

# 推土机数字化自动控制系统在路基施工中的应用

王捷 周春风 王彤

江苏东交智控科技集团股份有限公司 江苏 南京 210000

**【摘要】**路基作为道路的重要结构,其施工质量是影响道路承载力、耐久性、平整度的重要影响因素,而推土机的自动化施工技术,目前研究成果相对较少,制约了公路工程全面智能化施工的发展。本文基于高精度卫星定位技术和智能传感技术,开发推土机数字化自动控制系统,并将推土机数字化自动控制系统在工程中实际应用,实现推土机的自动化,高精度作业。

**【关键词】**推土机;数字化;自动控制;工程应用

## 0 前言

近年来随着国家对基础建设的持续投入,我国的工程建设有了突飞猛进的发展,尤其是公路行业,到2019年年底,中国高速公路通车总里程稳居世界第一<sup>[1]</sup>。虽然我国的交通建设在近几年取得了不俗的成绩,但目前我国高速公路施工特别是路基土石方的施工中还存在着施工及检测方法落后、施工人力投入较多、科技含量极低、安全系数较低等问题。特别是推土机作为路基施工的主要工具,对机械及人员的配合要求比较高。机械操作手需要现场施工员的指挥,施工过程受人为和主观因素影响较大,经常出现厚度不均匀、误差过大的现象,严重影响施工质量<sup>[2]</sup>。因此,须改变传统观念,调整施工方法,积极引进和吸收国外先进的施工方法和管理模式,提高施工水平。数字化机械化施工最早于20世纪90年代出现在美国,将传统的纯机械化施工模式转变为数字化监控操作模式。美国约翰迪尔公司的GPS推土机控制系统NEW I Grade™是一种先进的平地作业自动控制系统。NEW I Grade™能够对约翰迪尔GPS接收器STAR FIRE所接收的GPS数据进行处理。同时可以辅助作业人员进行对土地平整,开沟,土壤分级,和作业平面生成。NEW I Grade™还能够通过液压系统对推土机的铲刀进行自动化作业控制<sup>[3]</sup>。从2010年开始,我国的一些高校和科研单位也相继开展推土机控制系统研究。在消化吸收国外相关产品基础上,设计开发了基于GNSS的平地系统,并进行了平地试验,取得了较好的试验效果。2010年华南农业大学赵作喜研制了基于GNSS控制技术的土地平整系统,并开始进行平

地试验,取得较好的效果。

## 1 推土机数字化自动控制系统原理

### 1.1 技术原理

推土机数字化自动控制系统综合利用了卫星定位技术和智能传感技术。首先根据路基的设计图纸,利用交点坐标、平纵曲线、宽度、高程、纵横坡等数据建立路基三维模型;然后,在路基施工区域建立RTK测量系统与现场控制点,实现现场施工信息的实时监测与控制的目的,具体如图1所示,在现场架设固定位置的基准站,采用流动站点、基准站点、机械站点(三点控制)的方式将推土机铲刀坐标转换成施工现场坐标,并与设计坐标进行实时比对,从而进行自动化的引导施工;然后,在推土机上安装传感器,包括测量数据收发信息系统、铲刀油缸自动调整系统、车载控制系统等。最后,在准备工作完成后,启动推土机,对铲刀的状态、位置及施工效果进行校正、调试。

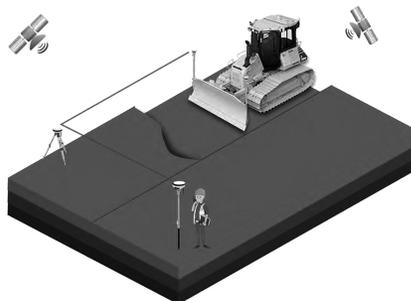


图1 三点控制

### 1.2 系统组成

推土机数字化自动控制系统系统主要由引导系统、控制系统、传感系统组成。三大系统相互辅助、

深度融合,实现路基土石方施工的自动化、智能化、数字化。涉及的硬件见表1。

续表

表1 推土机数字化自动控制系统系统设备清单

| 系统   | 设备名称    | 功能描述                            |
|------|---------|---------------------------------|
| 引导系统 | RTK 基站  | 将基准站采集的载波相位发给用户接收机,进行求差解算坐标。    |
|      | GNSS 天线 | 接收定位系统数字信号。                     |
| 传感系统 | 坡度传感器   | 坡度传感器测量横坡,通过 CAN 总线把测量结果传给控制系统。 |

