

ICS 07.040

P 85

团体标准

T/CIDA 0002—2020

农田土地平整技术应用规程

Code for application of farmland land leveling technology

2020-08-24 发布

2020-10-01 实施

中国灌区协会 发布

中国灌区协会团体标准发布公告

2020 年第 01 号（总第 02 号）

根据《中国灌区协会团体标准管理办法》规定，经中国灌区协会第六届理事会第四次会议（通讯）表决通过，现发布以下标准：

序号	标准名称	标准编号	发布日期	实施日期
1	农田土地平整技术应用规程	T/CIDA 0002—2020	2020. 8. 24	2020. 10. 1
2	智能灌溉系统用控制器技术要求	T/CIDA 0003—2020	2020. 8. 24	2020. 10. 1
3	灌区水循环动力学模拟仿真云平台技术规程	T/CIDA 0004—2020	2020. 8. 24	2020. 10. 1

现予公告。

中国灌区协会

2020 年 8 月 24 日

目 次

前言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	2
5 规划设计	2
5.1 一般规定	2
5.2 资料收集与分析	2
5.3 农田地形测量与评估	3
5.4 土地平整方案规划设计	3
6 施工	4
6.1 一般规定	4
6.2 施工准备	4
6.3 土地平整机械设备选取	4
6.4 土地平整施工	5
6.5 土地平整效果评估	5
7 验收	6
7.1 一般规定	6
7.2 验收内容	6
8 效益分析	6
附录 A (规范性附录) 田面平整度和平整改善度计算	7
附录 B (资料性附录) GNSS 测量和土地平整系统	8
B.1 GNSS 测量方法	8
B.2 GNSS 土地平整系统	8
附录 C (规范性附录) 土地平整规划设计方法	9
C.1 田面坡度和田面坡向	9
C.2 土地平整单元	9
C.3 土地平整规划设计方法	9
附录 D (资料性附录) 激光控制土地平整系统	13
附录 E (规范性附录) 土方挖填运移路线	14

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规则起草。

本标准由中国灌区协会提出并归口。

本标准起草单位：中国水利水电科学研究院、中国农业大学、北京盛恒天宝科技有限公司、中国灌区协会。

本标准主要起草人：李益农、白美健、李福祥、刘刚、罗小全、史源、章少辉、吴彩丽、张雪萍、戴玮、张凯、王艳花。

农田土地平整技术应用规程

1 范围

本标准规定了灌溉农田土地平整工程的规划设计、施工、验收、效益分析等技术要求。

本标准适用于新建、改建、扩建灌区、荒滩地农业土地开发整理，以及高标准农田建设项目中的农田土地平整工程。

2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

SL/T 246 灌溉与排水工程技术管理规程

TD/T 1013 土地整治项目验收规程

TD/T 1048 耕作层土壤剥离利用技术规范

NY/T 2148 高标准农田建设标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

农田土地平整工程 farmland leveling project

利用机械设备，通过挖高填低、土方运移等减少农田地表起伏幅度的一种工程措施。

3.2

基准面 datum plane

依据地形状况设计的农田土地平整作业的参考面。

3.3

田面坡向 surface slope direction

农田地表在空间上的倾斜方向，按照农田边界走向分为横坡向和纵坡向。

3.4

田面坡度 field slope

农田地表在空间上的倾斜程度，按照农田边界走向主要包括横向坡度和纵向坡度，一般采用坡向上两点间的地面高程差与其水平距离之比表示，通常用度或千分比、万分比表示。

3.5

田面相对高程 relative elevation of the field

农田地表各测点地面高程与土地平整设计基准面上相应测点的期望高程之间的差值。

3.6

田面平整度 land - grading precision

农田地表在空间上的起伏幅度，一般采用地表各观测点到基准面垂直距离的标准偏差值 S_d 表示，计算公式见附录 A。

3.7

土地平整单元 leveling unit

根据农田土地平整工程总体范围、灌溉系统布置、农机作业效率等因素综合划分的作业区域。

3.8

耕作层 plow layer

经耕种熟化的表土层，不同类型地区耕作层厚度取值参照 NY/T 2148 中附录 F.1 相关规定。

3.9

实时动态测量技术 real time kinematic

以载波相位观测为根据的实时差分技术，由基准站、数据链、流动站三部分组成，简称 RTK。

3.10

全球导航卫星系统测量方法 global navigation satellite system measurement

利用全球导航卫星系统定位技术，对农田地形进行三维测量的方法，简称 GNSS 测量。

3.11

激光控制土地平整系统 laser - controlled land leveling system

利用激光作为非视觉控制手段代替常规机械设备中操作人员的目测判断能力，并精准控制液压平地机具升降高度的农田土地平整成套装置。主要由激光发射器、激光接收器、控制器、液压系统、平地铲等组成。

3.12

GNSS 土地平整系统 GNSS land leveling system

利用 RTK - GNSS 接收设备和集成控制终端，将实时接收的测点高程数据与基准高程数据进行比较，根据地势高低情况驱动液压系统控制平地铲完成农田土地平整作业的成套装置。主要由集成控制终端、RTK - GNSS 接收设备、液压系统、平地铲等组成。

