

文章编号:1671-251X(2024)S2-0053-04

回转窑无线温度连续测量系统

王笃鹏, 杨勇, 闫玉麟, 王昊

(抚顺矿业集团有限责任公司 页岩炼油厂, 辽宁 抚顺 113000)

摘要:回转窑工作时不停旋转,温度信号不能通过硬线方式传输,目前回转窑无线温度测量采用 ISA100.11a, Wireless, ZigBee 等通信协议,多使用 2.4 GHz 频段,使用电池供电,存在信号传输延时、长时间连续运转需要均衡考虑运行周期和数据采集周期等问题。提出一种无线温度连续测量系统,该系统将测量的多路温度信号经过多时分路编码形成一组频率不同的无线电信号,接收盒通过天线将频率不同的无线电信号转换为数据,解码出温度信号;该系统使用安装在炉体表面的转子线圈切割磁感线产生电流形成电压的方式持续给发射盒内的设备供电。实际运行结果表明该系统的测量精度高、数据采集周期小,能够连续平稳运行。

关键词:回转窑;无线温度测量;多时分路编码;天线;磁感线

中图分类号:TD655

文献标志码:B

Wireless continuous temperature measurement system for rotary kiln

WANG Dupeng, YANG Yong, YAN Yulin, WANG Hao

(Shale Oil Plant, Fushun Mining Group Co., Ltd., Fushun 113000, China)

0 引言

抚顺矿业集团有限责任公司页岩炼油厂 ATP (Alberta Taciuk Process) 车间能处理 0~12 mm 小颗粒油页岩的 ATP 干馏装置。ATP 炉是卧式回转窑路,长度 60 m,直径 8 m,转速 4 r/min,分为预热区、燃烧区、干馏区。ATP 干馏工艺生产过程十分复杂,页岩进入预热区进行预热,升温至 350 °C,然后进入干馏区升温至 500 °C 进行干馏,干馏完成后进入燃烧区进行燃烧,燃烧后进入预热区外侧同进入预热区的页岩进行热交换降温。在整个换热干馏过程中,温度梯度的控制是核心目标,是否是最佳的干馏温度直接决定油页岩干馏的产油率。温度过低会造成干馏不完全,在燃烧区剧烈燃烧损坏设备,温度过高会造成在含氧状态提前干馏,发生燃烧甚至爆炸。因此,对分布在整个 ATP 炉的 60 个温度测点进行实时测量至关重要。

回转窑工作时不停旋转,温度信号不能通过硬线方式传输,因此在满足安装条件、工艺条件、工厂复杂电磁环境下,实时、准确地将温度数据传送至控制系统成为关键。目前主流厂家采用 ISA100.11a, Wireless, ZigBee 等通信协议,多使用 2.4 GHz 频

段,发射盒安装在炉体表面,使用电池供电,存在 3 个问题:① 2.4 GHz 频段波长较短,绕射性能低,穿墙能力差,尤其是回转窑尺寸大时需要安装多个中继器进行信号中转,导致信号传输延时^[1]。② 测温装置可以设定数据发射周期,发射周期越小,电池寿命越少。对于要求长时间连续运转,同时对数据实时性要求较高的装置就需要均衡考虑运行周期和数据采集周期,保证在运行周期内不会发生电池没电的问题,防止出现停机更换电池的麻烦。③ 一般的无线测温系统均安装在回转窑的炉壁上,露天放置,停工时可能出现低温情况,运行时出现高温情况。锂电池的工作温度范围通常在-20~60 °C,当温度低于 0 °C 时,锂电池的性能会逐渐下降,放电能力减弱。在零下 20 °C 时的性能只有其水平的 50%。此外,高温也会对锂电池造成不利影响,当电池温度超过 60 °C 时,锂离子电池有过热燃烧、爆炸的风险^[2]。

本文提出了一种无线温度连续测量系统,针对上述问题,该系统的解决方案如下:① ATP 测量的多路温度信号经过模数转换后,经过多时分路编码形成一组频率不同的无线电信号,不同的频率分别代表起始检查位、同步脉冲信号、连续温度信号、冷

