

# CTCS 制式下短编组列车自动折返 快速停车方案研究\*

符 萌<sup>1</sup> 林 强<sup>2</sup> 杨 俐<sup>2</sup> 韩永强<sup>1</sup>

(1. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430063, 武汉;

2. 上海申铁投资有限公司, 200003, 上海//第一作者, 高级工程师)

**摘 要** 我国的动车组有 4 节编组、8 节编组、16 节编组等多种编组形式。在短编组列车进入折返线进行站后自动折返作业时,为缩短列车折返时间,应使短编组列车尽快停车,且车尾应尽量靠近折返信号机。基于 CTCS(中国列车运行控制系统)制式,从轨旁信号设备的布置、信号系统的配套修改等方面,对原设计方案提出了 6 个优化方案,并进行了仿真。通过对仿真结果的对比分析,推荐采用在折返线中间加分隔信号机的方案。

**关键词** 市域铁路;短编组列车;列车自动折返;快速停车  
**中图分类号** U284.48

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.11.018

## Quick Stop Scheme of Short Marshalling Train Automatic Turn-back under CTCS System

FU Meng, LIN Qiang, YANG Li, HAN Yongqiang

**Abstract** At present, EMU (electric multiple unit) trains have 4-car formation, 8-car formation, 16-car and other marshalling forms. When a short marshalling train enters the turn-back line for after station automatic turn-back operation, the train must stop as quickly as possible, and the train tail should be as close to the turn-back signal as possible in order to shorten the turn-back time. Based on CTCS (China train control system), six optimization schemes are proposed and simulated for the original design scheme from the trackside signal equipment layout and the signal system modification. Through a comparative analysis of the simulation results, the scheme to add separation signals in the middle of the turn-back line is recommended.

**Key words** city railway; short marshalling train; automatic turn-back; quick stop

**First-author's address** China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China

## 0 引言

目前国内的动车组有 4 节编组、8 节编组、16 节编组及 17 节编组等多种编组形式。其中,高速铁路多采用 8 节编组、16 节编组或 17 节编组,本文将该情况下的 8 节编组列车定义为短编组列车;市域铁路和城际铁路多采用 4 节编组及 8 节编组,本文将该情况下的 4 节编组列车定义为短编组列车。不同编组的列车,其车长差异很大,例如:4 节编组列车通常长 100 m 左右;8 节编组列车通常长 200 ~ 220 m;16 节编组、17 节编组列车通常长 400 ~ 440 m 左右。

在进行列车折返作业时,高速铁路通常在停车股道原地折返,市域铁路和城际铁路则通常设站后折返线,列车在折返线上进行站后折返。

在 CTCS(中国列车运行控制系统)信号制式下,不同编组的列车在进入折返线进行站后折返时,均以前方阻挡信号机(信号机前预留了一定的安全防护距离)作为打靶点。对于短编组列车而言,若不采取一定的特殊设计,在折返线内需要多走行一段距离,其距离约为长编组列车车长和短编组列车车长之差的 2 倍。以 4 节编组、8 节编组动车组混跑为例,4 节编组列车在折返线内往返需多走行约 200 m,按列车平均运行速度 40 km/h 计算,则多走行约 18 s,造成列车折返时间的浪费。因此,为缩短列车折返时间,需实现以下目标:短编组列车进入折返线后宜尽快停车,车尾宜尽量靠近折返信号机。在考虑应答器组的设置后,可将车尾与折返信号机的距离设为 30 ~ 35 m。

在 CBTC 信号制式下,由于列车上有电子地图,实现上述目标较为简单。如上海轨道交通 16 号

\* 上海申铁投资有限公司科研项目(SHST-2021-ZSS-230)

线有 3 节编组与 6 节编组列车混跑,列车进入折返线后,不同编组列车的车载给列车下达不同的停车位置命令,信号车载结合电子地图自动控制列车停于预定位置。

在 CTCS 信号制式下,目前仍不能实现列车自动折返功能,文献[1]对 CTCS 制式下如何实现列车自动折返功能进行了一定的探讨,但尚未见有文献对短编组列车的快速停车方案进行研究。本文重点研究 CTCS 信号制式下短编组列车自动折返时的快速停车方案。

