

基于数字引导系统智能化土方开挖施工技术分析

丛成楠,姚金辉

(济南黄河河务局章丘黄河河务局,山东 济南 250200)

【摘要】针对传统土石方工程中测量放样受地形制约、开挖精度依赖人工经验等问题,提出基于3D挖掘机智能引导系统的智能化土方开挖施工技术。该系统通过GNSS定位、多轴传感器及TC-Office软件构建数字化施工平台,实时解算铲斗三维坐标并动态显示其与目标工作面的空间关系,实现可视化精确开挖。该技术可显著提高精度、安全性与经济效益,为复杂地形土方工程提供可靠解决方案。

【关键词】GNSS定位;数字引导系统;土方开挖;精确测量

【中图分类号】TU753

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2025)-10-0019-04

Analysis on Intelligent Earth Excavation Construction Technology Based on Digital Guidance System

CONG Chengnan, YAO Jinhui

(Yellow River Administration Bureau of Zhangqiu District, Jinan Municipality, Jinan, Shandong 250200, China)

Abstract: Aiming at the problems in traditional measurement of layout in earth and rock works, which are easy for being affected by terrain and excavation accuracy relying on manual experience, this paper proposes an intelligent earth excavation construction technology based on the 3D excavator intelligent guidance system. This system constructs a digital construction platform through GNSS positioning, multi-axis sensors and TC-Office software, which calculates the 3D coordinates of the bucket in real time, dynamically displays the spatial relationship between the bucket and the target working surface, and realize visualized and precise excavation. This technology can significantly improve accuracy, safety and economic benefits, which provides a reliable solution for earthwork projects in complex terrain.

Key words: GNSS positioning; Digital guidance system; Earth excavation; Precise measurement

在土石方工程中,精确的测量放样对于控制开挖质量和节约施工成本至关重要。然而传统施工模式依赖人工按图纸放线,再由挖掘机驾驶员操作挖掘机完成开挖过程中存在两大问题:1)施工质量过度依赖放线及驾驶人员经验,在视野盲区等特殊地段作业或者雨雪天气需要抢工期的施工任务中难以保证稳定性,会产生较大偏差;2)操作人员经验与责任心的不同直接影响施工效率,导致施工成本波动。为解决这些问题,采用3D挖掘机智能引导系统,通过实时计算挖机铲斗的三维坐标,并以图形和数值方式指示铲斗与目标工作面的相对位置,进行可视化精确施工,即“基于数字引导系统智能化土方开挖施工技术”,效果良好。

1 智能化土方开挖施工技术简介

该技术利用3D挖掘机智能引导系统进行开挖。智能引导系统包括GPS基准站和挖机安装部件,如挖斗和各部位传感器、车体倾斜传感器、显示器、MC102主机和GNSS卫星天线^[1],同时搭配TC-Office软件。系统通过接收GPS信号和基站发送的差分信号,获取挖机的实时三维位置,并利用传感器计算挖机的坐标。将挖机坐标系转换为工程坐标系,并实时比对铲斗与目标工作面的位置关系。安装完成后,对系统进行检查固定和传感器尺寸校正,以确保数据处理的精度。使用

收稿日期:2025-04-30

作者简介:丛成楠(1986—),男,工程师

TC-Office 软件将二维图纸转换为三维图纸,并导入设计数据至系统主机。系统将引导信息以图形和数值等形式反馈到显示器上,指导操作手实现可视化精确施工。在实际开挖前进行试验段施工,测试系统的工作稳定性,合格后再进行智能土方开挖,以实现数字化机械施工,满足高效率和高精度的土方施工需求。

2 施工工艺

2.1 施工准备

2.1.1 智能化引导系统准备

为确保后续系统的稳定运行,一般在施工现场平坦开阔处布置 GPS 基准站,并提前准备好挖掘机系统所需的安装部件。此外,还需要严格检查设备质量合格证书等文件,确保设备质量符合要求。