4 总则

4.1 农田土地平整工程建设应与农田灌溉、农机作业和田间管理的要求相协调，提高灌溉水利用效率。

4.2 农田土地平整工程宜满足土地总体利用规划、农田水利基本建设总体规划和农业发展规划的要求，宜在骨干灌排渠系、道路、林带等农田基础工程建设完成后实施。

4.3 农田土地平整工程应根据田面平整状况进行一年一次平整或多年一次平整，平整时应确保表土不流失，并利用和保护耕作层内的熟土。

4.4 农田土地平整工程的规划设计、施工和验收除执行本标准外，还应符合国家、行业及本协会现行有关标准的规定。

5 规划设计

5.1 一般规定

5.1.1 农田土地平整工程规划设计应有利于集约利用土地，提高土地利用率和产出率，促进土地可持续利用。

5.1.2 农田土地平整工程规划设计应根据自然条件、农业发展条件、社会条件、经济条件等进行多方案的技术经济比较，择优确定。

5.1.3 农田土地平整工程规划设计应与当地的灌溉、排水、道路、林带、供电等基础设施相结合，并满足农业机械化作业的要求。

5.1.4 农田土地平整工程规划设计方案应因地制宜，切实可行。

5.2 资料收集与分析

5.2.1 农田土地平整工程规划设计的资料收集应包括：

- a) 项目区自然条件：水文气象，地质，地形，地貌，植被，种植模式，土壤类型、分布、质地、有机质含量，土层厚度，耕作层厚度，耕地质量等级、土壤侵蚀模数等。
- b) 项目区水利工程和农业基础设施及土地利用条件：灌溉水源、灌排系统结构和布局、灌溉方式，林带、道路分布状况，作物种类、农业产值、耕作与栽培方式，以及土地权属状况等。
- c) 项目区社会经济和交通条件。
- d) 项目区内相关规划和标准：农业、林业、水利、交通、环保、旅游、自然保护与城乡建设等方面的用地规划和标准等。

5.2.2 应对所收集的资料进行合理性和有效性分析，并按其性质进行整理分类。

5.2.3 应对农田土地平整工程的适宜性、必要性和可行性进行分析。

5.3 农田地形测量与评估

5.3.1 农田地形测量方案应以测量数据能够真实反映农田地表起伏幅度为依据进行选取，地面高程的测量误差宜在 5mm 以内。

5.3.2 面积不大于 1hm^2 的农田，地面高程测量宜选用水准测量或 GNSS 人工测量（GNSS 测量方法参照附录 B），网格测点间距根据农田规格和地表起伏幅度确定，宜选用 10~15m。

5.3.3 面积大于 1hm^2 的农田，地面高程测量宜采用 GNSS-RTK 车载测量，网格测点间距宜选为 5m 以下，车速根据地表起伏幅度确定，不宜大于 30km/h。

5.3.4 农田地形现状测量数据的评估结果应能够充分描述地表起伏幅度的状态、田面坡度和田面坡向等。

5.3.5 农田地形现状评估指标应包括地面高程测量值的极值、极差、方差、标准偏差、离散系数、偏差系数（偏度）等统计特征值。

5.3.6 农田土地平整前的测量成果应包括农田地形现状评估报告，并附农田地块分布图、灌排工程分布图、等高线分布图、三维地形图等，附图比例不宜小于 1:2000。

5.4 土地平整方案规划设计

5.4.1 规划设计宜根据待平整农田规格、地表起伏程度、田面平整精度、土地平整施工作业效率等因素综合制定。

5.4.2 规划设计中应包括平整单元、田面坡向、田面坡度、基准面等要素的确定，规划设计方法宜按照附录 C 的规定。

5.4.3 土地平整单元应以田间末级固定沟、渠、路、林等围成的耕地区域为基础，根据农田地形条件，以充分发挥土地平整机械作业效率及满足农田耕作需求等因素综合确定。

5.4.4 田面坡向宜结合农田地形走向和农田边界走向综合确定。

5.4.5 田面坡度宜根据农田地形和 SL/T 246 中对田面坡度的规定综合确定。水稻格田宜取 0 坡度；其他灌溉畦田的横向坡度宜取 0 坡度，纵向坡度取值宜依据田间灌溉方式综合确定，不同灌溉方式下田面纵向坡度取值可参照表 1。

表 1 不同灌溉方式下田面纵向坡度取值

灌溉方式	畦灌	沟灌	格田灌	水平畦田灌
纵向坡度 / %	1~5	1~8	<0.5	0

5.4.6 基准面应以土地平整单元为边界，根据田面设计坡向和设计坡度以及挖、填土方量平衡原则综合确定。

5.4.7 规划设计成果包括工程设计报告、设计图表等，其中：

- a) 设计报告应包括设计单位、工程名称、施工地点、地理条件、交通条件、设计说明、设计依据、基础数据、计算成果、技术方案、工程规模、工程量、概算等。
- b) 设计图表应包括田面高程空间分布图、土地平整单元区划图、设计基准面、挖填方区域、网格挖填深度、网格挖填土方量统计等。

