

# 公路工程中摊铺机自动找平控制系统优化研究

杨付合

内蒙古路桥集团有限责任公司 内蒙古 呼和浩特 010051

**摘要:** 本文聚焦于公路工程中摊铺机自动找平控制系统,深入剖析其当前存在的问题,如传感器精度受限、控制算法适应性不足、系统抗干扰能力弱等。通过引入高精度传感器技术、智能控制算法以及优化系统架构设计等策略,对自动找平控制系统进行全面优化。优化后的系统可以显著提高摊铺路面的平整度,减少人工干预,提升施工效率与工程质量,为公路工程的高质量建设提供有力支撑。

**关键词:** 公路工程; 摊铺机; 自动找平控制系统; 优化研究

## 1 引言

在公路工程建设中,路面平整度是衡量工程质量的关键指标之一,它不仅直接影响行车的舒适性、安全性,还关系到路面的使用寿命和维护成本。摊铺机作为公路路面施工的核心设备,其自动找平控制系统的性能对路面平整度起着决定性作用。传统的摊铺机自动找平控制系统在长期实践中暴露出诸多问题,难以满足现代公路工程对高质量路面的严格要求。因此,对摊铺机自动找平控制系统进行优化研究具有重要的现实意义和迫切性。

## 2 摊铺机自动找平控制系统概述

### 2.1 系统组成结构

该系统由传感器、控制器和执行机构构成。

**传感器:** 传感器是关键部件,实时检测摊铺层高度并转换为电信号传输给控制器。接触式传感器如浮动梁式传感器,通过与摊铺层表面接触测量高度,成本低但易受摊铺材料堆积、刮板输送器振动影响,测量误差可达 $\pm 3\text{mm}$ 。非接触式传感器中,超声波传感器测量精度为 $\pm 1\text{mm}$ ,响应时间约 $10\text{ms}$ ;激光传感器精度更高,可达 $\pm 0.1\text{mm}$ ,响应时间小于 $1\text{ms}$ ,但价格是超声波传感器的3-5倍。

**控制器:** 是核心处理单元,接收传感器信号,依据预设值用控制算法计算调整量,发出控制指令。通常采用高性能微处理器,如ARM系列Cortex-M7处理器,主频 $200\text{MHz}$ 以上,能满足实时控制要求。

**执行机构:** 是动作执行单元,根据控制器指令,通过液压系统或机械传动装置调整熨平板高度。液压执行机构响应速度快、输出力大,响应时间 $50-200\text{ms}$ ;机械传动执行机构结构简单、可靠性高,但调整速度慢。

### 2.2 系统工作原理

摊铺作业时,传感器实时检测路面高程,有偏差则

转化为电信号传给控制器。例如预设摊铺厚度 $8\text{cm}$ ,检测高程高 $2\text{mm}$ ,传感器传输偏差信号。控制器用控制算法(如PID算法)计算熨平板调整高度和方向,以PID算法为例,根据偏差大小、变化率及历史偏差计算控制量。随后控制器向执行机构发指令,执行机构调整熨平板高度,使路面高程趋近预设值,实现自动找平。

### 2.3 系统重要性

自动找平控制系统能精确控制路面高程和平整度,避免人工误差和不稳定。在高速公路等对路面质量要求高的工程中,其性能决定验收和使用效果<sup>[1]</sup>。良好系统可减少路面缺陷,提高平整度和均匀性。实际工程测量显示,高性能系统摊铺路面平整度标准差可控制在 $0.6\text{mm}$ 以内,人工操作可能达 $1.5\text{mm}$ 以上。高质量路面能为车辆提供平稳行驶环境,降低事故率,减少车辆磨损维修成本,提高运输效率,有显著效益。

## 3 当前摊铺机自动找平控制系统存在的问题

### 3.1 传感器精度受限

传感器是关键部件,其精度影响控制效果。常用传感器精度受限:超声波传感器在粉尘浓度超 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 时,测量精度降至 $\pm 3-5\text{mm}$ ;激光传感器在强光直射或雨雾天气中,测量误差达 $\pm 1-2\text{mm}$ 。安装位置和角度不合理、使用时间增长致性能下降(2-3年后精度降20%-30%),都会引入测量误差。

### 3.2 控制算法适应性不足

传统系统多采用PID控制算法,在复杂工况下适应性差。摊铺不同材质沥青混合料时,特性变化大,PID算法难及时准确调整参数,出现超调或振荡(如摊铺SBS改性沥青混合料,熨平板高度超调 $3-5\text{mm}$ ,振荡超3次)。摊铺机遇障碍物或变幅时,传统算法响应慢,造成路面局部不平整(如跨越 $20\text{cm}$ 高障碍物,调整时间 $2-3\text{s}$ ,前进 $0.5-1\text{m}$ 出现凸起或凹陷)。