### 1 短编组列车自动折返快速停车方案

目前对列车折返间隔要求较高的多为市域铁路。市域铁路通常使用 4 节编组、8 节编组或 4 节编组 + 4 节编组重联动车组,较少使用 16 节编组、

17 节编组动车组或 8 节编组 + 8 节编组重联动车组。为此,本文对地面设备布置进行研究时,以动车组采用 4 节编组、8 节编组为例进行分析,提出了 6 个研究方案。为便于描述,将列车进入折返线时的激活端称为 A 端,另一端(即列车驶出折返线时的激活端)称为 B 端。

本文将没有进行特别设计以缩短短编组列车停车耗时的常规设计方案称为“原方案”。以图 1 所示的典型站场为例,原方案下列车进入停车股道后,经交叉渡线驶入折返线 1 或折返线 2,列车停稳实施换端作业后从折返线驶出。在此基础上,本文重点研究列车站后自动折返时折返线信号机、应答器等轨旁设备的优化布置,以及信号车载设备、列车运行控制(以下简称“列控”)系统、CTC(调度集中)系统等的配套修改方案。

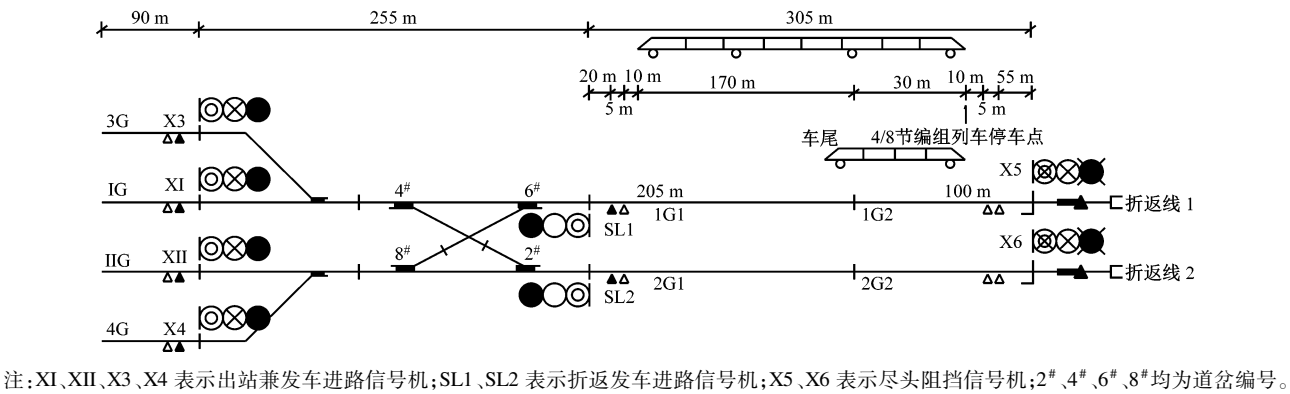


图 1 原方案下轨旁设备布置示意图

Fig. 1 Diagram of trackside equipment layout in the original scheme

#### 1.1 方案 A: 折返线中间设分隔信号机

如图 2 所示,方案 A 采用了类似动车所的一线两列位方案,即在折返线中间设红蓝白分隔信号机 XF1、XF2,将折返线分隔为 2 段(如将折返线 1 分隔

为 1G1 及 1G2,将折返线 2 分隔为 2G1 及 2G2)。折返线的长度按满足 8 节编组列车的长度予以设计。4 节编组列车停在第一段(如 1G1 或 2G1),8 节编组列车停整个折返线。