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 农田土地平整工程施工宜安排在非雨季或非冻结期间，遇降雨或其他原因致使土壤含水量增大，或遇大风和沙尘暴天气时，应暂停施工作业。

6.1.2 农田土地平整工程施工应按规划设计方案进行作业，不得擅自修改。若有问题应与监理、设计等单位协商解决，必要时，可进行规划设计方案变更。

6.1.3 农田土地平整工程施工应严格执行安全管理制度，遵守机械、施工等有关安全生产的规定。

6.1.4 农田土地平整工程施工过程中应做好施工记录。

6.1.5 监理、设计代表等专业技术人员应对农田土地平整工程施工作业随时进行检查与指导。

6.2 施工准备

6.2.1 土地平整施工前应建立健全组织管理机构，协调好施工所需的各项基础条件，确保农田土地平整工程的顺利实施。

6.2.2 工程建设单位应组织设计、监理、施工等单位对规划设计方案进行技术交底，就土地平整设计标准、施工技术要求等具体事项进行沟通。

6.2.3 土地平整施工前应熟知安全生产法规和各项规章制度，确保安全施工，文明作业。

6.3 土地平整机械设备选取

6.3.1 土地平整设备宜包括动力设备、铲运设备和控制设备，各分类如下：

- a) 动力设备主要为拖拉机。
- b) 铲运设备主要包括推土机、铲运机、刮平机、刨式平地机、平地铲等。
- c) 控制设备主要包括激光平地控制设备、GNSS平地控制设备等。

6.3.2 土地平整设备选取宜依据待平整农田规格、田面挖填深度、土方运移距离、田面平整精度要求以及机械适宜作业条件等因素进行。

6.3.3 耕作层保护和表土剥离作业宜选用推土机完成。

6.3.4 挖深大于等于 20cm 且土方运距小于 50m 时宜选用推土机，当运距大于 100m 宜选用铲运机。

6.3.5 挖深小于 20cm 时宜选用铲运机、激光控制土地平整系统和 GNSS 土地平整系统。

6.3.6 土方摊平作业可选用刮平机、刨式平地机、激光控制土地平整设备和 GNSS 土地平整设备，有较大堆土时宜先用推土机初步摊平。

6.3.7 对田面平整精度要求不高时可选用刮平机、刨式平地机进行农田土地平整；对田面平整精度要求较高时，宜选用激光控制土地平整系统和 GNSS 土地平整系统。

6.3.8 激光控制土地平整系统宜在激光发射有效区域内的土地平整单元中使用，施工作业可参照附录 D。

6.3.9 土地平整单元较大时，可优先选用 GNSS 土地平整系统，施工作业可参照附录 B。

6.3.10 动力设备（拖拉机）功率与平地铲规格应协调一致，保证机械作业的高效率。平地铲规格与动力设备功率配套组合可按表 2 选用。

表 2 平地铲规格与动力设备功率的配套组合参数表

平地铲	型 号				
	PJ-2.5	PJ-3.0	PJ-3.5	PJ-4	PJ-4.5
工作幅宽/ m	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
配套动力/ 马力	90~100	100~120	120~140	140~160	160~180
铲高/ m	0.8				
工作方式	牵引式				

6.4 土地平整施工

6.4.1 土地平整施工按下列方式进行作业：

- 施工作业人员宜根据规划设计的土地平整精度要求，按照土地平整机械设备特点进行联合施工作业。
- 施工作业人员宜根据土地平整单元地形现状评估成果和土地平整规划设计方案，参照土方挖填区域分布图优化土地平整施工作业路线，由粗到细、分步分阶段、分区作业，土方运移路线宜按照附录 E 选取。
- 挖深大于 20cm 时，应先剥离耕作层土壤，然后堆放在指定位置，待平地作业完成后再回覆耕作层熟土到农田表面；土壤剥离、堆放和回覆的具体要求应按照 TD/T 1048 中相关规定进行。
- 农田内有洼地、深坑时，宜用推土机、铲运机集中运移土方进行填充。
- 铲运机、激光控制土地平整、GNSS 土地平整施工作业下应挖填同时进行。
- 土地平整单元的长宽比较大时，宜分区分段施工作业。
- 在机械无法进行施工作业区域，应采用人工方式完成土地平整施工作业。
- 土地平整施工完成后，应对土地平整单元内田块进行必要的土壤深松。

6.4.2 土地平整施工过程中采取下列安全措施：

- 施工人员应进行上岗前安全、操作规程教育。
- 在施工现场的洞、坑等危险区域应设有明显标志并采取防护措施。
- 严禁酒后施工作业。
- 施工现场中的防护设施、安全标志、警告牌不应擅自拆除，需拆除时必须经过施工负责人同意。
- 夜间施工时，应有充分的照明及灯光示警。