| 系统   | 设备名称  | 功能描述  |
|------|-------|---|
| 控制系统 | 工业计算机 | 装载 3 维设计文件。<br>显示当前高程、设计高程、当前坡度、设计坡度等信息。<br>接收各个传感器采集的数据,与设计数据进行对比,并把改正信息通过 CAN 总线提交到阀模块。 |
|      | 比例阀   | 铲刀的自动调整、横向坡度的自动调整。  |

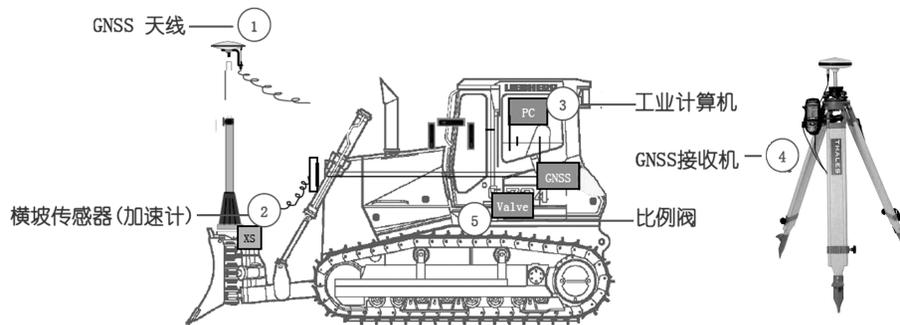


图2 推土机数字化自动控制系统组成

## 2 工程应用

### 2.1 试验方案

为了对比推土机数字化自动控制技术和传统的推土机控制技术在油耗、效率、质量等几个方面的差异。选取某干线公路 K6+300 到 K7+500 为试验段落,压实区域为 96 区,试验段无构造物施工,路基连续。本次实施段落分为两段。K6+300-K7+300 为推土机数字化自动控制施工。K7+300-K7+500 为原推土机关闭自动控制系统改为人工操作的施工方式。

### 2.2 试验数据采集方案

#### 2.2.1 油耗数据采集

机械油耗的统计,以每施工 200 米为一个段落,采集数字化自动控制施工和传统施工两种状态下推土机的用油量。采集方法为在施工前加满油箱,施工结束后将油箱续满,以续满油箱的加油量为油耗。

#### 3.2.2 运行轨迹监测

运行轨迹监测,以每施工 200 米为一个段落,采集数字化自动控制施工和传统施工两种状态下推土机的施工时间。利用施工轨迹监控系统对两种施工方法的运行轨迹进行监测,以运行轨迹累计长度为评

价指标。

#### 3.2.3 质量检测数据采集

##### (1) 填筑层厚度

采用水准仪测量数字化自动控制施工和传统施工推土机的填土厚度,每 200 米采集 15 点,分别为左幅 5 点、路中 5 点、右幅 5 点。

##### (2) 平整度

采集数字化自动控制施工和传统施工两种状态下的路基平整度,每 200 米个采集 15 次,分别为左幅 5 次、路中 5 次、右幅 5 次。方法为用三米直尺连续量 10 尺,每尺取最大间隙。

##### (3) 压实度

采用灌砂法评价数字化自动控制施工和传统施工推土机施工下的压实质量,每 200 米采集 15 点,分别为左幅 5 点、路中 5 点、右幅 5 点。

## 3 试验数据分析

### 3.1 油耗分析

通过现场记录施工后续满机械油箱的油量,获得数字化自动控制施工和传统施工的施工油耗。具体数据见表 2。由表可知,采用数字化自动控制施工技术,每施工 200m 油耗分为 168L;采用传统施工技术,