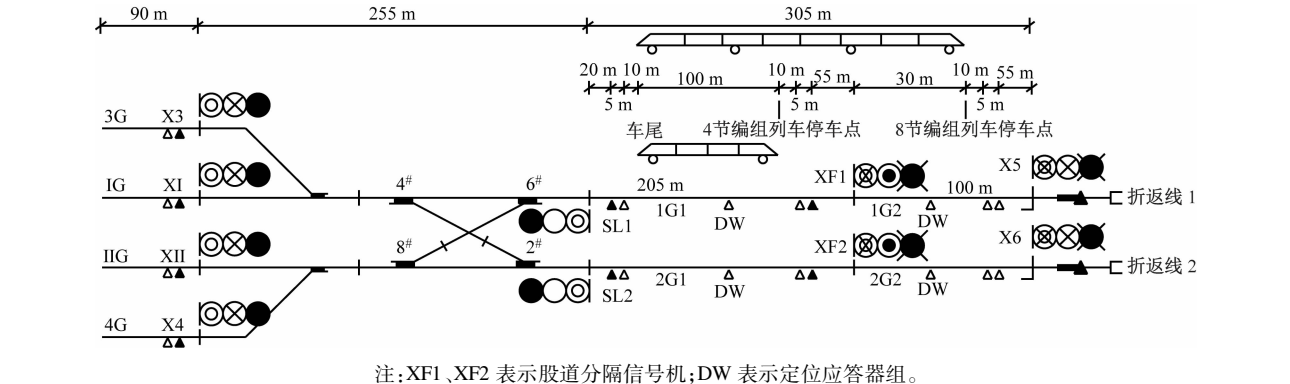


图 2 方案 A 下轨旁设备布置示意图

Fig. 2 Diagram of trackside equipment layout in Scheme A

1.1.1 信号机设置

在 AM(自动驾驶模式)下,动车组必须处于 FS(完全监控)模式或特殊的 PS(部分监控)模式,此时列车不能采用 SH(调车)模式,因此折返线上的信号机均按列车信号机进行设置。

如图 2 所示,在折返线岔前设置红绿白三灯位的折返发车进路信号机 SL1、SL2。折返线中间设置红蓝白三灯位信号机 XF1、XF2,用以分隔股道。阻挡信号机 X5、X6 设于折返线尽头处,采用三灯位信号机,常亮红灯,另外两灯位封闭。考虑到 X5、X6 信号机常亮红灯,为减少电缆、信号机等设备,减少维修工作量,也可将这 2 个信号机改为红色停车标志牌。

1.1.2 应答器设置

在 SL1、SL2 处设置由 1 个有源应答器和 1 个无源应答器组成的发车进路信号机应答器组,应答器组与 SL1、SL2 的距离为 20 m。在 XF1、XF2 处设置由 1 个有源应答器和 1 个无源应答器组成的应答器组,应答器组与 XF1、XF2 的距离为 55 m(该距离可根据现场工程情况调整)。

在尽头阻挡信号机 X5、X6(或停车标志牌)处设置 2 个无源应答器组成的应答器组,应答器组与 X5、X6 的距离分别为 55 m、60 m,用以发送绝对停车报文。为减少测速、测距误差,提高列车的停车精度,考虑在每个区段中间设置 1 个定位应答器组。该定位应答器组为非精确定位应答器组,不描述距离停车点的距离。

1.1.3 其他配套设计

CTC 系统需根据动车组编组的不同办理不同的长短进路,其方式与动车所一线两列位办理长短进路类似。

4 节编组列车进入 1G1/2G1 停稳后,若信号车载设备自动换端结束时折返进路尚未办理完毕,此时 1G1/2G1 的轨道电路发码方向尚未改变方向。为降低 B 端车载受到邻线干扰的概率,在两端车载换端时,要求 A 端车载将载频信息传递给 B 端车载,并进行锁频。

8 节编组(或 4 节编组 + 4 节编组重联)列车进入 1G1/2G1 停稳后,同样为降低 B 端车载受到邻线干扰的概率,要求列车车头进入 1G1/2G1 后,TCC(列控中心)控制 1G1/2G1 立即转换轨道电路的发码方向。

方案 A 的优点是对各信号系统软件的修改较少。方案 A 的缺点是地面设备设计复杂,且车载换端后折返进路可能尚未办理完成,列车所处区段的轨道电路尚未改变方向,此时 B 端车载仍可能受到邻线干扰,需采取特殊的处理措施。