6.5 土地平整效果评估

6.5.1 土地平整效果评估应以土地平整单元为基本评估对象，通过土地平整后实地测量的田面平整精度进行综合评价。

6.5.2 对土地平整单元进行农田地形测量宜采用与土地平整前相同的地形测量设备和方法。

6.5.3 分析评估土地平整后的农田地形状态宜利用数理统计方法对土地平整单元的坡度、地面高程测量值的极值、极差、方差、标准偏差、离散系数、偏差系数（偏度）以及地面高程差值累积概率等特征值进行统计。

6.5.4 土地平整后的田面平整度及土地平整改善度应满足规划设计要求。不同灌溉方式下田面平整度应满足 SL/T 246 中相关规定，田面平整度和土地平整改善度的计算宜按照附录 A 的规定。

7 验收

7.1 一般规定

7.1.1 土地平整作业施工结束后应由项目主管部门、质量监督机构、勘测设计、监理、施工单位的代表及有关专家组成验收委员会，对工程进行全面验收。

7.1.2 土地平整工程验收前，施工单位应向项目主管部门提交验收申请报告及竣工报告、竣工图，设计变更等资料和图表。

7.1.3 土地平整工程验收依据应包括有关土地平整的法律、法规、规章、规范和经批准的项目可行性研究报告、立项文件、项目规划设计文件、工程实施方案、工程预算、施工合同以及监理签发的施工图纸、施工说明等。

7.1.4 土地平整工程验收方式应采取全面核实与抽样核查相结合、室内核算与实地勘察相结合、定量与定性评价方法相结合的方式进行。具体验收方法宜按照 TD/T 1013 的相关规定进行。

7.1.5 所有验收材料应由相关单位存档。

7.2 验收内容

7.2.1 土地平整工程验收应包括现场检查工程情况，审查有关技术文件及资料，核查工程技术文件，核实土地平整工程的数量和区域范围等。

7.2.2 宜选取典型农田核查土地平整程度是否达到设计要求。

7.2.3 土地平整工程验收应填写验收意见并由“验收委员会”负责人签字。验收意见应包括工程概况、土地平整程度，验收结论及验收代表名单并签名。

8 效益分析

8.1 土地平整工程效益分析应定性定量相结合，科学、准确地进行评价。

8.2 土地平整工程效益分析应根据平整地块的总体工程情况，分析农田在正常耕作和管理条件下所能够达到的经济效益、社会效益和生态环境效益。

8.3 经济效益应包括土地平整后的灌溉节水、节地、省肥、省工、作物增产等效益。

8.4 经济效益中的节水、节地、省肥、省工和增产值应是土地平整前后的差值，节水宜按节水量、节地宜按面积、省肥宜按节省的肥料量、省工宜按工日、增产宜按产量。

8.5 经济效益分析可在土地平整工程完成后农田作物在历经 1~2 个完整的作物生长季节后进行。

8.6 社会效益宜定性分析土地平整工程实施后对促进社会稳定、经济可持续发展等方面的效益。

8.7 生态环境效益宜定性分析土地平整工程实施后对于改善灌水均匀度，降低农业面源污染、加速土壤盐碱改良，促进水土环境良性可持续发展等方面的效益。

附录 A

(规范性附录)

田面平整度和平整改善度计算

A.1 田面平整度 S_d 宜采用式 (A.1) 和式 (A.2) 计算:

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2}{n-1}} \quad (\text{A.1})$$

其中

$$Z_i = H_i - \bar{H}_i \quad (\text{A.2})$$

式中:

S_d —— 田面平整度, cm;

H_i —— 土地平整单元内第 i 个测点的高程, cm;

\bar{H}_i —— 设计坡面上相应测点的期望高程, cm;

\bar{Z} —— 田面相对高程的平均值, cm;

n —— 测点数目。

A.2 平整改善度宜包含相对改善度和绝对改善度, 并按照式 (A.3) 和式 (A.4) 计算:

$$\text{绝对改善度} \quad \delta = S_{d(\text{平地前})} - S_{d(\text{平地后})} \quad (\text{A.3})$$

$$\text{相对改善度} \quad \Delta\delta = \frac{\delta}{S_{d(\text{平地前})}} \times 100 \quad (\text{A.4})$$

式中:

δ —— 绝对改善度, cm;

$\Delta\delta$ —— 相对改善度, %;

$S_{d(\text{平地前})}$ 、 $S_{d(\text{平地后})}$ —— 土地平整施工前后的田面高程标准偏差值, cm。

附 录 B
(资料性附录)
GNSS 测量和土地平整系统

B.1 GNSS 测量方法

B.1.1 GNSS 测量方法包括人工定点测量和车载测量两种方式。

B.1.2 人工定点测量宜用于农田规模小的网格点地面高程测量，通过手持卫星天线调平后读取 GNSS 数据，但过程繁琐，操作不便，调平步骤不可缺少。

B.1.3 GNSS-RTK 车载测量是将 GNSS 流动站安装在测量车内，并将卫星天线置于车顶，宜用于较大规模农田地面高程的测量。测量点间距宜选为 5m 以下，车速可根据地形起伏程度选取（不大于 30km/h）。GNSS 信号接收频率设定为 1Hz 或者 5Hz，测量车按原点标定、边界测量、内部测量的步骤对农田地形进行测量。