收稿日期:2024-12-01;责任编辑:王晖。

作者简介:王笃鹏(1984—),男,辽宁阜新人,工程师,研究方向为自动化仪表,E-mail:1151358794@qq.com。

端补偿信号结束,开始下一次数据传输,接收盒通过天线将频率不同的无线电信号转换为数据,解码出温度信号。将温度信息转换成 ModBus 协议后上传至控制系统。② 无线测温系统使用安装在炉体表面的转子线圈切割磁感线产生电流形成电压的方式持续给发射盒内的设备供电,感应发电机通过输入的持续转换的交流电压形成稳定的磁场,感应线圈的电缆线在磁场中产生电流,经过转换设备形成稳定的直流电压,给温度测量模块和无线信号发射模块供电。

1 无线温度连续测量系统构成

在 ATP 炉外壁安装发射盒,各个温度测点的铠线热电偶沿炉外壁布置到发射盒处,接收盒安装在地面,天线安装在 ATP 炉的 4 个方位,1 台天线集中器用来接受天线的信号,集中后接入接收盒内,接收发射机发出的无线信号,接收盒内的板卡按照多时分路编码的规则转换成 60 路的温度数据,通过 ModBus 协议传输至 DCS。无线温度连续测量系统主要包括无线信号传输、天线、非接触式供电 3 个部分,如图 1 所示。

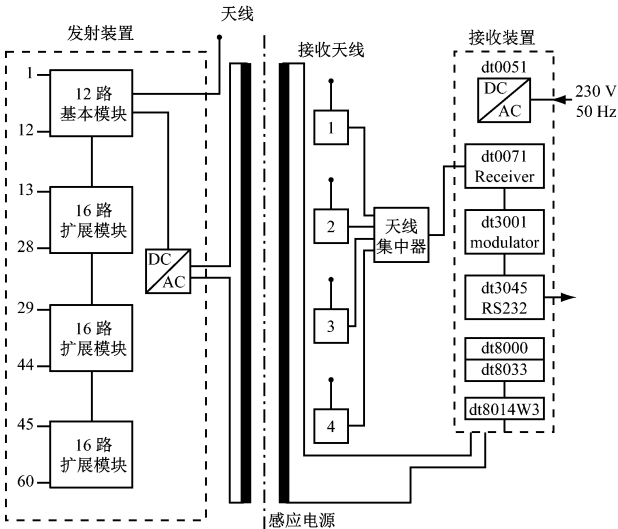


图 1 无线温度连续测量系统结构

1.1 信号传输

炉体上传感器输出的物理信号放大、调制后以无线方式发射至固定件上的信号接收机,并在鉴频、解调、滤波、放大后,将信号以模拟(或数字)方式输出,如图 2 所示。

- 1) 传感器:热电偶测量温度的变化,由于测温点分布在 ATP 的各个位置,采用 6~60 m 的铠线热电偶。
- 2) 校正电路:评估诊断传送信号^[3]。
- 3) 时分多路编码器:转换测量信道并连续校正信道至放大器,产生时分多路信号帧。

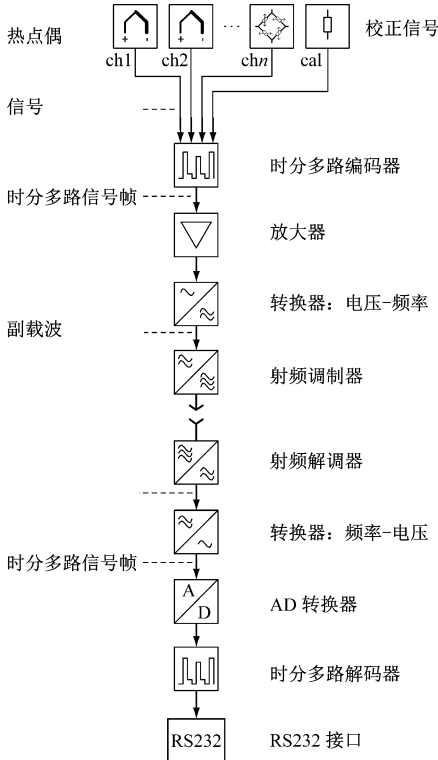


图 2 信号传输流程

- 4) 放大器:时分多路信号帧由 1 台放大器调节,增益(测量范围)可调。
- 5) 信号转换:第 1 次调制(电压频率)传输转换后的信号,使用发射机使整个温度在一定范围保持稳定。
- 6) 射频调制器:紧随其后的是二次频率调制。
- 7) 天线系统:射频信号与发射天线接触。在静止部分,接收天线将射频信号导入接收器。
- 8) 射频解调器:调谐器解调射频信号,目的是复原副载波信号。
- 9) 信号转换:二次解调生成时分多路信号帧。
- 10) 模数转换器:时分多路信号帧的电压信号经过模数转换生成数字信号。
- 11) 时分多路解码器:将时分多路信号帧分成单个信号。
- 12) RS232:转换成 485 后单个信号通过 ModBus 协议传输至电脑端进行显示处理。