1.2 方案 B:车载设备根据列车编组数的不同确定不同的打靶点位置

如图 3 所示,方案 B 下折返线中间不设股道分隔信号机,但为了使轨道电路发码方向能及时改向,仍设置绝缘节(绝缘节设置在折返线左侧)。方案 B 下的折返线长度与方案 A 相同,但 4 节编组列车停车时需要占压 2 段轨道电路。

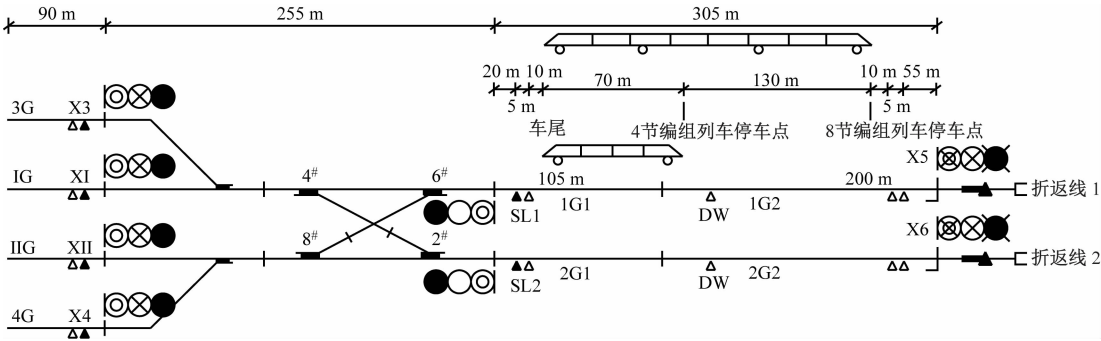


图 3 方案 B 下轨旁设备布置示意图  
Fig. 3 Diagram of trackside equipment layout in Scheme B

对于具备自动折返功能的车载设备,在列车进入自动折返状态后,车载设备将结合列车编组数确定打靶点位置,并自动计算控制列车停于预定位置。4 节编组列车可将打靶点位置设定在比 8 节编组列车缩短 100 m 处(缩短的距离为两种编组列车

车长的差值)。  
方案 B 的优点是:① 地面设备布置较为简单,列车可停于预期设计位置;② 不需要 CTC 根据列车编组的不同办理不同的长短进路。方案 B 的缺点是:① 对车载设备的修改较大,修改了车载设备

控制列车的底层逻辑架构;② 对于具备自动折返功能的车载设备,列车进股道停车时因车载无法区分所进入的线路是普通股道还是折返线,导致列车在普通股道停车时车头无法对准站台端部的预期停车点,这给运营带来了极大的不便。此时应采取其他调整措施,使车载设备有能力区分列车进入的是一般股道还是折返线,但其他调整措施的加入将使得方案 B 更为复杂。

### 1.3 方案 C:利用非本务端车载设备接收地面信息并制动

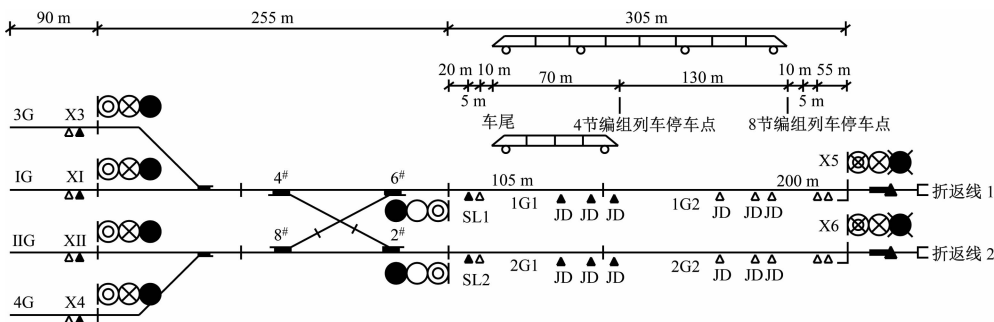
某些列车控制厂家非本务端的车载设备处于休眠状态时仍可接收轨道电路载频低频信息及应答器报文(但不进行处理),因此,4节编组列车驶入折返线并越过 SL1/SL2 后,可利用接收到的地面轨道电路载频信号判断是否已进入折返线。如已进入,则开始输出常用制动,命令列车尽快停车。方案 C 的地面设备布置同方案 B。