2.1.2 施工机械准备

根据施工工序要求,需要配备相应的洒水车、自卸车等机械设备来协助施工。在使用机械设备之前,需要进行进场报验并提供操作人员的资格证书。项目部确保进场的机械设备通过报验且证书齐全,并能够进行安全操作后方可进行施工。

2.2 挖机坐标模型构建

为实现挖掘机的数字化三维设计基准模型,确定各个传感器之间的空间相对位置以及挖掘机各主要关节处的位置。

2.3 挖机各部位检查

为保证设备能够正常使用,在系统安装前应对设备进行简单测试,具体测试内容见表 1。

表 1 智能引导系统安装前测试情况表

序号	测试项目	测试标准
1	设备测试	硬件齐全
2	信号测试	GNSS 信号接收、电台(网络)信号接收正常
3	软件测试	1)软件能正常启动及运行;2)检测高程无偏差
4	诊断测试	通过软件能正常检测到各部件
5	主机测试	1)主机坐标验证(避免出现高程偏差问题);2)正常接收卫星信号
6	传感器测试	传感器单双轴确认
7	显示器设置	1)设置为永不休眠;2)电源计划设置为高性能;3)关闭所有防火墙

此外,系统安装前应对挖掘机各主要部件进行检查,检查应由有安装经验的技术人员执行,并在检查完毕后确定最优的安装方案。

2.3.1 挖掘机铲斗卡轴检查

挖掘机的铲斗卡轴检验,检查铲车在左、右旋转时的摇晃状况,必要时可加装垫圈,或更换卡轴及轴套等。铲斗卡轴的松脱将增大其导向精度,使其误差增大。

2.3.2 液压缸密封性检查

油缸严密性检验,吊起铲斗,用水尺在油缸的密封件上作记号,并观测 10 min 后,查看标志的下陷程度。油缸的密封性会直接关系到传感器标定的精度。

2.3.3 车身晃动情况检查

车体摆动状况,检验伸缩式挖掘机上、下两支手臂,看其有无摇晃现象。车体摇摆对该程序的大小修正效果有一定影响。

2.3.4 铲斗钢板晃动情况检查

铲斗钢板摆动的检验,查看铲斗钢板的安装方式。若有,应查看钢板有无松动,防止钢板松动而对标定产生不利影响。

2.3.5 设备精度情况检查

在进行仪器检测时,要采用基准站、全站仪等仪器,需对仪器的精确度进行检验,同时对全站仪是否提供无棱镜方式的功能进行检测。

2.4 智能化设备装配

2.4.1 传感器基座焊接

基座焊好前,在焊缝上标记,然后将传感器和基座用螺钉固定好。大臂传感器基座的装配部位要尽可能地与两个大臂轴线(大臂车体轴线和前臂前臂轴线)的连线平行^[2]。前臂式感测器基座与前臂轴上的连线尽可能地平行,且误差不大于 10°。

2.4.2 传感器安装

两轴传感器安置于车体上,并在两臂上设置一单轴传感器。在装配传感器时,车身、前臂传感器均为垂直向前,而前臂传感器为垂直向下。安装过程中,各部位的检测装置编号(SN 号)需做好登记。

2.4.3 天线安装与装配

天线座和副天线的焊接应分别设置,且间隔不少于 1.5 m。天线的焊缝要平整,其平面度不超过 1.5 mm,主副天线的连线要尽可能地与车体的主轴中心线平行,其垂度误差不超过 1°。卫星天线的装配,通过螺钉与焊在一起的载波载具上。该天线电缆通过在车体左边的进气道连接,其它

电缆通过车身电池位置,底板穿入司机室,线路时需拆卸一段司机底板,线路后将底板固定。

2.4.4 核心组件的线路安装

核心组件的线路主要由主机 MC102 主机, AB103 接线盒及 PM103 功率处理器组成。电缆的一端与功率模块相连,另一端与主机相连。该电力线经由车辆底部贯穿至该动力箱,该正极耦接到该电力供应器的正电极,且该电力供应器的负电极与该车身连结。电源接口必须紧固,不得摇晃。