1.2 天线

天线用于测量数据从发射机远程传输至接收机的免接触式传输,如图 3 所示。发射天线安装在炉体表面的发射机上,随炉体旋转。安装在炉体周围的 4 根固定式天线,汇总到天线集中器上,传输给射频调节器。

1.3 非接触式供电

感应发电机贴近 ATP 炉壁安装,感应线圈电缆正对着感应发电机,发电机形成交变电磁场,感应电压独立于转子线圈的运动^[4]。非接触式供电结构

如图 4 所示。

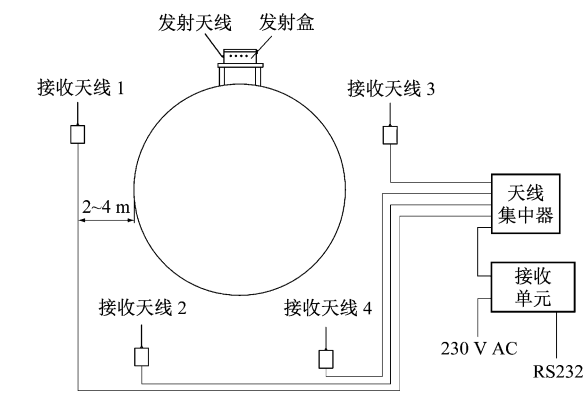


图 3 天线结构

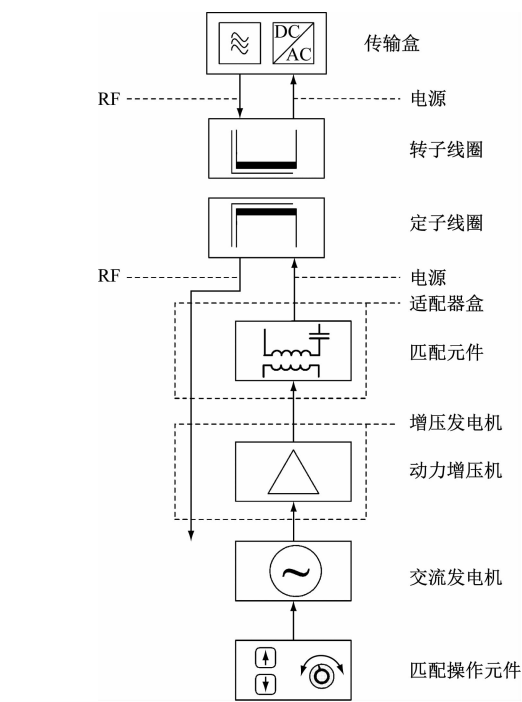


图 4 非接触式供电系统结构

- 1) 操作元件:操作元件用于设置感应电源的级别,级别过低导致故障,级别过高毁坏发射机。
- 2) 交流电压发电机:发电机形成正弦波电压,其级别通过操作元件做出规定。
- 3) 动力增压机:为了在相应的低阻抗处操作线圈系统,要对交流电压增压。
- 4) 匹配元件:匹配元件整合入适配器盒,包括用于调节阻抗的变压器和共振电容。
- 5) 定子线圈:交流电压形成了定子线圈处的交变磁场。
- 6) 转子线圈:交变磁场引起转子线圈内的交流电压。
- 7) 发射机:交流电压在发射机内被整流和稳定后给发射机和与其连接的所有组件供电。

2 关键技术

2.1 温度信号并联总线方式

时分多路测量数据远程传输系统的主要部件是

连接热电偶传感器的基本模块(TC 传感器),可选的测量信道数量可使用扩展模块进行扩展^[5](根据需求扩展 3 个模块满足 60 个温度测点的要求)。基本模块和扩展模块使用并联总线,总线内传输的信号包括用于扩展模块的供电电压、时分多路控制信号、模拟测量信号,如图 5 所示。