### 3.3 系统抗干扰能力弱

施工受多种干扰影响,机械振动(频率 10 - 100Hz,加速度 1 - 5g)使传感器测量信号波动 $\pm 1 - 3\text{mm}$ ;电源波动(超 $\pm 10\%$ )致传感器误差增 1 - 2mm,控制器计算偏差;电磁干扰(磁场强度 10 - 100  $\mu\text{T}$ )使测量数据不准或指令传输错(如测量值偏离 2 - 3mm)。

### 3.4 缺乏有效的故障诊断与预警机制

多数系统缺乏此功能,故障难及时发现处理,影响施工。传感器故障未及时发现,导致路面平整度不达标(如某工程标准差达 1.8mm,超设计要求需返工);控制器或执行机构故障无预警,作业中断延误工期。故障排查修复耗时,占施工总时间 10% - 15%,增加成本。

## 4 摊铺机自动找平控制系统优化策略

### 4.1 引入高精度传感器技术

为了提高传感器的测量精度和抗干扰能力,可以引入新型的高精度传感器技术。光纤传感器是一种具有广阔应用前景的新型传感器,它利用光在光纤中传播时的特性变化来检测被测物体的位移、应变等信息<sup>[2]</sup>。光纤传感器具有不受电磁干扰、耐腐蚀、测量精度高等优点,其测量精度可以达到 $\pm 0.05\text{mm}$ ,能够避免传统传感器在复杂环境下受到的干扰问题。

多传感器融合技术也是一种有效的提高测量精度和可靠性的方法。将激光传感器和光纤传感器相结合,激光传感器在远距离测量时具有较高的精度和稳定性,测量范围可达 20m,测量精度为 $\pm 0.1\text{mm}$ ;光纤传感器在近距离测量时能够提供更丰富的信息,且抗干扰能力强。通过数据融合算法,如加权平均法、卡尔曼滤波法等,将两种传感器的测量数据进行综合分析。以加权平均法为例,设激光传感器的测量值为 $x_1$ ,权重为 $w_1$ ;光纤传感器的测量值为 $x_2$ ,权重为 $w_2$ ,且 $w_1 + w_2 = 1$ ,则融合后的测量值 $x$ 为:

$$x = w_1 x_1 + w_2 x_2$$

通过合理确定权重 $w_1$ 和 $w_2$ ,可以实现对摊铺路面高程的更精确测量,测量精度可提高至 $\pm 0.08\text{mm}$ 。同时,多传感器融合还可以提高系统的冗余度,当某个传感器出现故障时,系统仍然能够利用其他传感器的数据进行正常工作,增强了系统的可靠性。

### 4.2 采用智能控制算法

针对传统 PID 控制算法适应性不足的问题,可以采用智能控制算法,如模糊 PID 控制与神经网络控制结合。模糊 PID 控制算法将模糊控制与 PID 控制相结合,它不需要建立精确的数学模型,能够根据专家的经验 and 知识进行模糊推理和决策,具有较强的鲁棒性和适

应性。在摊铺机自动找平控制系统中,可以将摊铺路面高程误差  $e$  和误差变化率  $ec$  作为模糊控制器的输入变量,将 PID 控制器的比例系数 $K_p$ 、积分系数 $K_i$ 和微分系数 $K_d$ 作为输出变量。

通过建立模糊控制规则库,根据不同的输入情况确定相应的输出控制参数。例如,当高程误差 $e$ 较大且误差变化率 $ec$ 较快时,模糊控制器可以输出较大的 $K_p$ 值,较小的 $K_i$ 和 $K_d$ 值,使系统快速响应并减少超调;当高程误差 $e$ 较小且误差变化率 $ec$ 较慢时,模糊控制器则输出较小的 $K_p$ 值,较大的 $K_i$ 值,以消除静态误差。

神经网络控制算法具有自学习、自适应能力,它能够通过对大量数据的学习和训练,自动调整控制参数,以适应不同的施工工况。可以采用 BP 神经网络对摊铺机的自动找平控制系统进行建模和优化。首先,收集不同施工工况下的输入参数(如摊铺速度 $v$ 、混合料温度  $T$ 、高程误差 $e$ 等)和输出参数(熨平板调整量 $u$ ),构建训练数据集。假设收集了 1000 组数据,将其中 800 组作为训练数据,200 组作为测试数据。

然后,将训练数据集输入到 BP 神经网络中进行训练,通过不断调整神经网络的权重和阈值,使网络的输出尽可能接近实际值。经过充分训练后, BP 神经网络模型就能够准确预测熨平板的调整量。在实际应用中,神经网络控制算法可以根据实时检测到的施工参数,自动调整控制策略,适应不同材质的沥青混合料和变化的施工工况<sup>[3]</sup>。例如,在摊铺 SBS 改性沥青混合料时,神经网络控制算法能够根据混合料的特性自动调整控制参数,使熨平板高度调整更加准确,超调量控制在 0.5mm 以内,振荡次数不超过 1 次。