B.1.4 GNSS-RTK 差分地形测量如图 B.1 所示。

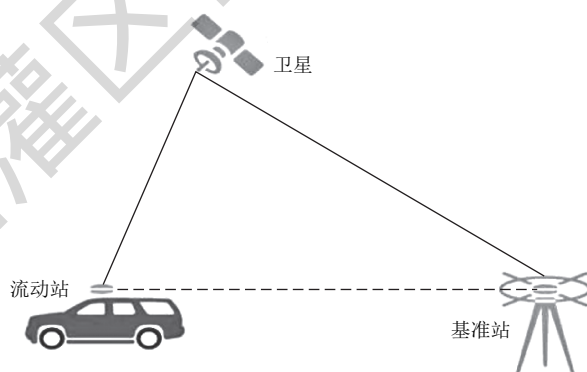


图 B.1 GNSS-RTK 差分地形测量示意图

B.2 GNSS 土地平整系统

B.2.1 利用 GNSS 差分定位技术实时测量所在测点处的三维地形数据，通过集成控制终端将实时接收的全部测点数据与基准面数据进行比较，根据计算结果控制土地平整机具的升降高度进行土地平整作业。

B.2.2 GNSS 土地平整系统宜用于较大规模农田土地平整工程施工作业且不受恶劣天气的影响，其田面平整精度 S_d 最高可达 2cm。

B.2.3 GNSS 土地平整系统施工作业如图 B.2 所示。

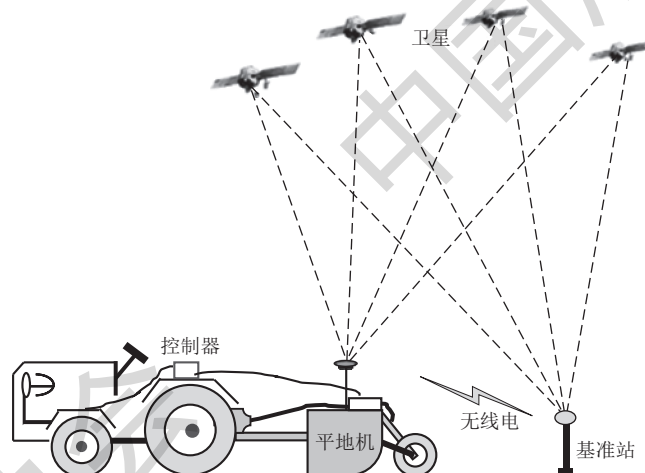


图 B.2 GNSS 土地平整系统施工作业示意图

附录 C
(规范性附录)
土地平整规划设计方法

C.1 田面坡度和田面坡向

C.1.1 田面坡度在满足条文规定前提下，为减少土地平整施工作业的土方挖、填量，可利用农田地形资料进行坡度拟和计算后选取。

C.1.2 田面坡向可主要考虑田块长边方向；水蚀较强地区，长边宜与等高线平行，风蚀地区，长边与主害风向交角大于 60° 。

C.2 土地平整单元

平原区应以条田为主，条田长度不宜小于 100m；宽度可参照机械作业的适宜宽度，不宜小于 50m。

C.3 土地平整规划设计方法

C.3.1 土地平整规划设计应按照基准面确定、挖填土方量计算、土方量平衡计算三个阶段完成。

C.3.2 基准面确定宜采用平面法，相关步骤如下：

a) 利用现有农田地形数据按照公式 (C.1) 对土地平整单元的平面方程函数进行拟和计算：

$Ax + By + Cz + D = 0$, ($C \neq 0$)，即：

$$z = -\frac{A}{C}x - \frac{B}{C}y - \frac{D}{C} \quad (\text{C.1})$$

记：

$$a_0 = -\frac{A}{C}, a_1 = -\frac{B}{C}, a_2 = -\frac{D}{C}$$

则平面拟和方程可写成：

$$z = a_0x + a_1y + a_2$$

b) 基于实测的农田地形数据 (x_i, y_i, z_i) , $i=0, 1, \dots, n-1$ ($n \geq 3$)，平面拟合方程的综合差值 S 按公式 (C.2) 计算：

$$S = \sum_{i=0}^{n-1} (a_0x_i + a_1y_i + a_2 - z_i)^2 \quad (\text{C.2})$$

若使得综合差值 S 最小，应满足条件式 (C.3) ~ 式 (C.5)：

$$\frac{\partial S}{\partial a_k} = 0, \quad k=0,1,2$$

即

$$\begin{cases} \sum 2(a_0x_i + a_1y_i + a_2 - z_i)x_i = 0 \\ \sum 2(a_0x_i + a_1y_i + a_2 - z_i)y_i = 0 \\ \sum 2(a_0x_i + a_1y_i + a_2 - z_i) = 0 \end{cases} \quad (\text{C.3})$$

有

$$\begin{cases} a_0 \sum x_i^2 + a_1 \sum x_i y_i + a_2 \sum x_i = \sum x_i z_i \\ a_0 \sum x_i y_i + a_1 \sum y_i^2 + a_2 \sum y_i = \sum y_i z_i \\ a_0 \sum x_i + a_1 \sum y_i + a_2 n = \sum z_i \end{cases} \quad (\text{C.4})$$

