

雷达测距技术在智能化综采工作面中的应用研究

王亚洲

(焦作煤业(集团)新乡能源有限公司 河南 新乡 453000)

摘要: 电子技术的发展推动了微波雷达测距、超声波测距、激光测距的发展,微波雷达测距与激光测距适合用于军事工业,超声波测距技术难度低,可用于民用推广。采用雷达测距技术进行智能化综采作业面的检测分析,从中获得作业面采煤机姿态、液压支架与刮板输送机移动量,从而减少巡查人数,在无须人员干预的情况下提高工作效率,并达到安全生产的目的。

关键词: 雷达测距技术;智能化综采;雷达测距系统;采煤机

0 引言

煤矿井下综采作业面在回采工作中会遇到质量问题,导致施工风险加大,工作效率降低。不管是自动化采煤还是人工采煤,综采工作面的平整度都关系到作业效率。为了防止回采期间因人员的干预而造成安全事故,在应用采煤技术之前可以设置监控系统,依靠雷达测距系统完成无人值守采煤,工作人员在调度室内即可对井下设备设施进行远程操作。

1 雷达传感器的结构与原理

微波线性调频连续波雷达结构类似于脉冲雷达,包含射频前端模块、电路模块、信号处理模块三部分。射频前端模块的收发天线主要分为发射天线与接收天线,负责雷达信号的发射与接收工作,将调制完成后的信号经过压控振荡器发射出去,再接收探测目标反射回来的信号。使用收发共用天线,可有效降低雷达传感器结构的复杂程度。压控振荡器是产生调频波的重要装置,也是雷达传感器的设备核心,具体指输出频率与输入电压间的振荡电路。定向耦合器能够隔离信号和混合信号,主线上的功率经多通道耦合在副线中,各项功率之间不会产生干扰,可以沿着副线的同一方向传输。因为测距雷达会对发射信号与回波信号进行混频处理,滤波之后得到中频信号,随后计算雷达探测目标距离,掌握速度信息,在这之前需要分离发射信号。雷达传感器能够对压控振荡器调频之后的信号进行分离处理,一部分信号通过天线发射出去,一部分信号会传入混频器,以作为本振信号等待使用。混频器作为雷达传感器的重要组成部分,具有对发射信号与回波信号进行混频处理、频率转换的作用,在输出混频之后得到的就是中频信号。

信号处理模块是雷达测距系统应用的重要部分,主要负责对信号的集中处理,其中包含 DSP 处理器与信

号调制两部分。DSP 处理器可以对中频信号完成快速傅里叶变换(FFT)处理,从而获得中频信号频率,再计算得出探测目标距离信息。信号调制部分可以对偏置电压进行控制,从中得出信号发射过程中的频率变化情况,以此达到调制信号的目的。经过混频器后的信号,可使用傅里叶变换法,对信号离散化处理,随后进行变换,将时域信号变成频域信号,得出信号频率值。此外,还可以使用小波分析方法。

2 雷达测距技术在智能化综采工作面的应用分析

2.1 雷达测距系统

2.1.1 系统简介

雷达测距技术是近年来我国煤矿开采行业研究的热点,可用于实时检测综采工作面的采煤机姿态或设备与目标的距离,对液压支架平直度进行有效监控分析,控制系统经过数据采集与分析,显示工作面的平直度情况,确立工作面模型,对液压支架发出动作指令,完成相应动作。雷达测距技术立足于“机械化换人”和“自动化减人”的工作理念,将其应用于智能化采煤作业面,可以保障煤矿回采作业安全,实现“无人值守”的安全生产目的。激光测距有着单色性高、分辨率高及精度高的应用优势,可发出近似于直线的光束,能量十分集中,即使传输距离较远也不容易发生扩散。常见的雷达激光测距方法主要有脉冲式与连续波式两种。脉冲式激光测距需要计算模块发射时间与接收时间之间的间隔,与光速相乘之后再除以 2,就是激光器与被测目标表面间的距离。连续波激光测距就是发射连续的光束,通过测量发射光束和经过目标反射回来的光束相位变化情况,从而获得设备与目标的距离,测量结果误差小,且精度较高。

在液压支架两前立柱中间安装雷达,保持雷达稳定安装,再通过发射定向信号,将雷达透射在挡板反射器

中,使反射器与挡板之间相对固定。遇到目标之后,反射器会反射信号,信号被反射回来后需要使用雷达测距装置来接收,再经过信号的放大处理,测试信号的飞行时间,随后将计算出的飞行时间换算为两个点的距离信息,最后将距离信息发送到雷达系统内,由决策控制系统完成距离信息的采集与反馈。

