

「试验系统」

基于全球卫星导航系统的列车试验线末端防冒进系统设计

文/中车株洲电力机车有限公司 朱跃欧 罗显光 彭冬良 杜求茂

设计了一种基于全球卫星导航系统的列车试验线末端防冒进系统。该系统通过接收、采集卫星信号和列车速度信号，实时定位车辆位置，并计算车辆距末端距离和紧急制动距离，判断是否触发紧急制动。试验表明，所设计的末端防冒进系统满足功能要求。

列车试验线路由于无ATP保护，在列车运行或调试时，存在列车冒出线路末端、冲出轨道的风险。为了减少该风险，有必要在试验线调试列车上设置一套列车试验线末端防冒进系统。

全球卫星导航定位系统（Global Navigation Satellite System），即GNSS，泛指美国的GPS、俄罗斯的GLONASS、欧盟的GALILEO以及中国的北斗，目前使用范围较多的是美国的GPS系统。GNSS能够为全球用户提供高精度定位、测速和时间信息。结合列车试验线路的实际状况和改造成本，可采用全球卫星导航定位系统信号来标定线路坐标信息和定位列车的实际位置，实现列

车试验线末端防冒进系统。

列车试验线末端防冒进系统原理

1. 列车末端防冒进系统方案

列车试验线末端防冒进系统主要功能如下：实时检测列车当前位置，计算列车与终点的距离，在紧急制动减速度条件下，计算列车在该位置处的安全运行速度和安全距离，并与实际运行速度和距终点距离相比较，判断是否需要触发列车紧急制动，防止列车冒出试验线路终点。基于全球卫星导航定位系统的列车试验线末端防冒进系统方案如图1所示。

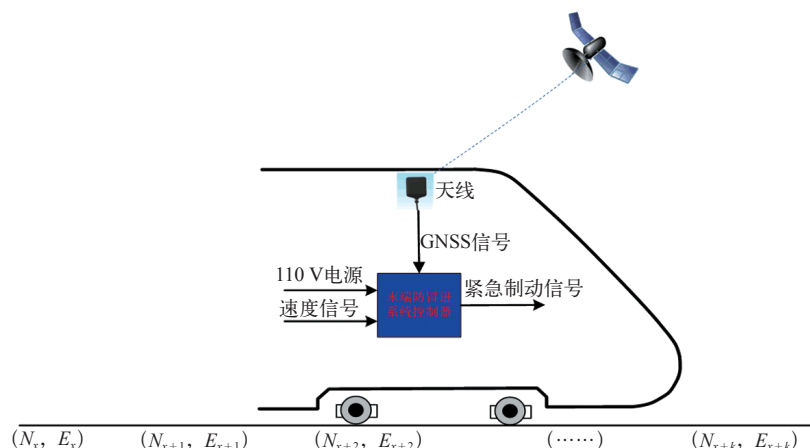


图1 系统方案图

2. 卫星信号数据获取

目前,各种型号的卫星信号接收芯片基本都遵循美国国家海洋电子协会的NMEA-0183标准格式。根据该标准规范,接收设备可通过串口或USB口等通道获得UTC时间、经度、纬度、GPS状态、用于定位的卫星数量、海拔等信息,依据这些信息可准确计算出列车位置和运动轨迹。

3. 线路数据标定

在初次使用防冒进系统时,需要对调试线路的长度进行测量和线路坐标数据标定。针对每条试验线路,每隔10 m标定卫星信号坐标信息,并确定线路的起始坐标和终点坐标信息,确定起始坐标和终点坐标时,应留有一定的安全距离。同时,通过卫星信号坐标信息计算线路长度,如与实际长度误差太大需重新标定。如图2所示