每施工 200m 油耗分为 134L。因此,采用数字化自动控制施工技术,油耗降低了 20.2%。表明数字化自动控制施工技术可以降低油耗,具有可观的经济效益。

表 2 每完工 200m 油耗

| 项目        | 综合油耗(L) |
|-----------|---------|
| 数字化自动控制施工 | 134     |
| 传统施工      | 168     |

### 3.2 运行轨迹分析

由表 3 可知,每施工 200m 数字化自动控制推土机工作时间和运行轨迹分别是 5.34h 和 23410m,而传统施工方法的工作时间和运行轨迹分别是 6.62h 和 32171m,通过对比可知同样的施工条件下数字化自动控制施工降低了 19.3%的工作时间和 27.2%的运行轨迹。表明数字化自动控制施工技术可以提高

施工效率,缩短工期。

表 3 每完工 200m 所需时间、轨迹监测

| 项目        | 完工时长(h) | 运行轨迹累计长度(m) |
|-----------|---------|-------------|
| 数字化自动控制施工 | 5.34    | 23410       |
| 传统施工      | 6.62    | 32171       |

### 3.3 质量检测数据分析

#### (1) 填筑层厚度

利用水准仪测量测量施工前后的标高,取其高程差值作为该处取样点的层厚,共获得 30 组数据,具体数据见表 4。由表可知,采用数字化自动控制施工技术和传统施工技术厚度的平均值分别为 183mm 和 184mm,均满足设计要求,但是数字化施工和传统施工技术厚度的标准差分别为 0.502 和 1.001,表明数字施工技术控制厚度的性能远高于传统技术。

表 4 厚度检测数据

| 3D 摊铺施工 |       |        | 传统摊铺施工  |         |       |
|---------|-------|--------|---------|---------|-------|
| 测点位置    |       | 厚度(mm) | 测点位置    |         | (mm)  |
| 桩号      | 横距(m) |        | 桩号      | 横距(m)   |       |
| K6+700  | 左幅    | 189    | K7+300  | 左幅      | 179   |
|         | 路中    | 187    |         | 路中      | 183   |
|         | 右幅    | 185    |         | 右幅      | 199   |
| K6+750  | 左幅    | 183    | K7+350  | 左幅      | 174   |
|         | 路中    | 179    |         | 路中      | 198   |
|         | 右幅    | 180    |         | 右幅      | 173   |
| K6+800  | 左幅    | 187    | K7+400  | 左幅      | 174   |
|         | 路中    | 182    |         | 路中      | 167   |
|         | 右幅    | 190    |         | 右幅      | 193   |
| K6+850  | 左幅    | 175    | K7+450  | 左幅      | 194   |
|         | 路中    | 175    |         | 路中      | 188   |
|         | 右幅    | 17.8   |         | 右幅      | 185   |
| K6+900  | 左幅    | 17.9   | K7+500  | 左幅      | 192   |
|         | 路中    | 186    |         | 路中      | 175   |
|         | 右幅    | 189    |         | 右幅      | 186   |
| 数据类型    |       | 测点数(点) | 预计值(mm) | 平均值(mm) | 标准差   |
| 数字施工    |       | 15     | 180     | 183     | 0.502 |
| 传统施工    |       | 15     | 180     | 184     | 1.001 |