方案 C 的优点是:① 地面设备布置简单;② 不需要 CTC 根据列车编组的不同办理不同的长短进

路。方案 C 的缺点是:① 目前国内仅有 1 家企业的车载设备具备非本务端车载接收地面信息功能,其他设备厂家暂不具备此功能,若采用此方案,尚需对车载设备进行改造开发;② 列车越过 SL1/SL2 信号机后才开始制动,制动时机太迟,很可能会触发列车紧急制动。

#### 1.4 方案 D:利用有源精确定位应答器发送不同的停车位置(修改 TCC 软件逻辑)

与方案 B 相比,方案 D 为 4 节编组列车增设了有源精确定位应答器组(8 节编组列车停车位置设置无源精确定位应答器组)。CTCS 中定义应答器报文时,将列车停车位置信息包命名为【CTCS-13】。如图 4 所示,【CTCS-13】信息包写入有源应答器中(包括 X1—X4 处 CZ 出站信号机应答器组及增设 in IG1、IIG1 的 JD 精确定位应答器组)。车载通过 TSRS(临时限速服务器)向 TCC 发送信息。列车编组数不同时,TCC 发出不同的报文,以告知不同编组的列车停在不同的停车位置。4 节编组列车通过此停车位置信息进行停车。



注:JD 表示精确定位应答器组。

图4 方案D下轨旁设备布置示意图

Fig. 4 Diagram of trackside equipment layout in Scheme D

方案 D 的优点是解决了方案 B 中需修改车载控制列车的逻辑架构问题,也解决了方案 C 中可能触发列车紧急制动的问题。方案 D 的缺点是:①按照 TJ/DW 221—2019《高速铁路 ATO 系统应答器设置及应用暂行技术条件》(ATO 为列车自动运行),【CTCS-13】通常写入无源应答器中,而方案 D 将其写入有源应答器中,则需对有源应答器的报文编制重新进行定义;②TCC 必须能够根据列车编组数的不同控制【CTCS-13】写入距离停车点的不同距离,这需要修改 TCC 的软件及相关接口信息。

### 1.5 方案 E:利用有源精确定位应答器发送不同的停车位置(不修改 TCC 软件逻辑)

方案 E 的地面设备布置同方案 D。基于方案 D

存在的缺点,方案 E 进行了改进:【CTCS-13】仍写入有源应答器中,在列车往折返线发车时,计算机联锁设备在联锁表中写 2 条一样的进路,并给这两条进路分配不同的进路号,TCC 的进路信息表中也对应这 2 条进路。CTC 根据列车编组数的不同(需对既有 CTC 及接口进行修改)办理不同进路号的进路。TCC 根据进路号的不同控制有源应答器,使之发送不同的停车位置报文。

与方案 D 相比,方案 E 的优点是 TCC 及车载的软件均不需修改。方案 E 的缺点是:①仍需对写入【CTCS-13】的有源应答器报文的编制重新进行定义;②根据列车编组数的不同排列不同的进路,需

