

基于预应力计算的沥青混凝土路面摊铺机控制系统设计

孙建禹

(重庆交院和瑞工程检测技术有限公司, 重庆 402247)

摘要:传统沥青混凝土路面摊铺机所铺设路面服役结构较差,经常出现路面内部结构破坏情况,因此设计了基于预应力计算的沥青混凝土路面摊铺机控制系统。该控制系统包括摊铺机工作过程中行驶控制器、输分料控制器、中央控制器硬件处理器与工作电源,可通过输分料预应力控制结构实现输分料预应力控制,根据预应力板底摩阻力控制结构完成预应力控制板底摩阻力处理。经仿真实验,与传统沥青混凝土路面摊铺机控制系统对比,所设计系统具有更好的服役可靠性,采用该系统能够有效保证摊铺机稳定运行。

关键词:预应力计算;沥青混凝土;路面摊铺机;控制系统

中图分类号:TU623 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2020)04-0140-05

Design of Control System of Asphalt Concrete Pavement Paver Based on Prestress Calculation

SUN Jianyu

(Chongqing Jiaoyuan Herui Engineering Testing Technology Co., Ltd., Chongqing 402247, China)

Abstract: In the traditional asphalt concrete paver, the service structure of the pavement is poor, and its internal structure is often damaged. Therefore, the control system of the asphalt concrete paver is designed based on the prestress calculation. This control system consists of the hardware controller and working power of the central controller of the travel controller and the feeding and distributing controller during the working process of the paver. The feeding and distributing prestress is controlled by the feeding and distributing prestress control structure. According to the prestressed plate bottom friction control structure, the prestressed control plate bottom friction treatment is done. In the simulation experiment, it is compared with the control system of traditional asphalt concrete paver. This system is of better service reliability, and it can be used to effectively ensure the stable operation of the paver.

Keywords: prestress calculation; asphalt concrete; paver; control system

0 引言

路面施工工艺水平作为影响我国公路使用寿命的主要因素,其施工过程中沥青混凝土路面摊铺机的可靠性与稳定性对施工路面质量有着很大影响^[1]。现有沥青混凝土路面摊铺机由于结构参数不稳定,导致摊铺机摊铺速度与供料速度受到影响,出现路面结构服役表现较差的情况。摊铺机整体力学性能不仅取决于各部分设施本身性能,也取决于各设施之间的整体协调性^[2]。为提升摊铺机工作性能,相关学者对沥青混凝土路面摊铺机的控制系统做出了研究。文献[3]提出基于CAN总线的摊铺控制系统设计。根据模糊PID控制及CAN总线技术控制摊铺机速度,根据抗干扰技术实现脉冲群测试;文献[4]提出基于模糊PID算法的摊铺机控制器设计,利用距离差相关联度控制摊铺机速度,设计系统软硬件并作出调试。上述研究均有一定的有效性,但在摊铺机控制性能方面还有待提升。

针对上述问题,提出基于预应力计算的沥青混凝土

路面摊铺机控制系统设计。分别设计了行驶控制器、输分料控制器、中央控制器硬件部分;在此基础上根据输分料预应力控制结构得到预应力损失模型,根据预应力板底摩阻力控制结构得到板底摩擦系数,通过结点形函数均匀分配摊铺机运行过程中摩擦阻力,以此自动控制输分料预应力与控制板底摩阻力,提升整体路面结构服役可靠度。