2.5 系统调试

2.5.1 传感器校正

准备工作就绪后,要进行传感器的修正接口,分别对车身传感器、前臂传感器以及小臂传感器进行校准,保证偏差在 0.1° 以内。

2.5.2 高程差检验

首先,充分展开大臂及前臂,利用移动式工作站测定左铲头高度,再与经检验的左铲头坐标进行比较。接着将上、下臂弯曲,利用移动式工作站重新测定左侧铲头高度,并将其与经确认的左侧铲头坐标进行比较。对多个方位(只变换前臂、前臂和铲斗)进行多个方位的观测,保证多个样本间的差异小于 2 cm ,以检验是否合格。若不合格,就必须对感应器进行再次检测。

2.5.3 尺寸校正

尺度矫正包括三个步骤:对主、辅天线至大臂中心的间距进行校正,对主辅天线与大臂中心轴线之间的夹角进行校正,对主、辅天线及大臂轴等各结点进行校正。在进行尺寸修正检查时,首先对挖掘机展开与收拢时的两套资料进行测试,再从各个角度进行测定。校正完毕后,进行数据存储和数据录入。

2.6 设计开挖数据

开挖资料从原设计图中提取开挖平面曲线、断面等元素,利用 TC-Office 进行平面图转换得到 3D 平面图。水平方向的设计可采用交叉方法或单元方法。在采用交点方法时,起始点、交点和终点坐标和每个交点上的曲线元素都由该系统界面输入。采用单元方法,将点、线、曲线等插入到系统接口中;螺旋线和其他要素,一并填入适当的要素资料。将已编制好的设计资料复制到 U 盘,并输入系统。

2.7 施工

2.7.1 试验段施工

选择长度为 200 m 的有代表性的试验段进行数字化施工验证。以黄河下游十四五防洪工程(济南段)为例,在施工现场 1# 坝采用传统施工方法进行人工放线、机械开挖,在 3# 坝采用数字引导系统智能化土方开挖技术进行施工。施工过程中设置控制桩、水准监测点和坐标验证点。使用全站仪或 GPS 测量坐标数据,并与系统中的数据进行比对分析。验证作业精度是否符合设计要求。如有疑虑,可在下一个试验路段增加坐标验证点数量进行进一步分析。

通过两种施工方式的对比,可以看出,传统施工技术比数字引导系统智能化土方开挖技术边缘线偏差要大得多,质量稳定性要差。从现场施工过程中也能明显看出,采用数字引导系统智能化土方开挖技术边缘线更加平滑。具体偏差情况见表 2。

表 2 试验段开挖边缘线偏差对比

工艺 技术	传统开挖技术		数字引导系统智能化土方开挖技术	
	位置	偏差值/cm	位置	偏差值/cm
1	1# 坝	5	3# 坝	3
2	1# 坝	-3	3# 坝	2
3	1# 坝	5	3# 坝	4
4	1# 坝	7	3# 坝	-2
5	1# 坝	4	3# 坝	6
6	1# 坝	-2	3# 坝	5
7	1# 坝	6	3# 坝	5
8	1# 坝	-3	3# 坝	4
9	1# 坝	7	3# 坝	6
10	1# 坝	8	3# 坝	-3
总偏差		34	30	
平均偏差		3	3	
方差		18.11	9.00	

2.7.2 智能化施工

试验合格后,开始数字化机械开挖施工,对基坑进行整修和刷坡。挖掘机操作手根据智能系统引导进行可视化精准施工,即使在盲区内也能完成工作。智能修坡需要在设计数据中输入边坡坡度值。为了精确感应挖斗铲尖坐标,需要分级放坡并逐级施工,导入坐标数据,并留有足够的工作面。边坡整修也需要分级放坡,并按规范要求留有足够的工作面^[9]。

