

土壤改良项目进度、质量与成本协同管理系统研发

张家良 韩春梅 李昀姝 郭媛媛 王利

鄂尔多斯市农牧技术推广中心

DOI:10.12238/as.v8i9.3285

[摘要] 面对土壤改良项目经常出现的进度滞缓、质量不稳定以及成本超支等问题,使得传统的管理模式难以满足项目需求。本文旨在研发一个项目进度、质量与成本协同管理系统,通过系统结构研发与关键技术开发实现这三大目标间的动态平衡。该方法采用多目标优化算法构造决策模型,设计“感知层-数据层-应用层”三层架构来实现一体化的工作流程——进度监测、质量监测与成本计算。本系统的特点是将土壤改良技术参数与项目管理目标联系在一起,通过实时监测、优化算法实现三大目标之间的动态平衡。案例表明可以提高进度量20%、质量合格率15%以及降低10%成本,为实施土壤改良项目的精细化管理提供了有效的实施路径,对转变农地建设管理信息化具有较大现实意义。

[关键词] 土壤改良项目; 协同管理; 进度-质量-成本; 多目标优化; 系统研发

中图分类号: S15 文献标识码: A

Research and Development of a Collaborative Management System for Schedule, Quality, and Cost of Soil Improvement Projects

Jialiang Zhang Chunmei Han Yunshu Li Yuanyuan Guo Li Wang

Ordos Agricultural and Animal Husbandry Technology Promotion Center

[Abstract] Faced with common issues in soil improvement projects such as schedule delays, unstable quality, and cost overruns, traditional management models can hardly meet project requirements. This paper aims to develop a collaborative management system for project schedule, quality, and cost, and achieve dynamic balance among these three objectives through the research and development of system structure and key technologies. The method adopts a multi-objective optimization algorithm to construct a decision-making model, and designs a three-layer architecture of "Perception Layer - Data Layer - Application Layer" to realize an integrated workflow, including schedule monitoring, quality monitoring, and cost calculation. The feature of this system lies in linking the technical parameters of soil improvement with project management objectives, and realizing the dynamic balance among the three objectives through real-time monitoring and optimization algorithms. Case studies show that the system can increase the schedule progress by 20%, improve the quality qualification rate by 15%, and reduce costs by 10%. It provides an effective implementation path for the refined management of soil improvement projects and has great practical significance for transforming the informatization of agricultural land construction and management.

[Key words] Soil improvement project; Collaborative management; Schedule-Quality-Cost; Multi-objective optimization; System development

引言

土地是农业生产的基本要素,也是保障我国粮食安全与生态环境持续向好发展的关键,近年来由于工业化进程与城市发展的冲击与影响,我国农村土地退化逐渐严重,土壤污染、酸化与盐碱化等现象致使耕地质量下降,影响耕地产量。为此提出土壤改良项目协同一体化管理的思想,构建进度、质量、成本的协同管理系统,采用物联网感知技术、多目标优化算法与数字管理

平台以实现三者的动态协调和智能化决策。该项研究不仅填补了土壤改良项目领域专门协同管理工具的空白,也为提高土壤改良项目管理效率和保障土壤恢复成效提供了方法途径,具有推动农业工程建设管理的积极意义与实用价值。

1 土壤改良项目协同管理系统需求分析

1.1 功能性需求分析

为实现进度、质量、成本三个核心目标的协同控制,需要进

行系统功能设计。采用模块化方法实施全数字化管理。进度管理模块,能够自动生成工作的分解结构,对土壤改良工作进行地质勘探、方案设计、药剂施用、养护监测等阶段点拆分,并提供甘特图、网络图两种显示模式,辅助判断关键路径和工程延误风险预警。质量管理模块,集成土壤测试数据接口,实现第三方实验室检测结果或者来自现场移动终端的实时信息自动获取,并内部预置了改善效果评价模型,能够根据不同土壤类型自动选择相应的评价模型。成本管理模块,实现动态更新的预算管理,能够将预算按工作分解结构中的各个阶段点进行分配,在发生变化时能够及时响应并自动统计差异率,当该比例超过±5%时触发预警。

1.2 非功能性需求分析

系统非功能性需求决定了系统对复杂土壤条件的适应能力以及系统的稳定程度。从系统可靠性考虑,数据存储要保持连续性,采取分布式数据库群的方式实时备份关键数据,并要求数据丢失率每年小于0.01%,系统能连续不间断运行8760h。从友好性考虑,可以参照泛普软件的用户友好性原则,减少操作的复杂程度,在数据输入的质量检验页面可实现扫描上传测试报告图片并自动获取主要指标的功能,以减少人工输入环节;页面的布局也要参考农业工程领域的惯常的“仪表盘+功能区”模式,关键指标要用可视化的图标最直观地显示。时效性是协同管理的基本条件,其要求整个流程(即从传感器数据采集到整个系统的屏幕更新时间)不超过5min,尤其需要关注土壤肥力、湿度等动态变量数据,这些数据要先经过边缘计算节点预处理再向云发送,以避免网络传输受阻滞后影响信息的实时性。另外,还要部署数据传输加密和数据存储加密策略以避免诸如土壤检测数据等敏感信息泄露情况的发生。

