

有轨电车平交道口信号优先控制

温晓文

(沈阳职业技术学院, 辽宁 沈阳 110000)

摘要 本文研究了现代有轨电车在交叉路口与汇入车流的冲突关系以及正常运行的道路交通信号在插入优先控制信号后对社会车辆以及行人的影响。首先计算现代有轨电车相位最小绿灯时间,为后面信号优先设计方案做铺垫,其次对有轨电车在平交道口的三种优先控制策略(被动优先控制、主动优先控制、实时优先控制)进行分析比较,判断每一种优先控制方式的适用条件,并结合现代有轨电车车辆和社会车辆的冲突特点,设计有轨电车在时间及空间上的优先控制策略;结合沈阳浑南有轨电车线路特点,分析不同道路的交通现状,采取不同的优先等级。

关键词 有轨电车 平交道口 信号 优先控制

中图分类号:U482

文献标识码:A

文章编号:1007-0745(2022)10-0004-03

1 沈阳浑南有轨电车的概述

与常规公交相比,有轨电车无论是从车辆特点还是从运行模式上都有其特殊性。首先有轨电车采用轮轨导向,具有一定的路权,虽然与道路交通同在一个平面运行,但是拥有固定的走行路线,不会像社会车辆那样灵活,可以避让其他车辆;其次,有轨电车是由控制中心集中控制,有独立的列车运行图,车辆的停车及发车都必须按列车运行图的时间来运行,因此在交叉口前停车容易造成列车运行图的偏移,而且有轨电车加速及制动都较慢,一旦在道口处经停后启动较慢,需要经过长时间才能达到最高速,这样设计的目的是为了车辆运行起来更为平稳,不仅使乘客感到舒服同时还能增加安全性,但速度较慢会延误一定时间,所以在平交道口设计时应尽量避开红灯。

2 有轨电车信号优先控制系统

现代有轨电车有着一套独立的运行模式,有固定的发车时间及到站时间,一旦有轨电车发生延误,那么对于后续的列车运行会带来很大的影响。但一味只采取信号优先控制又会使平交道口处人均延误时间加大,因此需要采取合理的信号优先控制策略,或根据实际需要设计多种策略混合的优先方式,既要保证有轨电车的准点率,又要保证平交道口处其他社会车辆的通行效率。

2.1 被动优先控制策略

被动优先控制是建立在统计学的基础上,通过收集的历史交通数据,对信号周期进行重新设定。优化优先相位的绿灯时间、绿信比等参数,使有轨电车在交叉口遇红灯的概率降低,或者使有轨电车在交叉口

等待时间减少,根据车流量的不同,在不同的时间段内设置不同的时间配比方案,从而提高优先控制的适应性。由于常规公交系统不具备检测设备,对车辆进行实时定位,获取交通信息无法实现。除此之外,常规的道路信号机没有接收信息的功能,有轨电车发出的优先请求无法得到回应,如果预先设定的绿灯时间内没有电车到达,那么就会浪费掉这段时间。因此交通流量大且有轨电车车流稳定的平交道口更为适用。

2.2 主动优先控制策略

主动优先适用于半封闭路权,在半封闭条件下,有轨电车在行驶区段享有专用路权,不受路面交通的影响,而在路口处会与社会车辆有冲突,因此需要在一定约束条件下实施优先策略。与被动优先控制的区别在于主动优先控制需要具备先进的检测技术,通过在有轨电车车道旁设置检测器、利用GPS对车辆进行实时定位,将数据信息进行整合传递给信号控制系统,信号控制系统对有轨电车位置、速度以及有轨电车长度等相关数据进行处理,结合有轨电车到达路口时的相位运行情况,建立相应的数学模型,计算出信号优先的配时方案。尽可能减少或避免有轨电车在平交道口处的等待时间。通过延长绿灯时间、提前红灯时间、插入相位、跳跃相位、重置相序等措施来减少对社会车流的干扰。根据实施过程中的优先条件有两种优先策略可以选择,具体如下:

2.2.1 绝对优先控制策略

绝对优先控制是指当信号控制器检测到车辆到达信号后,无论当前信号处在什么相位,只要当前相位结束最小绿灯时间后立即插入有轨电车的绿灯相位,使有轨电车能够在不停车的状态下以规定的速度通过

平交道口或者减少有轨电车在停车线的等候时间,以达到减少旅行时间的目的,当检测装置检测到有轨电车离开平交道口后,恢复到原有的相位。

2.2.2 相对优先控制策略

相对优先控制是指降低有轨电车在平交道口的优先通行权,有时需要在平交道口前和其他社会车辆一样停车等待。需要提前设定一个条件,当有轨电车满足这个条件,并且能够提升交叉口的整体效益的前提下,有轨电车才能获取优先通行权。在信号控制器上提前设定好优先控制策略需要延长或缩点的各个相位的绿灯时间点,达到有轨电车在平交道口优先通行的目的,主要策略包括:将有轨电车通行相位红灯时间提前断开、有轨电车通行绿灯时间适当延长、插入有轨电车通行相位。