### 4.3 优化系统架构设计

为了提高系统的抗干扰能力,可以优化系统的架构设计。采用分布式控制系统架构是一种有效的解决方案,将传感器、控制器和执行机构进行分散布置,减少信号传输过程中的干扰。在分布式系统中,每个传感器都有独立的信号处理单元,能够对采集到的信号进行初步处理和滤波,去除部分干扰信号后再传输给控制器。例如,在传感器信号处理单元中采用低通滤波器,截止频率设置为 10Hz,可以有效滤除高频噪声干扰,使传输到控制器的信号更加稳定。

在系统中增加信号滤波和隔离电路也是增强抗干扰能力的重要措施。信号滤波电路可以采用低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器等,根据不同的干扰信号特点选择合适的滤波器。例如,对于电源波动引起的低频干扰,可以采用低通滤波器进行滤波;对于电磁干扰引起

的高频噪声,可以采用高通滤波器或带通滤波器进行滤除。信号隔离电路则可以采用光电隔离、变压器隔离等方式,将传感器信号与控制器电路进行电气隔离,防止干扰信号通过电气连接传递到控制器中。光电隔离器的隔离电压可达 2500V 以上,能够有效阻断电气干扰。

此外,采用冗余设计技术对关键部件进行冗余配置,可以提高系统的可靠性。例如,对传感器进行双传感器冗余设计,当其中一个传感器出现故障时,系统能够自动切换到另一个传感器的测量数据,确保测量数据的准确性。对控制器和执行机构也可以采用类似的冗余设计,当某个部件出现故障时,备用部件能够立即投入工作,保证系统的正常运行,减少因故障导致的停机时间。据实际工程应用表明,采用冗余设计后,系统的故障发生率可降低 70% - 80%。

#### 4.4 建立故障诊断与预警机制

为了及时发现和处理系统故障,可以建立完善的故障诊断与预警机制。采用基于模型的方法和基于数据的方法相结合的故障诊断技术,对系统的运行状态进行实时监测和分析。基于模型的方法通过建立系统的数学模型,将系统的实际输出与模型输出进行比较,当两者之间的误差超过一定阈值时,判断系统出现故障<sup>[4]</sup>。例如,建立摊铺机自动找平控制系统的动态模型,实时采集系统的输入输出数据,通过模型计算得到理论输出值,与实际测量值进行对比分析,若误差超出正常范围(如 $\pm 0.5\text{mm}$ ),则表明系统可能存在故障。

基于数据的方法则通过对系统运行过程中产生的大量数据进行分析,挖掘数据中的潜在信息,判断系统是否存在故障隐患。可以采用数据挖掘算法,如关联规则挖掘、聚类分析等,对传感器的测量数据、控制器的控制参数等进行深入分析,发现数据中的异常模式和规律,从而判断系统是否出现故障。例如,通过对传感器

测量数据的聚类分析,将正常数据和异常数据区分开来,当检测到异常数据时,及时发出故障预警信号。

当系统检测到故障时,及时发出预警信号,通知操作人员进行处理。预警信号可以通过声光报警、短信通知等方式传递给操作人员,确保操作人员能够及时知晓故障情况。同时,还可以建立故障诊断专家系统,将专家的经验 and 知识存储在系统中,当系统出现故障时,专家系统可以根据故障现象和测量数据,快速准确地诊断出故障原因,并提供相应的解决方案。操作人员可以根据专家系统的建议,迅速采取措施排除故障,减少故障对施工的影响。例如,专家系统可以根据传感器故障代码和测量数据,判断是传感器损坏还是线路故障,并指导操作人员进行相应的维修或更换操作。

#### 结语

本文全面深入研究公路工程中摊铺机自动找平控制系统,指出其存在传感器精度受限等问题,并提出引入高精度传感器技术等优化策略。理论分析表明,这些策略能有效提升系统性能,如提高测量精度、增强适应性等。虽取得一定成果,但该系统仍有优化空间。未来可探索新型传感器和智能控制算法应用,结合物联网、大数据实现远程监控与智能化管理,开展与其他施工设备的协同控制研究,推动公路工程建设向更高水平迈进。

#### 参考文献

- [1]滕兵.沥青混凝土摊铺机自动找平系统分析[J].企业科技与发展,2024,(03):127-131.
- [2]宋新斌,龚平,修树峰,等.高速公路超薄磨耗层施工的同步摊铺技术分析[J].建筑机械化,2024,45(12):123-126.
- [3]刘红卫.沥青摊铺机使用控制关键点研究[J].交通世界,2023,(17):198-200.
- [4]李志虎.摊铺机熨平装置自动找平系统分析[J].工程机械,2023,54(01):69-73+9.