要对 CTC 软件及接口进行修改和调整。

1.6 方案 F:【CTCS-13】停车位置信息包按列车编组数的不同分别描述

方案 F 与方案 D 的差别在于,在地面设备布置中,方案 F 将精确定位应答器由方案 D 的有源应答器改为无源应答器,如图 5 所示。

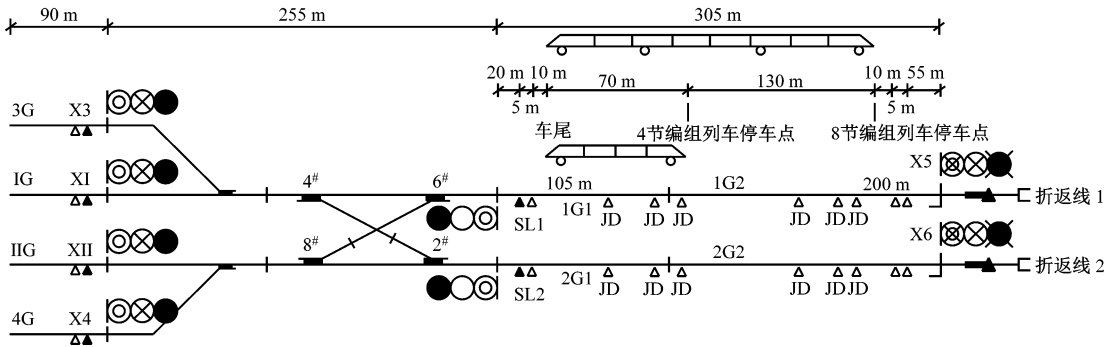


图 5 方案 F 下轨旁设备布置示意图  
Fig. 5 Diagram of trackside equipment layout in Scheme F

方案 F 将【CTCS-13】写入无源应答器中,但 1G1、2G1 的 JD 应答器组一次性写 2 个位置,其中: 4 节编组列车对应折返线中间位置,8 节编组列车对应折返线尽头位置。车载设备收到应答器报文后,根据列车编组数选择使用对应报文。

方案 F 将【CTCS-13】写入无源应答器中,符合应答器报文编制规范,但写 2 个停车位置的做法与国家铁路中应答器报文编制的相关规范不符,需重新定义。此外,车载设备需根据列车编组数判断使用报文,需修改车载设备软件。

2 实验室仿真结果分析

本文搭建了仿真平台,对上述 6 个方案进行仿真模拟。为了得到更好的对比结论,本文将不采取任何调整措施的原方案也纳入对比范畴。

2.1 仿真参数设置

仿真时采用了统一的车辆参数和线路参数。其中,车辆采用 CRH6 型 4 节编组动车组的参数:① 列车长度为 100.5 m;② 动拖比采用 3 动 1 拖;③ 列车在 0~40 km/h 时的起动加速度为 1.0 m/s<sup>2</sup>,列车 160~0 km/h 时的常用制动平均减速度为 1.0 m/s<sup>2</sup>。

线路参数采用如图 1 所示的线路参数:① 列车在 3G 停车时,车头距离 X3 信号机 90 m,X3 至 SL1 的距离为 255 m,折返线全长 305 m,线路均为平坡;② 道岔均采用 12 号道岔,列车侧向过岔时限速 45 km/h。

此外,设定仿真试验中列车运行路径为:短编组列车从 3G 出发,进入 1G1,然后经 6<sup>#</sup>/8<sup>#</sup>道岔反

位进入 4G。

2.2 仿真结果

各方案的仿真结果对比如表 1 所示。

表 1 各方案的仿真结果对比			
Tab. 1 Simulation result compatison of various schemes			
方案	列车驶入、驶出折返线的行走距离/m	列车驶入、驶出折返线的行走时间/s	列车在折返线停稳后车尾与 SL1 的距离/m
原方案	1 160	144.1	135
方案 A、B、D、E 及 F	960	126.7	35
方案 C	445	51.4	0

原方案的仿真结果如图 6 所示。因方案 A、方案 B、方案 D、方案 E 及方案 F 的 4 节编组列车的停车点均在折返线中部,车尾均越过折返信号机约 35 m,仅在实现方式上有所不同,因此其仿真结果差别并不大,这 5 个方案的仿真结果如图 7 所示。方案 C 的仿真结果如图 8 所示。