或

$$\begin{vmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i y_i & \sum x_i \\ \sum x_i y_i & \sum y_i^2 & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum y_i & n \end{vmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum x_i z_i \\ \sum y_i z_i \\ \sum z_i \end{pmatrix} \quad (\text{C.5})$$

通过求解上述线性方程组可得： a_0, a_1, a_2 ，并最终得农田土地平整单元的平面拟和方程式 (C.6)：

$$z = a_0x + a_1y + a_2 \quad (\text{C.6})$$

- c) 当土地平整单元近似为方形或长方形时, 平均地面高程 (E_c) 的位置为中心点 (x_c, y_c), 若为不规则, 其中心点坐标 (x_c, y_c) 应采用式 (C.7) 计算:

$$x_c = \frac{\sum mx}{\sum m}, y_c = \frac{\sum ny}{\sum n} \quad (\text{C.7})$$

式中:

m ——坐标为 x 点处 y 方向上的测量网格点数;

n ——坐标为 y 点处 x 方向上的测量网格点数。

- d) 如果土地平整单元 x 方向的平整设计坡度为 K_x , y 方向的平整设计坡度为 K_y , 由于任一土地平整方案下的基准面均通过中心点 (x_c, y_c), 基准面通过中心点时可写成式 (C.8):

$$H = E_c - K_x x_c - K_y y_c \quad (\text{C.8})$$

土地平整单元基准面方程函数如式 (C.9):

$$E(x, y) = K_x x + K_y y + E_c - K_x x_c - K_y y_c \quad (\text{C.9})$$

式中:

x_c, y_c ——中心点坐标;

E_c ——中心点高程;

K_x, K_y ——土地平整设计坡度。

C.3.3 挖、填土方量计算应符合下列规定:

- 将土地平整单元按一定规则划分为若干个网格区域, 确定各网格点的位置坐标 (x, y)。
- 根据实测的农田地形数据, 采用插值计算确定各网格点的地形高程 (z)。
- 利用基准面方程计算网格点的设计高程。
- 逐一计算各网格区域的挖、填土方量, 并得到挖填土方总量。

C.3.4 网格挖、填土方简单计算方法宜采用四点法, 并按公式 (C.10)、式 (C.11) 进行计算。

$$V_{Ci} = \frac{A_i [\sum C(x, y)]^2}{4 \times \{|\sum C(x, y)| + |\sum F(x, y)|\}} \quad (\text{C.10})$$

$$V_{Fi} = \frac{A_i [\sum F(x, y)]^2}{4 \times \{|\sum C(x, y)| + |\sum F(x, y)|\}} \quad (\text{C.11})$$

式中:

V_{Ci}, V_{Fi} ——网格的挖、填土方量;

$C(x, y), F(x, y)$ ——网格四个点的挖、填深度;

A_i ——网格面积。

C.3.5 若基于数字地面模型 (DEM) 体积法计算网格挖、填土方则应符合下列规定:

- 将土地平整单元剖分为 n 个网格, 如图 C.1 所示, 第 i 个网格面积分别为 $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$, 则网格面积 $\sigma_i = d_{xi}d_{yi}$ 。 d_{xi}, d_{yi} 分别为第 i 个网格 x 轴向、 y 轴向的距离, 如网格为正方形, 则网格面积为 $\sigma_i = d_{xi}^2 = d_{yi}^2$ 。
- 以基准面网格 (网格设计高) 为起点将网格边界线平行 z 轴向原始地面画线, 网格的原始表面与其基准面之间所包含的体积 V , 即为此网格的土方量, 设田块原地形函数为 $f(x, y)$, 基准面地形函数为 $g(x, y)$, 则网格土方量 $V_i = [f(x, y) - g(x, y)]d_x d_y = \sigma_i \Delta h$ (Δh_i 原始高一设计高), $V_i > 0$ 为挖方 ($\Delta h_i > 0$), $V_i \leq 0$ 为填方 ($\Delta h_i < 0$), 整个田块 n 个网格的土方总量计算函数见式 (C.12):

$$V = \iint [f(x, y) - g(x, y)] d_x d_y = \sum \sigma_i \Delta h_i \quad (\text{C.12})$$