1 预应力沥青混凝土路面摊铺机控制系统硬件设计

1.1 行驶控制器硬件设计

行驶控制器是摊铺机控制系统的基本部分,行驶控制器硬件部分主要包括CAN-BUS总线接口、电源、输出与输入端口以及处理器。行驶控制器硬件结构如图1所示。

通过CAN-BUS总线接口接收行驶控制信号,根据输入、输出端口及处理器完成行驶控制,并通过驱动器将控

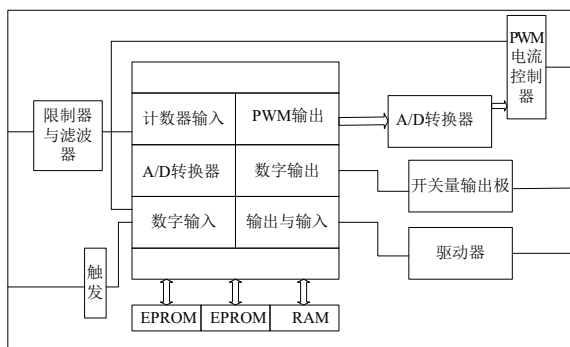


图1 行驶控制器硬件结构

制信号传输给摊铺机控制系统。选择 ARM (advanced RISC machines) 的 RISC 处理器作为控制核心,实现对沥青混凝土路面摊铺机工作状态检测控制。处理器采用 32 位嵌入式精简指令,支持包括 uClinux、RTLinux、vxWorks、 $\mu c/os-II$ 等操作系统,满足整体系统多种控制需求。RISC 处理器采用统一寄存器文件,数据处理仅对寄存器内容进行,不直接对存储器进行操作。处理器同时配备 16 位 Thumb 指令集,允许软件编码缩短,其处理与存储部分可连续工作,支持在执行一条指令时对译码下一条指令,并同时从存储器中提取第 3 条指令,增加整体处理器指令处理速度。

行驶处理器输入量分为转向电位器、驱动手柄电位器以及速度预选电位器 3 部分模拟信号^[5]。3 部分模拟信号分别控制摊铺机转向功能、行驶速度无极调节以及摊铺机恒速控制。3 路模拟信号通过 RISC 处理器内部自带 A/D 转换器进行转换,同时在转向电位器输入电阻与驱动手柄电位器旁各并联一个 $0.1\mu E$ 电容作为低通滤波器,降低输入端电压尖峰干扰^[6]。

由于摊铺机只提供 +24 V 直流电源,因此行驶控制器电源部分采用 +12 V 与 +5 V 供电电源,为数据转换器提供 +3.3 V 参考电压,为其他工作芯片提供 +12 V 稳定电压。

由于行驶控制器对电压要求较高,且运行过程中功耗较大,因此选择 SXP1117 低功耗正向电压转换芯片,作为可调节电压转换芯片,支持 1.5 V、1.8 V、2.5 V、2.85 V 以及 5 V 输出电压,保证整体行驶控制器稳定运行。

1.2 输分料控制器硬件设计

摊铺机分为左、右两个输料与分料装置,其中输分料控制器分为料斗、输送机、闸门、刮板以及螺旋分料器等部分^[7]。输分料控制根据厚度测量传感器得到相应输出电流,控制分料器螺旋分料速度与刮板开度,并测试整体分料输出与路面预应力,测试实际摊铺层厚度^[8]。控制器采用 DS1624 温度传感器、超声波传感器 PWM 输出、CAN 总线通信部分以及 P87C591 微控制器,其输分料控制器硬件结构如图 2 所示。

输分料控制器中 P87C591 主控芯片除控制超声波测距与摊铺机实时料位高度外,同样会根据铺料实时高度控制输料电磁阀、左右刮板输料速度与左、右螺旋分料器分料速度。P87C591 主控芯片带有 3 个 16 位定时

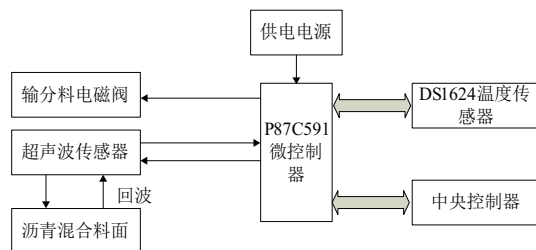


图2 输分料控制器硬件结构

数器,支持 2 路脉宽调制输出,同时带有 I²C 总线与温度传感器 DS1624,通过总线完成通信,对摊铺机工作实施状态监测^[9]。P87C591 内部具有 16K 字节程序存储器,外部存储可扩展到 64K 字节,带有 6 路模拟输入 10 为 ADC,并支持 8 位快速 ADC 选择,8 位结果保存在 ADCH 寄存器中。带有标准 801C51 引脚的 32 个 I/O 口,加速周期指令 500 ns@12 MHz。同时包含两路脉冲宽调制输出通道,产生编程宽度与间隔脉冲^[10]。整体控制器包含 15 个中断源,5 个与 80C51 相同的终端电源分为串口中断、定时器 0 与 1 中断以及外部中断。每个中断源通过清零终端或位置终端使 IEN0 与 IEN1 寄存器实现单独使用与停止。