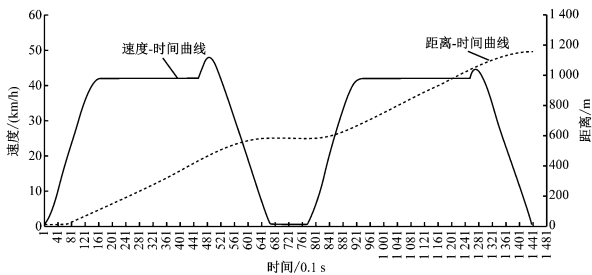


图 6 原方案的仿真结果  
Fig. 6 Simulation result of the original scheme

从上述仿真结果可看出,采用方案 A、方案 B、方案 D、方案 E 及方案 F 时,短编组列车均可停于

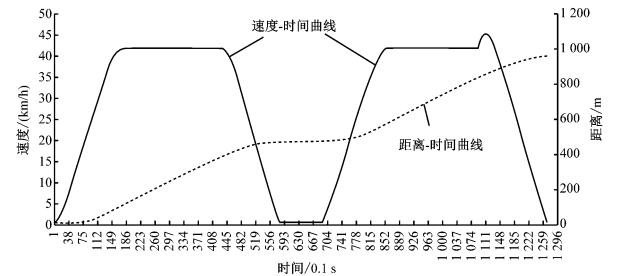


图7 方案A、B、D、E及F的仿真结果

Fig. 7 Simulation results of Schemes A、B、D、E and F

预期位置,且与原方案相比,列车驶入、驶出折返线的走行距离减少了200 m,折返用时减少了17.4 s。采用方案C时,由于列车触发了紧急制动,列车走行了445 m后被迫停车,车尾位于SL1信号机处,尚未越过折返信号机的应答器组,导致后续折返作

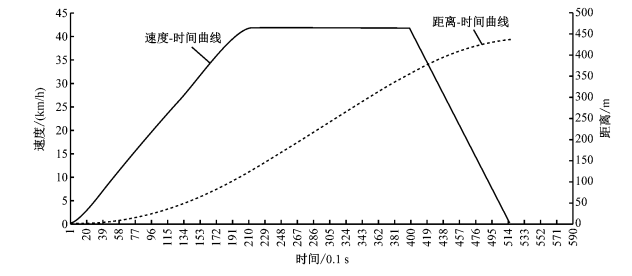


图8 方案C的仿真结果

Fig. 8 Simulation result of Scheme C

业尚需人工处理,列车自动折返失败。

### 3 各方案优缺点分析

综合上述研究及仿真结果,各方案的优缺点对比如表2所示。

表2 各方案优缺点对比

Tab.2 Comparison of the advantages and disadvantages of various schemes						
项目	方案A	方案B	方案C	方案D	方案E	方案F
短编组列车快速停车(车尾距离信号机30~35m)	可实现	可实现	无法实现	可实现	可实现	可实现
地面设备布置	最复杂	最简单	最简单	较复杂	较复杂	较复杂
对车载设备的修改	无修改(换端时传输载频信息可随自动换端一并修改)	车载根据列车编组数的不同确定不同的打靶点位置,修改较大	利用非激活端车载接收地面信息,目前仅1家企业的车载可实现此功能	无修改	无修改	车载设备选择性接收应答器报文,修改较大
对CTC、TCC及TSRS的修改	CTC需根据列车编组数的不同办理长短进路	无修改	无修改	TCC需根据列车编组数的不同发送不同的报文,修改较大	CTC需根据列车编组数的不同使用不同的进路号办理相同的进路	无修改
对应答器报文的修改	无修改	无修改	无修改	需重新定义应答器报文的编制规范	需重新定义应答器报文的编制规范	需重新定义应答器报文的编制规范

注:折返线长度均按满足8节编组列车停车考虑。

## 4 结语

根据仿真结果,方案C未能实现预期的停车目标,首先予以排除。其余方案均能实现预期目标,但考虑到CTCS的车载设备、联锁子系统及列控系统是保障行车安全的核心,其功能确认有着严格的测试及上道认证流程,且为了实现与周边线路的互联互通,这些子系统宜采用统一的标准,不宜做出较大的改动。方案B、方案F对车载的修改较大,方案D对TCC的修改较大,方案D、E及F均需重

新定义应答器报文的编制规范。因此,本文推荐采用对信号系统修改最少、实现效果最好的方案——方案A。

虽然上述方案主要是为了缩短列车折返间隔、配合列车进行自动折返而采取的方案,但方案A同样适用于无ATO的CTCS线路下人工驾驶列车折返的情况。方案A将在采用列车自动折返技术的上海市域铁路机场联络线及后续其他的市域/都市圈城际铁路上得以应用。

(下转第88页)