侯明亮,毛恩荣,刘 刚. 激光控制平地系统控制技术的研究与试验[J]. 农业工程学报, 2006, 22(1): 110- 113.
- [20] 李益农,许 迪,李福祥. 影响水平畦田灌溉系统性能的灌水技术要素分析[J]. 灌溉排水, 2001, 20(4): 10- 14.
- [21] 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.
- [22] 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, 30(10): 52- 56.
- [23] 李福祥,许 迪,李益农. 农田土地平整方法的组合应用及效果评价[J]. 农业工程学报, 2000, 16(2): 50- 53.
- [24] 许 迪,李益农,李福祥. 激光控制平地方法的经济可行性分析[J]. 农业工程学报, 2000, 16(6): 33- 37.
- [25] 许 迪,李益农,程先军,等. 田间节水灌溉新技术研究与应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 1- 222.
- [26] 许 迪,李益农,姚文成,等. 田间节水灌溉新技术试验示范区建设及节水增产效益[J]. 北京水利, 2001, (5): 35- 38.
- [27] 高映宏,韩英培,左 颖. 农田激光控制平地技术及应用前景的探讨[J]. 天津农学院学报, 2004, 11(1): 41- 45.
- [28] 李益农,许 迪,李福祥. 农田土地精细平整工程技术应用规程[R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2005.
- [29] 李益农,许 迪,李福祥,等. 规模化激光控制土地精细平整技术应用效果评价[R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2005.
- [30] 坎 杂,田学艳,江英兰,等. 农用激光平地机的应用现状及其发展前景[J]. 农业机械学报, 2001, 32(5): 126- 127.

## Research progress on the application system of laser-controlled precision land leveling technology

Xu Di<sup>1</sup>, Li Yinong<sup>1</sup>, Liu Gang<sup>2</sup>

(1. Department of Irrigation and Drainage, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China;

2. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The laser-controlled precision land levelling technology is based on the modern high technologies, such as laser-controlled technology, GPS and GIS technology, and advanced mechanical manufacture technology, which consists of the modification and promotion of the traditional land levelling technology. The application of the laser-controlled land levelling technology could improve agricultural field microtopography condition obviously. Therefore, the irrigation efficiency and irrigation uniformity could be increased at the large scale under surface irrigation condition, resulting in water saving, yield increasing, labour saving as well as raising of the land application efficiency. The application frame of the laser-controlled land precision leveling technology under the current conditions in China was presented, the main research works and related results obtained in recent years were summarized, and the development tendency and the further researches for laser-controlled land levelling technology were discussed.

**Key words:** laser-controlled; precision land-leveling; surface irrigation