整体输分料控制器各组成部分电源需求不同,因此设计一个供电电源模块,对各部分控制器组成提供不同电源^[11]。主电源为摊铺机提供的 +24 V 电源,主要供应超声波传感器 +15 V 直流电源、CAN 通讯电路隔离 5 V 直流电源以及工作芯片 +5 V 电源。

输分料控制器采用 POWER 电瓶提供整体 +24 V 直流电压,直接为电磁阀控制电路提供电压。同时将 POWER 直流电压与 ADS10H-4858 相连,转换为 +5 V 直流电压,为温度补偿电路与超声波处理电路工作芯片供电。

1.3 中央控制器硬件设计

中央控制器主要为操作面板与显示界面,其主要分为 CAN 总线通信、专用 PVC 键盘模块以及 LCD 液晶显示模块 3 部分^[12]。其中 CAN 总线通信模块与各下位机负责数据通信,PVC 键盘负责将控制指令下发至各个设施,而 LCD 液晶显示模块则根据键盘下发指令,实时显示摊铺机工作状态。其中央控制器硬件结构如图 3 所示。

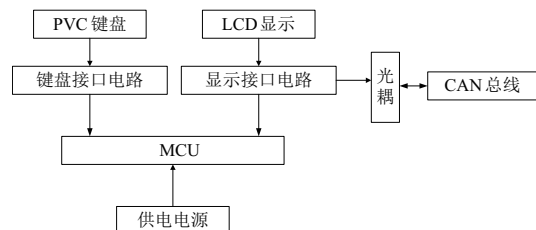


图3 中央控制器硬件结构

中央控制器是处理各种信号并传达指令的模块,根据 LCD 显示接受待处理任务,通过 PVC 键盘完成控制摊铺机制动、速度与方向控制、参数设定以及分料控制等功能,通过 CAN 总线保证实时通讯,将中央控制信号传输至摊铺机控制系统各个模块。中央控制器采用 ARM 微控制器

LPC2294 微控制器,支持实时仿真与跟踪 32 位 CPU,并嵌入 256K 字节高速存储器^[13]。LPC2294 微控制器有着多个 I/O 接口与 4 路验收滤波器 CAN 接口,CAN 接口具有 9 个外部中断,便于处理多个中断信号。

中央控制器使用 T6963C 液晶控制显示器,支持图形、文本及图形与文本合成方式显示以及图形拷贝操作,采用 CGROM 内部字符发生器,可管理 64K 显示缓冲区以及 CGRAM 字符发生器,并允许 MPU 随时访问显示缓冲区。其指令操作主要集中于实现功能设置,每条指令可带有 1 条、2 条参数或无参数^[14]。操作指令先送入参数后,再送入指令代码,实现与行、列驱动器以及显示缓冲区接口连接,同时利用已有硬件设备设置数据传输方式与窗口显示长宽度。

PVC 键盘采用标准化兼容通用键盘接口分别用于控制摊铺机制动、速度与方向控制、参数设定以及分料控制等功能。

CAN 总线通信采用多种方式,实现任意节点可自动向其他节点发送信息。通信协议主要受 SJA1000 控制器操作,采用 Pelican 方式与 BasicCAN 兼容方式实现软件兼容^[15]。整体分为光电偶合器、CAN 总线收发器以及微控制器几部分,通过 SJA1000 实现数据接收与发送等通信任务。

