

无线数字传输技术下斗轮机远程自动化控制方法研究

陆春宏 谢华椿 李永忠 张 钊 张佳兴

龙滩水电开发有限公司合山发电公司 广西 玉林 546500

【摘要】：在斗轮机作业控制领域，传统方法多依赖有线连接实现控制，存在控制效率低下、易受外部环境干扰导致控制结果偏离预设目标的问题。因此，提出了无线数字传输技术下斗轮机远程自动化控制方法研究。首先建立斗轮机作业场景模型，模拟实际作业环境，使后续工作更具针对性和实用性；设计斗轮机自动化控制指令，明确斗轮机在不同作业情况下的操作要求；将设计好的自动化控制指令通过无线数字传输技术发送至斗轮机，实现远程自动化控制。实验结果表明，该方法应用后，斗轮机控制平均响应时间约为3秒，在运行轨迹、速度、取料量等方面的控制结果与预设值偏差较小，显著提高了斗轮机的控制精度和效率，能够更好地满足现代工业对斗轮机高效、精准作业的需求。

【关键词】：无线数字传输技术；斗轮机；远程；自动化；控制

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.004

引言

斗轮机是港口、电厂、矿山等行业中用于装卸材料的重要装备，其远程自动控制对提高生产效率和保证生产安全具有重要意义。目前，国内对斗轮机远程控制的研究虽已取得一定成绩，但还存在一些问题。其中，文献^[1]提出的研究思路是在斗轮机上加装数据采集模块，利用数据处理与分析实现自动控制，但其工作效率较低，易受外界干扰。文献^[2]已有研究利用PLC编程控制各环节，实现各机构的自动运行，但其对复杂环境的适应性有限，致使控制效果与设计目标偏差。

无线数字传输技术的特点是速度快、抗干扰能力强，而且安装和维护都很方便，这使得该项技术成为实现斗轮机远程自动化控制的一种新选择^[3]。在此技术支持下，斗轮机能够实时与远程控制系统进行有效通信，接收并执行来自远端的指令，从而达成远程自动化控制的目标。基于这一背景，本文研究了在无线数字传输技术支持下的斗轮机远程自动化控制方法，以期提升斗轮机在自动化控制方面的质量水平。

1 建立斗轮机作业场景模型

在斗轮机作业场景模型建立的过程中，首先，收集斗轮机作业的各类资料，包括斗轮机的技术参数、作业场地的地形地貌以及物料特性^[4]。其次，建立斗轮机作业的数学模型。其中，斗轮机的运动规律可以用运动学方程来描述，如下所示：

$$x(t) = x_0 + v_{0x}t + \frac{1}{2}a_x t^2 \quad (1)$$

其中， v_{0x} 是斗轮机在行走方向上的初始速度分量； a_x 是行走方向上的加速度； $x(t)$ 是斗轮机在行走方向上的位移； t 是

斗轮机运行时间。

物料的流动特性则采用连续性方程来描述，如下：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (2)$$

其中， ρ 是物料的密度； $\vec{v}$ 是物料的流动速度； $\nabla \cdot$ 是散度算子。

通过建立的作业场景模型，能够精确描述斗轮机的运动规律和物料的流动特性。该模型为后续的控制指令设计提供了一个虚拟的、但接近实际的作业环境，使后续的控制指令设计更具针对性和实用性。

2 设计斗轮机自动化控制指令

基于建立的作业场景模型，分析斗轮机在不同作业场景下的任务需求，确定每种作业任务的具体要求，如下表1所示。

表1 不同作业场景下的作业需求

序号	作业场景	作业需求
1	取料作业	取料量误差控制在±5%以内；取料速度稳定在2-3m/s；斗轮与物料堆的接触压力保持在10-15kN，以确保高效且安全的取料操作。
2	堆料作业	堆料高度误差不超过±0.5m；堆料速度控制在1.5-2.5m/s；物料堆的坡度保持在30°-35°，保证物料堆的稳定性，防止物料滑落。
3	移动作业	移动速度在0-5m/s可调；定位精度达到±0.1m，以满足不同作业场景下的位置需求。

根据作业任务的需求，将斗轮机的作业过程划分为不同的阶段和状态，包括启动阶段、正常运行阶段、暂停阶段、停止阶段等^[5]。针对不同的作业阶段和状态，设计相应的自动化控制指令，如下表2所示。