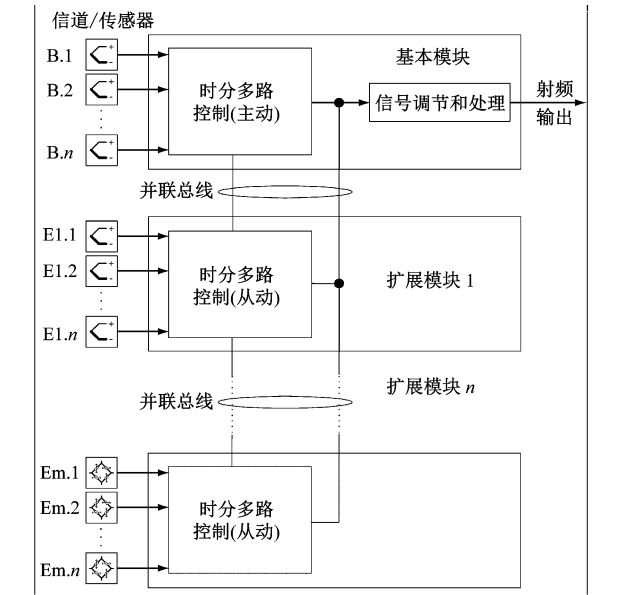


图 5 温度信号并联总线连接方式

2.2 无线信号的时分多路信号帧

将温度信号转换成频率信号时,经 FM/FM 扩频调制后的射频工作频段在 30~330 MHz 内,形成时分多路信号帧。编码规则如图 6 所示^[6]。1 个周期由 63 个频率信号组成,先发出检查信号“0”,然后 sync 同步脉冲用于解码时分多路信号的触发器,之后 ch1, ch2, ..., ch60 测量信道信号,最后 ref 监控发射机温度和内部冷端温度补偿。如果热电偶或其中 1 条连接导线断,测量信道转换至过载(负)^[7]。

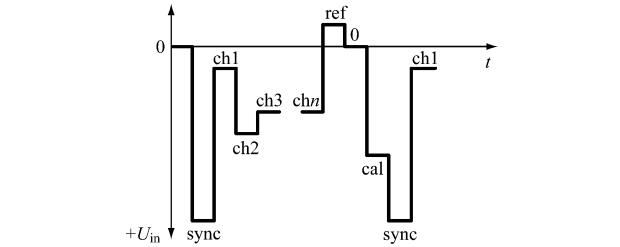


图 6 时分多路信号帧编码

2.3 热电偶信号的冷端补偿方法

基础模块的传感器接头(热电偶)处,有一个温度传感器用来测量此点的环境温度。该测量用做信号处理,以使接收机输出处能发出校正后的输出电压,完成内部的温度补充计算,如图 7 所示。

2.4 温度信号的校准方法

- 1) 按照校准设置连接系统,打开并等待直到达到运行温度,根据 K 型热电偶参考表,对温度通道输入标准电压^[8]。

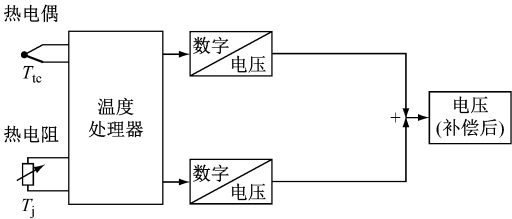


图 7 温度内部补偿原理

- 2) 电压 $U_{in} = 0\text{ mV}$ 对应的量程下限温度值 $T_{tc, zero} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 记录 $D_{out, zero}$ 的数值(接收机处的数字值输出值对应零点)。
- 3) 电压 $U_{in, max} = 52.410\ 27\text{ mV}$ 对应的量程上限温度值 $T_{tc, fs} = 1\ 300\text{ }^{\circ}\text{C}$, 记录 $D_{out, fs}$ 的数值(接收机处的数字值输出值对应上限)^[9]。
- 4) 计算经过内部补偿的温度值 T_j 。

$$T_j = a_{tc} D_{out} + b_{tc}$$

式中: $a_{tc} = \frac{U_{in, max}}{(D_{out, fs} - D_{out, zero})}$; $b_{tc} = -a_{tc} D_{out, zero}$ 。