2 预应力沥青混凝土路面摊铺机控制系统软件设计

2.1 输分料预应力损失模型

输分料预应力控制主要包括 DS1624 初始化工作、I²C 初始化以及 CAN 总线初始化等多个工作部分,其结构如图 4 所示。

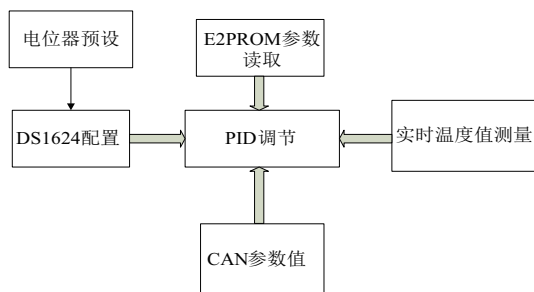


图 4 输分料预应力控制结构

输分料预应力控制由 DS1624 测量得到当前工作环境温度,调整超声波测距程序根据温度补偿公式得到更加精准输分料距离值。通过 PID 算法得到控制值,控制电磁阀开度。测距料位控制器作为一个子程序,在微控制器 P87C591 产生出发脉冲数据后,启动 DS1624,计算环境温度对测距值带来的误差,得到精确物料厚度。输分料过程中,预应力筋与周围混凝土之间摩阻损失 σ 为:

$$\sigma = \sigma_k [1 - e^{-(\mu\theta + kx)}] \quad (1)$$

其中: σ_k 为预应力张拉控制力; μ 为预应力摩擦系数; θ 为张拉端与计算点间预应力角度变化绝对值; k 为路面局部

偏差摩擦系数; x 为张拉端与计算点水平距离。

当 $\mu\theta + kx \leq 0.2$ 时,摩阻损失 σ 为:

$$\sigma = \sigma_k (\mu\theta + kx) \quad (2)$$

根据摩阻损失,分析出在输分料锚具与预应力筋滑动过程中损失为:

$$\sigma_2 = E_s \frac{\alpha}{l} \quad (3)$$

其中: E_s 为预应力筋弹性模量; α 为张拉端锚具钢筋变形值; l 为输分料过程中张拉端至锚固端距离。

输分料过程中受到滑动损失影响,预应力筋出现松弛引起预应力损失 σ_3 :

$$\sigma_3 = \psi \left(0.36 \frac{\sigma_k}{R_y} - 0.18 \right) \sigma_k \quad (4)$$

其中: ψ 为预应力筋张拉方式系数,在超张拉条件下 $\psi = 0.9$; R_y 为预应力筋标准抗拉强度。

当 $\frac{\sigma_k}{R_y} \leq 0.5$ 时, $\sigma_3 = 0$, 此时预应力筋达到最大张拉值。若各项预应力筋同时张拉,则混凝土弹性压缩产生应力损失为 0。若在张拉值范围内,预应力筋所引起所有已张拉预应力筋弹性压缩损失为:

$$\sigma_4 = \frac{E_s}{E_c} P_i \left(\frac{1}{A_c} + \frac{e_i e}{I_c} \right) \quad (5)$$

其中: E_s 为混凝土弹性模量; P_i 为张拉过程中第 i 根预应力筋扣除摩阻损失; e_i 为第 i 根筋偏心距离; e 为所计算预应力筋偏心距离。

在偏心距 e_k 处第 k 根预应力筋用张拉力时,偏心距 e_j 处的第 j 根预应力筋张拉力下降值为:

$$\Delta P_{jk} = \frac{E_s}{R_c} P_k \left(\frac{1}{A_c} + \frac{e_k e_j}{I_c} \right) A_p \quad (6)$$

其中: A_p 为预应力筋截面面积; P_k 为偏心距第 k 根预应力筋张拉力。

在预应力筋张拉力下降过程中,后张法构件损失为:

$$\sigma_5 = \frac{220\sigma_{PC}}{25 + \frac{F_{cu}}{1 + 15\rho}} \quad (7)$$

其中: σ_{PC} 为预应力筋合力点出混凝土法向应力; F_{cu} 为施加预应力后混凝土抗压强度; ρ 为预应力筋与非预应力筋配筋率。

在输分料过程中各预应力损失不会同时发生,根据预应力损失出现的先后与全部完成时间在预适应力阶段与使用阶段其预应力损失模型为:

$$\begin{cases} \sigma^1 = \sigma + \sigma_1 + \sigma_3 \\ \sigma^2 = \sigma_2 + \sigma_4 \end{cases} \quad (8)$$