超声波测距方法虽然成本较低,操作便捷,但是超声波在远距离探测中使用效果容易受到影响,如果温度变化幅度较大,也会干扰超声波雷达的距离探测精度,比如 0℃ 温度下超声波的传播速度是 332m/s,但是在 30℃ 的环境下,超声波的传播速度可以提升到 350m/s。环境越恶劣,超声波的测距性能就越不理想。在三角测距原理之下,激光雷达传感器成本低,适用于中近距离的测量,远距离测量精度较差,且容易受到干扰,一般会用在室内。对于煤矿开采工作面的雷达探测,不适宜采用超声波探测方式。综采工作面一般会使用微波雷达探测技术,其原理类似于超声波探测方式,但微波探测的性能不会受到目标物外观影响,也不会受到自然环境的干扰,即使探测目标距离远也能保持较小的探测误差,测距精度高,且系统响应速度较快。

2.1.2 雷达测距系统硬件

在雷达测距系统中,需要用到的硬件部分如下:

(1) 电源模块。硬件部分的设计关键在于雷达电源模块。为了使电源转换效率充足,使用 K7805 电源模块作为雷达测距系统电源模块,在达到预期转换效率的同时,还能提升电源工作效率,工作期间无须使用散热片。此外,K7805 电源模块的波纹特性与噪声较好,在电路内加入 TVS 管,可以对电路展开过电压保护操作。

(2) 通信模块。选用 RS485 通信模块,再通过 Modbus 通信协议完成雷达测距系统的通信设计,以 MAX3802 作为通信模块的接口芯片,为防止过大的电压差影响通信效果,将 TVS 管加入电路内,以此实现对电路的防浪涌保护。

(3) 频率输出电路。设计雷达测距系统电路时,设计人员应确保雷达集控系统与频率输出电路间的兼容性,可以将信号输出频率确定在 200Hz 以上,但最大不能超过 1000Hz。为保障集控系统运行的稳定性与安全性,可以将 TVS 管加入频率输出电路端口处,发挥防浪涌和防雷技术的应用优势,彰显集控系统在雷达探测中的作用。

2.1.3 雷达测距系统软件

现阶段,雷达探测技术在采煤作业面的应用效率显著提升。在实际雷达测距工作中,应注意雷达探头有可能受到地下物体的遮挡,导致雷达测距数据准确度受到影响。为了解决这一问题,现场技术人员应科学地分析每个雷达采集值,随后在软件程序中记录信息强度,将

信息顺序排列后绘制回波曲线,输出与最大信息强度点对应的距离值。如果探头在移动的过程中被地下物体遮挡,此时可选择该方法滤除移动物体,再逐一排除物体对探头产生的干扰,提高雷达测距的准确程度。

2.1.4 雷达测距系统上位机

为了直观地显示物体信息,需要在雷达测距系统中进行上位机软件的设计,同时编写上位机软件,以准确地显示物体高度,同时设置报警值。上位机软件能够将历史报警值存储起来,方便后续技术人员进行工作记录的查询。

2.2 雷达安装位置

综采工作面生产工作期间,伴随着采煤设备正常向前回采推进,以及液压支架拉架和推溜动作完成后,移架会在采煤设备后滚筒的 2 架之外进行,按照相应的顺序移架,其中移架的步距在 700mm 左右。雷达设备应用时存在一定的测距盲区,大约 15m,综采工作面上的液压支架宽 1.5m,所以需要在综采工作面每相隔 6 架或者 8 架的位置安装一个测距,再根据综采工作面的具体情况布置雷达测距仪的安装数量。

2.3 推进距离探测

雷达系统利用测试回波信号时间的测距工作原理,完成距离测试,具体如图 1 所示。 x 指的是第 1 组运输机溜槽推进距离; d 指的是工作面在初始状态之下运输机中部槽与雷达中心点之间的距离,一般可使用激光雷达进行测量,经过运输机的电缆槽垂直位置获得距离数据; D_1 指的是雷达 2 测量第 1 组第 1 个输送机槽时的距离,此时的垂直角度是 0°。公式如下:

$$x = D_1 \sin \alpha - d \quad (1)$$

按照公式 (1) 所述,依据 x 来判断推进距离是否真实有效。在运输机溜槽正式推进之前,可以使用雷达 2 来测量,推进之后用雷达 2 负责校准,以此确定测量的精准度。校准之后,雷达 1 扫描溜槽进行定位,第 2 组溜槽推进时再由雷达 1 负责校准。

2.4 采煤机角度探测

采煤机角度探测也被称为采煤机倾斜探测。由于综

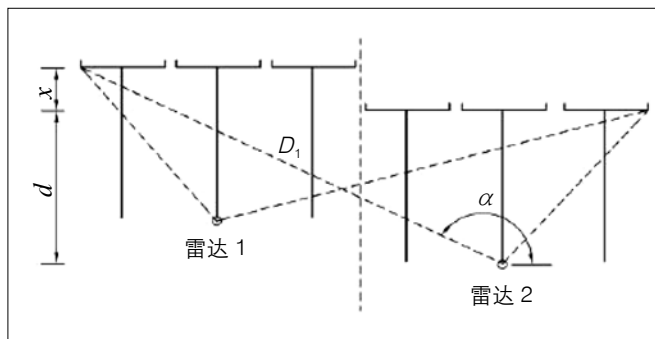


图 1 雷达距离探测的工作原理

采工作面中刮板输送机和电缆槽采用了刚性连接方式, 所以采煤机应用雷达探测技术工作时, 需要将电缆槽的实际倾斜角度转换为采煤机的倾斜角度, 电缆槽上安装反光板, 角度 A 和 B 分别指的是雷达水平扫描角度和技术要求的俯仰角, 而角度 C 指的是雷达探测设备垂直扫描的角度, 具体如图 2 所示。