3 结语

无线测温系统经过运行测试, 可实现 ATP 干馏炉 60 个温度全天候连续稳定的测量, 测量精度达 $\pm 0.1\%$, 刷新频率达 500 ms, 低通信延时, 且连续供电不停机, 射频工作频段不容易受外部复杂电磁环境干扰, 信号稳定。对于要求连续运行、数据刷新快的场所是一个切实可行的解决方案。

参考文献:

[1] 顾志恩, 贺轼, 吴梦可, 等. 基于 BLE 无线网络的智慧

(上接第 34 页)

3 实施效果

将上述优化后的通风系统应用于某煤矿, 在实际生产中将原有通风效果和优化后的效果进行对比, 区域内回风总量较优化前有大幅提升, 增加了 $800\text{ m}^3/\text{min}$, 通风阻力降低了 100 Pa; 对综采工作的立眼实施贯通, 整体的通风阻力下降了 145 Pa, 进风总量上升了 $1\ 050\text{ m}^3/\text{min}$; 封闭废旧的巷道(总长度约 1 150 m), 节约了风量 $700\text{ m}^3/\text{min}$ 。矿井主要通风机运行工况达到优化方案设计要求, 通风系统优化改造达到预期效果。

4 结语

针对煤矿通风量减少、通风阻力变大等情况, 对煤矿通风系统进行优化和智能化管理。定期测定通风参数, 通过数字化煤矿通风系统构建、通风机远程

供热系统设计[J]. 工业仪表与自动化装置, 2024(3): 42-46.

[2] 危水良, 严佳明, 赵卫国. 无线测温系统在钢铁企业生产中的应用与研究[J]. 中国计量, 2024(3): 120-125, 139.

[3] 冯起辉, 李欣洋, 辛明勇, 等. 基于磁场取能的无源无线温度传感器研究及应用[J]. 自动化与仪器仪表, 2023(11): 277-281, 285.

[4] 余群, 王骞, 王思峰, 等. 高精度轻质无线测温系统研制与实现[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(4): 49-55.

[5] 卢德伦, 张云. 基于 LoRa 技术通信的回转窑温度采集系统设计[J]. 武汉理工大学学报, 2022, 44(6): 98-102.

[6] 庞俊奇, 马宏帅, 李谦, 等. 旋转部件温度参数同步无线测量技术研究[J]. 仪表技术与传感器, 2024(8): 121-126.

[7] 赵坚. 无线测温技术在旋转炉上的应用[J]. 纯碱工业, 2014, 30(12): 44-46.

[8] 马欣欣, 龚立娇, 李伊博. 一种基于压电俘能器供电的温度测量系统设计[J]. 自动化与仪表, 2022, 37(1): 85-89, 99.

[9] 刘斌, 张国彦, 丁仁杰, 等. 基于微能量收集的电力设备无线测温技术研究[J]. 高压电器, 2024, 60(2): 216-222.

[10] 程志远, 吴晓婷, 贵子航, 等. 旋转式无线充电系统损耗及温度研究[J]. 电力电子技术, 2023, 57(11): 59-62.

调节、通风参数精准监测、通风网路解算、故障诊断预警及分析决策等方式管控通风安全, 实现高效安全生产。

参考文献:

[1] 掌奕然, 陶维国, 郭传清, 等. 济宁二号煤矿通风系统优化改造[J]. 工矿自动化, 2023, 49(8): 134-141, 155.

[3] 张佳琦. Z 煤矿通风系统可靠性评价研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2022.

[4] 杨仁树, 张召冉, 安晨, 等. 煤矿岩巷掘进爆破掏槽孔超深问题探讨[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(1): 10-23.

[5] 马宇飞. 煤矿通风防火方法[J]. 煤炭工程, 2018, 50(增刊 1): 103-106.

[6] 杨俊哲, 辛德林, 张世良, 等. 长距离缓坡煤矿斜井盾构法施工通风系统研究[J]. 煤炭工程, 2016, 48(6): 1-3, 7.

[7] 张英. 大阳泉煤矿通风系统设计优化改造[J]. 煤炭工程, 2012(6): 21-23.