表2 斗轮机自动化控制指令设计

作业阶段	指令	设计
启动阶段	设备初始化指令	向斗轮机的各个执行机构发送初始化信号，使设备恢复到初始状态。
	启动顺序指令	按照设备自定的顺序依次启动斗轮机的各个系统。
正常运行阶段	取料作业指令	向斗轮驱动电机、悬臂回转电机发送转速控制指令、角度控制指令。
	堆料作业指令	向悬臂俯仰电机发送角度控制指令，向斗轮驱动电机发送转速和转向控制指令。
	移动作业指令	向行走电机发送速度和方向控制指令。
暂停阶段	暂停作业指令	向斗轮机的各个执行机构发送停止工作指令。
	状态保持指令	向各执行机构发送保持当前状态的指令。
停止阶段	正常停止指令	按照与启动顺序相反的顺序依次停止斗轮机的各个系统。
	紧急停止指令	向所有执行机构发送紧急停止信号，切断设备的电源。

确保控制指令具有明确性、可操作性和兼容性，能够准确指导斗轮机的操作。

基于建立的作业场景模型设计自动化控制指令，能够确保指令与实际作业情况紧密结合，明确斗轮机在不同作业情况下的操作要求，为后续的远程自动化控制提供准确的指令基础。

3 无线数字传输技术下斗轮机远程自动化控制

根据斗轮机的作业环境和控制要求，选择工作在 3.5GHz 频段，理论传输速率可达 10Gbps 的无线数字传输设备^[6]。安装和配置选定的无线数字传输设备，搭建如图 1 所示的无线传输网络。

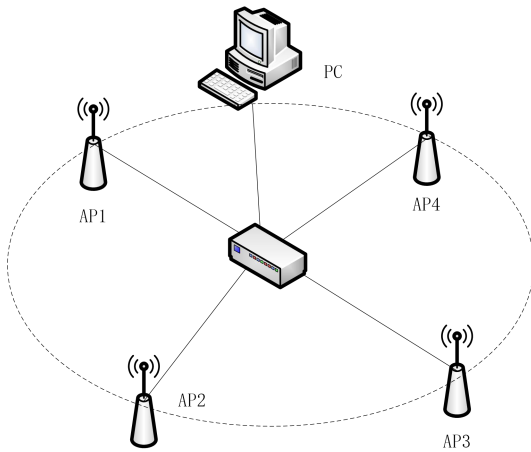


图1 无线传输网络架构

无线传输网络搭建完成后，采用二进制编码方式，对上文设计好的自动化控制指令进行编码，公式如下：

$$n_c = \left\lfloor \frac{\delta}{30} \times (2^5 - 1) \right\rfloor \quad (3)$$

其中， δ 表示自动化控制指令中的控制参数。将编码后的指令集合 I_c 通过搭建的无线传输网络发送至斗轮机。斗轮机端接收到编码后的指令集合后，需要对其进行解码：

$$\delta = \left\lceil \frac{n_c}{2^5 - 1} \times 30 \right\rceil \quad (4)$$

解码为斗轮机能够识别的控制信号，传输至斗轮机的控制系统，控制斗轮机的各个执行机构，实现斗轮机的远程自动化控制^[7]。

通过选择合适的无线数字传输设备、搭建稳定的无线传输网络、进行指令的编码与解码，实现了斗轮机的远程自动化控制。

4 实验分析

4.1 实验准备

由于在生产现场开展实验会对斗轮机的正常作业造成干扰，进而影响电厂的正常生产，实施难度极大。因此，本研究决定采用实验室实验的方法来验证本文所提出方法的可行性。实验选取了相同型号的三台斗轮机，其具体的规格参数如下表 3 所示。

表3 斗轮机规格参数

序号	参数	数值
1	额定取料能力 (t/h)	3000
2	斗轮直径 (m)	6
3	悬臂长度 (m)	35
4	回转速度 (r/min)	0.1-0.15
5	行走速度 (m/min)	0-30

将三台斗轮机划分为 A、B、C 三个实验组。其中，A 组应用本文提出的无线数字传输技术下的自动化控制方法，B 组基于文献^[2]方法实现，C 组则参照文献^[3]方案部署，以此构建对比实验体系。正式实验前，三组设备均执行了全面的试运行，确认各设备功能状态正常，以保障后续对比实验数据的准确性与结果可靠性。

4.2 自动化控制结果

在远程控制中心设置了完全相同的控制指令，包括斗轮机启动、停止、调速、取料等核心操作。同时启动 A、B、C 三组斗轮机，记录每组斗轮机从接收到控制指令到实际开始执行相应动作的时间，即响应时间，并作出对比，结果如下图 2 所示。