输分料预应力控制根据实际施工时所测得预应力实际损失值,调整整体输分料预应力情况。

在整体控制过程中 UB2000-30GM-H3 超声波传感器测量范围在 100 mm~200 mm 内,得到整体返回数据后,在路面无粘结情况下,路面无粘结筋在锚固定端与混凝土结合,但混凝土与无粘结筋之间不存在变协调关系。因此路面施加预应力,将其作为一种施加预应力损失,考虑预应力沿板长变化,完成输分料预应力调整。

2.2 预应力板底摩阻力控制结构

沥青混凝土摊铺机需要完成任务较为复杂,整体控制通过多任务操作,完成建立任务、改变任务状态与任务切换。使用 $\mu\text{C}/\text{os-II}$ 操作系统,其结构如图 5 所示。

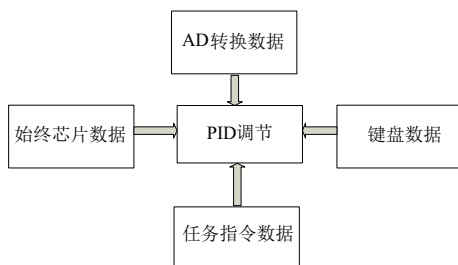


图 5 预应力板底摩阻力控制结构

在接收到中央控制任务后,根据任务需求计算行驶过程中地板摩阻力,实时调整摊铺机运行情况。该控制结构的目的是控制预应力板底摩阻力,最大程度消除摊铺机运行过程中摩擦阻力并平均分配剩余的摩擦力,实现摊铺机平稳运行。在预适应力、车辆载荷以及温度等条件影响下,通过任务指令数据模块得到摩擦阻力值,摩擦阻力并非沿板底非均匀分布,摩阻系数 μ 不是常数,其数值受到底板位移影响。为减少路面基层摩阻影响,混凝土路面板下均匀铺设砂层,在沿板长某个断面上,假设板底摩阻力均匀分布,在不考虑摩阻力影响情况下,通过 AD 转换数据模块求出各断面水平向最大位移并确定出摩阻系数为:

$$\tau = \mu \gamma w \quad (9)$$

其中: γ 为摩擦阻抗值; w 为板底位移距离。

当 $w \geq 0.6 \text{ mm}$ 时,摩擦系数 $\mu = f_r$ 为给定值;当 $w \leq 0.6 \text{ mm}$ 时,得到:

$$\mu_0 = w f_r / 0.6 \quad (10)$$

通过摊铺机板底位移距离确定摩擦系数值,通过 PID 调节设置摩擦系数值,自动生成各结点形函数,均匀分配摊铺机运行过程中摩擦阻力,消除整体控制过程中摩阻力对板底位移带来的影响。

3 仿真实验

设计仿真实验,对基于预应力计算的沥青混凝土路面摊铺机控制系统有效性进行分析,并与文献[3]、文献[4]方法实施对比,针对摊铺机服役可靠性展开实验,实验在 3 组系统各项参数相同情况下进行。

3.1 实验准备

根据沥青路面三层结构,其路基厚度变化范围较大,且道路各层材料介电常数存在差异,因此采用探地雷达,分析路面沥青混凝土路面切块各项指标参数与异常体参数。在实验过程中,现场实验路段中下层摊铺机摊铺厚度为 15 cm,考虑到各项客观因素影响,允许误差控制在 10% 以内。整体路面利用两种控制方法操作同一型号摊铺机进行,摊铺宽度为 6 m,前进速度为 1.5~2 m/min,整

体路面摊铺厚度施工仓面为 6 m×50 m。在载荷作用下,路面边角与边界处更容易出现异常,因此实验扫描选取边角与边界多个随机点,每个测试点选取边长为 1 m 正方形区域,每个测试点都存在一定间隔,分析各测试点平均值。

3.2 实验结果

根据实验条件,观察 3 组系统控制下摊铺机服役可靠性参数。摊铺机服役可靠性参数是衡量摊铺机服役可靠性的关键因素,在保证外界其他条件下,摊铺机服役可靠性参数越高,摊铺机服役可靠性越低,同时与摊铺机控制能力成反比。随着承载力的变化,摊铺机服役可靠性参数变化程度如图 6 所示。