2.3 实时优先控制策略

实时优先控制策略是指利用GPS和AVL等先进的信息检测设备,对轨电车及社会车辆的信息、位置、乘客数量、运行时刻等相关数据进行检测,并赋予一定的权重区别有轨电车和道路交通车辆。实时调整周期信号、相位方案、相位差绿信比等相关参数,在给予有轨电车更高的优先权的同时也降低了社会车辆受到的影响,使整个路网的交通效益最大化。由此可见,实时优先控制机理比较复杂,需要较高的技术,如果真正实现实时优先控制还受到诸多条件的限制,所以目前主要还停留在理论研究阶段。

通过对上述的平交道口三类信号优先控制策略的分析可知,每一种优先控制策略都有各自的实现条件以及适用范围。当处于两条主干路相交的路口时,两条道路都属于等级较高的路段,在这种交通流量都很大的路口,实行主动优先策略反而会加大敌对进路的交通压力,使排队车辆增多,部分车辆需要两个信号周期才能通过,基于以上情况,采取被动优先的方式更为合适;当处于主干路与次干路的交叉路口时,有轨电车位于主干路,主干路的交通量稍大于次干路,并且存在一定的波动性,饱和度低,在这种情况下,采取主动优先的策略可以达到很好的控制效果,所以相对优先控制更适用于主干路和次干路交叉口;而实时优先控制在各种交叉口中都能达到很好的控制效果。

3 平交道口有轨电车信号优先控制的优化设计

有轨电车的主动优先控制是指利用在线路中布设的检测装置,通过向信号控制系统发送车辆的位置、速度等相关信息,信号控制系统将接收到的车辆信息进行逻辑运算,计算出有轨电车到达路口的相位时间以及通过路口时的相位时间,并将有轨电车的信号插

入道路交通信号当中,保证有轨电车可以在平交道口优先通过。这种优先控制系统的优势在于,利用了先进的检测系统,可以准确地知道车辆的相关信息。通过相关信息加以计算,计算出通过路口的最短绿灯时间插入。这种方式既可避免采取被动优先时出现的绿灯信号的损失,也可以减少社会车辆的延误,是目前采用最多的一种优先控制方式,有着广泛的发展前景。有轨电车与社会车辆的到达率是主动优先控制首要考虑的因素,绿灯时间延长和提前切断红灯时间是主动优先最常用的控制方式。

而另外两种方式:插入相位法和分割相位法虽然也可以保证有轨电车的优先通行,但是这两种方法会使信号相位的优先顺序发生改变,使后续的信号相位发生错乱,这对列车运行存在较大的安全隐患。因此,采用不会改变相位顺序的绿灯延长法和红灯早断法会更加稳定。

3.1 驶离停车线时间估计

当检测器检测到有轨电车位置时,信号控制器随即开始响应。假设在 t 时刻,令检测器1检测到的有轨电车车辆数为 q_1 ,检测器2检测到有轨电车车辆数为 q_2 ,那么有轨电车的排队长度即为:

$$q_L = q_2 - q_1 \quad (1)$$

当有轨电车到达第一个检测器时,路口信号灯的显示颜色会有不同,那么有轨电车离开停车线的时间也同样不同。下面主要针对有轨电车到达路口的不同时间段进行讨论。

当有轨电车通过第一个检测器时,优先相位显示绿灯,则剩下的绿灯时间内通过的车辆数为:

$$q_{EG-pass} = \frac{t_{EG} - t_{EG-pass}}{\bar{H}} \quad (2)$$

其中:

t_{EG} 为优先相位实际绿灯时间。

$t_{EG-pass}$ 为优先相位未通过绿灯时间。

H 为有轨电车平均车头时距。

若检测在路口信号剩余的绿灯时间内,有轨电车车辆可以全部通过平交道口,即 $q_{EG-pass} \geq q_L$,则有轨电车离开交叉口停车线的时间为:

$$T_2 = \bar{H} q_L \quad (3)$$

若检测到有轨电车车辆不能在剩余绿灯时间内通过,即: $q_{EG-pass} < q_L$,则有轨电车离开交叉口的时间为:

$$T_2 = C - t_{EG-pass} + \bar{H}(q_L - q_{EG-pass}) \quad (4)$$

当有轨电车通过第一个检测器时,优先相位显示红灯。

假设在正常信号配时方案中, 优先相位的绿灯时间内可通过的最多有轨电车车辆数即为:

$$q_{EG} = \frac{t_{EG}}{H} \quad (5)$$

在优先相位显示红灯的情况下, 若 $q_L \leq q_{EG}$, 有轨电车可以在下一个绿灯通过, 其驶离停车线的时间为:

$$T_2 = C - t_{EG} - t_{R-pass} + \bar{H} q_L \quad (6)$$

若 $q_L > q_{EG}$, 则意味着有轨电车不能在下一个绿灯时间内全部通过。其离开平交道口的时间为:

$$T_2 = C - t_{EG} - t_{R-pass} + \bar{H}(q_L - q_{EG}) \quad (7)$$

3.2 到达下一站点时间估计

有轨电车通过交叉口后仍以正常行驶速度行驶至下一个站点, 到达下一个站点的时间为:

$$T_3 = \frac{L_S + L_B}{V} \quad (8)$$

其中:

L_S 为交叉口横向宽度。

L_B 为交叉口与下一个站点的距离。

V 为有轨电车正常行驶速度。

3.3 车头时距估计

估算两有轨电车间的车头时距需要同线路上上一辆有轨电车的到达时间设为 t_{pre-3} , 则该时段车头时距表示为:

$$T_w = t + T_2 + T_3 - t_{pre-3} \quad (9)$$

3.4 发车频率偏移度

信号优先主要采用相对优先而非绝对优先, 是否实施优先方案通过计算出车辆频率的偏移度 θ 来进行判断。

$$\theta = \frac{T_w - T_{pian}}{T_{pian}} \quad (10)$$

其中: T_{pian} 为计划发车频率。

设置一个临界值 ε :

若 $\theta \leq \varepsilon$, 则表示有轨电车偏移量在可接受范围内, 不需要采取任何优先措施。

若 $\theta > \varepsilon$, 则表示发车频率偏移度超过可接受范围, 为了不影响列车的正常运行方案, 需要实施有轨电车的信号优先策略。

3.5 有轨电车的延误

设有 D 为有轨电车在平交道口产生的延误, 当通

行时间 $T_2 = H q_L$ 时, 有轨电车在交叉路口不产生延误。

1. 若在当前绿灯时间内有轨电车可以到达, 但不能在设定的绿灯时间内全部通过, 则会产生车辆的延误。其在交叉口产生的延误为:

$$D_1 = C - t_{EG-pass} + \bar{H}(q_L - q_{EG-pass}) - \bar{H} q_L = C - t_{EG-pass} - \bar{H} q_{EG-pass} \quad (11)$$

2. 若在信号周期中的红灯时间有轨电车到达, 则该列车可以在下一个绿灯时间内通过, 其在交叉口产生的延误为:

$$D_2 = C - t_{EG} - t_{R-pass} + \bar{H} q_L - \bar{H} q_L = C - t_{EG} - t_{R-pass} \quad (12)$$

设置一个极值 D_p 当 $D < D_p$ 时, 有轨电车产生的延误很小, 即使调整配时对于车辆配时的改善也不是很大, 所以不需要做出调整, 维持原有配时方案即可。

3.6 有轨电车主动优先方法的选择

信号交叉路口有轨电车主动优化方法包括延长绿灯时间、红灯时间早断、插入相位和分割相位四种类型, 但是有轨电车车道过多, 采用相位插入或分割相位的方法会使偏移量加大, 频繁地转换信号会对机动车和行人造成影响, 因此延长绿灯时间和红灯时间早断这两种方法更为适用。

3.6.1 绿灯时间延长

当在优先相位显示绿灯时, 当 $\theta > \varepsilon$ 且 $D > D_p$ 时, 可以延长绿灯时间。对于后续车辆的位置需要通过检测系统再次进行检测, 若检测到后续有轨电车会在信号延长后的最大绿灯时间内到达, 则可将信号切换至下一个相位, 如果后续列车到达时间不是在最大绿灯时间内, 那么需要继续进行上一步的比较; 如果检测到没有后续列车的到达, 则可直接切换至下一个相位。

3.6.2 红灯时间早断

当有轨电车在交叉口显示红灯时到达则采取此方法。当 $\theta > \varepsilon$ 且 $D > D_p$ 时判断当前相位是否达到最小绿灯时间, 如果达到切换下一相位。

当 $\theta > \varepsilon$ 且 $D > D_p$ 时, 执行原有配时方案。继续检测后续车辆。

4 结语

有轨电车作为一种新型的交通模式, 为公共交通的发展带来了新的选择, 广泛地被大中小城市所接受。但济南有轨电车仍然存在运营方式的落后以及技术方面的缺乏。在过去的有轨电车优先控制方式中, 只是一味地采取公交车的绝对优先控制, 并没有结合有轨电车的运行特点、交叉路的集合特征。同时, 现有优先控制策略包括主动优先控制和被动优先控制, 都是以时间为背景, 并没有准确地对有轨电车给社会车辆带来的影响进行分析。