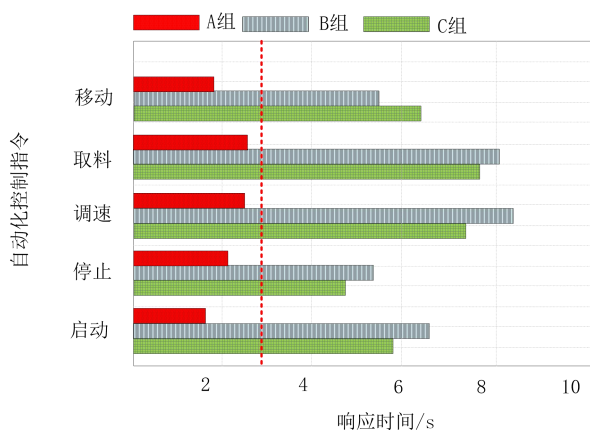


图2 斗轮机自动化控制响应对比

由图2的对比结果可以看出，A组斗轮机的响应时间明显短于B组和C组，平均响应时间约为3秒，而B组和C组的平均响应时间介于6秒-8秒之间，表明本文提出的控制方法在指令响应速度上具有显著优势。

为更全面地评估三种控制方法的性能表现，模拟设定了远程自动化控制参数的预设值。分别运用这三种控制方法，依据预设值对三组斗轮机展开操作。在操作过程中，借助传感器来收集斗轮机的参数控制结果。待操作全部结束后，把控制所得到的结果与预先设定的值进行对比分析，如下表4所示。

表4 斗轮机远程自动化控制结果

项目	预设值	A组	B组	C组
运行轨迹 (m)	100	100.5	95	106

参考文献:

- [1] 孙超宇.斗轮机自动化控制系统的设计与实现[J].数码精品世界,2023(4):223-225.
- [2] 孙涛朱愈胡振中.基于 PLC 的斗轮机无人值守智能控制策略设计[J].工业仪表与自动化装置,2022(6):100-104.
- [3] 李海涛,薛家阳,李军,等.火电煤场门式斗轮堆取料机自动控制系统的研究及应用[J].自动化应用,2023,64(9):48-50.
- [4] 王海波,王永波,樊玉江,等.基于 5G 专网的臂式斗轮机堆取料自动控制[J].中国宽带,2023,19(9):64-66.
- [5] 张学丽.输煤系统斗轮机控制系统技术改造研究[J].数字化用户,2022(33):89-91.
- [6] 林国栋,陈志钊.煤场斗轮机智能控制研究[J].电力设备管理,2023(10):274-276.
- [7] 张民,方杰,侯小青,等.斗轮机有线/无线双冗余通讯控制系统研究[J].今日自动化,2023(4):16-18.

速度 (m/s)	2	2.02	1.8	2.4
取料量 (t)	500	502	490	515

从表4的对比结果能够清晰看出，与两种传统控制方法相比，本文提出的基于无线数字传输技术的远程自动化控制方法（A组）表现出显著优势。具体如下：在运行轨迹上，A组的运动误差最小，只有0.5%，而B组与C组的误差为-5%、6%，说明A组具有较高的操作精度；在速度控制上，A组的偏差为1%，B组和C组分别为-10%和20%，说明A组能较好地保持预定转速；在取料量控制上，A组为0.4%，B组为-2%，C组为3%，表明A组的斗轮机给料控制更加稳定、可靠。通过以上研究结果可知，本文提出的基于无线数字传输技术的远程自动化控制方法，不仅能够有效地减小斗轮机的控制偏差，还可以缩短远程自动化控制的响应时间。该方法更符合现代工业生产对斗轮机高效精确操作的需求，是一种值得推广的技术。

5 结语

本文依托无线数字传输技术，对斗轮机远程自动化控制展开了高效设计。整个设计流程紧密衔接，先构建操作情景模型以模拟实际作业环境，再基于该模型设计自动控制指令，最后借助数字无线数字传输技术实现指令的可靠传输与执行。研究结果表明，运用此方法后，斗轮机自动化控制的平均响应时间约为3秒。同时，在各项关键参数的控制上，实际结果均能很好地契合预先设定的要求，偏差较小。因此，本文的研究成果具有重要的理论价值，可为现代工业的发展提供有力的理论支撑。