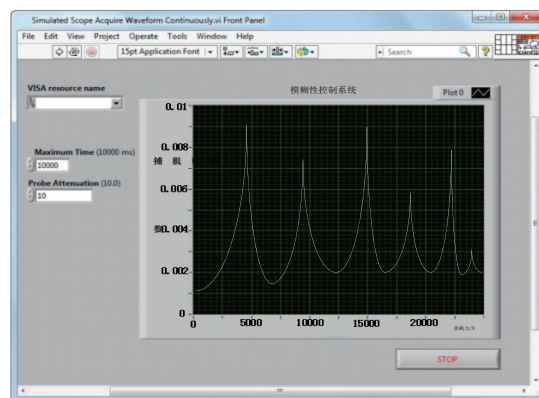


图 6 文献[3]所提系统实验结果

由图 6 可以看出,随着摊铺机的承载力不断增加,摊铺机服役可靠性参数发生了函数性质的规律变化。极限值超过 0.009,说明此系统控制下的摊铺机能够得到有效控制,但是随着承载力的增加,控制效果明显出现偏差,不能保证摊铺机平稳地运行。

如图 7 所示,摊铺机服役可靠性参数随着承载力的增加,变化规律较乱。极限值为 0.008,控制性较好,但在承载力超过 15 000 N 后控制效果明显出现偏差,不能保证摊铺机的平稳运行。

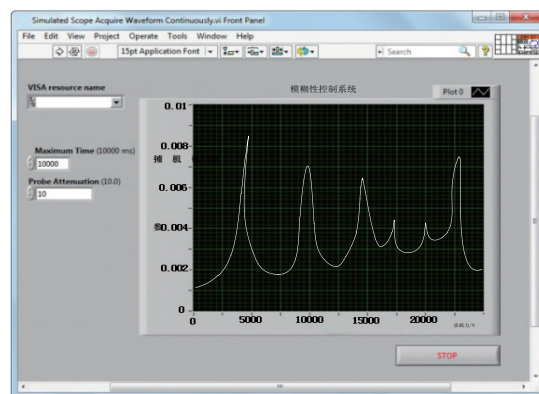


图 7 文献[4]所提系统实验结果

如图 8 所示,承载力不断增加过程中摊铺机服役可靠性参数发生了间歇式的循环,并且循环幅度不大,最高峰值平稳在 0.006。所设计系统在硬件设计的基础上,构

建了输分料预应力损失模型,根据该模型计算环境温度对测距值带来误差,得到精确的物料厚度。分析预应力板底摩阻力并设计了预应力板底摩阻力控制结构,通过该控制结构均匀分配摊铺机运行过程中摩擦阻力,消除整体控制过程中摩阻力对板底位移带来影响。与上述控制系统相比较,此系统随着承载力变化也能够稳定控制摊铺机,并且不会出现控制断代,有效地保证了摊铺机的运行。

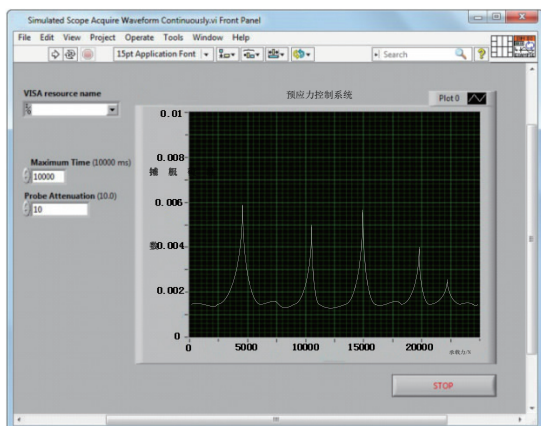


图8 预应力控制系统实验结果

4 结语

基于预应力计算的沥青混凝土路面摊铺机控制系统设计是一种新型智能化控制系统,其中包括铺路机输分料控制器与中央控制器。本系统在工作过程中自动计算路面预应力,提高了整体路面服役结构可靠度和整体沥青混凝土路面摊铺机管理水平。实验结果表明,在承载力不断增加过程中摊铺机服役可靠性参数发生了间歇式的循环,且最高峰值平稳在 0.006,能够有效保证摊铺机稳定、可靠地运行。