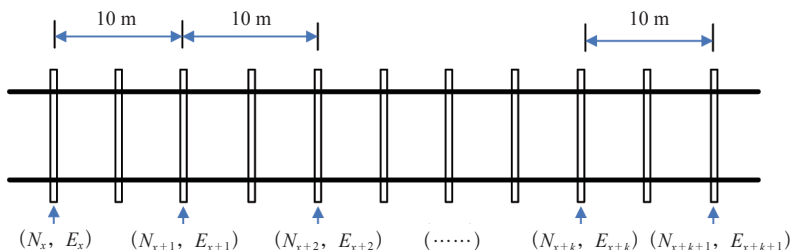


图2 线路数据标定

4. 列车位置定位

由于GNSS信号在数据处理过程中存在定位误差问题,这样会导致车辆有可能不在标定的线路上行驶。令点 x 的GNSS信号坐标为 $A(N_x, E_x)$,线路中第 K 点的坐标为 $A(N_k, E_k)$,点 x 与 K 点距离计算函数为 $p_k = f(\alpha_k, \beta_k, \alpha_x, \beta_x)$,其中 $\alpha_k = N_k(\pi/180)$, $\beta_k = E_k(\pi/180)$, $\alpha_x = N_x(\pi/180)$, $\beta_x = E_x(\pi/180)$ 。同样按照距离公式计算点 x 与 $K+1$ 点距离为 $p_{k+1} = f(\alpha_{k+1}, \beta_{k+1}, \alpha_x, \beta_x)$,遍历计算点 x

与线路上标定的所有点的距离,取 $\text{Min}((p_k + p_{k+1}))$,距离最小的两点之间的区间即为列车当前位置区间。如图3所示。

5. 紧急制动触发

设车辆当前以速度 V_{t1} 在轨道上运行,通过区间定位,计算得到当前位置距离线路末端的距离为 S_{tm} 。若要保证列车安全运行,在紧急制动减速度 a_e 一定的条件下,需要的紧急制动安全距离为 $v_{t1} = v_{t1}^2 / 2 \cdot a_e$ 。若 $s_{t1} > s_m$,则触发紧急制动;若 $s_{t1} < s_m$,则不触发紧急制动。

为保证列车安全运行,考虑网络延迟、速度误差和列车加、减速度误差等因素,需要在列车试验线末端设置安全距离 s_a ,预留 s_a 作为线路实际终点与虚拟终点的距离,实际计算时以虚拟终点为线路终点, s_a 一般取值为50 m,紧急制动减速度取值为 0.88 m/s^2 。如图4所示。

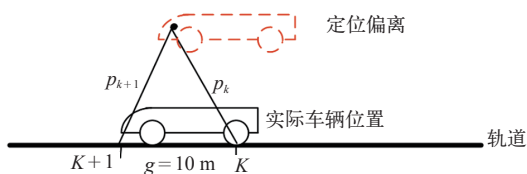


图3 列车位置定位示意图

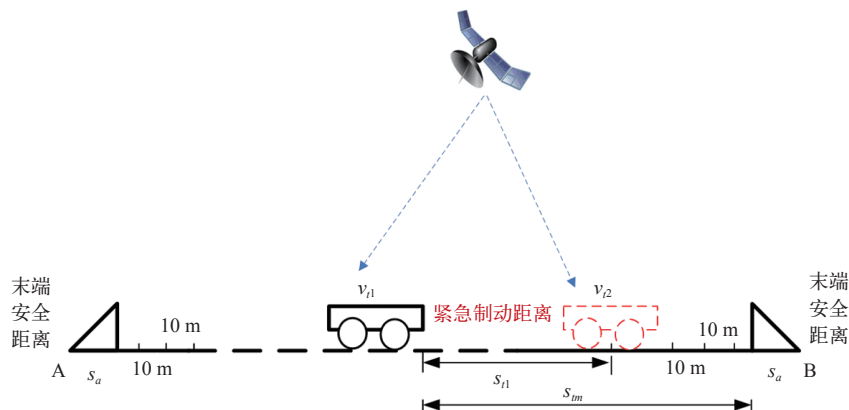


图4 运行过程目标距离与紧急制动距离计算

硬件和软件系统实现

末端防冒进系统由电源板、处理器板、输入输出板等电路板卡组成,设备采用110 V电源供电。输入输出板采集4~20 mA的列车速度信号,同时接收卫星信号数据信息,并传输给处理器板;处理器板经过运算定位车辆位置、速度、末端距离等数据,判断是否需要触发紧急制动。处理器板CPU选用工业级别的Freescle I.MX 6D系列双核处理器芯片,具备浮点运算功能,能精确计算速度、距离等信息,GNSS信号接收模块采用瑞士u-blox公司的NEO-7N芯片。整个硬件系统原理框图如图5所示。