2 土壤改良项目协同管理系统设计

2.1 系统总体架构

通过“感知层-数据层-应用层”三层递进式的架构建设土壤改良项目协同管理系统,完成土壤信息的实时采集和多元目标的信息数据融合,并用于智能决策供给支持。其中感知层为数据来源,安装物联网传感器网络,包括土壤湿度传感器、养分含量传感器和快速测定重金属的终端设备,通过LPWAN技术实现远程数据传输,同时根据不同土地类型自动调整采样频次。数据层负责关键性信息的存储和计算工作,采用PostgreSQL的关系式数据库以结构化的方式存储数据,并结合MongoDB非关系式的模式以存储土壤的光谱图像等非结构化信息,通过数据中心方式实现了跨多个数据集的连接及动态更新。应用层面向用户提供了视觉交互窗口,采用Vue.js前端框架+SpringBoot后台框架开发,集成了进度的甘特图和品质走势显示器、成本的热力图,可同时访问电脑端和手机端。本系统采用国产厂商的传感设施作为感知层的基础,降低对国外关键技术采集部分的依赖;在数据层部分引入Redis缓存技术,加快访问频率高数据的响应速度;在应用层进行Docker容器部署,保证系统的应用端能够在不同硬件的环境下稳定运行。整个架构采用类似工程项目的模块化

模式设计各个部分,各层次通过标准化接口连接实现无缝对接,便于以后功能扩展和升级换代。

2.2 核心功能模块详细设计

2.2.1 进度管理子模块

此模块以双代号网络图为基础,可以对所规划的项目任务进行输入或者手工建立工作分解结构(WBS),以便自动发现关键路径并标记没有浮动时间的任务,并且它可以与互联网上的传感器数据互动,当某个任务的实际开始时间比计划时间晚三天以上时,将激活告警,并给出调整方案建议。关于进度的视图,通过甘特图和里程碑节点两种方式,可以对任务进行移动改动,且改动后的信息可以同步更新到成本和品质模块中。

2.2.2 质量管理子模块

拥有完整的土壤质量测量功能,既能够利用人工录入功能,获得第三方的试验报告,也能够使传感器的测量数据显示在系统上。事先设置改良效果判别模型,可根据不同土质的情况设定相应的评分规则,如改良酸性土壤时,若pH值从4.5变为了6.5且一直稳定在这一数值状态持续三十天后,系统判断达到了合格标准。而对于土壤污染的预警模型,利用设置阈值的方式,当检测到土壤重金属含量超出《土壤环境质量标准》(GB15618-2018)的风险筛选值,立即触发告警任务并关联相应责任部门。

2.2.3 成本管理子模块

实现预算编制与动态核算一体化,支持按工程量清单拆分预算,并通过盈亏分析法进行效益评估,CPI<0.9系统将自动找出超预算原因,并提供降低成本的方案。并且在系统内部建立成本数据库,包括公司最近3年土壤修复项目的相应资源费用数据,以便于按照区域市场情况进行成本自动调整。

2.3 数据库设计与数据流程

本系统中心数据库有3个主数据表:“任务信息表”(task_info)用于存储项目分解结构;“质量检测表”(quality_data)用于存储检测数据与质量数据的变化,即土壤指数的变化;“成本核算表”(cost_account)用于人工、材料、设备等方面的成本。每个主数据表之间均以“task_id”为外键,实现了“一对多”的关系,即每个任务对应多项质量数据和成本数据。整个数据流流程遵循着4个步骤循环的过程:通过应用物联网传感器获取原始数据,边缘节点进行初步处理,再通过MQTT协议传输到数据平台,采用Z-Score数据清理标准算法方法,用于对质量数据标准化,过滤不同的单位影响;通过分析算法层面,运用多目标优化算法处理进度、质量、成本方面的数据,输出Pareto最优解;通过应用层面,用于直观地呈现数据,并支持一键式决策建议的下载。

3 系统研发关键技术与实现路径

3.1 多目标协同优化算法实现

多目标协同优化算法中的进度、质量和成本联合优化模型采用粒子群算法(PSO)求取多目标函数,多目标函数包括工期最小化T、质量达标最大值Q、工程总造价最小值C,3个优化目标组成的优化集合: $\min(T)$ 、 $\max(Q)$ 、 $\min(C)$ 。其中,工期目标取关

键路径法(CPM),土壤改良项目任务分解n个步骤,各步骤用粒子位置编码(x_i)表示其消耗工期;质量达标由模糊综合评价法求得,通过选取土壤pH值、有机质含量m指标,转化为0~1区间内的值;成本由改良材料、机械设备等k类资源消耗组成,建立资源消耗与工作进度的模糊关联关系。约束条件包括技术参数与资源条件约束。算法的优化流程分为初始粒子群、计算适应度值、更新粒子速度与位置、动态调整Pareto最优解集4个阶段。