参考文献:

- [1] 殷保方,许鹏. 试析高速公路桥梁预应力检测及控制技术[J]. 价值工程,2019,38(28):259-260.
- [2] 王建强,吕忠达,赵卓,等. 预应力混凝土连续箱梁顶板早期裂缝控制研究[J]. 铁道工程学报,2019,36(9):43-48.
- [3] 吴金红,祝靖,曹建,等. 摊铺机行走监控系统研制[J]. 现代制造工程,2011(7):27-31.
- [4] 朱涛,李宏伟,杨军民,等. 基于模糊自适应 PID 的摊铺机行驶控制系统研究[J]. 制造业自动化,2014(3):69-72.
- [5] 高飞. 大跨度预应力混凝土桥梁施工控制技术[J]. 科技创新导报,2017,14(35):11-12.
- [6] 王磊. 试论预应力混凝土连续梁张拉端施工质量控制措施[J]. 四川建材,2019,45(5):144-145.
- [7] 李鹏鹏. 预应力混凝土连续梁桥线形监控及施工质量控制研究[J]. 安徽建筑,2019,26(4):129-132.
- [8] 李勇,杨超,张涛. 早强型高强度预应力水工钢筋混凝土温度裂缝控制预防措施研究[J]. 水利建设与管理,2019,39(3):17-23,10.
- [9] 代广伟,王金铜,胡天智,等. 超大截面预应力梁大体积混凝土低温浇筑质量控制[J]. 施工技术,2018,47(24):102-105.
- [10] 宋壬霖. 双塔三跨式预应力混凝土斜拉桥施工控制方法研究[J]. 公路工程,2018,43(6):203-206.
- [11] 焦安亮,张伟,袁涛. 预应力混凝土结构施工中应注意的 3 个问题[J]. 施工技术,2018,47(16):94-96.
- [12] 羌建军. 预应力技术在路桥工程中的应用及控制要点[J]. 建筑技术开发,2018,45(12):96-97.
- [13] 唐光荣. 改扩建公路中高边坡预应力锚索防护工程的质量控制与管理初探[J]. 黑龙江交通科技,2018,41(4):19-20.
- [14] 王建堰,王鹏程,赵凯. 悬臂浇筑预应力混凝土连续梁外观质量控制[J]. 山西建筑,2017,43(21):204-207.
- [15] 马延忠. 预应力混凝土框架结构设计[J]. 甘肃科技,2019,35(7):97-100,114.

收稿日期:2019-12-18

(上接第 135 页)

含气量明显降低,同时破坏泵筒内气液两相流的段塞流流型,从而避免了“气锁”现象的发生。

2) 由于变径防气抽油泵柱塞进入大直径段后泵筒内压力会突然增大到油管中的压力,致使抽油杆柱载荷突变,造成地面抽油机冲击振动。

3) 变径防气抽油泵下冲程时,由于在上冲程末端泵筒内的压力就达到了游动阀开启的压力,所以防气抽油泵在下冲程时游动阀会迅速开启,致使下冲程无冲程损失,有助于提高泵效。

参考文献:

- [1] 张宏录,谭均龙,易成高,等. 草舍油田 CO₂ 驱高气油比井举

升新技术[J]. 石油钻探技术,2017,45(2):87-91.

- [2] 高宇. 二氧化碳驱防气抽油泵研制及结构优化设计[J]. 石油矿场机械,2016,45(4):56-59.
- [3] RAHUL Dinesh Gala, KUH Priyamvada. Preventing gas locking in sucker rod pumps using an actuated traveling solenoid valve[J]. SPE,2012,165:39-42.
- [4] 万国强,李法军,孙冰,等. 基于 FLUENT 的液气混抽泵动态模拟与现场应用分析[J]. 石油机械,2017,45(2):106-111,115.
- [5] 周章根,马德毅. 基于 Fluent 的高压喷嘴射流的数值模拟[J]. 机械制造与自动化,2010,39(1):61-62,130.

收稿日期:2019-04-09