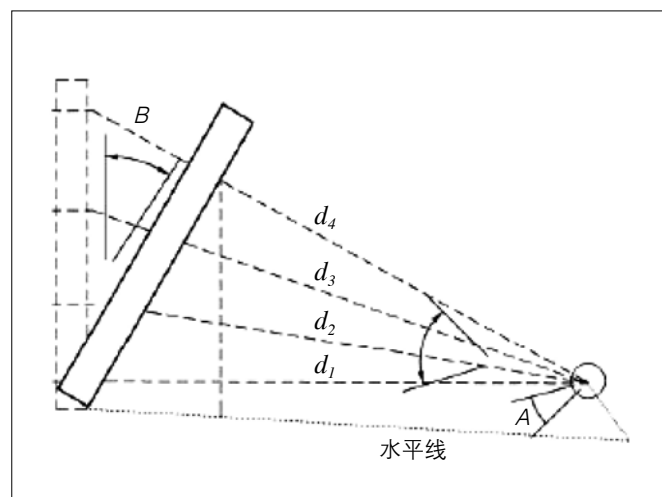


图 2 雷达角度探测原理

如图 2 所示, 关于角度的公式如下:

$$\tan B = (d_1 \cos A - d_4 \cos C \cos A) / (d_4 \sin C) \quad (2)$$

$$B = \arctan \{ (d_1 \cos A - d_4 \cos C \cos A) / (d_4 \sin C) \} \quad (3)$$

3 试验结果分析

在实际煤矿综采工作面中利用雷达探测系统进行井下试验, 从中获得雷达与综采作业面电缆槽的间距, 要求测量误差在 20mm 以下。控制算法之后, 将结果输出成采煤机姿态、液压支架和运输机平直度的数据形式, 对数据进行建模处理, 显示设备实际距离信息, 整合各个系统。

当液压支架发生倾斜时, 雷达也会因此而发生摆动, 此时雷达测距系统测得的数据有可能不准确。另外, 刮板输送机电缆槽也会因为变形的影响而出现数据不准确的问题。针对这一情况, 通过对雷达测距及数值的研究, 提出以下解决方案: 对中部槽平面边缘的位置, 采取雷

达测距成像的方式, 计算平面距离差, 当中部槽平面距离差超过 20mm 时, 需要将测量结果反馈给雷达系统的控制部分, 主机控制系统能够通过驱动电磁阀调节距离, 在千斤顶推移的情况下使平面距离差缩小到 20mm 范围内。此外, 还可以对刮板输送机的中部槽位置展开角度测试, 如果角度超过 5° , 需利用控制系统或者人工干预, 以此达到角度控制的目的。可以采用加设反光板的方式, 或者使用不锈钢板来代替反光板的方式完成雷达信号的反射。

4 结语

总而言之, 科技的进步使人工智能逐渐取代了岗位人员, 综采作业面无须岗位人员参与作业, 雷达探测技术可代替岗位人员进行测距分析, 优化了综采工作面的生产流程。通过对雷达测距系统的软硬件设计, 可以明确雷达的安装位置, 做好推进距离探测和采煤机角度探测, 并根据实际情况做出调整, 以减轻岗位人员的劳动强度, 推进无人化综采工作面建设, 为后续数字化矿山发展奠定基础。

参考文献:

- [1] 姜朔. 基于光频调制的高精度激光雷达测距技术研究 [D]. 北京: 中国科学院大学 (中国科学院光电技术研究所), 2021.
- [2] 聊冉. 基于 FMCW 的高分辨率激光雷达测距技术研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2021.
- [3] 徐俊楠. 激光雷达系统测试数据处理及评价 [D]. 廊坊: 北华航天工业学院, 2021.
- [4] 王俊. 基于自动驾驶的激光雷达测距技术研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2020.
- [5] 舒香. 基于脉冲位置调制的激光测距技术研究 [D]. 北京: 中国科学院大学 (中国科学院光电技术研究所), 2020.
- [6] 隽子航. 超声波测距的技术现状及前景 [J]. 祖国, 2018(21): 134-135.
- [7] 沈益骏, 李博, 王鹏皓. 雷达液位计测距技术在船舶水尺计重中的应用 [J]. 中国舰船研究, 2017, 12(06): 134-140.