## (2)平整度

利用3米直尺测量测量施工完成后的的路基平整度,具体数据见表5。表可知,采用数字化自动控

制施工技术和传统施工技术平整度平均值为6.2mm和11.7mm,均满足规范要求,且数字施工技术的平整度控制的更好,平整度质量也较为均匀。

表5 厚度检测数据

| 检查桩号或部位 |        | 检测值    |    |    |         |    |    |         |    |       |    |
|---------|--------|--------|----|----|---------|----|----|---------|----|-------|----|
| 数字施工    | K0+300 | 5      | 6  | 7  | 6       | 6  | 7  | 7       | 6  | 5     | 7  |
|         | K0+350 | 6      | 5  | 7  | 5       | 6  | 7  | 8       | 7  | 6     | 5  |
| 传统施工    | K0+420 | 12     | 10 | 10 | 14      | 13 | 11 | 8       | 12 | 13    | 10 |
|         | K0+480 | 10     | 10 | 14 | 12      | 11 | 13 | 11      | 14 | 10    | 16 |
| 数据类型    |        | 测点数(点) |    |    | 规定值(mm) |    |    | 平均值(mm) |    | 标准差   |    |
| 数字施工    |        | 20     |    |    | 15      |    |    | 6.2     |    | 0.894 |    |
| 传统施工    |        | 20     |    |    | 15      |    |    | 11.7    |    | 1.949 |    |

## (3)压实度

利用灌砂法对压实后的路基进行压实度的测试,共获得30组数据,具体数据见表6。由表可知,采用数字化自动控制施工技术和传统施工技术压实度代表值均大于96,压实质量均合格。但是数字化

自动控制施工区域压实度的标准差为0.334,远小于传统施工区域压实度的标准差0.599,这是因为无人驾驶压实过程速度、遍数、振频、振幅保持一致,压实质量较为均匀。

表6 压实度检测数据

| 数字化自动控制施工 |    |        | 传统施工   |    |        |
|-----------|----|--------|--------|----|--------|
| 测点位置      |    | 压实度(%) | 测点位置   |    | 压实度(%) |
| 桩号        | 位置 |        | 桩号     | 位置 |        |
| K6+700    | 左幅 | 96.7   | K7+300 | 左幅 | 97.1   |
|           | 路中 | 97.1   |        | 路中 | 96.7   |
|           | 右幅 | 97.1   |        | 右幅 | 97.4   |
| K6+750    | 左幅 | 97.2   | K7+350 | 左幅 | 97.1   |
|           | 路中 | 97.5   |        | 路中 | 96.7   |
|           | 右幅 | 97.3   |        | 右幅 | 95.7   |
| K6+800    | 左幅 | 97.3   | K7+400 | 左幅 | 96.0   |
|           | 路中 | 97.4   |        | 路中 | 96.7   |
|           | 右幅 | 96.6   |        | 右幅 | 96.4   |
| K6+850    | 左幅 | 96.5   | K7+450 | 左幅 | 96.7   |
|           | 路中 | 96.9   |        | 路中 | 95.6   |
|           | 右幅 | 96.9   |        | 右幅 | 97.2   |

续表

| 数字化自动控制施工 |        |        | 传统施工   |       |        |
|-----------|--------|--------|--------|-------|--------|
| K6+900    | 左幅     | 96.6   | K7+500 | 左幅    | 96.3   |
|           | 路中     | 97.5   |        | 路中    | 96.2   |
|           | 右幅     | 97.1   |        | 右幅    | 95.5   |
| 数据类型      | 测点数(点) | 规定值(%) | 平均值(%) | 标准差   | 代表值(%) |
| 数字施工      | 15     | 96     | 97.0   | 0.334 | 96.9   |
| 传统施工      | 15     | 96     | 96.5   | 0.599 | 96.2   |

## 4 结论

推土机数字化自动控制技术可以提高施工效率、缩短工期,减少推平次,节约燃油,避免返工。精

确控制厚度、平整度,保证压实质量的均匀性,真正实现施工的数字化管理,提高工作效率,其经济和社会效益显著,具有较广阔的推广应用前景。

## 【参考文献】

- [1]黄鹏成, 李金明. 数字化机械在路基土石方施工中的应用分析[J]. 西部交通科技, 2014(11): 20-23.
- [2]徐永杰, 柳爱群, 贾少丽. 推土机在路基土石方工程中的合理应用[J]. 筑路机械与施工机械化, 2005, 22(2):48-49.
- [3] Mooney M A , Rinehart R V . Field Monitoring of Roller Vibration during Compaction of Sub-grade Soil[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2017, 133(3):257-265.
- [4]熊中刚, 刘小雍, 金星, et al. 基于模糊理论的参数自适应 PID 智能控制系统[J]. 农机化研究, 2019, 41(05):39-44.