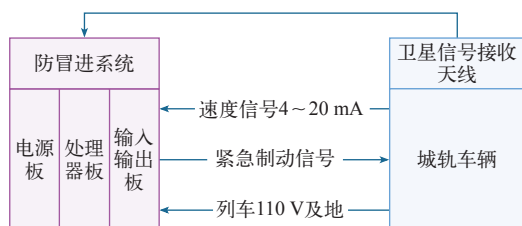


图5 硬件原理框图

软件流程图如图6所示。处理器板接收到列车当前坐标信息后,通过计算与线路标定坐标之间的距离定位当前车辆位置,同时采集列车的速度信号。

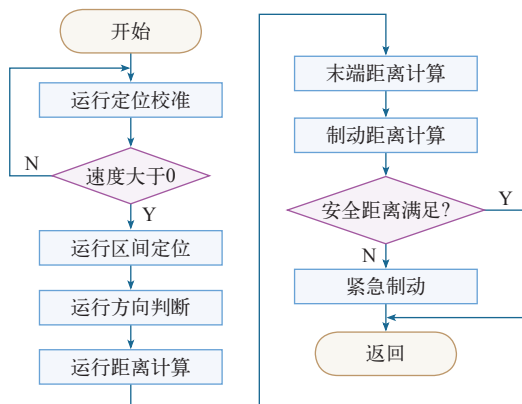


图6 软件流程图

当列车速度为零时,车辆处于静止状态,系统无法判断下一时刻车辆的运行方向,因此不断循环定位当前位置信息,进行车辆位置校准。当速度大于零时,车辆处于运动状态,通过车辆位置判断线路标定区间编号的变化方向,判断车辆的运行方向。车辆位置和运行方向确定后,计算车辆运行的距离以及距线路末端的距离,同时根据当前列车的实时速度,计算需要的制动距离。

当末端距离小于制动距离时,触发紧急制动;当末端距离大于制动距离时,不触发紧急制动。

异常情况处理

异常情况是指定位信号“漂移”、GNSS信号被遮挡等,会导致列车定位不准确或者定位数据暂时中断。为了提高设备的可靠性和保证行车安全,需对该类异常情况进行处理。

(1) 定位信号“漂移”

由于定位信号会随机跳跃或“漂移”,前述定位算法中已通过遍历所有点距离,取相邻两点最小距离之和来实现准确区间定位。同时,考虑列车的机动特性,在一个计算周期内(100 ms),当前定位点与前一定位点距离不会发生巨大变化或者多个区间变化,如果数据异常,则认为当前定位信号发生“漂移”而舍弃,保持前一定位点数据不变。

(2) GNSS信号被“遮挡”

当防冒进系统设备暂时无法获得定位数据,如GNSS信号被“遮挡”,除了发出报警信息提醒司机设备异常,还通过最后时刻位置区间、速度信号累积实现列车位置推算,在短时间内仍能保证列车安全运行。若长时间无法接收到GNSS数据,系统会持续报警提醒司机设备失效。

试验分析

将末端防冒进系统与车辆连接,并将天线连接固定好。在调试前,先对线路数据进行采集,采集后的数据每隔10 m分段并保存在设备中。试验线路为株洲电力机车有限公司内部调试线,采集的线路经纬度坐标图如图7所示。