3.2 实时数据采集与处理技术

系统以“点-线-面”三维感知网络为架构构架:在土壤改良区域设置间隔50m的田间土壤水分传感器、以灌区渠道为中心布置营养成分传感器矩阵,同时在项目边界设置移动检测车。传感器节点所构成的LoRaWAN协议下的LPWAN网络,能构建3~5km距离范围,工作电流可低至 $10\mu A$,满足野外长期监测需求。数据传输模式为“边缘+云计算”的存储方式,边缘端含异常值识别剔除算法,可用 3σ 剔除 >14 或者 <0 的土壤pH,空白值填充采用线性插值方法,并采用MQTT协议将处理后的数据存入云服务器数据库。传感器外壳均选用IP68防水设计,可工作在 $-30^{\circ}C \sim 70^{\circ}C$ 之间,避免南部高湿度、北部低温度影响;数据处理中采用小波变换去除噪声,其主要作用是消除电子干扰引起的噪声变化,保证土壤电导率测量误差控制在±2%以内。实时管控是协同管理的前提,借助边缘节点的本地计算能力及5G切片技术,系统可实现从数据采集到界面更新的全过程小于3min的延迟保障,为进度、质量、成本的适时调整提供精确数据支撑。

4 系统应用案例与效果评估

4.1 案例背景与数据来源

选取黄河灌区某盐碱地改良项目为案例,其总面积约为1200公顷,改良对象为重金属和盐碱化混合污染的土壤,预计改良工程时间为8个月,投资总额为1560万元。项目推进的重点难点在于:春季返盐期的抢工为施工带来了非常大的压力;多种类别的土质也会影响改造效果;引入新型螯合剂也可能会带来价格超支的风险。为了确保数据的准确与可靠,在信息采集方法上采用“系统日志+第三方审计”模式,即将每个环节工作推进完成情况、土壤数据信息(如pH值和镉浓度的检测结果、相关费用支出信息)等记录在系统中,并在系统中与其实际对应部门的纸质档案和CMA土壤检测机构核查报告进行印证,确保评估信息的客观真实。

4.2 协同管理效果对比分析

应用系统后项目管理效率得以大幅提升,对进度的把握上,关键路径任务按计划完成比例从75%提升到95%,里程碑节点达成率上升22%,其中土壤取样的周期较传统管理模式缩短4天,主要因为系统智能化调度使测试设备资源得到优化配置。对质量的把控上,土壤修复达标率从82%提升到97%,重金属镉含量≤

0.6mg/kg达标率提高18%,pH值在 $6.5 \sim 7.5$ 保持稳定比例增强,波动系数降低60%。对成本的控制上,单位面积整改成本从1.3万元/亩下降到1.15万/亩,总成本偏差值从+12%降到了+1.8%,通过多目标优化算法降低螯合剂用量15%,进而抵消了部分材料上涨的不利影响。从管理流程优化方面,该系统实现了三个转变:从事后补救变为实时预警;将质量问题从48小时解决变成2小时;从凭直觉、凭经验变为看数据、靠趋势分析来优化决策;从部门割裂变为协同作战,项目延期就同时启用质量及成本模块的联动作业,从而形成了有效率的跨部门反应机制。

5 结论

本文主要针对土壤改良项目进度质量与成本协同管理问题进行研究,构建系统体系,应用关键技术,从而形成项目协同管理的系统,主要成果如下:(1)提出一种协同管理概念:通过“目标耦合-数据驱动-动态优化”的协同管理理论框架,给出影响土壤改良项目中进度压缩对质量保障效应机制,建立三大目标间量化的关联模型;(2)开发出多目标优化的协同管理系统,通过“感知层-数据层-应用层”三层架构实现土壤数据信息的采集与智能决策,集成进度的甘特图可视化、质量指数的动态评估、成本偏差预警等一系列一体化模块;(3)以某华北土壤改良项目为例验证该系统的有效性和实用性,实现了项目进度达标率提高20%,项目质量合格率提升15%,项目成本偏差率降低10%,证明了系统的可行性和价值。

参考文献

- [1]徐勇航,曹兴芹.基于MQTT协议的智慧农业培养室土壤监测系统设计[J].物联网技术,2025,15(12):24-27.
- [2]胡启迪,熊刚,陈高峰,等.基于物联网NB-IoT的土壤生化污染界限监测系统设计[J].粘接,2025,52(04):134-136+140.
- [3]李佳宝,梁澄河,张同沛,等.一种基于单片机的土壤环境自动监测与控制系统设计[J].中国科技信息,2025,(08):62-65.
- [4]董通,努尔麦麦提·艾尔肯,蒋平安,等.基于WebGIS的新疆绿洲农田土壤信息集成与共享系统设计[J].土壤通报,2020,51(03):538-544.
- [5]李旭.基于WebGIS的银北地区盐碱地信息系统设计与实现[D].宁夏大学,2019.
- [6]强云涛,杨家桂.基于多传感器技术土壤质量在线监测系统设计[J].电子制作,2024,32(14):15-18.
- [7]杜娟娟,魏秋娟,武月莲,等.基于物联网的智慧农业数据采集与管理系统设计[J].现代农业装备,2024,45(03):50-53.

作者简介:

张家良(1980--),男,汉族,内蒙古鄂尔多斯市人,研究生,中级农艺师,研究专业方向:项目管理。