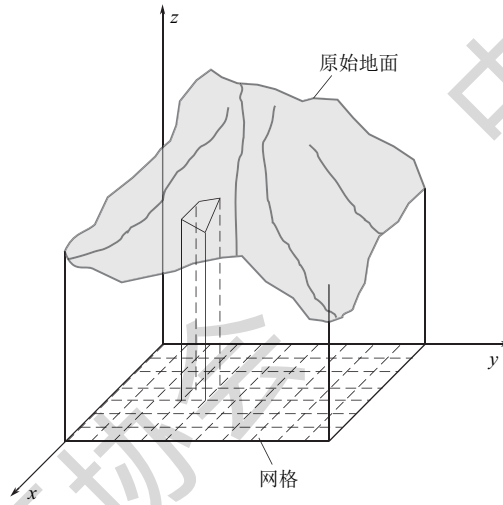


图 C.1 挖、填土方量计算原理图

c) 土方量函数中每个网格土方体积的计算应符合下列规定：

1) 当利用四个角全填（全挖）时，应按图 C.2 的网格采用公式（C.13）计算。

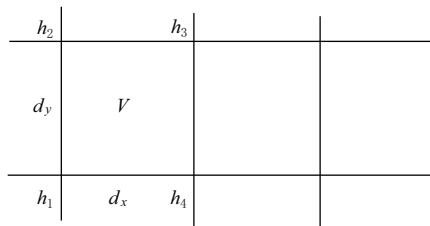


图 C.2 网格方量计算示意图

$$V = \frac{d_x d_y}{4} (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \quad (\text{C.13})$$

2) 当利用一个角填（或挖），另外三个角挖（或填）时，应按图 C.3 的网格采用公式（C.14）、公式（C.15）计算。

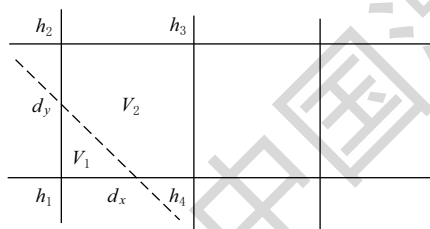


图 C.3 网格区域方量计算示意图

$$V_1 = \frac{d_x d_y h_1^3}{6(h_1 + h_4)(h_1 + h_2)} \quad (\text{C.14})$$

$$V_2 = \frac{d_x d_y}{6} (2h_2 + h_3 + 2h_4 - h_1) + V_1 \quad (\text{C.15})$$

3) 当利用一侧两个角点填（或挖），另一侧两个角点挖（或填）时，应按图 C.4 的网格采用公式（C.16）、公式（C.17）计算。

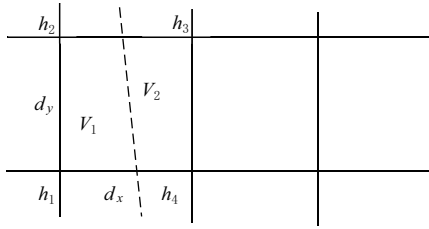


图 C.4 网格区域方量计算示意图

$$V_1 = \frac{d_x d_y}{4} \left(\frac{h_1^2}{h_1 + h_4} + \frac{h_2^2}{h_2 + h_3} \right) \quad (C.16)$$

$$V_2 = \frac{d_x d_y}{4} \left(\frac{h_4^2}{h_4 + h_1} + \frac{h_3^2}{h_3 + h_2} \right) \quad (C.17)$$

- 4) 当利用相对两个角填（或挖），另外相对两个角挖（或填）时，应按图 C.5 的网格采用公式 (C.18) ~ 公式 (C.20) 计算。

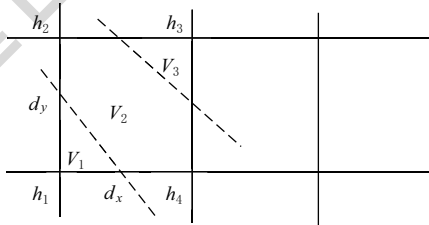


图 C.5 网格区域方量计算示意图

$$V_1 = \frac{d_x d_y h_1^3}{6(h_1 + h_4)(h_1 + h_2)} \quad (C.18)$$

$$V_2 = \frac{d_x d_y}{6} (2h_2 + 2h_4 - h_1 - h_3) + V_1 + V_2 \quad (C.19)$$

$$V_3 = \frac{d_x d_y h_3^3}{6(h_3 + h_2)(h_3 + h_4)} \quad (C.20)$$

式中：

V_1 、 V_3 ——填（或挖）方量。

故此，总填（挖）方量为 $V_1 + V_3$ 。

C.3.6 土方量平衡计算方法如下：

- 除特殊要求外，一个土地平整施工单元内的挖填土方总量应基本相等，考虑到挖填方区域土壤密度上的差别，一般挖方总量应大于填方总量，即 $1.1 \geq \text{挖填比率 } R > 1.0$ 。
- 土方量平衡计算是一个逐步试错的过程，通过调整基准面平均高程 (E_c)，反复计算基准面的网格高程、网格挖填土方量和挖填土方总量等，直至使挖填比率 (R) 满足要求。
- 基于挖填土方量平衡计算得到的基准面可得到土地平整设计目标下的地面高程数据。

附 录 D
(资料性附录)
激光控制土地平整系统

- D.1 由激光发射器发射出的激光束面可构成土地平整单元的基准面，通过激光接收器接受、转换、传输信号，由控制器控制土地平整机具的升降高度进行土地平整作业。
- D.2 激光控制土地平整系统田面平整精度 S_d 最高可达 1cm。
- D.3 激光控制土地平整系统施工作业如图 D.1 所示。