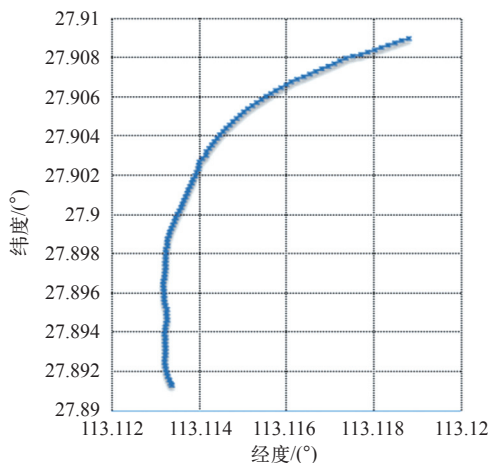


图7 线路数据图

定义车辆从起点往终点运行行为1，停车为0，从终点往起点运行行为-1，即车辆往终点方向运行→紧急停车→车辆往起点方向运行。设定列车距起点和终点的安全距离为500 m，分别测试最高运行速度为30 km/h、40 km/h、60 km/h、80 km/h，防冒进系统对列车运行方向、区间定位、GNSS信号接收、紧急制动是否正常触发、安全距离前是否

否停车等进行测试。测试结果见下表所示。

试验的列车运行速度、方向和末端距离如图8和图9所示。从图中可以看出，防冒进系统能准确判断列车运行方向，且当列车接近安全距离（500 m）时，防冒进系统触发紧急制动使列车在安全距离前速度降为0，实现了安全距离前的紧急停车。

表

序号	最高运行速度/(km/h)	方向判断	区间定位	GNSS信号接收	紧急制动触发	安全距离前是否停车
1	30	准确	准确	正常	正常	是
2	40	准确	准确	正常	正常	是
3	60	准确	准确	正常	正常	是
4	80	准确	准确	正常	正常	是

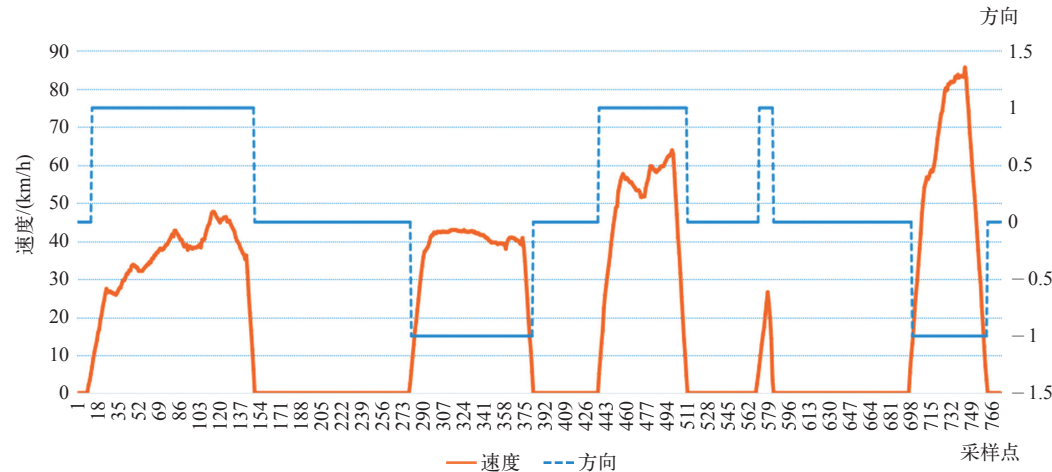


图8 列车运行速度与方向



图9 列车距末端距离

结束语

本文基于全球卫星导航定位系统，实现列车试验线路标定和位置定位。通过采集列车实际运行速度，实时计算列车距末端距离和紧急制动安全距离，以此判断是否触发列车紧急制动。在株

洲电力机车有限公司内部试验线路和车辆上实现了车辆运行方向判断、安全距离设定、紧急制动触发等功能。试验结果表明，本系统成本低、安装简单，能满足列车试验线防冒进功能要求。EA

（收稿日期：2017.12.28）

（编辑：朱金凤）