3 工程应用

在黄河下游“十四五”防洪工程(济南段)建设工程中,现场挖机作业采用了3D挖掘机智能引导系统进行数字化机械施工,操作手避免了视野盲区,通过操作室内显示屏实现可视化精确施工,在边坡刷坡过程中,通过数据的实时反馈,无需再安排测量放线人员和指挥人员,一台挖机可减少两名测量放线人员,且施工效率高,大幅缩短了施工工期,具体见表3、表4。

表3 日均基础费用对比 元

工艺技术	机械租赁费(含驾驶员及油费)	放线人工费用	现场指挥人员费用	费用合计
传统开挖技术	2 500	200	400	3 100
数字引导系统智能化土方开挖技术	2 500	0	0	2 500

通过3D挖掘机智能引导系统,将挖机铲斗

表4 日均完成工程量及产出价值对比

工艺技术	开挖工程量/m ³	完成投资金额/元
传统开挖技术	1 000	5 000
数字引导系统智能化土方开挖技术	1 350	6 750

实时位置与目标工作面以图形、数值等多种方式反应到操作室显示器上,并且提示填挖量与高程设计误差,提升了施工精度、作业速度,规避不必要的风险,为工程顺利完成提供了有力保障。

参考文献

- [1] 张熙.GNSS数据质量评估及预处理相关问题的研究[D].战略支援部队信息工程大学,2020.
- [2] 刘帅,庄利,褚吉平.挖掘机工作装置驱动技术专利分析[J].中国科技信息,2023(22):13-16.
- [3] 王琛.高边坡路基防护工程锚索框格梁技术实践[J].交通世界,2020(7):28-29,67.

(责任编辑 崔春梅)

(上接第18页)桥,振兴路东侧小清河混凝土坝是滕州城区2条小型河道上的关键堵点,强降雨时因抬高河道水位,造成北辛路、学院路排水泵站失能。初步治理中,将104国道跨小冯河桥按照“百年一遇”的洪水频率改建、拆除小清河上的混凝土坝,消除了关键堵点,排水效率明显提升,两个泵站运行正常。

3.5 补缺

城区道路建设中,龙泉路、大同路部分排水管道缺失损毁,形成区域积水。结合雨污分流工程建设,引入雨水管网,解决了管网缺失区域的积水问题。初步治理后,经历2023年、2024年汛期多场次强降雨,滕州市城区积水点明显减少,积水深度明显降低,积水时间大幅度缩短,内涝治理取得初步成效。

4 建议

4.1 修订排水规划,划定城市蓝线

一是《滕州市城市排水专项规划》(2018—2035年)编制中对城区上游客水进城分析计算偏小,规划的排水能力不足,依此规划建设的工程不能满足排水需求,应重新计算修订。二是划定城市蓝线,固定河道水系边界。将涉及城市排水

的城河、郭河、小清河、小冯河、党村沟5条河道作为城区洪水涝水的排泄通道,编制城市蓝线规划,固定河道边界,减少人为侵占、缩河问题。三是规划、住建部门安排城市建设项目,预留建设能够保证该区域雨水、洪水通行能力的排水系统。

4.2 实施城区河道治理,畅通“洪水走廊”

已完成规划编制、方案设计,具备实施条件的城河、郭河、小冯河,严格按照规划和经批准的设计方案,系统治理、畅通“洪水走廊”,确保“50年一遇”的降雨城区无大面积积水。改建跨城区河道桥涵。对国道、省道、城市道路跨小清河、小冯河、党村沟,过水断面低于“50年一遇洪水”的桥梁,拆除后,按照“百年一遇”的洪水标准重建。

4.3 加快海绵城市建设

新建城区按照海绵城市建设的要求,采用透水砖、透水地面,建设地下蓄水池等方式,增加雨水截蓄,减少排洪压力。

总之,经过初步治理,经历了2023年汛期多次强降雨,滕州市城区积水点明显减少,积水深度明显降低,积水时间大幅度缩短,内涝治理取得初步成效。

(责任编辑 赵其芬)