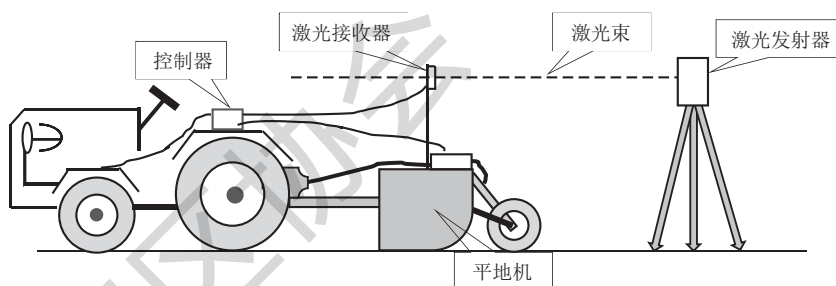


图 D.1 激光控制土地平整系统施工作业示意图

附 录 E
(规范性附录)
土方挖填运移路线

E.1 土方挖填运移作业行驶路线的选择应以提高土地平整效率为目标，根据挖填区分布等具体条件进行选取。

E.2 施工地段较短、地形起伏不大的挖填方工程宜采用环状路线，作业方式如图 E.1、图 E.2 所示，其中挖填交替且挖填之间的距离较短时，宜采用大环状路线，作业方式如图 E.3 所示。

E.3 地形起伏较大，挖填相邻且作业路线较长时，宜采用“8”字状路线，作业方式如图 E.4 所示。

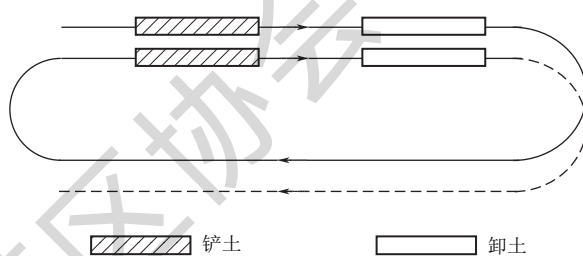


图 E.1 施工作业环状路线

图 E.1 作业路线适用于运移土方以横向为主、纵向为辅的田块平整作业。环状路线只有一条横向路线为主作业线路，其他依主线路的土方来确定，若机械内有剩余土方，则依据挖填方区域分布选取最近的横向平衡填方区域进行卸土平整作业，并作为回程路线；若机械内没有剩余土方，则选取最短线路作为回程路线。

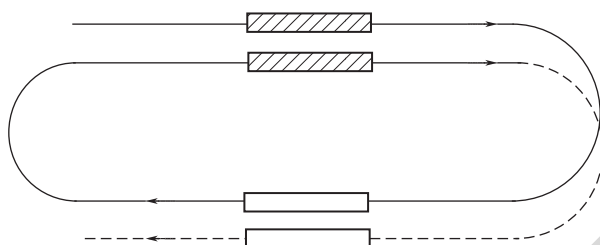


图 E.2 施工作业环状路线

图 E.2 作业路线适用于运移土方以纵向为主、横向为辅的田块平整作业。环状路线中两条横向路线一条主要为铲土作业，另一条主要为卸土作业。回程卸土作业线路依据挖填区域分布，选取填方量大于等于运移土方的线路进行卸土平整作业。

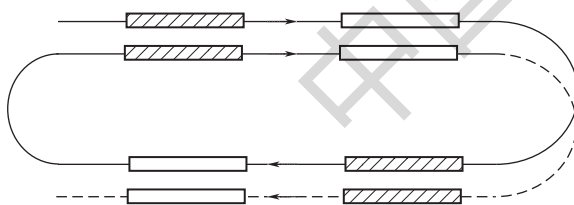


图 E.3 施工作业大环状路线

图 E.3 作业路线适用于地形复杂的田块平整作业。横向作业过程中，铲土、卸土交替进行。回程线路依机械内土方选取，若机械内有剩余土方，依据挖填区域分布，选取横向挖方与机械剩余土方之和不大于填方的线路作为回程线路进行卸土平整作业；若机械内无剩余土方，则选取距离最短且先铲、后卸的线路作为回程平整作业路线。

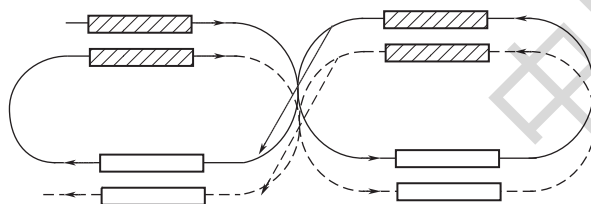


图 E.4 施工作业 8 字状路线

图 E.4 作业路线适用于主线路挖方量较大且土方运移以纵向为主的田块平整作业。横向铲土作业过程中，土方机械满负荷后，直接驶入填方区进行卸土平整作业，然后从另一端回到原横向线路继续进行铲土作业。

总之，田块微地形非常复杂，任何测量技术都有一定的局限性，不可能完全真实反应田块地形状态。农田土地平整作业过程中，应针对平整单元的实际情况不限于一个平整作业路线方案，可多个平整路线方案交替使用，以便提高机械作业效率。